

ВВЕДЕНИЕ

Проблема выбора будущей профессии остается актуальной для учащихся общеобразовательных школ и учреждений среднего специального образования начала 21 столетия. Одним из способов проверить себя, попробовать свои способности в технической области деятельности являются олимпиады школьников по технике и технологии. Такие олимпиады организуются на разных уровнях и имеют разную направленность и характер заданий. В частности, всероссийская олимпиада школьников по предмету "Технология" связана с одноименным предметом, изучаемым в школе. Участники такой олимпиады показывают свои теоретические знания, полученные ими из учебников по технологии, практические навыки по изготовлению заданных изделий, демонстрируют свои проектные работы, связанные с проектированием и изготовлением изделий. Такая олимпиада связана с базовыми работами трудовой деятельности большинства людей вообще. Известны олимпиады, в которых решаются задачи в таком формате, как они решаются на олимпиадах по другим предметам, например, по физике или по математике. Особенностью данных задач являются технические формулировки их условий. Известны олимпиады с требованием спроектировать заданное изделие на основе компьютерных графических программ. В частности, соревнование WorldSkills Juniors в компетенции Инженерный дизайн CAD (САПР) для возрастной группы 12–16 лет в числе прочего предусматривает создание компьютерных 3D моделей по выданным чертежам изделий.

Вместе с тем, инженерный труд, труд конструктора или технолога имеет свои особые специфики творческой деятельности. Прежде всего, это умение разобраться в проблеме, проанализировать состояние вопроса, проанализировать найденные существующие решения и предложить новые, зачастую неординарные решения. В завершении этого инженер должен проверить или подтвердить заявленные характеристики нового изделия или процесса и убедить заказчика в целесообразности реализации своего проекта. Хороший инженер это, прежде всего, изобретатель. Только совершенно новое изделие или процесс позволяют сегодня получить преимущества и оказаться конкурентоспособным среди аналогов.

В связи с этим, перед организаторами олимпиады была поставлена задача проверить возможности и сориентировать учащихся школ на выполнение инженерных проектов с элементами инноватики: с новыми научными или изобретательскими решениями при реализации технических или технологических проблем. В данном пособии рассматривается решение таких проблем в области машиностроения. Перед учащимися зачастую ставилась задача с проблемной составляющей. Такую задачу

необходимо было решить, пройдя все основные стадии инженерной деятельности. Кроме того, организаторам олимпиады пришлось решать вторую, не менее сложную задачу – объективно и сопоставимо оценить полученные школьниками решения и выполнить их ранжирование.

Рассматриваемые задачи сгруппированы по возрастным группам участников (7–9 и 10–11 классы) и по этапам проведения олимпиады: отборочный и заключительный. Все задачи отборочного этапа имеют типовые условия, характерные для условий аналогичных задач олимпиад по физике или математике. Наибольшую сложность и многовариантность имеют задачи заключительного этапа. Именно им уделено здесь основное внимание. Разработчики заключительных задач сразу же приняли за основу три принципа разработки условий этих задач: практическая полезность, новизна и многогранность решений. Кроме того, организаторами олимпиады в разное время было сформулировано два основных подхода: проектный со свободой выбора и многообразием решений (2014–2018 гг.) и проектный с заранее заданным набором вариантов решений и подзадач (2019–2020 гг.). Оба подхода последовательно излагаются в данном пособии. Авторы считают, что выбор лучшего и наиболее полезного варианта задач подобных олимпиад все еще остается открытым вопросом и требует дальнейшего научного изучения и практической апробации. Установка некоторой трансформации задач по физике и математике универсального характера в сторону их практической (технической) направленности для учебных заведений технического профиля все еще остается актуальной.

Авторы издания надеются, что читатели лучше поймут требования к уровню знаний и кругозору участников олимпиады, лучше сориентируются в предъявляемых к участникам требованиях.

Ранее в 2014 г авторами было издано и свободно распространяется в Интернете другое пособие: «Машиностроение. Исторический обзор, состояние, проблемы и перспективы» [1]. В этом пособии был определен круг вопросов предметной области по машиностроению и даны основные сведения для решения олимпиадных задач. Предметная область очерчена 15 укрупненной группой специальностей и направлений подготовки высшего образования – "Машиностроение". В нее входят механообработка, сварка,ковка и штамповка, связанные с ними процессы и технологические машины, в частности, станки и промышленные роботы, а также пневмо- и гидравлические машины; входят общая робототехника, автоматизация, динамика и прочность машин. Для уточнения этого и других вопросов авторы рекомендуют предварительно ознакомиться с указанным первым пособием.

1. ЗАДАЧИ ОТБОРОЧНОГО ЭТАПА

Задачи отборочного этапа по своей форме напоминают типовые задачи, например, по физике. Однако, в технике обычно никем не дается условие с необходимо-достаточным набором исходных данных. Исходных данных бывает, с одной стороны, много, они выявляются инженером из анализа всего, что ему становится известным по данному проекту. Зачастую исходные данные являются и одновременно избыточными для решения конкретной поставленной задачи. С другой стороны, часть исходных данных приходится находить самостоятельно из дополнительной нормативно-справочной документации. Также, как правило, не дается четко очерченного набора формул или правил расчета. Инженер должен сам выявить явления, которые возникают при работе машин или реализации процессов, знать общие законы физики и связанные с ними формулы. Он должен знать и уметь применять математические формулы. Геометрия на плоскости и в пространстве, формулы по расчету характеристик фигур, тригонометрические зависимости и координаты, – все это часто используют инженеры в своей повседневной практике.

В связи с этим приведенные ниже задачи насыщены такими техническими подробностями, из которых участнику олимпиады нужно понять задачу, формализовать ее физическую сущность и построить расчетную схему, подобрать нужные исходные данные. Зачастую требуется аналогичная формализация и для задач, решаемых только математическими зависимостями, как правило, это геометрические задачи. Этим, по мнению разработчиков задач олимпиады, отличаются такие задачи от задач по физике или математике. Последние более лаконичны, но в олимпиадах по физике или математике решения связаны с большими сложностями физического или математического порядка. Задачи в данной олимпиаде не так сложны в части физики или математики, но требуют понимания сущности технической проблемы из большого объема ее описания. Часто решение занимает намного меньший объем, чем само условие задачи.

Еще одной особенностью данных задач в ряде случаев является специфическое оформление известных учащимся школ физических законов. Например, закон Гука для растягиваемой пружины известен как: $\Delta x = F/k$, справедлив вообще для всех обычных тел. Стержни, балки, валы, которые растягиваются, изгибаются, скручиваются, подчиняются этому же закону прямой пропорциональности. Но во всех перечисленных случаях этот закон, оставаясь по сути таким же, видоизменяется по форме. Например, при растяжении стержня он приобретает вид: $\Delta x = F / \{(ES)/x\}$. Выражение в фигурных скобках и есть жесткость стержня k и, очевидно, она зависит от его длины x , площади поперечного сечения S и жесткостной

характеристики материала стержня E . Поскольку эта и другие формулы учащемуся средней школы не преподаются, то на олимпиаде выдается раздаточный материал. Ниже в табл.1.1 приведем фрагмент распечатки типового раздаточного материала.

Таблица 1.1. Справочная информация для решения задач (система СИ)

Формулирование задачи и расчетная схема	Формула и ее параметры	
	Жесткость	Прочность
1. Растяжение или сжатие стержня	Δl – удлинение (сжатие)	
	$\Delta l = Fl / (ES)$, где F – приложенная сила; l – первоначальная длина стержня; E – модуль упругости первого рода (ПУ); S – площадь поперечного сечения стержня.	Работоспособность обеспечивается если $\sigma K < [\sigma]$, где $\sigma = F / S$, где F – приложенная сила; S – площадь поперечного сечения стержня. Можно принять коэффициент запаса $K=1,5$.
2. Поперечный изгиб стержня прямоугольного сечения	Y – прогиб стержня	
	$Y = Fl^3 / (3EJ_x)$ и $J_x = bh^3 / 12$, где F – приложенная сила; l – длина стержня; E – модуль упругости ПУ; b и h – ширина и высота прямоугольного сечения стержня.	Работоспособность обеспечивается если $\sigma K < [\sigma]$ и $K=1,5$, где $\sigma = 6Fl / (bh^2)$, где F – приложенная сила; l – длина стержня; b и h – ширина и высота прямоугольного сечения стержня.
3. Кручение вала	φ – угол поворота сечения	
	$\varphi = Ml / (GI)$ и $I = \pi D^4 / 32$, где M – крутящий момент; l – длина вала; G – модуль упругости второго рода; D – диаметр вала. Если вал квадратный, то $I = h^4 / 7$.	Работоспособность обеспечивается если $\tau K < [\tau]$ и $K=1,5$, где $\tau = 16M / (\pi D^3)$, где M – крутящий момент; D – диаметр вала. Если вал квадратный, то $\tau = 5M / (h^3)$.
Для стали	$E=20 \cdot 10^{10}$ Па; $G= 8 \cdot 10^{10}$ Па	$[\sigma]= 5 \cdot 10^8$ Па; $[\tau]= 4,0 \cdot 10^8$ Па
Для алюминиевого сплава	$E=7 \cdot 10^{10}$ Па; $G= 2,5 \cdot 10^{10}$ Па	$[\sigma]= 2 \cdot 10^8$ Па; $[\tau]= 1,5 \cdot 10^8$ Па

1.1. Задачи для учащихся 7–9 классов

Задача № 1.1.1 Условие. Какова должна быть мощность двигателя плечевого сустава человекоподобного робота, чтобы он смог равномерно приподнять пылесос массой 3 килограмма на высоту 10 сантиметров за 1 секунду, доставая его с полки шкафа. Потери энергии в механизме робота достигают 50%. Массой руки робота пренебречь.

Решение.

1. Работа, совершаемая силой равна

$$A = FS \text{ или } A = mgS, \text{ тогда: } A = 3 \cdot 9,8 \cdot 0,1 \approx 3 \text{ Дж.}$$

2. Мощность равна

$$N = A/t \text{ или } N = 3/1 = 3 \text{ Вт.}$$

3. Учитывая, что потери равны 50% (или $K=0.5$), то необходима мощность двигателя:

$$N_{\text{д}} = N/K \text{ или } N_{\text{д}} = 3/0,5 = 6 \text{ Вт.}$$

Задача № 1.1.2. Условие. Робот-квадрокоптер (маленький квадратный вертолет с четырьмя винтами в вершинах этого квадрата) используется для фотосъемки местности. Определите, сможет ли такой робот подняться на высоту 1 километр, если его масса равна 4 килограммам, а емкость его электрической батареи составляет 10 Ватт·час.

Решение.

1. Чтобы поднять на такую высоту такой груз необходимо совершить работу равную

$$A = hmg \text{ или } A = 1000 \cdot 4 \cdot 9,8 \approx 39000 \text{ Дж.}$$

2. Емкость батареи согласно размерностям дает мощность 10 Ватт в течение одного часа. За секунду такая батарея может обеспечить выполнение работы 10 Дж ($A = Nt$). В течение часа или 3600 с это может обеспечить выполнение работы $A = 10 \cdot 3600 = 36000$ Дж. Это меньше 39000. Значит такой батареи недостаточно для подъема квадрокоптера на заданную высоту.

Задача № 1.1.3. Условие. Роботы-лошади, предназначенные для переноски грузов, начинают применяться в армии. Общая масса такого робота с грузом 1000 килограммов. Такой робот должен проходить всюду,

в том числе и по обледеневшей дороге. Зная, что коэффициент трения стали по льду равен 0,02, определите максимальную высоту H пологой горы с прямолинейной дорогой, на которую может забраться такой робот, если длина L этой горы вдоль горизонтальной линии равна 1000 метров.

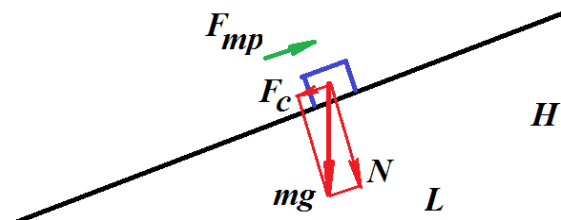


Рис. 1.1. Схема к задаче № 1.1.3

Решение.

1. Робот будет скользить вниз благодаря составляющей его веса F_c . Из подобия треугольников горы и силового треугольника:

$$F_c / N = H / L \text{ или } H = F_c L / N.$$

2. Чтобы он не скользил сила трения $F_{тр}$ должна быть больше или равна F_c . При этом:

$$F_{тр} = \mu N \text{ или } F_c = \mu N.$$

3. Подставим в последнее выражение в первое и получим:

$$H = \mu N L / N = \mu L$$

Окончательно: $H = 0,02 \cdot 1000 = 20 \text{ м.}$

Задача № 1.1.4. Условие. Инженеры решили запустить робота-андроида на околоземную орбиту для ремонта космической станции. Одна из наиболее сложных операций – сверление отверстия в плоскости солнечной батареи. Робот должен упереться носком своей левой ступни в такую плоскость, левой рукой ухватиться за выступ на батарее (расстояние от носка ноги 1 метр), а правую руку вытянуть вдоль линии "носок-выступ" вверх на расстояние 1,5 метра от носка и встроенной в кисть руки дрелью просверлить отверстие в данной плоскости перпендикулярно ей. Какое усилие должна развивать кисть левой руки P_p , если осевое усилие на сверле должно быть не менее $P_c = 60 \text{ Н}$? Какое усилие возникнет на носке левой ноги P_n ?

Решение.

Задача требует знания лишь правила рычага. Основное здесь – разобраться в условии задачи, построить правильную геометрическую расчетную схему.

Расчетная схема по условию задачи приведена ниже. Очевидно, что здесь имеется рычаг. Если принять за точку опоры левую руку (рычаг 1-го рода), то по правилу рычага сила на ноге должна быть равна

$$P_n = 60(0,5/1) = 30\text{ Н.}$$

Если принять за точку опоры ногу (рычаг 2-го рода), то сила на левой руке:

$$P_p = 1 \cdot 60/1,5 = 90\text{ Н.}$$

То же самое можно получить через равенство нулю всех сил:

$$P_p = 60 + 30 = 90\text{ Н.}$$

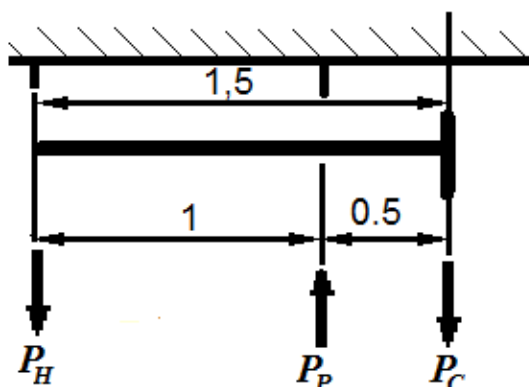


Рис. 1.2. Схема к задаче № 1.1.4

Задача № 1.1.5. Условие. Инженеры решили запустить робота-андроида на околоземную орбиту для ремонта космической станции. Одна из операций – закручивание винта на плоскости солнечной батареи. Робот должен левой рукой ухватиться за выступ на батарее, а правой рукой закрутить винт гаечным ключом. Расстояние между выступом и осью винта 0,5 метра. Длина ручки ключа от оси винта до середины рукоятки 20 сантиметров. Какой максимальный момент сил должен развивать руками робот, если крутящий момент для окончательного затягивания винта равен $M_{кр} = 10\text{ Н} \cdot \text{м}$?

Решение.

Задача требует знания понятия *крутящий момент*. Расчетная схема по условию задачи приведена ниже. Очевидно, что здесь имеется соотношение моментов сил. Так как максимальный момент затяжки винта равен $M_{кр} = 10 \text{ Н} \cdot \text{м}$, то усилие на середине рукоятки ключа будет:

$$P_p = 10 \cdot 1 / 0,2 = 50 \text{ Н}.$$

Момент сил, создаваемый руками робота, равен произведению величины силы P_p на плечо. Очевидно, что при одной и той же силе максимальный момент будет при максимальном плече. Это будет лишь в случае, когда рукоятка ключа относительно оси винта отведена в противоположную сторону от выступа с левой рукой. Тогда плечо будет равно $0,5 + 0,2 = 0,7 \text{ м}$. Соответственно, момент будет равен $0,7 \cdot 50 = 35 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

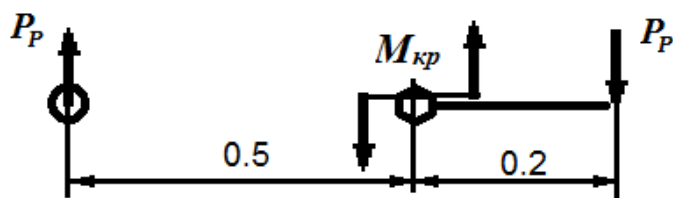


Рис. 1.3. Схема к задаче № 1.1.5

Задача № 1.1.6. Условие. Инженеры решили запустить робота-андроида на околоземную орбиту для ремонта космической станции. Одна из операций – сжатие телескопической антенны. Робот должен левой рукой ухватиться за выступ крепления антенны к станции, а правой рукой тянуть трос, который переброшен через блок, закрепленный на противоположном конце антенны. После блока этот трос направлен в обратную сторону и его конец закреплен на указанном выше выступе крепления антенны. Какое усилие робот должен прикладывать к данному выступу антенны, чтобы сжать ее на $\Delta L = 0,1$ метра? Учтите, что эта антенна была первоначально вытянута пружиной с постоянным коэффициентом жесткости $k = 100 \text{ Н/м}$.

Решение.

Задача требует знания понятия *подвижный блок* и понятия *жесткость пружины*. Основное – разобраться в условии задачи, понять, что данный блок относится в этой задаче к подвижным блокам. Расчетная схема по условию задачи приведена ниже. Так как блок на противоположном конце антенны подвижный, то сила, приложенная к концу троса, вдвое меньше усилия на оси этого блока. Усилие на оси блока должно быть равным усилию сжатия пружины. По закону Гука:

$$F_{np} = \Delta Lk \quad \text{или} \quad F_{np} = 100 \cdot 0,1 = 10 \text{ Н.}$$

Усилие на тросе тогда должно быть из-за блока равным $P_p = 5 \text{ Н.}$



Рис. 1.4. Схема к задаче № 1.1.6

Задача № 1.1.7. Условие. Части рук промышленных роботов могут удлиняться за счет применения гидроцилиндров. При проектировании такой руки необходимо произвести силовой расчет. Требованиями установлено, что гидроцилиндром руки робот должен поднять вверх на расстояние $h=10 \text{ см}$ груз массой $M=1 \text{ кг}$. Определить давление P жидкости в рабочей полости гидроцилиндра, если сила трения между поршнем и внутренней стенкой этого гидроцилиндра равна $F_m = 1,5 \text{ Н}$. Для возврата поршня в исходное состояние используется пружина жесткостью $k=10 \text{ Н/м}$, которая при этом разжимается не до конца, а именно, остается еще 5 см . Диаметр поршня $D=8 \text{ см}$, масса поршня и штока $m=200 \text{ гр}$. Масса цилиндра $F_{ц} = 300 \text{ гр}$. Ускорение свободного падения принять $g=10 \text{ м/с}^2$. Ответ округлить до первых двух значащих цифр.

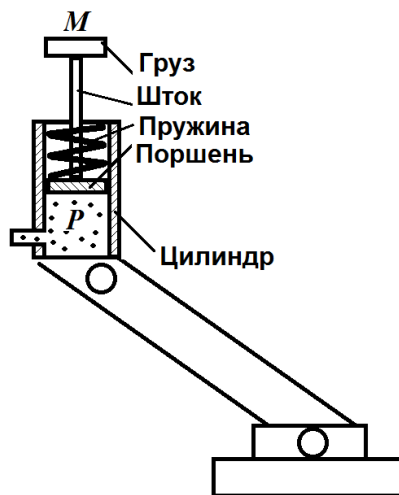


Рис. 1.5. Схема к задаче № 1.1.7

Решение.

Задача требует знания первого закона Ньютона (сумма проекций всех сил на ось равна нулю) и расчет сил через давление и сжатие пружины. В системе действуют силы: вес груза, вес штока с поршнем, сила трения,

сила от пружины и сила от действия жидкости. Сумма всех сил с учетом знаков должна быть равна нулю. Тогда силы равны:

- вес груза: $P_1 = Mg$ или $P_1 = 1 \cdot 10 = 10 \text{ Н}$;
- вес штока с поршнем: $P_2 = mg$ или $P_2 = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ Н}$;
- сила трения: $F_m = 1,5 \text{ Н}$;
- сила от пружины: $F_n = k(h + h_{\text{ост}})$ или $F_n = 10(0,1 + 0,05) = 1,5 \text{ Н}$.
- сила от жидкости: $F_{\text{жс}} = PS$, где $S = \pi D^2 / 4$ или
 $F_{\text{жс}} = \pi \cdot 0,08^2 / 4 = 0,005P$.

Сумма сил с учетом их знака (ось направим вниз):

$$P_1 + P_2 + F_m + F_n = F_{\text{жс}} \text{ или } P = (P_1 + P_2 + F_m + F_n) / 0,005,$$

откуда: $P = (10 + 2 + 1,5 + 1,5) / 0,005 = 3000 \text{ Па}$.

Примечание. Масса цилиндра, приведенная в условии, является лишней.

Задача № 1.1.8. Условие. Части рук промышленных роботов могут удлиняться за счет применения гидроцилиндров. При проектировании такой руки необходимо произвести силовой расчет. Требованиями установлено, что гидроцилиндром руки робот должен подбросить вверх с ускорением 1 м/с^2 груз массой $M=1 \text{ кг}$. Определить давление P жидкости в рабочей полости гидроцилиндра, если диаметр поршня $D=8 \text{ см}$, масса поршня и штока $m=200 \text{ гр}$. Масса цилиндра $M_{\text{ц}}=300 \text{ гр}$. Ускорение свободного падения принять $g=10 \text{ м/с}^2$. Инертностью и массой жидкости пренебречь. Ответ округлить до первых двух значащих цифр.

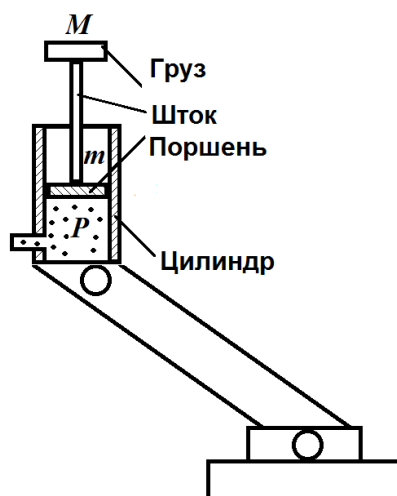


Рис. 1.6. Схема к задаче № 1.1.8

Решение.

Задача требует знания первого и второго законов Ньютона (сумма проекций всех сил на ось равна нулю, сила равна произведению массы на ускорение) и расчет сил через давление и ускорение. В системе действуют силы: вес груза, вес штока с поршнем, сила инерции от груза и штока с поршнем и сила от действия жидкости. Сумма всех сил с учетом знаков должна быть равна нулю. Тогда силы равны:

- вес груза: $P_1 = Mg$ или $P_1 = 1 \cdot 10 = 10 \text{ Н}$;
- вес штока с поршнем: $P_2 = mg$ или $P_2 = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ Н}$;
- сила инерции: $F_u = (M + m)a$ или $F_u = (1 + 0,2) \cdot 1 = 1,2 \text{ Н}$;
- сила от жидкости: $F_{жс} = PS$, где $S = \pi D^2 / 4$ или
 $F_{жс} = \pi \cdot 0,08^2 / 4 = 0,005P$.

Сумма сил с учетом их знака (ось направим вниз):

$$P_1 + P_2 + F_u = F_{жс} \text{ или } P = (P_1 + P_2 + F_u) / 0,005,$$

откуда: $P = (10 + 2 + 1,2) / 0,005 = 2600 \text{ Па}$.

Примечание. Масса цилиндра, приведенная в условии, является лишней.

Задача № 1.1.9. Условие. Части рук промышленных роботов могут удлиняться за счет применения гидроцилиндров. При проектировании такой руки необходимо произвести силовой расчет. Требованиями установлено, что гидроцилиндром руки робот (рис. 1.7) должен за $t=10$ секунд поднять вверх на расстояние $h=10\text{см}$ груз массой $M=1\text{кг}$. Определить мощность двигателя насоса, который подает жидкость в рабочую полость, если сила трения между поршнем и внутренней стенкой этого гидроцилиндра равна $F_m=1,5\text{Н}$. Диаметр поршня $D=8\text{см}$, масса поршня и штока $m=200\text{гр}$. Давление P жидкости в рабочей полости гидроцилиндра 1000МПа . Ускорение свободного падения принять $g=10\text{м/с}^2$. Всеми потерями в системе и всеми инерционными силами пренебречь. Ответ округлить до первых двух значащих цифр.

Решение.

Задача требует знания закона сохранения энергии и расчет сил через давление.

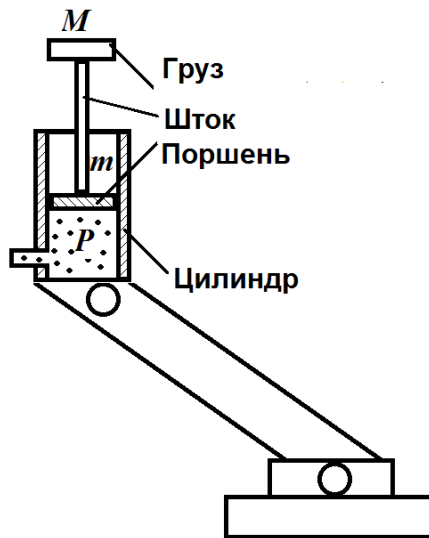


Рис. 1.7. Схема к задаче № 1.1.9

В системе действуют силы: вес груза, вес штока с поршнем и сила от действия жидкости. Силы равны:

- вес груза: $P_1 = Mg$ или $P_1 = 1 \cdot 10 = 10 \text{ Н}$;
- вес штока с поршнем: $P_2 = mg$ или $P_2 = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ Н}$;
- сила трения: $F_m = 1,5 \text{ Н}$;

Сумма сил с учетом их знака (ось направим вниз):

$$F = P_1 + P_2 + F_m.$$

Работа этих сил: $A = Fh$ и мощность: $N = A/t$.

Тогда: $N = (10 + 2 + 1,5) \cdot 0,1/10 = 0,135 \text{ Вт}$.

Примечание. Давление и диаметр поршня, приведенные в условии, являются лишними.

Задача № 1.1.10. Условие. Фрагмент исполнительного органа промышленного робота состоит из плеча АВ и локтя ВЕ (рис. 1.8). Поворот локтя относительно точки В плеча осуществляется за счет гидроцилиндра CD, шток которого вместе с поршнем G может подниматься вверх, уменьшая размер CD. Площадь поршня в верхней полости гидроцилиндра $S=1000\text{мм}^2$. Размеры элементов исполнительного органа: длина плеча АВ равна $Q=700\text{мм}$, длина локтя ВЕ равна $L=300\text{мм}$, длина гидроцилиндра $H=500\text{мм}$, диаметр цилиндрического штока гидроцилиндра равен $d=10\text{мм}$, длина штока DG гидроцилиндра равна

$h=400$ мм. Расстояние от точки В поворота локтя до точки D крепления штока гидроцилиндра к локтю равно $X=100$ мм. В точке E у робота имеется схват для поднятия груза массой m . Плечо ACB и локоть BE считаются абсолютно жесткими. Массой всех устройств робота пренебречь. Определите максимальную массу груза, который сможет поднять робот, если давление масла в гидроцилиндре в нижней его полости под поршнем равно $P=100000$ Па.

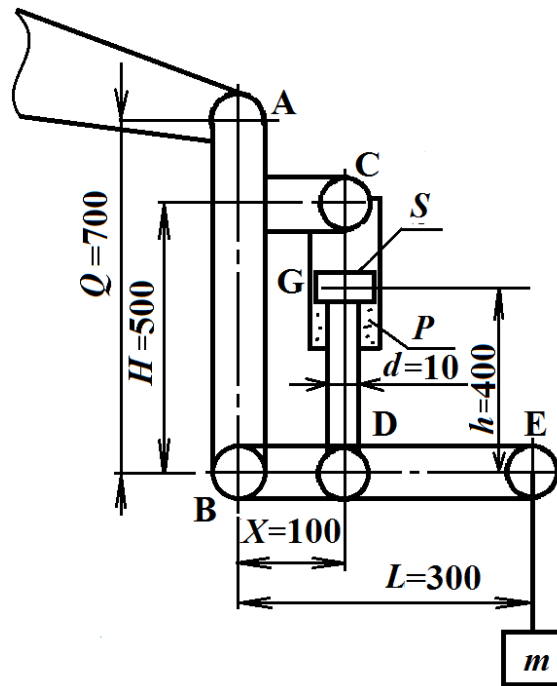


Рис. 1.8. Схема к задаче № 1.1.10

Решение. В данном случае имеем рычаг BE с точкой поворота В. Сила в точке E равна $F_E = mg \approx 10m$. Поскольку соотношение плеч рычага $300/100$, то сила поршня в точке D должна быть $F_D = (300/100) \cdot 10m$. Сила на поршне от давления в нижней полости равна:

$$F_D = P(S - s), \quad \text{где} \quad \text{площадь} \quad \text{сечения}$$

штока $s = \pi d^2 / 4 = \pi \cdot 100 / 4 = 78,5 \text{ мм}^2$

$$\text{или } S - s = 1000 - 78,5 = 921,5 \text{ мм}^2.$$

Выразим значения в системе СИ: $S - s = 0,0009215 \text{ м}^2$. Тогда сила $F_D = 92,15 \text{ Н}$. Максимальная масса груза:

$$m = 100F_D / 3000 = 92,15 / 30 = 3,07 \text{ кг}.$$

Задача № 1.1.11. Условие. Фрагмент исполнительного органа промышленного робота состоит из плеча АВ и локтя ВЕ (рис. 1.9). Поворот локтя относительно точки В плеча осуществляется за счет гидроцилиндра СК, шток которого вместе с поршнем G может опускаться вниз, увеличивая размер СК. Диаметр круглого поршня $D=35.7\text{мм}^2$. Размеры элементов исполнительного органа: длина плеча АВ равна $Q=700\text{мм}$, длина локтя ВЕ равна $L=300\text{мм}$, длина гидроцилиндра $H=500\text{мм}$, диаметр цилиндрического штока гидроцилиндра равен $d=10\text{мм}$, длина штока GK гидроцилиндра равна $h=400\text{мм}$. Расстояние от точки В поворота локтя до точки К крепления штока гидроцилиндра к локтю равно $X=100\text{мм}$. В точке Е у робота имеется рабочий орган в виде дрели со сверлом общей массой $m=1\text{кг}$. Вертикальное усилие на сверло равно F . Плечо АСВ и локоть ВЕ считаются абсолютно жесткими. Массой всех остальных устройств робота, кроме дрели и сверла пренебречь. Определите максимальную силу F на сверле, которую сможет развить робот, если давление масла в гидроцилиндре в верхней его полости над поршнем равно $P=100000\text{Па}$. Как изменится величина этой силы, если диаметр штока d гидроцилиндра увеличить в 2 раза.

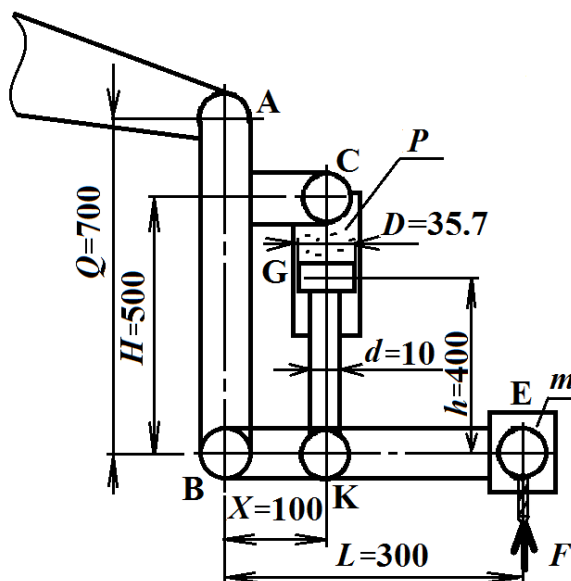


Рис. 1.9. Схема к задаче № 1.1.11

Решение. В данном случае имеем рычаг ВЕ с точкой поворота В. Сила в точке Е равна: $F_E = F - mg \approx F - 10m$, где F – сила на сверле. Поскольку соотношение плеч рычага $300/100$, то сила поршня в точке К должна быть $F_K = (300/100)(F - 10m) = 3(F - 10)\text{Н}$. Сила на поршне от давления в верхней полости равна:

$$F_D = PS = P(\pi D^2 / 4), \text{ или } F_D = 100000(\pi 35,7^2 / 4) = 100 \text{ Н.}$$

Максимальная сила будет равна: $F = 33,3 + 10 = 43,3 \text{ Н.}$ При увеличении диаметра штока d гидроцилиндра в 2 раза величина искомой силы не изменится.

Задача № 1.1.12 (8–9 классы). Условие. Для расчета жесткости руки промышленного робота, который сверлит отверстия в композитном кузове гоночного автомобиля, необходимо рассчитать крутящий момент на специальном сверле. Прямолинейные режущие кромки сверла АВ и ВС (рис.1.10) расположены симметрично и перпендикулярно его продольной оси ВD. Каждая режущая кромка испытывает равномерно распределенную по ее длине нагрузку – силу резания. Можно принять, что вся нагрузка направлена перпендикулярно плоскости АСD: на левой кромке нагрузка направлена вниз (от зрителя), а на правой кромке, аналогично, вверх (к зрителю). Данную нагрузку можно рассматривать как равномерное давление, распределенное по всей длине указанных кромок и на ширину 1 мм в направлении ВD (для наглядности на правой кромке область действия сил показана штриховкой). Давление равно $P=10\text{Н/мм}^2$. Обе эти распределенные нагрузки создают крутящий момент относительно вертикальной оси ВD вращения сверла. Удельная теплоемкость стали $C_C = 400\text{Дж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$. Размеры сверла: длина $L=100\text{мм}$, диаметр $d=8\text{мм}$. Масса стального сверла $m=20$ граммов. Частота вращения сверла $\omega=600\text{об/мин}$. Требуется рассчитать крутящий момент M вокруг указанной оси ВD сверла. Определите изменение величины указанного крутящего момента M при увеличении длины сверла L в два раза. Определите, насколько увеличится температура всего сверла как результат работы сил резания через 20 секунд его работы.

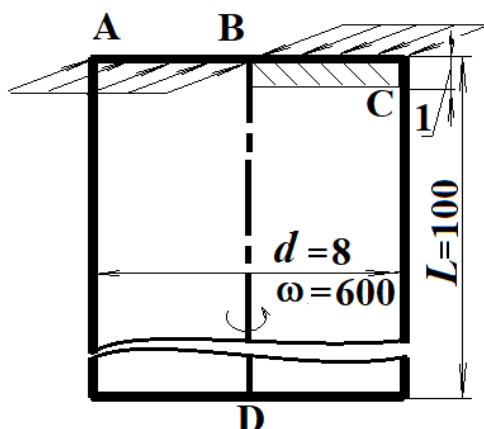


Рис. 1.10. Схема к задаче № 1.1.12

Решение. Крутящий момент можно рассчитать от действия двух результирующих сил, действующих на двух кромках. Результирующая сила от давления на каждой кромке равна:

$$F = PS \text{ или } F = 10 \cdot 4 \cdot 1 = 40 \text{ Н.}$$

Точка приложения силы находится посередине фигуры, на которую приложено давление (прямоугольник 4 мм на 1 мм) Тогда плечо силы $R=2$ мм. Крутящий момент на двух кромках:

$$M = 2RF \text{ или } M = 2 \cdot 0,002 \cdot 40 = 0,16 \text{ Нм.}$$

При увеличении длины сверла в 2 раза крутящий момент не изменится.

Поскольку по условию задачи нагрев сверла произошел от работы сил резания, то вся их работа перешла в тепло. Работа одной силы:

$$A = FL,$$

где L – путь силы, направленной вдоль траектории движения. Результирующая сила резания направлена по касательной к окружности, которая образуется вращением точки приложения этой силы на кромке сверла. За один оборот сверла точка пройдет путь:

$$L_1 = \pi d \text{ или } L_1 = 4\pi = 12,56 \text{ мм.}$$

За 20 секунд сверло совершит 200 оборотов. Тогда работа обеих сил равна:

$$A = 2 \cdot L_1 \cdot 200 \cdot F = 2 \cdot 12,56/1000 \cdot 200 \cdot 40 = 200 \text{ Дж.}$$

Нагрев сверла:

$$Q = C_C m(T_2 - T_1) = A, \text{ откуда: } T_2 - T_1 = A/(C_C m) \text{ или } T_2 - T_1 = 25^\circ \text{C.}$$

Задача № 1.1.13 (8–9 классы). Условие. В композитном корпусе гоночного автомобиля первый робот просверлил отверстия диаметром 4 мм. Второй робот рассверливает эти отверстия до диаметра 8 мм. Для расчета жесткости руки такого второго промышленного робота необходимо рассчитать крутящий момент на специальном сверле. Прямолинейные кромки сверла АВ и CD (рис. 1.11) расположены симметрично и перпендикулярно его продольной оси EF. Каждая режущая кромка испытывает равномерно распределенную по ее длине нагрузку – силу резания на участках, соответственно, АВ и CD. Можно принять, что вся нагрузка направлена перпендикулярно плоскости ADF: на левой

кромке нагрузка направлена вниз (от зрителя), а на правой кромке, аналогично, вверх (к зрителю). Данную нагрузку можно рассматривать как равномерное давление, распределенное по всей указанной длине кромок и на ширину 1 мм в направлении EF (для наглядности на правой кромке область действия сил показана штриховкой). Давление равно $P=10\text{Н/мм}^2$. Обе эти распределенные нагрузки создают крутящий момент относительно вертикальной оси EF вращения сверла. При помощи тепловизора определили, что в процессе работы все сверло равномерно нагрелось с 20 до 40 градусов. Удельная теплоемкость стали 400 Дж/(кг °С). Размеры сверла: длина $L=100$ мм, диаметр $D=8$ мм. Масса стального сверла $m=20$ граммов. Частота вращения сверла $\omega=600$ об/мин. Требуется рассчитать крутящий момент M вокруг указанной оси EF сверла. Определите, сколько времени сверлил данный инструмент в процессе указанного изменения температуры.

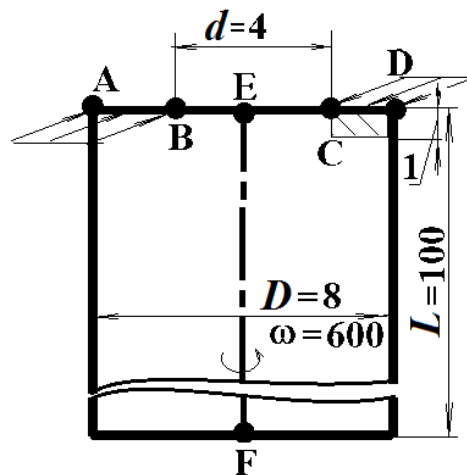


Рис. 1.11. Схема к задаче № 1.1.13

Решение. Крутящий момент можно рассчитать от действия двух результирующих сил, действующих на двух кромках. Так как рассверливалось отверстие от 4 до 8 мм, то участки кромки под нагрузкой имеют длину по 2 мм. Результирующая сила от давления на каждой кромке равна:

$$F = PS \text{ или } F = 10 \cdot 2 \cdot 1 = 20 \text{ Н.}$$

Точка приложения силы находится посередине фигуры, на которую приложено давление (прямоугольник 2 мм на 1 мм) Тогда плечо силы будет 3 мм. Крутящий момент на двух кромках:

$$M = 2RF \text{ или } M = 2 \cdot 0,003 \cdot 20 = 0,12 \text{ Нм.}$$

Поскольку по условию задачи нагрев сверла произошел от сил резания, то вся их работа перешла в тепло.

Нагрев сверла:

$$Q = C_c m(T_2 - T_1) = A, \text{ откуда: } A = 400 \cdot 0,02 \cdot 20 = 160 \text{ Дж.}$$

Работа двух сил:

$$A = 2 \cdot F \cdot L,$$

где L – путь силы, направленной вдоль траектории движения. Результирующая сила резания направлена по касательной к окружности, которая образуется вращением точки приложения этой силы на кромке сверла. За один оборот сверла точка пройдет путь:

$$L_1 = \pi d \text{ или } L_1 = 6\pi = 18,84 \text{ мм.}$$

При частоте 600 об/мин за время t (в минутах) будет пройден путь:

$$L_t = L_1 \cdot 600 \cdot t, \text{ тогда: } A = 2 \cdot 20 \cdot L_1 \cdot 600 \cdot t,$$

откуда: $t = 160 / (40 \cdot 600(18,84/1000)) = 0,354$ мин или это равно: 21,24 с.

Задача № 1.1.14 (7 класс). Условие. Компьютеризированный токарный станок состоит из трех частей в виде прямоугольных параллелепипедов: станины (1), коробки с электродвигателями (2) и суппорта (3). Суппорт (3) может перемещаться вправо и влево, скользя по станине (1). Такое скольжение обеспечивается вращением винта (4) от закрепленного в коробке (2) электродвигателя. На винт (4) свободно навинчена гайка (5), жестко закрепленная в суппорте (3). Таким образом, вращение винта (4) приводит к перемещению гайки (5) и связанного с ней суппорта (3) вправо и влево. В данный момент времени расстояние от гайки (5) до торца коробки (2) равно $L=1000$ мм. Все детали станка являются абсолютно жесткими, за исключением упругого винта. На суппорте сверху жестко закреплен резцедержатель (6) массой $m=10$ кг. Компьютер по программе дает команду двигателю повернуть винт (4) и, таким образом, переместить суппорт (3) с гайкой (5) вправо на расстояние $S=2$ мм. На какое расстояние ΔS на самом деле переместится суппорт с гайкой, если продольная жесткость винта (4) на указанном расстоянии L равна $k=10000$ Н/мм? Масса

суппорта (3) равна $M_c=90$ кг, коэффициент трения суппорта о станину $\mu=0.1$. Ускорение свободного падения принять равным $g=10\text{м/с}^2$.

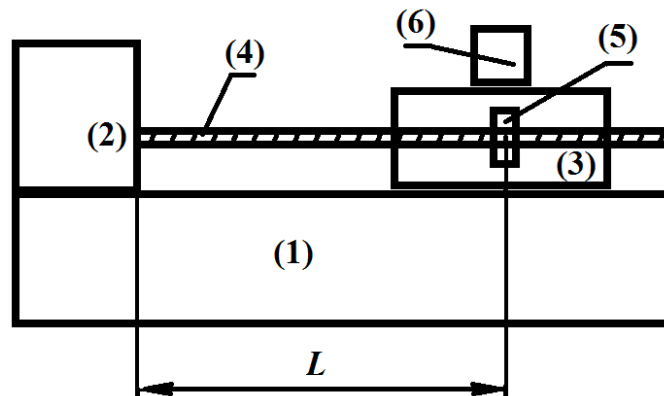


Рис. 1.12. Схема к задаче № 1.1.14

Решение. Команда от компьютера – переместить суппорт (3) на расстояние $S=2$ мм. Такое перемещение обеспечивает сила F воздействия винта (4) на гайку (5). Однако сказано, что винт станка упругий. На винт действует от гайки та же самая сила F , которая будет сжимать винт.

Согласно закону Гука винт в правой точке сожмется на расстояние:

$$x = F / k .$$

Сила F определяется сопротивлением суппорта перемещению вправо. Такая сила будет равна силе трения суппорта (3) о станину (1) $F_{тр}=F$. Сила трения определяется от силы нормального давления N :

$$F_{тр} = \mu N .$$

Нормальная сила N равна весу суппорта и резцедержателя:

$$N = (M_c + m)g .$$

Тогда сжатие винта равно:

$$x = \mu(M_c + m)g / k \text{ или } x = 0,1(90 + 10) \cdot 10 / 10000 = 0,01 \text{ мм.}$$

Следовательно, на самом деле суппорт переместится вправо на расстояние:

$$\Delta S = S - x \text{ или } \Delta S = 2 - 0,01 = 1,99 \text{ мм.}$$

Задача № 1.1.15 (7 класс). Условие. Компьютеризированный фрезерный станок состоит из трех частей в виде прямоугольных параллелепипедов: станины (1), коробки с электродвигателями (2) и стола с заготовкой (3). Стол (3) может перемещаться вверх и вниз, скользя по станине (1). Такое скольжение обеспечивается вращением винта (4) от закрепленного в коробке (2) электродвигателя. На винт (4) свободно навинчена гайка (5), жестко закрепленная в столе (3). Таким образом, вращение винта (4) приводит к перемещению гайки (5) и связанного с ней стола (3) вверх и вниз. В данный момент времени расстояние от гайки (5) до торца коробки (2) равно $L=100\text{мм}$. Все детали станка являются абсолютно жесткими, за исключением упругого винта. На заготовку, закрепленную на столе (3), действует от инструмента горизонтальная сила величиной $P=100\text{Н}$. Компьютер по программе дает команду двигателю повернуть винт (4) и, таким образом, переместить стол (3) с гайкой (5) вверх на расстояние $H=1\text{мм}$. На какое расстояние ΔH на самом деле переместится суппорт с гайкой, если продольная жесткость винта (4) на указанном расстоянии L равна $k=20000\text{Н/мм}$? Масса стола (3) с заготовкой равна $M_c=100\text{кг}$, коэффициент трения суппорта о станину $\mu=0.2$. Ускорение свободного падения принять равным $g=9.8\text{ м/с}^2$.

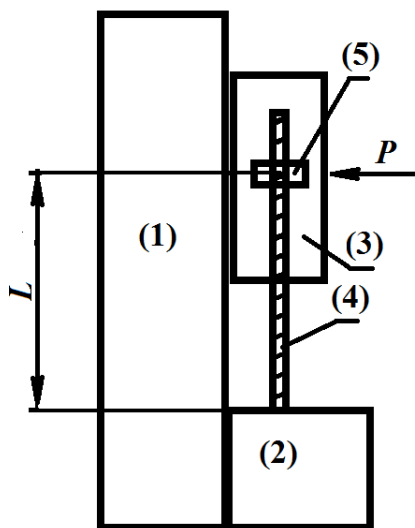


Рис. 1.13. Схема к задаче № 1.1.15

Решение. Команда от компьютера – переместить суппорт (3) на расстояние $H=1\text{ мм}$. Такое перемещение обеспечивает сила F воздействия винта (4) на гайку (5). Однако сказано, что винт станка упругий. На винт

действует от гайки та же самая сила F , которая будет сжимать винт. Согласно закону Гука винт в верхней точке сожмется на расстояние:

$$x = F / k .$$

Сила F определяется сопротивлением суппорта перемещению вверх. Такая сила будет равна силе трения суппорта (3) о станину (1) $F_{тр} = F$ и весу стола с заготовкой $M_c g$. Сила трения определяется от силы нормального давления N :

$$F_{тр} = \mu N .$$

Нормальная сила N равна силе P . Тогда сжатие винта равно:

$$x = (\mu P + M_c g) / k \text{ или } x = (0,2 \cdot 100 + 100 \cdot 9,8) / 20000 = 0,05 \text{ мм.}$$

Следовательно, на самом деле суппорт переместится вверх на расстояние:

$$\Delta H = H - x \text{ или } \Delta H = 1 - 0,05 = 0,95 \text{ мм.}$$

Задача № 1.1.16 (8–9 класс). Условие. Современные компьютеризированные пяти-координатные фрезерные станки имеют пятую координату – поворот круглого стола в вертикальной плоскости (рис. 1.14, а). На круглом поворотном столе (1), на его рабочей плоскости закрепляется кубическая заготовка (2). Размер стороны куба $H=200$ мм. Диаметр стола $D=800$ мм, Расстояние от горизонтальной оси поворота O стола до его опорной плоскости $L=300$ мм. После поворота стола вокруг точки O на 90 градусов по часовой стрелке заготовка оказывается слева (рис. 1.14, б). В этот момент начинается обработка, и стол от поворота фиксируется прижимом (3) гидроцилиндра (6). При фиксации поршень (5) площадью $S=10000$ мм² со штоком (4) и прижимом (3) перемещаются влево. Перемещение обеспечивается давлением масла в полости (7). Каково должно быть давление P в такой полости (7) для удержания заготовки со столом, если коэффициент трения между прижимом и диском стола равен $\mu=0,1$? Ускорение свободного падения принять равным $g=10$ м/с². Плотность материала заготовки $\rho=5$ г/см³.

Решение. Чтобы стол не повернулся под действием веса заготовки, момент силы трения должен уравновесить момент от веса заготовки:

$$Mg(L - H / 2) = F_{тр} (D/2), \text{ где } F_{тр} = \mu F \text{ и } F = SP .$$

Таким образом:

$$P = [Mg(L - H / 2) / (D/2) / \mu] / S.$$

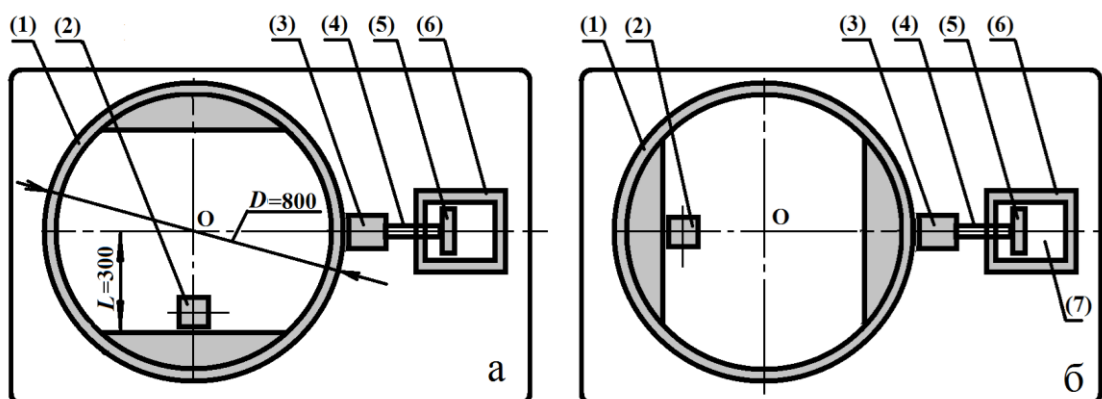


Рис. 1.14. Схема к задаче № 1.1.16

Поскольку масса кубической заготовки $M = \rho H^3$, то:

$$P = [\rho H^3 g(L - H / 2) / (D/2) / \mu] / S.$$

Подставив значения параметров, получим:

$$P = [0,005 \cdot 20^3 \cdot 10(300 - 100) / 400 / 0,1] / 0,01 = 200000 \text{ Па.}$$

Задача № 1.1.17 (8–9 класс). Условие. Современные компьютеризированные пяти-координатные фрезерные станки имеют четвертую координату – поворот круглого стола в горизонтальной плоскости. На круглом поворотном столе (1) на его рабочей плоскости закрепляется кубическая заготовка (2). Размер стороны куба $H=200$ мм. Диаметр стола $D=1000$ мм. Расстояние от вертикальной оси поворота O стола до его опорной плоскости $L=400$ мм. В какой-то момент начинается обработка. На центр заготовки от инструмента – метчика (8), действует горизонтальная сила R . Величина этой силы определяется компенсаторной пружиной (9) жесткостью $k=1000$ Н/мм. Ее левый конец соединен с метчиком, а правый с инструментальным шпинделем (10). Шпиндель переместился влево и сжал эту пружину на $\Delta=0,1$ мм. В этот момент обработки стол от поворота фиксируется прижимом (3) гидроцилиндра (6). При фиксации поршень (5) со штоком (4) и прижимом (3) перемещаются к оси O . Перемещение обеспечивается давлением масла на поршень в полости (7). Давление масла равно $P=100$ кПа. Коэффициент трения между прижимом и диском стола равен $\mu=0,2$. Ускорение свободного падения

принять равным $g=10\text{м/с}^2$. Плотность материала заготовки $\rho=2\text{г/см}^3$. Какова должна быть площадь поршня для удержания стола от его поворота, если угол $\alpha=45$ градусов?

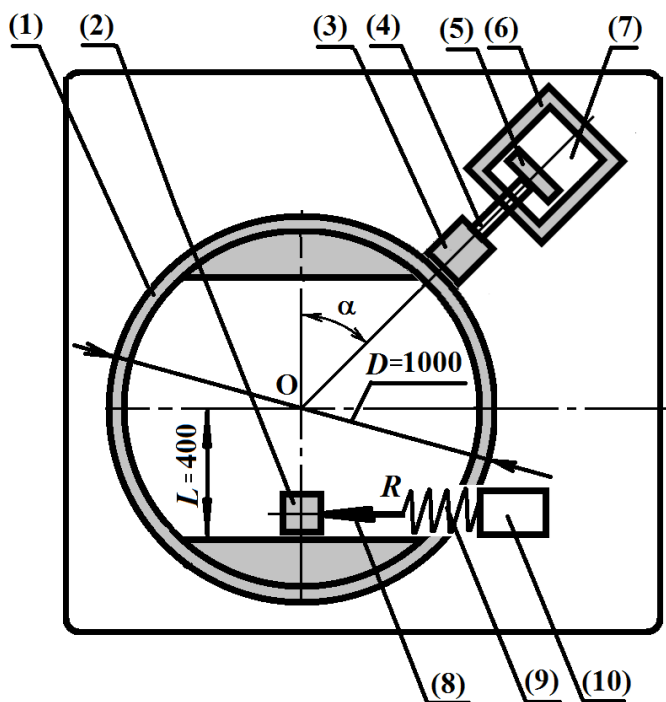


Рис. 1.15. Схема к задаче № 1.1.17

Решение. Чтобы стол не повернулся под действием силы R , момент силы трения должен уравновесить момент от этой силы R :

$$R(L - H / 2) = F_{тр} (D/2), \text{ где } F_{тр} = \mu F \text{ и } F = SP.$$

Сила от пружины $R = k\Delta$.

Таким образом: $S = [k\Delta(L - H / 2) / (D/2) / \mu] / P$.

Подставив значения параметров, получим:

$$S = [1000 \cdot 0,1 \cdot (400 - 100) / 500 / 0,1] / 100000 = 0,006\text{ м}^2 \text{ или } S=6000\text{ мм}^2.$$

1.2. Задачи для учащихся 10–11 классов

Задача № 1.2.1. Условие. Определите максимальную массу цилиндрического шпинделя станка-робота портального типа из условий прочности его стальных вертикальных стержней неполого квадратного

сечения размером 100x100 миллиметров. Размеры стержней даны на рис. 1.16 Крепление сверху шарнирное. Коэффициент запаса прочности принять $K=1,5$.

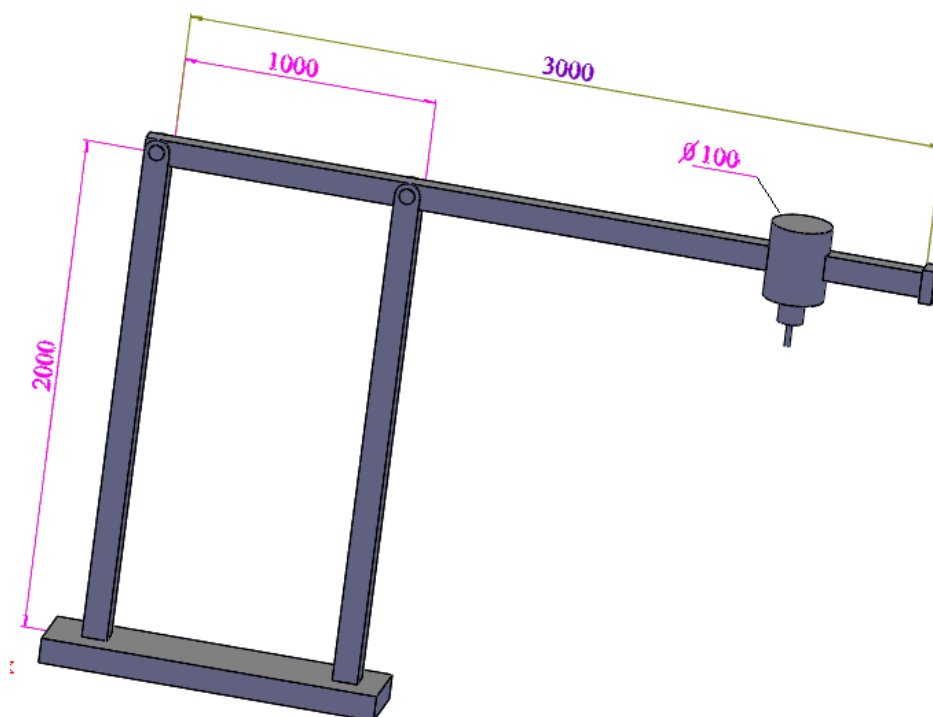


Рис. 1.16. Схема к задаче № 1.2.1

Решение

1. Поскольку крепление шарнирное, и на конструкцию действует лишь вертикальная сила, то вертикальные стержни работают только на растяжение или сжатие.

2. Условие прочности таких стержней $KF/S = [\sigma]$. Для стали $[\sigma] = 5 \cdot 10^8$ Па.

3. Если использовать правило рычага, относительно левой опоры (стержня), то имеется рычаг 2-го рода. Тогда можно рассчитать нагрузку на правом стержне (R): $L_1 R = L_2 mg$.

Здесь $L_1 = 1000$, а $L_2 = (3000 - 100/2) = 2950$. Тогда $m = (L_1 / L_2)(R / g)$.

4. Так как реакция на правой опоре равна силе воздействия на нее, то $R = F = [\sigma]S / K$.

5. Площадь $S = 0.1^2 = 0.01 \text{ м}^2$.

6. Тогда масса: $[m = (1000 / 2950)(5 \cdot 10^8 \cdot 0,01 / 1,5 / 9,8) = 115300 \text{ кг}.$

Задача № 1.2.2. Условие. Звенья рук промышленных роботов (плечи, локти) могут быть, например, квадратного поперечного сечения и быть сплошными. Размеры такого сечения могут быть постоянными по длине

звена, а могут меняться (рис. 1.17). Если полагать, что звено, например, локоть расположено горизонтально и на его конце (в кисти) зажат груз некоторой массы, то в звене в некоторых его точках могут возникнуть максимальные напряжения, которые могут разрушить это звено. Определите в виде формулы закон изменения размера h квадратного поперечного сечения звена в зависимости от расстояния этого сечения до груза L . В качестве условия принять требование, чтобы максимальные напряжения в каждом из сечений звена были бы одинаковыми.

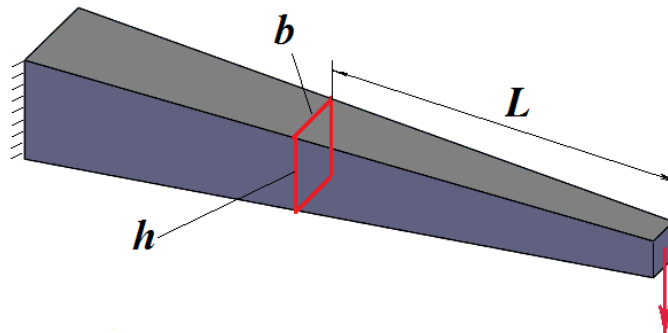


Рис. 1.17. Схема к задаче № 1.2.2

Решение.

1. Формула для расчета напряжений в любом сечении согласно информации из раздаточного материала:

$$\sigma = 6LF / (bh^2).$$

2. Поскольку по условию сечение квадратное, то $\sigma = 6LF / (h^3)$

3. Откуда $h = \sqrt[3]{6F / \sigma \cdot \sqrt[3]{L}}$

Таким образом, размер h имеет зависимость от L как корень третьей степени от этой величины L .

Задача № 1.2.3. Условие. Определить величину смещения конца сверла, установленного в шпинделе на конце руки промышленного робота, в зависимости от действия силы резания на этом сверле, равной 100Н. Все элементы робота выполнены из конструкционной стали. Конструкция и размеры робота приведены на рисунке. Массой всех элементов робота, шпинделя и сверла пренебречь. Длинами всех звеньев робота считать длины, указанные на рис. 1.18. Сечения всех звеньев сплошные и квадратные. Размеры квадратов, соответственно: 100, 80 и 50мм.

Решение.

1. Имеется три стержня, каждый из которых деформируется: третий стержень изгибается, второй изгибается и скручивается и первый

изгибается и сжимается. Необходимо рассчитать все эти деформации последовательно и сложить.

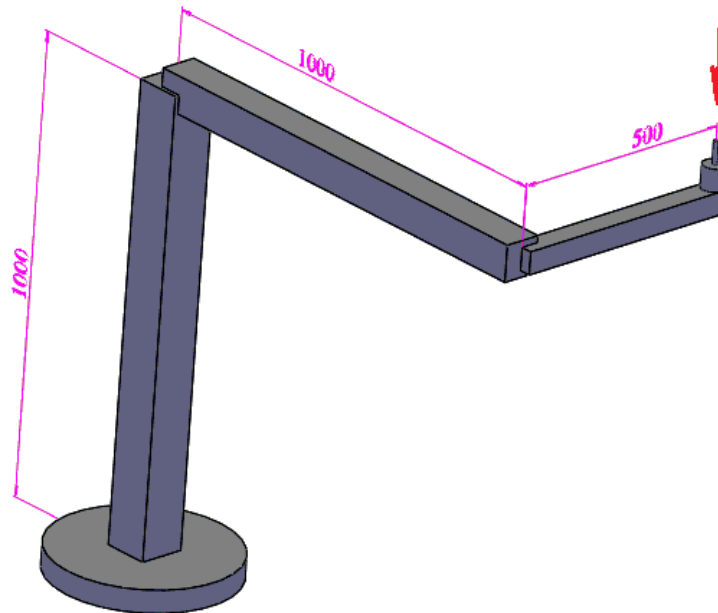


Рис. 1.18. Схема к задаче № 1.2.3

2. Изгиб третьего стержня согласно формулам из раздаточного материала:

$$Y_3 = FL_3^3 / (3EJ_x), \text{ где } J_x = h_3^4 / 12 \text{ и } E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па.}$$

$$Y_3 = 100 \cdot 0,5^3 / (3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,05^4 / 12) = 0,00004 \text{ м.}$$

3. Аналогично изгиб второго стержня (силу от сверла нужно перенести на конец данного стержня и добавить от нее крутящий момент):

$$Y_2 = 100 \cdot 1^3 / (3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,08^4 / 12) = 0,000049 \text{ м.}$$

4. Скручивание второго стержня от крутящего момента рассчитывается по формулам раздаточного материала:

$$\varphi = ML_2 / (GI), \text{ где } M = FL_3, \text{ } I = h^4 / 7 \text{ и } G = 8 \cdot 10^{10} \text{ Па}$$

$$\text{или } \varphi = FL_2L_3 / (Gh^4 / 7), \text{ или } \varphi = 100 \cdot 0,5 \cdot 1 / (8 \cdot 10^{10} \cdot 0,08^4 / 7) = 10^{-4} \text{ рад.}$$

Тогда перемещение конца третьего звена будет равно: $\text{tg}(0,0001 \text{ рад}) \cdot L_3$
или $\text{tg}(0,0001)0,5 = 0,000053 \text{ мм.}$

5. Аналогично изгиб первого стержня. Необходимо перенести силу от сверла на конец этого стержня и приложить момент от этой силы. Изгиб создается таким моментом силы от сверла с плечом, равным диагонали треугольника от двух последних стержней (необходимо применить теорему Пифагора):

$$Y_1 = 100 \cdot \left[\sqrt{0,5^2 + 1^2} \right]^3 / (3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,1^4 / 12) = 0,000028 \text{ м.}$$

6. Сжатие первого стержня рассчитывается по формулам из раздаточного материала: $\Delta L = FL_1 / (ES_1)$ или $\Delta L = 100 \cdot 1 / (2 \cdot 10^{11} \cdot 0,1^2) = 5 \cdot 10^{-8} \text{ м.}$

7. Тогда суммарная деформация:

$$0,000040 + 0,000049 + 0,000053 + 0,000028 + 5 \cdot 10^{-8} = 0,00017 \text{ м или } 0,17 \text{ мм.}$$

Задача № 1.2.4. Условие.

Робот-андроид массой 50 кг испытывается на усталостную прочность. Ему дана команда прыгать на одной ноге (ее масса несоизмеримо мала с массой всего робота). Высота прыжка, измеряемая по голове робота, составляет 5 см. Как долго (в секундах) может прыгать робот в автономном режиме, если для полной зарядки его аккумулятора от электрической сети требуется 0,5 кВт·ч электроэнергии. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 , всеми потерями энергии пренебречь. Время от начала момента приземления робота до момента начала отрыва от земли в момент отталкивания равно 0,2 с.

Решение.

Здесь две части: кинематика и закон сохранения энергии.

При падении тела высота и время связаны зависимостью: $h = 0,5gt^2$.

Поскольку прыжок – это и полет от толчка вверх, то закон движения тот же самый. Итого время на весь прыжок в воздухе:

$$t_g = 2\sqrt{2h/g} \text{ или } t_g = 2\sqrt{2 \cdot 0,05/10} = 2\sqrt{0,01} = 0,2 \text{ с.}$$

По условию время от момент приземления до момента отрыва $t_n = 0,2 \text{ с.}$

Итого общее время на прыжок $t = t_g + t_n = 0,4 \text{ с.}$

Количество прыжков зависит от расхода энергии на один прыжок и количества запасенной в аккумуляторе энергии. Работа на подъем груза массой 50 кг на высоту 5 см равна:

$$A = mgh \text{ или } A = 50 \cdot 10 \cdot 0,05 = 25 \text{ Дж.}$$

Тогда количество прыжков:

$$n = 3600N / A \text{ или } n = 3600 \cdot 500 / 25 = 72000.$$

Тогда общее время прыжков: $t_{\Sigma} = tn$ или $t_{\Sigma} = 0,4 \cdot 72000 = 28800\text{с}$. Это эквивалентно времени 480 минутам или 8 часам.

Задача № 1.2.5. Условие. Робот-андроид массой 50 кг для преодоления препятствия может прыгнуть в высоту, при этом его система управления контролирует отталкивание, обеспечивая постоянную скорость в начале прыжка. Высота прыжка, измеряемая в российской лаборатории робототехники, оценивалась по голове робота и составляла 5 см. Робота планируют запустить на Марс. На какую высоту сможет запрыгнуть робот на этой планете, если масса Марса примерно в 9,35 раз меньше массы Земли, а его радиус примерно в 1,88 меньше земного?

Решение.

Высота прыжка 0,05м определяется по известной формуле

$$h_3 = (V_k^2 - V_0^2) / (2g_3),$$

где $V_k = 0$ – конечная скорость прыжка в высоту;

V_0 – начальная скорость прыжка; g_3 – ускорение свободного падения на Земле.

Откуда:

$$V_0 = \sqrt{2h_3 g_3}.$$

Эта же величина получается и по закону сохранения энергии:

$$mV_0^2 / 2 = mg_3 h_3.$$

Аналогично определяется и высота прыжка на Марсе:

$$h_m = (V_k^2 - V_0^2) / (2g_m).$$

Так как по условию задачи начальная скорость не меняется, то:

$$h_m = (2g_3 h_3) / (2g_m) \text{ или } h_m = g_3 h_3 / g_m.$$

Необходимо рассчитать ускорение свободного падения на Марсе. Формула для расчета общая для всех планет:

$$g = GM/r^2.$$

Так как масса Земли в 9,35 раз больше, а радиус 1.88 раз меньше, то ускорение свободного падения Марса в 2,64 раза меньше земного: $g_3 = 2,64g_m$.

Тогда $h_m = 2,64h_3$ или $h_m = 2,64 \cdot 0,05 = 0,132$ м.

Задача № 1.2.6. Условие. Робот-андроид массой $M=50$ кг должен уметь прыгать вниз с некоторой высоты. В момент приземления робота в двух его ступнях срабатывают, соответственно, две амортизирующие пружины с постоянной жесткостью по $k=100000$ Н/м каждая. Масса ступней и пружин несоизмеримо мала по сравнению с массой робота. Такие пружины могут сжиматься максимум на $h=0.05$ метра. С какой высоты может спрыгнуть такой робот? Ускорение свободного падения принять 10 м/с².

Решение.

Воспользуемся законом сохранения энергии. При падении вниз с высоты H потенциальная энергия равна:

$$P_T = MgH,$$

где принято, что $g=10$ м/с².

В момент приземления пружина сожмется на величину h , при этом две таких пружины запасут энергию сжатия: $P_{II} = 2kh^2/2$. Таким образом, высота определится из зависимости: $MgH = 2kh^2/2$. Но здесь нужно учесть, что потенциальная энергия рассчитывается по перемещению центра тяжести робота. А это не только высота, с которой прыгает робот H , но и перемещение его центра масс в момент сжатия практически невесомых пружин h . Таким образом, потенциальная энергия изменится больше:

$$Mg(H + h) = 2kh^2/2.$$

Откуда: $H = 2kh^2/(Mg) - h$

или $H = 100000 \cdot 0,05^2 / (50 \cdot 10) - 0,05 = 0,45$ м.

Задача № 1.2.7. Условие. Одна из компоновочных схем машин аддитивных технологий, включающих, например, 3D принтеры напоминает прямоугольный аквариум. В верхней части имеется горизонтально расположенная прямоугольная рамка с вершинами ABCD. Рамка поднимается, соответственно четырьмя вертикальными винтами V1, V2, V3, V4 оси Z которых пересекают указанные выше вершины. Вдоль стороны BC рамки, в направлении оси Y винтом V5 по направляющим перемещается поперечная планка EF. Вращает этот винт двигатель M1. На планке EF установлен свой двигатель M2 с винтом V6, вращение которого перемещает вдоль оси X этой планки экструдер массой $M_э = 100$ гр. Планка EF не может приблизиться к сторонам AB и CD ближе, чем на 10 см. Экструдер не может приблизиться к сторонам AD и BC ближе, чем на 10 см. Оба двигателя M1 и M2 расположены вне рамки ABCD на расстоянии 10 см. Рассчитать вертикальную силу, действующую на наиболее нагруженный винт в одном из возможных положений экструдера, если известно, что размер рамки AD=60 см, размер рамки AB=40 см. Масса каждого из двигателей 100 гр. Массами всех остальных деталей и размерами их поперечных сечений пренебречь. Действием изгибных моментов всех винтов пренебречь. Ускорение свободного падения принять $g=10$ м/с².

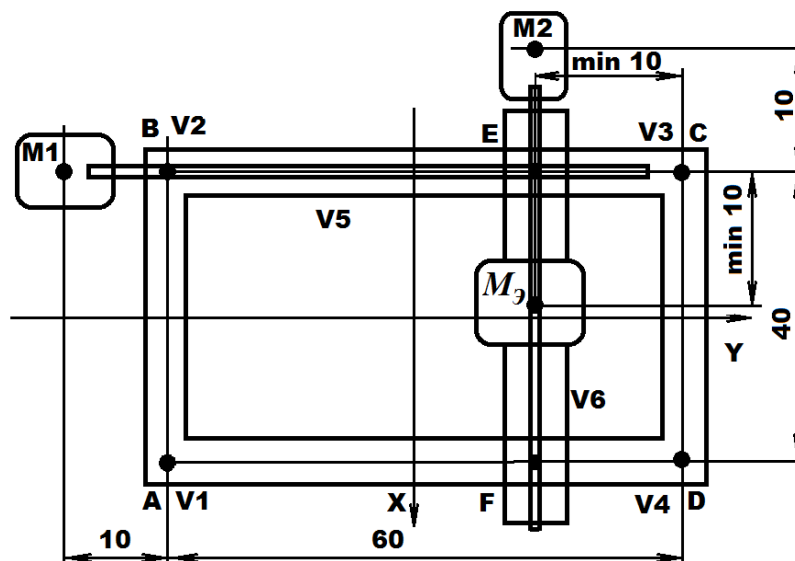


Рис. 1.19. Схема к задаче № 1.2.7

Решение.

В этой задаче нужно разобраться в расчетной схеме, понять инженерную составляющую задачи. Далее правильно применить правило рычага.

Очевидно, что наиболее нагруженным станет вертикальный стержень V2 в точке В, поскольку массы M1 и M2 оказывают наибольшее действие сжатия именно на этот стержень. Их действие усилится, когда планка EF перейдет в крайнее левое положение и экструдер переместится в крайнее верхнее положение. Далее нужно применить правило рычага. Действие экструдера на сторону планки в точке Е равно $3/4 \cdot M_3 g$ (так как отношение плеч рычага равно 10 к 30). Действие планки на точку В рамки будет равно $5/6 \cdot 3/4 \cdot M_3 g$ или $15/24 \cdot M_3 g$. Действие M1 на точку В будет равно $7/6 \cdot M_1 g$ (M_1 – масса двигателя M1). Действие груза M2 на планку в точке Е равно: $5/4 \cdot M_2 g$. Тогда действие планки на точку В, как и показано выше:

$$5/6 \cdot 5/4 \cdot M_2 g = 25/24 \cdot M_2 g.$$

Сумма всех сил в точке В равна:

$$15/24 \cdot M_3 g + 7/6 \cdot M_1 g + 25/24 \cdot M_2 g$$

или $0,1 \cdot 10(15 + 28 + 25)/24 = 6,8/24 = 2.833 \text{ Н}$.

Примечание. Можно было бы рассмотреть подвижную планку отдельно от действия сразу двух сил от M_3 и M2, если учащиеся изучили расчет рычага от действия двух сил (рычаги первого и второго типа одновременно).

Задача № 1.2.8. Условие. Одна из компоновочных схем машин аддитивных технологий, включающих, например, 3D принтеры напоминает прямоугольный аквариум. В верхней части имеется горизонтально расположенная прямоугольная рамка с вершинами ABCD. Рамка поднимается, соответственно четырьмя вертикальными винтами V1, V2, V3, V4 оси Z которых пересекают указанные выше вершины. Вдоль стороны BC рамки, в направлении оси Y винтом V5 по направляющим перемещается поперечная планка EF. Вращает этот винт двигатель M1. На планке EF установлен свой двигатель M2 с винтом V6, вращение которого перемещает вдоль оси X этой планки экструдер массой $M_3 = 100 \text{ гр}$. Планка EF не может приблизиться к сторонам AB и CD ближе, чем на 10см. Экструдер не может приблизиться к сторонам AD и BC ближе, чем на 10см. Оба двигателя M1 и M2 расположены вне рамки ABCD на расстоянии 10см. Рассчитать вертикальную силу, действующую на винт V4 (точка D) в крайнем верхнем положении экструдера при перемещении планки в крайнее левое положение, если известно, что винт V2 (в точке В обломился). Размер рамки AD=60 см, размер рамки AB=40 см. Масса

каждого из двигателей 100 гр. Массами всех остальных деталей и размерами их поперечных сечений пренебречь. Действием изгибных моментов всех винтов пренебречь. Ускорение свободного падения принять $g=10 \text{ м/с}^2$.

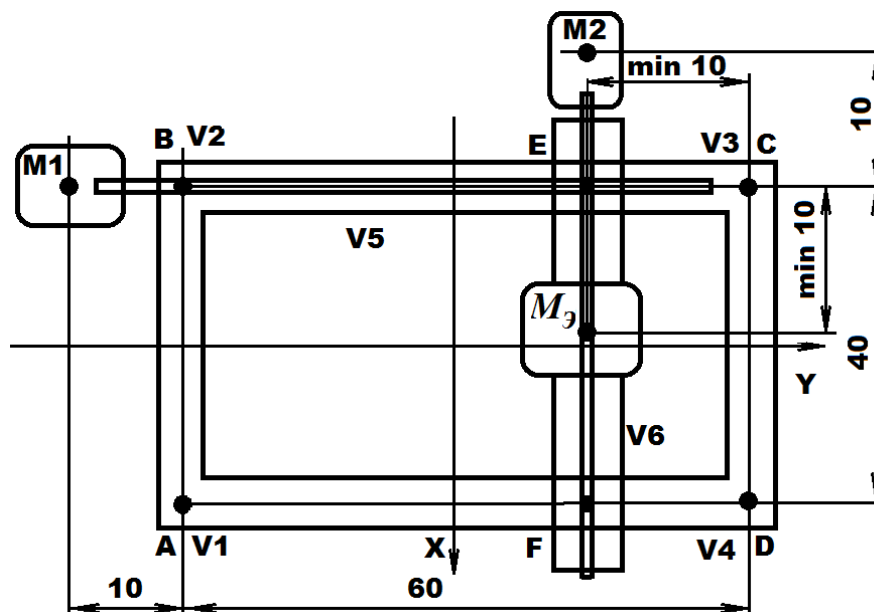


Рис. 1.20. Схема к задаче № 1.2.8

Решение.

В этой задаче нужно разобраться в расчетной схеме, понять инженерную составляющую задачи. Далее правильно применить правило рычага.

Когда экструдер переместится в указанное положение, все массы окажутся расположенными слева вверху от диагонали AC. Соответственно, ось AC представляет собой опору воображаемого рычага. Можно опустить перпендикуляры от центров двигателей и экструдера на эту ось и перпендикуляр из точки D. Воспользуемся теоремой Пифагора. Тогда от D расстояние будет равно: $\sqrt{30^2 + 20^2} = \sqrt{1300} = 36,06 \text{ см}$. От M1 расстояние будет равно $\sqrt{40^2 + 20^2} = \sqrt{2000} = 44,7 \text{ см}$. От M2 расстояние будет равно $\sqrt{30^2 + 20^2} = \sqrt{1300} = 36,06 \text{ см}$. От M_3 расстояние будет равно $\sqrt{10^2 + 20^2} = \sqrt{500} = 22,36 \text{ см}$. Тогда сумма моментов всех сил (по аналогии с предыдущей задачей): $0,1 \cdot 10 \cdot (\sqrt{2000} + \sqrt{1300} + \sqrt{500}) = F \cdot \sqrt{1300}$. Откуда: $F = 0,1 \cdot 10 \cdot (\sqrt{2000} + \sqrt{1300} + \sqrt{500}) / \sqrt{1300} = 2,86 \text{ Н}$

Задача № 1.2.9. Условие. Одна из компоновочных схем машин аддитивных технологий, включающих, например, 3D принтеры напоминает прямоугольный аквариум. В верхней части имеется

горизонтально расположенная прямоугольная рамка с вершинами ABCD. Рамка поднимается, соответственно четырьмя вертикальными винтами V1, V2, V3, V4 оси Z которых пересекают указанные выше вершины. Вдоль стороны BC рамки, в направлении оси Y винтом V5 по направляющим перемещается поперечная планка EF. Вращает этот винт двигатель M1. На планке EF установлен свой двигатель M2 с винтом V6, вращение которого перемещает вдоль оси X этой планки экструдер массой $M_э = 100$ гр. Планка EF не может приблизиться к сторонам AB и CD ближе, чем на 10 см. Экструдер не может приблизиться к сторонам AD и BC ближе, чем на 10 см. Оба двигателя M1 и M2 расположены вне рамки ABCD на расстоянии 10 см. Рассчитать вертикальную силу, действующую на каждый из винтов V1 и V3 (точки A и C) в крайнем верхнем положении экструдера при перемещении планки в крайнее левое положение, если известно, что винт V2 (в точке B обломился). Размер рамки AD=60 см, размер рамки AB=40 см. Масса каждого из двигателей 100 гр. Массами всех остальных деталей и размерами их поперечных сечений пренебречь. Действием изгибных моментов всех винтов пренебречь. Ускорение свободного падения принять $g=10$ м/с².

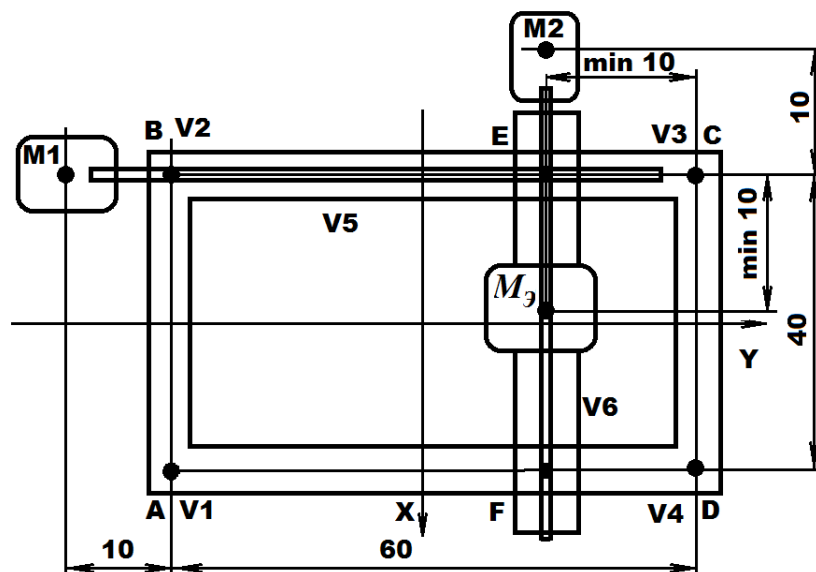


Рис. 1.21. Схема к задаче № 1.2.9

Решение.

В этой задаче нужно разобраться в расчетной схеме, понять инженерную составляющую задачи. Далее правильно применить правило рычага.

Когда экструдер переместится в указанное положение, все массы окажутся расположенными слева вверху от диагонали AC.

Соответственно, ось AC представляет собой опору воображаемого рычага. Можно опустить перпендикуляры от центров двигателей и экструдера на эту ось и перпендикуляр из точки D. Воспользуемся теоремой Пифагора. Тогда от D расстояние будет равно $\sqrt{30^2 + 20^2} = \sqrt{1300} = 36,06$ см. От M1 расстояние будет равно $\sqrt{40^2 + 20^2} = \sqrt{2000} = 44,7$ см. От M2 расстояние будет равно $\sqrt{30^2 + 20^2} = \sqrt{1300} = 36,06$ см. От M_3 расстояние будет равно $\sqrt{10^2 + 20^2} = \sqrt{500} = 22,36$ см.

Тогда сумма моментов всех сил слева от опорной оси: $0,1 \cdot 10 \cdot (\sqrt{2000} + \sqrt{1300} + \sqrt{500})$.

Окончательно: $F = 0,1 \cdot 10 \cdot (\sqrt{2000} + \sqrt{1300} + \sqrt{500} + \sqrt{1300}) / \sqrt{1300} = 3,86$ Н.

Задача № 1.2.10. Условие. Промышленный робот состоит из пяти соединенных частей: неподвижного основания A, вращающейся на нем вокруг собственной вертикальной оси вертикальной колонны AB, поворачивающегося в вертикальной плоскости в точке B плеча BC, аналогично поворачивающегося в точке C локтя CD. В точке D имеется хват массой 500 граммов, на который действует вес P . Длины элементов робота: колонна AB=1000 мм, плечо BC=400 мм, локоть CD=200 мм. Текущее положение плеча и локтя определяется углами их осей, соответственно: $\alpha=150$ град и $\beta=75$ град. Определите, какую центробежную силу $F_{ц}$ будет испытывать хват при равномерном вращении колонны с угловой скоростью $\omega=6$ радиан в секунду. Какова результирующая сила F на хвате от этой силы $F_{ц}$ и веса хвата P ? Какой опрокидывающий момент M этой результирующей силы F будет испытывать данный робот относительно точки A?

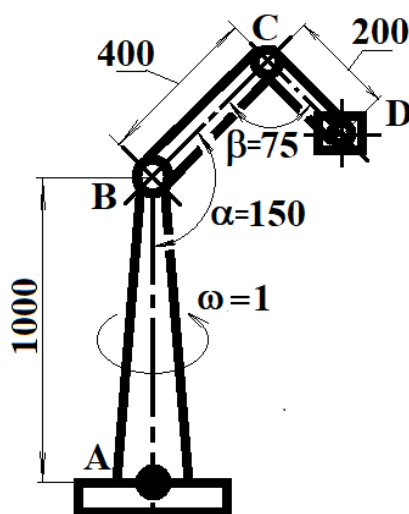


Рис. 1.22. Схема к задаче № 1.2.10

Решение. Центробежная сила $F_y = \omega^2 Rm$. Необходимо определить радиус вращения точки D – расстояние от этой точки D до оси вращения АВ:

$$BC \cdot \cos(60) = 400 \cdot 0,5 = 200 \text{ мм и } CD \cdot \cos(45) = 200 \cdot 0,707 = 141,4 \text{ мм.}$$

Таким образом, радиус вращения равен 341,4 мм. Тогда центробежная сила $F_y = 6^2 \cdot 0,5 \cdot 0,3414 = 6,14 \approx 6 \text{ Н}$. Действует эта сила горизонтально. Вес $P = mg$ или $P = 5 \text{ Н}$. Суммарная сила по правилу параллелограмма (теорема Пифагора):

$$F = \sqrt{6^2 + 5^2} = 7,81 \text{ Н.}$$

Опрокидывающий момент – это величина силы, умноженная на ее плечо. Плечо центробежной силы – это высота от пола (уровень точки А) до точки D:

$$H = 1000 + BC \cdot \sin(60) - CD \cdot \sin(45) = 1000 + 0,866 \cdot 400 - 0,707 \cdot 200 = 1205 \text{ мм.}$$

$$\text{Момент этой силы равен } M_y = 6 \cdot 1,2 = 7,2 \text{ Нм.}$$

Плечо веса P – это рассчитанное выше расстояние 341,4 мм. Момент этой силы равен $M_B = 5 \cdot 0,34 = 1,7 \text{ Нм}$. Поскольку моменты действуют в одной плоскости – плоскости чертежа, то их можно алгебраически суммировать. Относительно точки А они действуют оба по часовой стрелке. Тогда общий момент будет равен $M = 7,2 + 1,7 = 8,9 \text{ Нм}$.

Задача № 1.2.11. Условие. Промышленный робот состоит из пяти соединенных частей: неподвижного основания А, вращающейся на нем вокруг вертикальной оси вертикальной колонны АВ, поворачивающегося в точке В в вертикальной плоскости плеча ВС, аналогично поворачивающегося в точке С локтя CD. В точке D имеется хват массой 500 граммов. Длины элементов робота: колонна АВ=1000 мм, плечо ВС=400 мм, локоть CD=400 мм. Текущее положение плеча и локтя определяется углами их осей, соответственно: ABC=150 град и BCD=90 град. Определите, какую центробежную силу F_y будет испытывать хват при повороте плеча вокруг точки В с угловой скоростью $\omega = 6$ радиан в секунду? Угол BCD при этом не меняется. Какой вес P у хвата и какая итоговая сила F действует на хват. Какой опрокидывающий момент этой силы F будет испытывать данный робот относительно точки А?

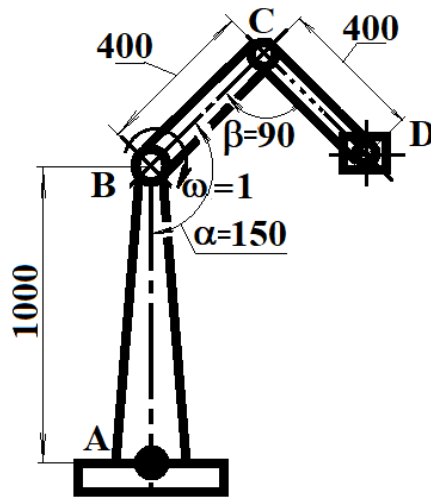


Рис. 1.23. Схема к задаче № 1.2.11

Решение. Центробежная сила $F_y = \omega^2 Rm$. Необходимо определить радиус вращения точки D – расстояние от этой точки до точки B:

$$BC \cdot \cos(60) = 400 \cdot 0,5 = 200 \text{ мм и } CD \cdot \cos(60) = 400 \cdot 0,5 = 200 \text{ мм.}$$

Таким образом, радиус вращения: $R=400$ мм. Тогда центробежная сила $F_y = 6^2 \cdot 0,5 \cdot 0,4 = 7,2$ Н. Точки B и D лежат на одной горизонтальной линии, тогда сила F_y действует вертикально вниз. Вес $P=mg$ или $P=5$ Н. Поскольку обе силы направлены вдоль одной вертикальной линии, то суммарная сила $F=7,2+5=12,2$ Н.

Опрокидывающий момент – это величина силы, умноженная на ее плечо. Плечо результирующей силы BD от точки A до линии действия вертикальной результирующей силы F равно $R=400$ мм.

Тогда момент силы:

$$M=FR \text{ или } M = 12,2 \cdot 0,4 = 4,88 \text{ Нм.}$$

Задача № 1.2.12. Условие. Компьютеризированный фрезерный станок имеет неподвижную станину (1) с двумя вертикальными направляющими. По направляющим от силы двигателя в станине скользит вверх и вниз по оси Z горизонтальная балка (2) в виде прямоугольного параллелепипеда. По ней, по ее направляющей плоскости от силы двигателя в балке скользит вправо и влево по оси Y инструментальный шпиндель (3) в форме куба. Таким образом, компьютерная система станка может задавать через указанные двигатели перемещения инструментальному шпинделю (3) по координатным осям Y и Z. Перемещения начались из точки с

координатами "Y200 Z400". Два последовательных перемещения в управляющей программе станка заданы двумя стандартными командами "G01": "G01 Y600 Z600" и "G01 Y700 Z500", где при Y и Z записаны значения координат в миллиметрах в системе координат станка, показанной на рисунке. В точки с этими координатами должен последовательно переместиться шпindel. В процессе указанных перемещений инструмент резал заготовку (на рисунке не показаны) и на инструментальный шпindel со стороны инструмента действовала горизонтальная сила $P=1000\text{Н}$, направленная противоположно оси X. Определить работу, выполненную двигателями станка при реализации указанных двух команд, если масса балки (2) $M_б=200\text{кг}$, масса шпинделя (3) $M_{ш}=50\text{кг}$, коэффициенты трения между направляющими станины (1) и балки (2), и между балкой (2) и инструментальным шпинделем (3) $\mu=0.1$. Ускорение свободного падения принять равным $g=10\text{ м/с}^2$.

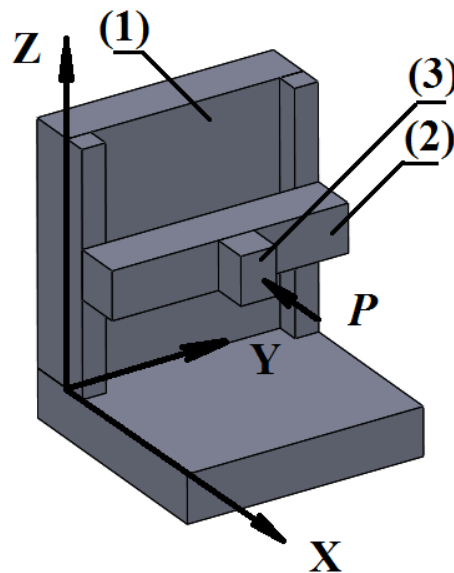


Рис. 1.24. Схема к задаче № 1.2.12

Решение. Работа по перемещению тела определяется формулой $A = SF$, где S – пройденный телом путь и F – сила, направленная вдоль траектории этого пути. Двигатель на станине поднимает балку (2) и шпindel (3) вверх и опускает вниз. Выполняя первую команду, этот двигатель совершил их перемещение на расстояние $S_1 = |Z_2 - Z_1| = |600 - 400| = |200|\text{мм} = 0,2\text{ м}$. Перемещение второй команды $S_2 = |Z_3 - Z_2| = |500 - 600| = |-100|\text{мм} = 0,1\text{ м}$. Совершая эти перемещения, первый двигатель преодолевал действие сил: веса G перемещаемых частей станка и силы трения $F_{тр}$. Вес определяется по формуле:

$$G_1 = (M_б + M_{ш})g \text{ или } G_1 = (200 + 50)10 = 2500\text{ Н.}$$

Сила трения:

$$F_{mp1} = \mu P \text{ или } F_{mp1} = 0,1 \cdot 1000 = 100 \text{ Н.}$$

Тогда при выполнении первой команды была совершена работа:

$$A_1 = -S_1 G_1 - S_1 F_{mp1} \text{ или } A_1 = -0,2 \cdot 2500 - 0,2 \cdot 100 = -500 - 20 = -520 \text{ Дж.}$$

Вес и сила трения направлены здесь против направления движения: работа их отрицательна. При выполнении второй команды:

$$A_2 = +S_2 G_1 - S_2 F_{mp1} \text{ или } A_2 = +0,1 \cdot 2500 - 0,1 \cdot 100 = +250 - 10 = +240 \text{ Дж.}$$

Устройства двигались вниз в направлении веса (работа положительна), работа силы трения всегда отрицательна.

Второй двигатель, перемещая инструментальный шпиндель вправо, преодолевал только силу трения. Общее перемещение:

$$S_3 = |(Y_2 - Y_1) + (Y_3 - Y_2)| = |(Y_3 - Y_1)| = |700 - 200| = 500 \text{ мм} = 0,5 \text{ м.}$$

Сила трения имеет то же самое значение $F_{mp1} = 100 \text{ Н}$. Тогда работа равна:

$$A_3 = -S_3 F_{mp1} \text{ или } A_3 = -0,5 \cdot 100 = -50 \text{ Дж.}$$

Тогда общая работа равна: $A = A_1 + A_2 + A_3 = -520 + 240 - 50 = -330 \text{ Дж}$.

Задача № 1.2.13. Условие. Компьютеризированный фрезерный станок имеет неподвижную станину (1) с двумя горизонтальными направляющими (рис.1.25). По направляющим от силы двигателя в станине скользит влево и вправо по оси X продольный суппорт (2) в виде прямоугольного параллелепипеда. По нему, по его направляющей плоскости от силы двигателя в суппорте скользит вперед и назад по оси Y поперечный суппорт (3) в форме куба. Таким образом, компьютерная система станка может задавать через указанные двигатели итоговые перемещения поперечному суппорту (3) по координатным осям X и Y. Перемещения начались из точки с координатами "X700 Y400". Два последовательных перемещения в управляющей программе станка заданы двумя стандартными командами "G01": "G01 X500 Y500" и "G01 X600 Y700", где при X и Y записаны значения координат в миллиметрах в системе координат станка, показанной на рисунке. В точки с этими

координатами должен последовательно переместиться поперечный суппорт. В процессе указанных перемещений на поперечный суппорт действовали две горизонтальные силы: $P_1=300\text{Н}$ (по оси X) и $P_2=400\text{Н}$ (против оси Y). Определить работу, выполненную двигателями станка при реализации указанных двух команд, если масса продольного суппорта (2) $M_{np}=400\text{кг}$, масса поперечного суппорта (3) $M_{non}=100\text{кг}$, коэффициенты трения между направляющими станины (1) и продольного суппорта (2), и между продольным суппортом (2) и поперечным суппортом $\mu=0.1$. Ускорение свободного падения принять равным $g=10\text{ м/с}^2$.

Решение. Работа по перемещению тела определяется формулой $A = SF$, где S – пройденный телом путь и F – сила, направленная вдоль траектории этого пути. Двигатель на станине перемещает продольный суппорт (2) и поперечный суппорт (3) влево и вправо. Выполняя первую команду, этот двигатель совершил их перемещение на расстояние $S_1=|X_2-X_1|=|500-700|=200\text{мм}=0,2\text{ м}$. Перемещение второй команды $S_2=|X_3-X_2|=|600-500|=100\text{мм}=0,1\text{м}$. Совершая эти перемещения, первый двигатель преодолевал действие сил: силы трения F_{mp} и P_1 .

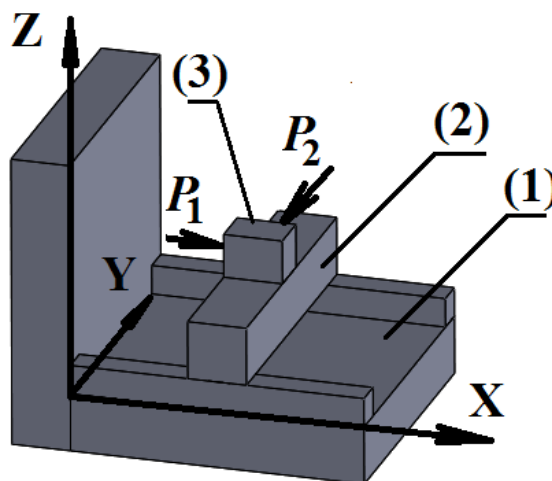


Рис. 1.25. Схема к задаче № 1.2.13

Сила трения:

$$F_{mp1} = \mu(M_{np} + M_{non})g \text{ или } F_{mp1} = 0,1 \cdot (400 + 100) \cdot 10 = 500 \text{ Н.}$$

Тогда при выполнении первой команды была совершена работа:

$$A_1 = -S_1 G_1 - S_1 F_{mp1} \text{ или } A_1 = -0,2 \cdot 300 - 0,2 \cdot 500 = -60 - 100 = -160 \text{ Дж.}$$

Работа силы трения взята со знаком минус, поскольку работа этой силы всегда отрицательна. Сила P_1 также направлена против хода движения, то есть противодействует движению. Поэтому работа ее имеет знак минус.

Аналогично при выполнении второй команды была совершена работа:

$$A_2 = +S_2 P_1 - S_2 F_{mp1} \text{ или } A_2 = +0,1 \cdot 300 - 0,1 \cdot 500 = +30 - 50 = -20 \text{ Дж.}$$

Работа силы трения отрицательна. Сила P_1 направлена по ходу движения, то есть содействовала движению. Поэтому работа ее имеет знак плюс.

Второй двигатель, перемещая поперечный суппорт вперед-назад, преодолевал силы P_2 и трения F_{mp2} . Перемещение:

$$S_3 = |(Y_2 - Y_1)| = |500 - 400| = |100| \text{ мм} = 0,1 \text{ м.}$$

Перемещение:

$$S_4 = |(Y_3 - Y_2)| = |700 - 500| = |200| \text{ мм} = 0,2 \text{ м.}$$

Сила трения определяется аналогично:

$$F_{mp2} = \mu M_{non} g \text{ или } F_{mp1} = 0,1 \cdot 100 \cdot 10 = 100 \text{ Н.}$$

Тогда при выполнении первой команды была совершена работа:

$$A_3 = -S_3 P_2 - S_3 F_{mp1} \text{ или } A_3 = -0,1 \cdot 400 - 0,1 \cdot 100 = -40 - 10 = -50 \text{ Дж.}$$

Аналогично при выполнении второй команды:

$$A_4 = -S_4 P_2 - S_4 F_{mp2} \text{ или } A_4 = -0,2 \cdot 400 - 0,2 \cdot 100 = -80 - 20 = -100 \text{ Дж.}$$

Тогда общая работа равна:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = -160 - 20 - 50 - 100 = -330 \text{ Дж.}$$

2. ЗАДАЧИ ФИНАЛЬНОГО ЭТАПА. ПРОЕКТНЫЙ ТИП С ПРОИЗВОЛЬНЫМИ ВАРИАНТАМИ РЕШЕНИЙ

Задачи данного типа относятся к проектным с выбором решения самими участниками. Такие задачи были предложены участникам данной олимпиады в период 2014–2018 гг. По условию необходимо решить некоторую проблемную производственную задачу. Задачу можно было решить различными способами, однако почти все такие олимпиадные задачи имели некоторое внутреннее противоречие: необходимо было достичь определенного результата, но этот результат, как правило, традиционными методами решений не мог быть достигнут. Таким образом, в этих задачах подразумевались некоторые изобретательские решения. Исходя из этого, организаторами олимпиады сразу же было поставлено условие: школьникам необходимо было изучить основы теории решения изобретательских задач (ТРИЗ). Такие элементы ТРИЗ были представлены и в упомянутом ранее пособии авторов.

Поскольку решений предложенных задач может быть много и такие решения могут дать люди разного возраста, то решения учащихся школ, очевидно, в данном случае представляют наибольший интерес и именно такие решения обсуждаются далее. Дается некоторый обзор таких решений, как правило, типовых решений и затем приводятся наиболее интересные решения учащихся. Наиболее подробно показано решение задачи 2.2.1.

Аналогично отборочному этапу участникам олимпиады выдавался раздаточный материал для уточнения требований и критериев оценивания. Такой материал приведен ниже курсивным шрифтом.

1. Проектная часть должна включать одно наилучшее конструкторско-технологическое предложение по решению поставленной задачи, если решения расчетной части применимы в данной второй части, то их нужно применить, если нет, то дать свои решения.

2 Максимальная оценка проектной части 70 баллов.

3. Оценивание проектной части строится на экспертной оценке члена жюри с учетом следующих положений.

3.1. Оценка проектной части производится по следующим пяти критериям:

– Полнота исследования проблемы: обзор и анализ ближайших прототипов. Максимальная оценка 10 баллов, т.е. максимум можно получить 10 баллов.

– Оригинальность идеи, положенной в основу предлагаемого решения. Максимум 20 баллов.

– *Логика изложения: описание того, как получена идея; описание решений по ее воплощению; конструкторско-технологическая и, возможно, экономическая проработка. Максимум 20 баллов.*

– *Возможность практического осуществления предложенных решений. Максимум 10 баллов.*

– *Наличие, качество и достаточность схем и рисунков. Максимум 10 баллов.*

Требования к оформлению проектов при решении задач олимпиады.

Решение оформляется в виде пояснительной записки на листах формата А4, в которой должны быть следующие обязательные элементы и разделы (выделено жирным шрифтом). Если участник не может написать содержание раздела, то заголовок раздела нужно привести, но под заголовком указать: "Реализация раздела не представляется возможной".

Решение проектной задачи должно включать следующие разделы.

***Введение** (указывается область задачи, ее актуальность и общие схемы известных решений).*

***1. Анализ текущего состояния дел в области поставленной задачи.** Должны быть перечислены наиболее близкие известные решения, дан перечень их достоинств и недостатков.*

***2. Цели и задачи исследования.** На основе проведенного анализа уточняется: с какой целью проводится выполнение проекта; далее перечисляются частные задачи, которые необходимо решить для достижения указанной цели.*

***3. Поиск и формулирование идеи, которая будет положена в основу решения поставленной в условии задачи.** Показать путь, который необходимо было пройти, чтобы прийти к оригинальной идее. Рекомендуется использовать методику ТРИЗ.*

***4. Развитие идеи в конкретных конструкторско-технологических решениях.** Дать проработку воплощения идеи в конкретных устройствах или процессах, дать необходимые расчетные схемы, эскизы, другие иллюстрации с их названиями.*

***5. Технические, экономические, экологические расчеты.** Привести необходимые расчетные схемы и расчеты, показывающие работоспособность конструкции или ее частей, реализуемость процессов. По возможности, показать, почему предлагаемое решение окажется экономически выгодным, при необходимости, дать экологическую оценку решения. Допускается использование расчетов, аналогичных приведенным выше в расчетной части задания.*

***Выводы.** Дать общую оценку полученного решения, достижения поставленной цели, новизну, практическую полезность решения.*

2.1. Задачи для учащихся 7–9 классов

Задача № 2.1.1. Условие. Предложите вариант разработки домашнего многофункционального металлорежущего станка с электродвигателем 12 вольт, который бы позволил изготовить все шахматные фигуры, женские украшения, бытовые мелочи. Решение должно содержать описание технологий обработки, описание устройства, его составных частей, примеров изготавливаемых деталей. Должны быть представлены все необходимые схемы, технические и экономические расчеты.

Решение.

Чаще всего в качестве решения учащимися называются малогабаритные аналоги реальных промышленных многоцелевых станков типа токарно-фрезерных центров.

Один из участников олимпиады предложил использовать в качестве основы ручной гравёр, который можно закрепить вместо окуляра в старом испорченном микроскопе. Получился домашний сверлильный станок. Однако есть старые микроскопы и с подачей столиков через маховички, тогда получится фрезерный станок. Если на столике такого микроскопа поместить электродвигатель с зажимом на валу сменных муфт с тремя радиально расположенными винтами, а вместо гравёра закреплять резцы, то получатся возможности и токарного станка.

Задача № 2.1.2. Условие. Известны "игры-конструкторы" для детей типа кубиков "Лего". Их недостаток – они непрочны скрепляются. Получаемые конструкции – "кубические". Известны металлические конструкторы в виде пластин с отверстиями, снабжаемые колесами, винтами и гайками. Конструкции прочно скрепляются винтами, но сами изделия получаются "пластинчатыми". Предложите свой вариант реализации "игры-конструктора", чтобы можно было изготавливать нужные прочные детали и надёжно скреплять их в виде роботов, кукол, автомобилей, игрушечных кухонных машин, самолетов. Должны быть предусмотрены сборка-разборка игрушек и изготовление повторно новых. Материал можно выбрать любой. Необходимо привести чертежи (или эскизы) составных частей конструктора, способов их крепления и примеры результатов изделий. Целесообразно привести способы изготовления таких частей, если они имеют нетрадиционные формы или материалы.

Решение.

Чаще всего предлагались объёмные, как в "Лего", фигурки с креплениями их посредством магнитов или разного рода пружин.

Одно из решений связано с применением затвердевающего при охлаждении до комнатной температуры пластика. Нагревая такой пластик

в горячей воде можно его размягчать до уровня пластилина. Далее из такого пластика можно вылепить любую игрушку или любую деталь нужной сборной игрушки. Дальнейшее охлаждение полученной игрушки приводит к затвердеванию пластика. Можно изготавливать и неразъемные соединения, например, валы с колесами, вмонтированные в опоры шасси автомобиля. При повторном нагревании пластика в горячей воде его можно вновь размягчать и повторно многократно использовать. Целесообразно иметь пластики разных цветов.

Задача № 2.1.3. Условие. Современные человекоподобные роботы обычно имеют в качестве приводов электродвигатели. Предложите альтернативный вариант привода для такого рода роботов в большей степени напоминающий мышцы людей. Приведите необходимые схемы, технические и экономические расчеты.

Решение.

Чаще всего назывались очевидные известные решения: вместо мышц гидро- и пневмоцилиндры, реечные, винтовые пары, приводы с использованием тросов и барабанов. Иногда предлагались электромагниты и электродвигатели.

Одно из решений связано с использованием в качестве "мышц" светополимеров, у которых размеры меняются с освещением. Имеются другие материалы, у которых размеры существенно изменяются от электрических и магнитных воздействий.

Задача № 2.1.4. Условие. На судостроительной верфи производится сварка корпусов из стальных листов для небольших кораблей. Толщина листов составляет около 10 миллиметров. Размеры корпусов судов во всех направлениях могут достигать десятков метров. Листы свариваются встык (т.е. стыкуются, как доски на полу комнаты). Точность расположения сварочной дуги относительно стыка листов должна быть до 1 миллиметра. Усилие на сварочном устройстве в процессе сварки до 1 Н. Такую сварку обычно выполняют рабочие-сварщики. Предложите одно самое существенное решение – устройство с минимальными размерами, которое бы позволяло выполнять сварку в автоматическом режиме. Опишите это устройство, приведите его схему и выполните оценочные расчеты, подтверждающие его работоспособность.

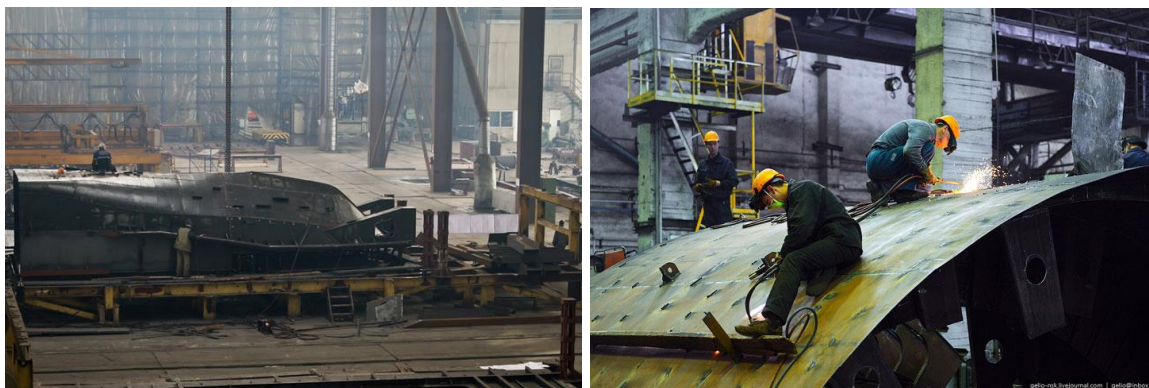


Рис. 2.1. К задаче № 2.1.4. Сварка корпуса судна на судовой верфи

Решение.

Основная часть решений связана с установкой тележек-роботов на корпус судна. На тележках устанавливаются руки манипуляторов с устройствами сварки. Предлагалось также вдоль предполагаемых сварочных швов установить навесной рельс, по которому бы перемещались сварочные тракторы. Предложено установить на тележку робота, которая перемещается вокруг корабля. Устройство сварки разместить на длинных руках манипуляционного робота.

Поскольку одна из проблем – выступы на корпусе корабля, то тележки робота предлагается оснастить несколькими независимыми гусеничными движителями на ногах по типу паука. На гусеницах должны быть электромагниты для удержания устройства на корпусе судна. Предлагается использовать элементы технического зрения для распознавания мест сварки и ориентации робота сварщика в пространстве корабля.

Задача № 2.1.5. Условие. В аварийных ситуациях, как, например, на японской атомной станции, когда радиация в помещениях стала опасна для людей, необходимо использовать роботов. Такой робот должен в кратчайшие сроки суметь подъехать на автомобиле к месту аварии, добраться до опасного здания через кучи мусора и обломков от стен (размеры обломков до полуметра), открыть ключом обычную дверь с замком, подняться по обычной лестнице или лестнице-стремянке на второй этаж, высверлить в стенной перегородке отверстие, пройти через него в помещение и перекрыть кран трубопровода на высоте 1,5 метров. Именно такие задачи приходится решать человеку. Поэтому все производители роботов разрабатывают для таких целей человекоподобных роботов. Такие роботы пока еще падают с куч и с лестниц, им не хватает точности рук открыть замок двери и не хватает сил повернуть заржавевший вентиль трубопровода. *Предложите такую компоновочную схему робота и его конструкцию, которая имеет минимальные размеры и массу и наименьшее количество электро-, гидро-, пневмоприводов,*

которая наилучшим образом справится с перечисленными выше задачами. Опишите эту конструкцию и все ее приводы, опишите принцип работы всех узлов; приведите расчеты из курса физики, подтверждающие работоспособность вашей конструкции при повороте вентиля.

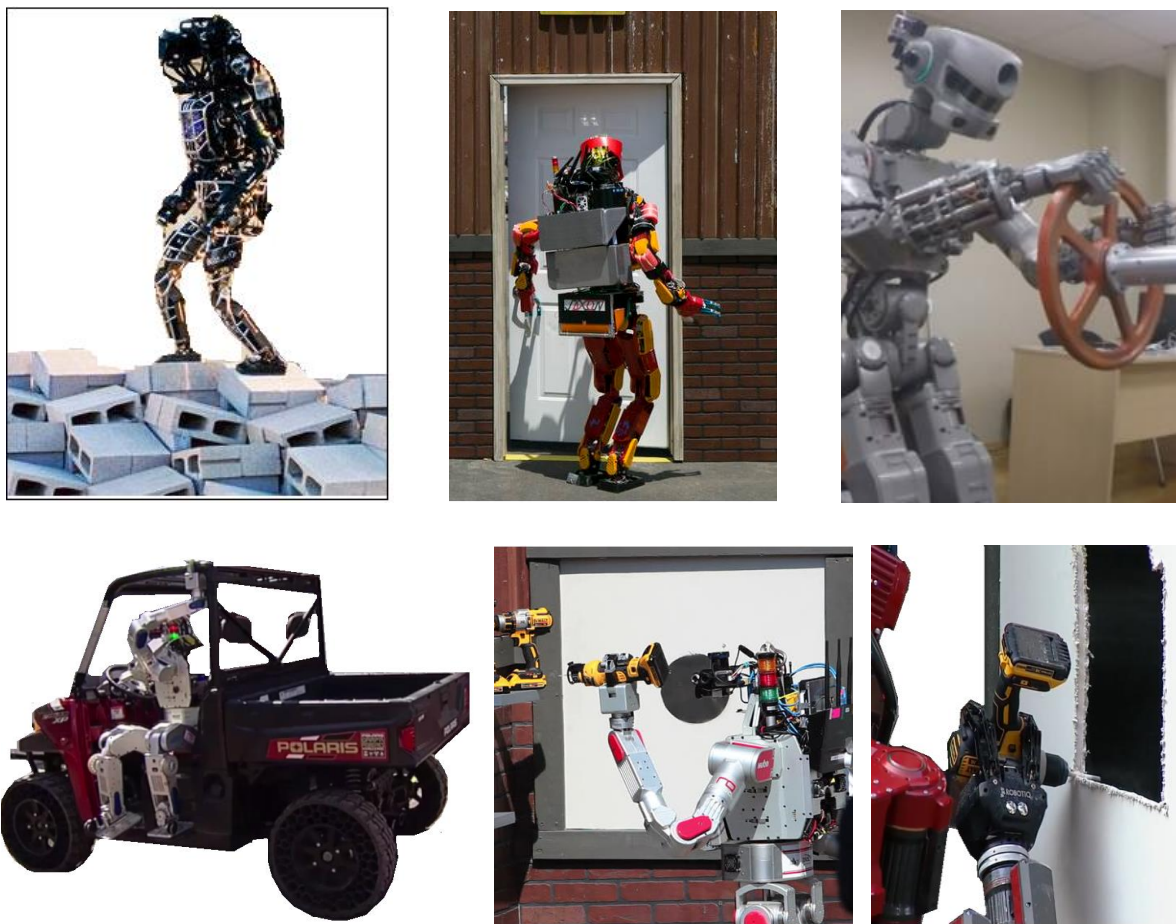


Рис. 2.2. К задаче № 2.1.5. Задачи, которые приходится решать роботу на аварийной площадке: движение по гряде камней, открывание двери ключом, открывание вентиля трубопровода, управление автомобилем, высверливание портативной дрелью в стене большого отверстия перфорацией

Решение.

Основной поток решений был связан с роботами-андроидами.

Но предлагались также подвижные тележки на колесных и нескольких независимых гусеничных движителях с несколькими выдвигаемыми руками-манипуляторами. Такие руки могут быть использованы не только для выполнения требуемых работ, но и для перемещения по лестницам-стремянкам и перевороту гусеничной тележки в необходимое ее положение для транспортировки и работы.

Задача № 2.1.6. Условие. В условиях Арктики штормы и низкие температуры приводят к тому, что плоские и сложные пространственные рамные элементы конструкций, кораблей, транспортных средств, другой техники покрываются снежно-ледяным слоем от нескольких сантиметров до нескольких дециметров. Предложите экологичное и энергетически экономное устройство (машину, механизм, инструмент) и соответствующий способ удаления этой наледи. Опишите узлы и основные детали этого устройства, и их работу.



Рис. 2.3. К задаче № 2.1.6. Проблемы с обледенением на арктических судах и удаление льда

Решение.

Большая часть участников предложила провести во всех деталях кораблей электрические или водные нагреватели по типу теплых полов. Предлагалось растапливать наледь устройствами типа фенов или предотвращать обледенение с помощью воздушной завесы. Предлагалось лазерное растапливание наледи или растапливание газовыми горелками, а также вибрационное, звуковое или СВЧ воздействие.

Одно из решений: тележка-робот с манипулятором, на котором в качестве рабочего органа установлено устройство механической очистки типа газонокосилки. Вместо лески "газонокосилки" предлагаются стальные тросики. При необходимости уборки больших налетов предлагается вторая рука робота с отбойным молотком. Для предотвращения повреждения частей корабля предложены элементы технического зрения. Уборка осыпавшегося снега производится по типу снегоуборочных комбайнов.

2.2. Задачи для учащихся 10–11 классов

Задача № 2.2.1. Условие. Гребной винт из углеродистой стали диаметром 10 метров для морского судна предварительно изготавливают с формами и размерами, превышающими окончательные на несколько миллиметров. Для окончательной обработки таких винтов обычно применяют тяжелые фрезерные станки (см. рисунок). Точность такой обработки до 1 миллиметра, сила резания до 100 Н. Предложите одно самое существенное решение – устройство с минимальными размерами, которое позволило бы осуществить обработку таких заготовок фрезерованием. Опишите это устройство, приведите его схему и выполните оценочные расчеты, подтверждающие его работоспособность.



Рис. 2.4. К задаче № 2.2.1. Станок для обработки гребных винтов, фрезерная головка и фреза при обработке

Решение.

Большая часть решений участников олимпиады была связана с повтором существующей портальной схемы станка. Предлагались также рельсовые опоры, по которым бы перемещались манипуляционные роботы. Предложено было изготовить каждую лопасть на малогабаритных станках, а потом приварить лопасти к оси винта. Были и предложения поставить опору манипуляционного робота в отверстие винта и вести обработку таким роботом. Нередкими были предложения использования тележек-роботов с фрезерными головками на различных колесных или гусеничных движителях (были аналоги роботы-пауки с присосками или

электромагнитами). Тележки-роботы перемещаются по поверхности заготовки винта и фрезеруют ее.

Все эти решения могут стать прототипами в некотором новом решении, которое будет рассмотрено ниже. В частности, любая порталная схема типа "аквариумная коробка с рельсами" это повтор имеющихся станков. Все элементы такой конструкции должны быть жесткими и протяженными, что увеличивает размеры и массу станка. Установка опоры манипуляционного робота в отверстие винта позволяет по существу заменить станок таким роботом, что сразу же уменьшает размеры и массу устройства. Однако звенья робота должны иметь суммарную длину не менее радиуса винта, что не позволяет говорить о минимуме размеров и массы. Намного меньшие размеры будут иметь разного рода тележки-роботы с выдвигным вперед звеном, на конце которого будет установлена перемещаемая вверх-вниз фрезерная головка с электромотором. Колесные или гусеничные движители с электромагнитами позволят фиксировать на стальном винте такое устройство. В целом из уже известных решений такой вариант был бы устройством с минимальными размерами и массой, что и требуется по условию задачи.

Однако одним из интересных предложений было предложение самовращающейся фрезы. Рассмотрим ниже, как можно было бы прийти к такому решению, решению на уровне изобретения. Как известно, по логике ТРИЗ нужно вскрыть противоречия. Имеется так называемое поверхностное или "административное" противоречие: нужно минимизировать размеры станка. Углубленное или "техническое" противоречие обуславливает необходимость уменьшения размеров составных частей станка, но такое уменьшение в пределе приводит к недопустимому уменьшению их прочности и жесткости, что приводит к неработоспособному станку. "Физическое" противоречие позволяет выявить противоположность требования: нужно уменьшать, но уменьшать нельзя. Именно это противоречие и нужно устранить в принципиально новом предложении. Такое решение должно быть связано с выявлением конфликтующей пары. К элементам такой пары относятся те, без которых данная задача теряет смысл. Наша задача связана с удалением металла на заготовке, то есть на винте. Таким образом, нет заготовки – нет задачи. По условию задачи металл нужно удалять фрезерованием, то есть фрезой. Таким образом, без фрезы также нет задачи. Нужно отметить, что часть учащихя предложила удалять металл лазером, химическим травлением и даже струей воды с абразивом, но это уже был выход за условие задачи, поскольку требовалось произвести обработку именно фрезерованием.

Далее по требованиям ТРИЗ необходимо представить себе идеальный вариант. То есть "движением волшебной палочки" нужно заставить устройство работать так, как хотелось бы. Очевидно, что в данном случае

идеальный вариант – это когда фреза сама вращается и перемещается по поверхности заготовки, срезая нужный объем металла. Видимо, такое решение и стало решением участников олимпиады. Было предложено по периметру фрезы между ее режущими пластинами установить электромагнитные колеса. Такое решение является уровнем изобретения. Суть этого изобретения в том, что инструмент работает без станка. Оригинальность идеи и была оценена максимальной оценкой.

Но идея может и не стать реальностью без технических инженерных подробностей. Чтобы колеса не только примагничивались к стальному гребному винту, но и вращались, нужно электромагниты расположить по периметру этих колес. Последовательное нарастание и убывание электрического тока в магнитах приведет к вращению этих колес при сохранении их контакта с заготовкой. Но простое вращение таких колес может обеспечить лишь вращение фрезы вокруг своей оси. А фреза должна еще перемещаться по поверхности лопастей винта. В этом случае кажется необходимым поворот осей колес вокруг перпендикулярной им оси. Известны и другие движители на колесах, например, всенаправленное колесо Илона (рис. 2.5), изобретенное в 1972 г. и запатентованное в США шведом Б. Илоном (Патент US3876255A *Wheels for a course stable selfpropelling vehicle movable in any desired direction on the ground or some other base*, 1975.)

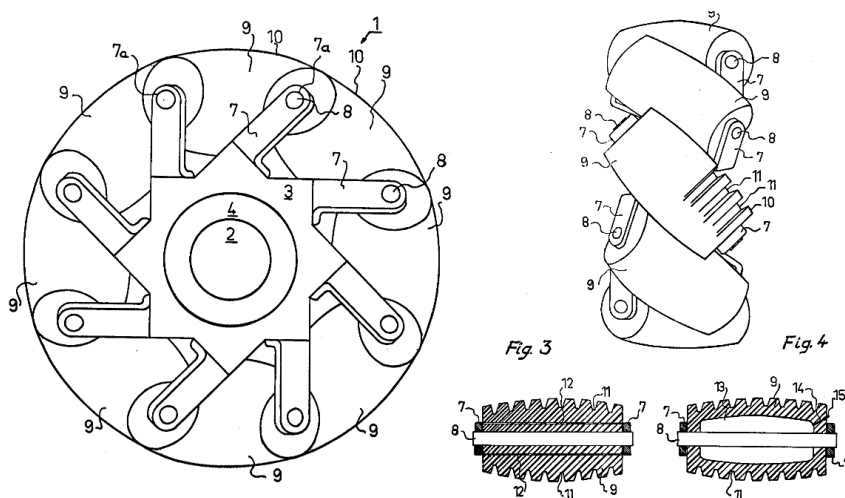


Рис. 2.5. К задаче 2.2.1. Колесо Б. Илона [Patent US3876255A]

Данное колесо совместно с остальными позволяет не только вращаться вокруг собственной оси, но и за счет вращения своих роликов перемещаться в любом горизонтальном направлении. Сегодня имеются также и его сферические аналоги. Таким образом, если для фрез сделать такую вставную каретку с колесами, управляемую от удаленного компьютера, например, через Wi-Fi, то вращение фрез для организации процесса резания стружки и их перемещение по обрабатываемой

поверхности для организации подачи инструмента является решенным вопросом. Зубья фрезы должны заглубляться в тело заготовки. Это можно реализовать подъемом и опусканием каретки относительно диска с зубьями фрезы с помощью электромагнита. Наконец, важным является вопрос определения местоположения фрезы на поверхности винта в каждый момент времени обработки. На диске фрезы можно закрепить сферические пробники, по которым лазерный интерферометр определит ее положение. Таким образом, все технические аспекты данного изобретения в настоящее время имеют свое решение.

Задача № 2.2.2. Условие. При ремонте магистральной трубы нефтепровода диаметром 1...2 метра приходится удалять ее испорченный участок, разрезая эту трубу в двух ее радиальных плоскостях. Предложите наиболее дешевый и производительный способ разрезания трубы и устройство для его реализации. Разрезание трубы не должно сопровождаться появлением искр во избежание взрыва паров горючей смеси внутри трубопровода. Опишите это устройство, приведите его схему и выполните оценочные расчеты, подтверждающие его работоспособность.



Рис. 2.6. К задаче № 2.2.2. Ремонт трубопроводов: удаление поврежденного участка и вставка нового

Решение.

Нередкими были предложения установить рядом с трубой фрезерный станок и фрезеровать трубу по периметру (по окружности ее цилиндра). Фреза могла быть малого размера или диаметром, равным диаметру трубы. Нередкими были предложения с использованием аналогичного станка и гидроабразивной резки. Предлагалось заморозить трубу жидким азотом в узкой области около окружности разреза и далее разломить ее ударом. Предлагалось и, напротив, нагреть ее по данной окружности до полного расплавления; предлагались и химические реакции травления по указанной окружности. Встретилось предложение просверлить отверстие в трубе и далее заполнить объем внутри трубы пеной или другими изолирующими

этот участок от взрывоопасной смеси материалами. Далее уже можно вырезать трубу любым "горячим" способом, включая использование абразивных дисковых инструментов, газовой резки и применения лазеров. Предлагалось рубка трубы или выдавливание роликами металла, как в это сделано в типовых роликовых труборезах. Очень частыми были предложения использования гибких инструментов от ленточных пил до тросов с алмазным напылением. Как известно, такие цепные пилы сейчас нередко используются туристами. Предложено было также просверлить множество радиальных отверстий вдоль окружности реза по типу перфорации. Многие участники предложили использовать тележки с фрезерными головками. Тележки должны были перемещаться вокруг трубы на ремнях, тросах или рельсах. Именно такой вариант в настоящее время широко используется на практике, малогабаритная тележка с вращающейся от электродвигателя дисковой фрезой перемещается с использованием звездочки и цепи от цепной передачи [2].

Задача № 2.2.3. Условие. Капсула пока еще безмянного российского транспортного лунного корабля представляет собой полый усеченный конус с диаметром оснований 3 и 1 метров и высотой 3 метра. В корпусе имеются два диаметрально расположенных отверстия трапецевидальной формы с размерами примерно 1x1,5 метра. Внутри капсулы, при ее изготовлении на всех ее поверхностях необходимо выполнить множество отверстий и вырезов. Для обеспечения точности их положения (в пределах 0,1 мм) целесообразно использование промышленного робота. При сверлении и фрезеровании на инструментах возникают силы до 500 Н. Предложите вариант такого робота или другого устройства с минимальными размерами.



Рис. 2.7. К задаче № 2.2.3. Корпус капсулы лунного корабля
Решение.

Было предложено много решений с роботом манипуляционным, который устанавливался снаружи капсулы или внутри ее. Предлагались тележки-роботы, которые, как пауки, перемещались по стенкам капсулы с использованием вакуумных присосок. Было предложено использовать даже квадрокоптер для получения отверстий.

Учитывая, что жесткость роботов манипуляционных должна быть высокой (усилие до 500 Н), часть школьников предложила более жесткую порталную схему. Это обусловлено тем, что у капсулы имеются два противоположных выреза в корпусе. Следовательно, на двух опорах можно было установить жесткую поперечную штангу, на которой закрепить опору менее жесткого и, таким образом, более компактного манипуляционного робота. Одно из таких решений учащегося приведено на рис. 2.8. Рисунок имеет достаточно хорошую техническую проработку и из него понятны все составные части устройства и их кинематика.

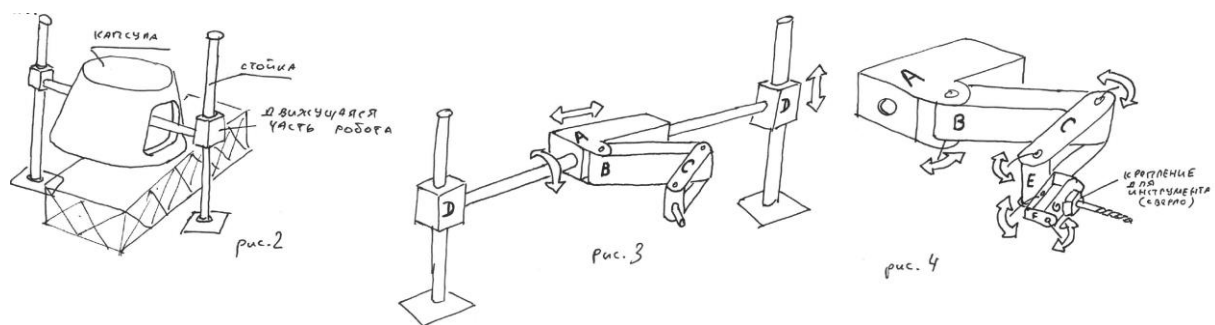


Рис. 2.8. Предложенный одним из участников олимпиады манипуляционный робот, установленный на порталной штанге

Еще одним более компактным решением было решение, аналогичное предыдущему, но при этом вместо горизонтальной штанги был предложен ее вертикальный аналог. Штанга закреплялась враспор между полом и потолком капсулы точно по ее вертикальной оси. На эту штангу устанавливался манипуляционный робот аналогичный предыдущему случаю. Робот мог перемещаться вверх и вниз по штанге (первая координата) и вращаться вокруг нее (вторая координата). Выдвижное радиальное звено обеспечивало третью координату и поворотное звено на конце предыдущего четвертую и, при необходимости, пятую координаты. Рабочий орган – приводная головка мог сообщать сверлу или фрезе кроме вращения еще и движение подачи.

Задача № 2.2.4. Условие. Одним из перспективных методов производства деталей являются аддитивные технологии (технологии добавления материала). К ним относятся, например: печать на 3D принтерах, технологии лазерного спекания и другие. При лазерном

спекании луч лазера, двигаясь по заданной траектории, проходит по слою равномерно распределенных частичек металла и спекает часть из них между собой в заданный узор и одновременно спекает этот слой с нижним слоем. Так, слой за слоем, наносится металлический порошок, спекаются и образуются объемные детали сложной формы из одного металла (рис. 2.9).

Одним из перспективных направлений машиностроения является создание деталей из волоконно-армированных композитных материалов, когда основная масса детали – матрица сделана из одного легкого материала, а в этой матрице распределены упрочняющие деталь волокна из другого более прочного и, как правило, более тяжелого материала. Детали из таких композитов работают, получая максимальные нагрузки сжатия или растяжения в определенном направлении. Именно в этом направлении и стараются располагать волокна в матрице. В местах, где поломки детали более вероятны, волокна загущают, в местах с меньшими напряжениями волокна располагают менее плотно. В идеале нужно создавать композитные детали с заданным "узором" расположения волокон.

Предложите наиболее дешевые способ аддитивных технологий и устройство для его реализации для производства такой волоконно-армированной детали, как, например, металлический шатун двигателя кроссового мотоцикла с прочными металлическими волокнами. Внешний вид шатуна и расположенных в нем волокон даны на рис. 2.10. Подробно опишите такое устройство, его работу и приведите расчеты из курса физики, показывающие работоспособность его деталей.

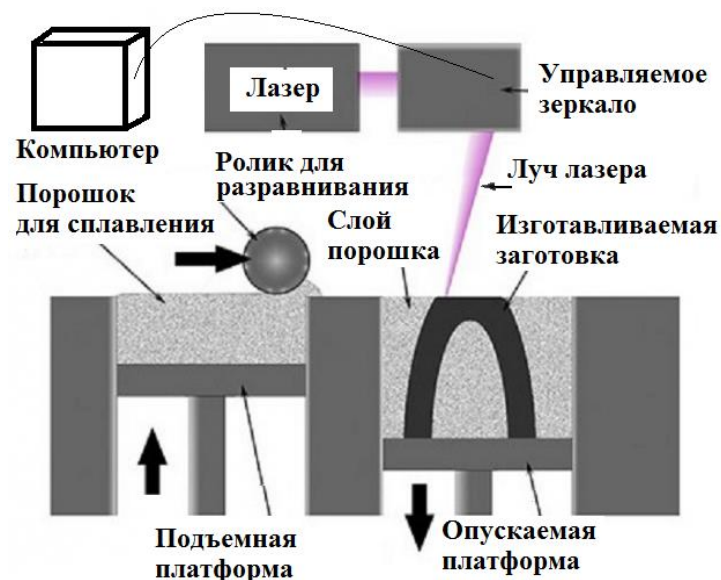


Рис. 2.9. Схема к задаче № 2.2.4.
Схема типичного станка для лазерного спекания



Рис. 2.10. К задаче № 2.2.4. Шатун, его модель и волокна в его теле

Решение.

Задача по производству композитных деталей методами аддитивных технологий находится на передовом крае современной науки и технологий. К моменту проведения олимпиады с такой задачей в мире еще не было промышленной технологии по аддитивному производству подобных волоконно-армированных композитов. В отдельных компаниях проводились исследования и изготавливались еще только опытные образцы необходимых аддитивных установок. Тем не менее, организаторы олимпиады рискнули поставить такую задачу школьникам.

В целом на тот момент времени большинство учащихся школ были знакомы с аддитивными технологиями, в частности, со струйным (проволочным) их вариантом. В связи с этим предлагались струйные 3D принтеры с несколькими головками. Их недостаток – проблема заполнения матрицы между волокнами. Нередкими были предложения с использованием ламинированных композитов. Здесь волокна укладывались отдельным слоем, который потом накрывался слоем матрицы. Такие волокна не могут иметь пространственную форму, они должны лежать в одной плоскости. Аналогичный процесс с такой же укладкой волокон и последующим спеканием засыпанного слоя порошка матрицы или заливанием расплавленной матрицы.

Наиболее перспективным представляется предложенный учащимися вариант с двумя порошками и последовательным спеканием их лазером. Современные исследования отражены в научных статьях [3–4].

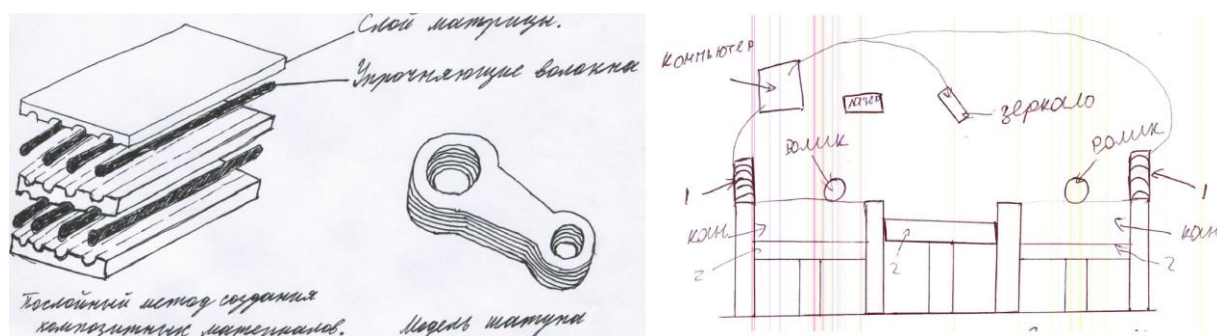


Рис. 2.11. Решения школьников: создание композита ламинированием и использование двух порошков для лазерного спекания волокон и матрицы

Задача № 2.2.5. Условие. Изучение Арктики связано с бурением льдов и получением проб в их толще. Обычный бур представляет собой полый вертикальный цилиндр длиной 1...1,5 метра и 20...50 см в диаметре. На нижнем торце цилиндра по его периметру устанавливаются режущие зубья. Бур вращается механизмом сверху и опускается в толщу льда, зубья при этом вырезают кольцевой канал методом кольцевого сверления. Центральный цилиндрический кусок льда, называемый керном, перемещается в полость опускаемого цилиндрического бура и далее извлекается вместе с этим буром на поверхность для последующих исследований полученной толщи льда. Вслед за этим бур снова опускают глубже и процесс повторяется. Предложите вариант робота-бура, который бы перемещался в толще льда несколько десятков метров и в нужный момент фиксировал бы в себе неповрежденный ледяной керн для последующего поднятия его на поверхность. Опишите конструкцию робота и работу его отдельных узлов и основных деталей.

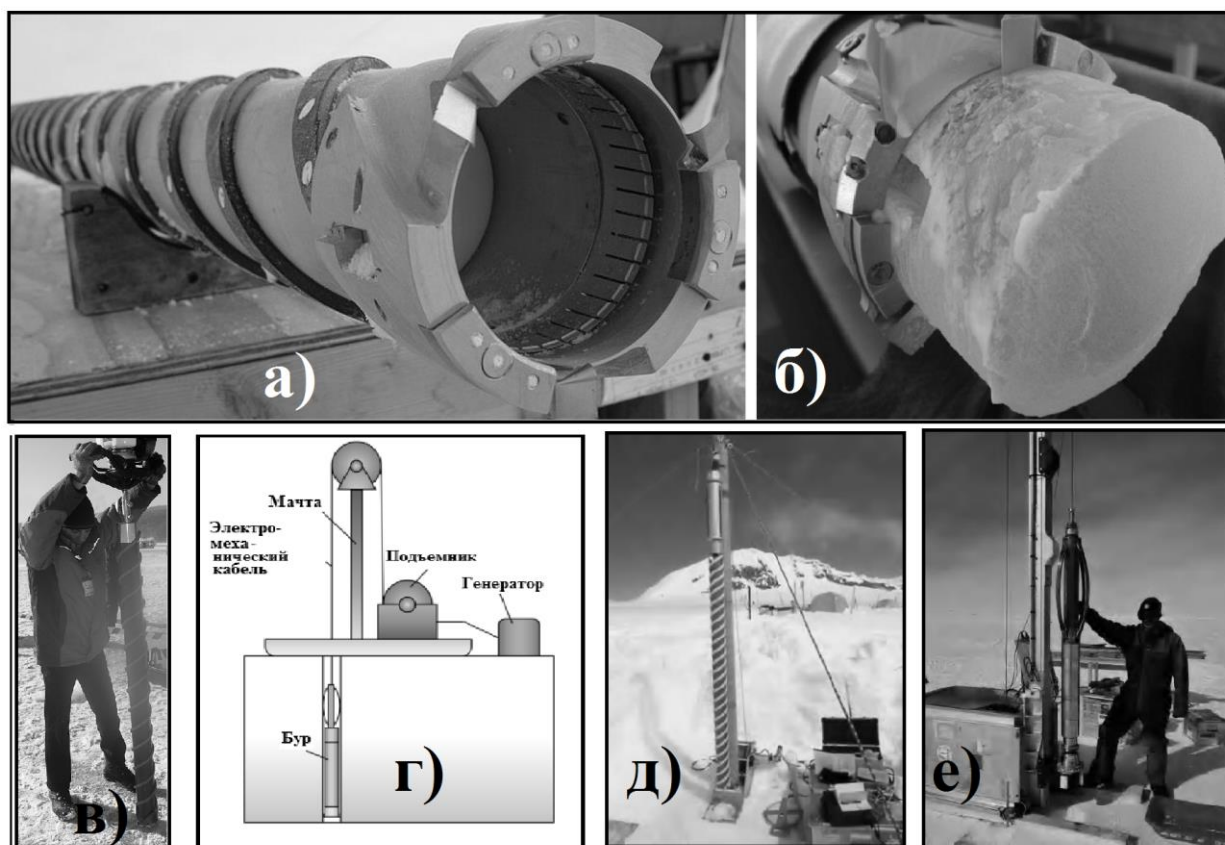


Рис. 2.12. К задаче № 2.2.5: а) бур; б) бур с ледяным керном; в) сверление с помощью бензомотора; сверление буровым комплексом: г) схема и д), е) установки

Решение.

Предлагались спускаемые на тросах буры с автономными механизмами срезания льда торцовыми зубьями. Однако возникает проблема с образовавшейся ледяной стружкой – ее нужно убирать наверх для продвижения бура вниз. Как вариант предлагается перемещение ее наверх, позади бура.

Множество участников предложило не резать, а плавить лед. Сверху по кабелям поступает электроэнергия, которой нагреваются элементы на торце спускаемого на тросе бура. Далее через трубки в буре вода насосами поднимается на поверхность, освобождая пространство для бура, который под действием собственного веса может перемещаться по леднику вниз. В нужный момент нагреваются только теплоэлементы по периметру трубы бура. Проплавлением бур опускается вниз, и ледяной керн остается внутри бура. Далее керн замерзает внутри бура и тросами его поднимают на поверхность для исследования. При необходимости у бура будет нагреваться верхний торец для проплавления обратного выхода. В этом варианте не до конца решен вопрос, насколько нагрев бура допустим: не повлияет ли это на свойства вырезаемого исследуемого образца – керна.

Как вариант резания льда торцовыми зубьями были предложены варианты автономного робота-бура с собственным приводом режущей головки. Такой бур-робот должен будет иметь две телескопические части. Верхняя часть должна иметь периодически выдвигаемые радиально опоры, которые фиксируют эту часть жестко в вырезанном канале. Нижняя часть периодически постепенно выдвигается электродвигателем вниз и начинает вращать вторым двигателем режущую головку с зубьями. Головка режет лед, который по специальным вертикальным каналам в трубчатой части шнеками выдвигается вверх над буром и плотно упаковывается там. Далее верхняя часть должна быть втянута и процесс повторяется. Таким образом, бур может резать лед впереди себя и выталкивать его назад, при этом бур будет автономно продвигаться вперед. В нужном месте у бура зубья должны будут раздвигаться радиально или размещаться вдоль оси трубы, и он вырежет требуемый керн, который пойдет внутрь бура. Далее все зубья вновь вернутся в исходное положение, и бур начнет вырезать путь наверх. Очевидно, что в этом случае у такого робота должен быть мощный источник питания. Кроме того, не очевидно, что плотности исходного льда и спрессованной наверху бура ледяной крошки будут одинаковыми для сохранения объема, срезаемого впереди бура и пакетируемого за буром льда. Современные исследования находят свое отражение в научных статьях [5].

Таким образом, перечисленные во втором разделе задачи носили проектный характер с множеством решений. Участники олимпиады в большей или меньшей степени перечисляли известные им прототипы и

давали оценки их положительных и отрицательных сторон. Многие участники, применяя технологии ТРИЗ, выдвигали неординарные решения по своему уровню близкие к изобретениям. Далее участники для своих предложений разрабатывали конструкторские и технологические решения, давали схемы и эскизы, обосновывали работоспособность и реализуемость своих проектов.

3. ЗАДАЧИ ФИНАЛЬНОГО ЭТАПА. ПРОЕКТНЫЙ ТИП С ЗАДАНЫМИ ВАРИАНТАМИ РЕШЕНИЙ

3.1. Задачи для учащихся 7–9 классов

Задача № 3.1.1. Условие. Пользуясь технологиями Интернета вещей, велосипедист стиля "Кросс-кантри" поместил заказ на велосипед с новыми прочностными характеристиками. После идентификации и проверки платежеспособности контракт был заключен с одним из "умных заводов", где была разработана компьютерная модель велосипеда. На одну из рабочих площадок завода переехали мобильные: сборочный, обрабатывающий, сварочный, транспортный роботы и машина аддитивного производства (3D принтер), которые образовали единую киберфизическую производственную систему. После поступления из технологического бюро через сеть Wi-Fi управляющих программ для роботов началось производство деталей и сборка велосипеда.

Во всех задачах ускорение свободного падения принять равным $g=10$ Н/м².

Участнику на листе с ответами нужно нарисовать таблицу, приведенную ниже, и во вторую колонку вписать итоговый ответ. Решение дать ниже таблицы.

Подзадача № 1.

1) 3D принтер наносит на педаль велосипеда пластиковую окантовку. При непрерывной печати принтер расходует катушку нити $L=500$ метров за $t=500000$ секунд. Диаметр подаваемой из катушки термопластиковой нити $D=2$ мм. Диаметр отверстия сопла, равный диаметру расплавленной нити, выдавливаемой после ее нагрева из сопла $d=0,2$ мм (рис. 3.1). Определить скорость выхода расплавленной нити из сопла.

Решение.

В основе решения закон сохранения материи, в данном случае, объема. Определим объем расхода нити за одну секунду:

$$V(1) = LS/t \text{ или } V(1) = L(\pi D^2 / 4)/t.$$

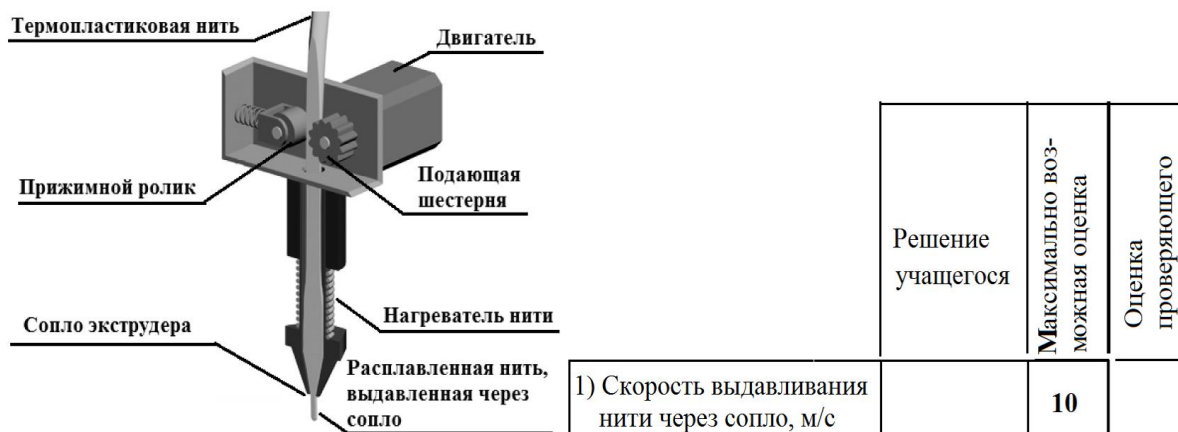


Рис. 3.1. Устройство головки 3D принтера

Определим объем расплавленной нити, выходящей за одну секунду:

$$v(1) = Cs \quad \text{или} \quad v(1) = C(\pi d^2 / 4),$$

где s – площадь поперечного сечения выходящей нити и C – скорость ее выдавливания через сопло. По условию про испарение ничего не сказано (камера нагрева замкнута), значит, объемы равны:

$$L(\pi D^2 / 4) / t = C(\pi d^2 / 4), \quad \text{откуда} \quad C = (L/t)(D^2 / d^2)$$

$$\text{или} \quad C = (500 / 500000)(2^2 / 0,2^2) = 0,1 \text{ м/с.}$$

Ответ: $C=0.1$ м/с.

Подзадача № 2.

2) Обрабатывающий робот начал сверлить отверстие в заготовке шатуна педали велосипеда (рис. 3.2). При сверлении на конце сверла в точке "С" действует вертикальная сила P_x . Размеры на рисунке $L=400$ мм, $H=100$ мм, $S=400$ мм. Составные части робота имеют массы: основание и плечо $M_o=50$ кг; локоть в виде трубы (симметричный) $M_l=10$ кг; рабочий орган со сверлом $M_p=2$ кг. Какая максимальная сила P_x может быть с точке С, при которой опора робота в точке Е начнет отрываться от пола.

Решение.

Решение основано на понятии рычага. При начале поднятия опоры Е все моменты сил (весов и силы на сверле) можно посчитать относительно опоры D.

$$\Sigma M_D=0:$$

$$(S/2)M_0g + (S/2 + L/2)M_lg + (S/2 + L)M_pg = (S/2 + L)P_x.$$

Откуда:

$$P_x = g[(S/2)M_0 + (S/2 + L/2)M_l + (S/2 + L)M_p]/(S/2 + L)$$

или:

$$P_x = 10[200 \cdot 50 + (200 + 200) \cdot 10 + (200 + 400) \cdot 2]/(200 + 400) = 253,33.$$

Ответ: $P_x=253,33\text{Н}$.

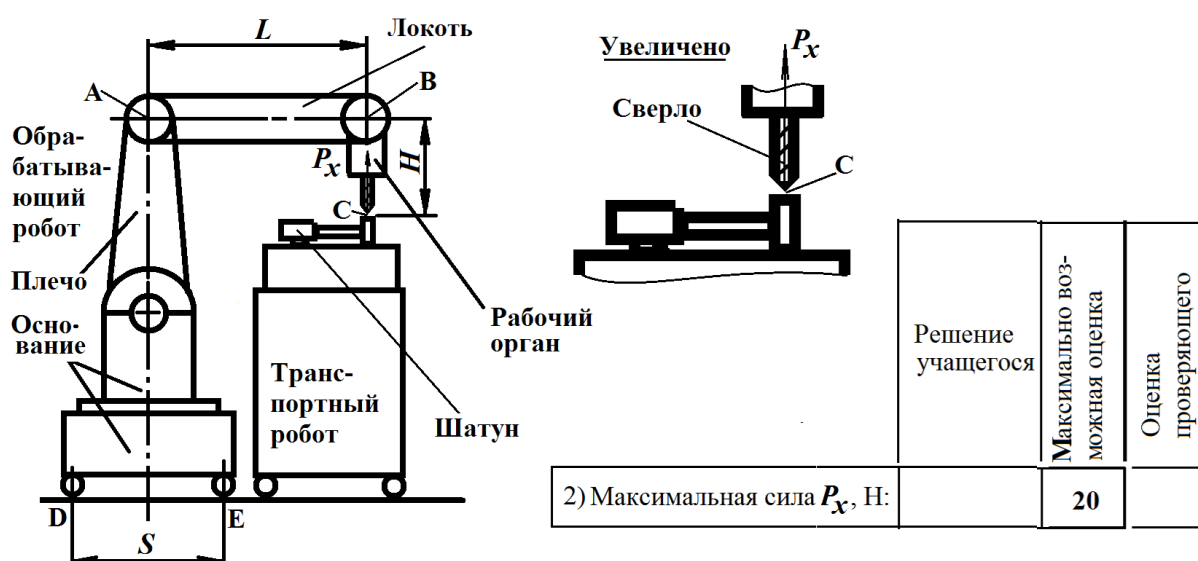


Рис. 3.2. Устройство обрабатывающего робота

Подзадача № 3.

3) Далее транспортный робот переместил шатун к сварочному роботу (рис. 3.3). Для большей прочности шатун с крестовиной решили приварить к звездочке. Эскиз контура, по которому накладывается сварочный шов, показан на рисунке стрелкой. Необходимые размеры приведены на рисунке. Контур состоит из дуг окружностей и прямых линий. Все радиусы дуг на контуре одинаковые. Дуги по касательной сопрягаются с прямыми участками контура. Рассчитать время процесса сварки, если сварочный электрод перемещается по контуру с постоянной скоростью 10 мм/с.

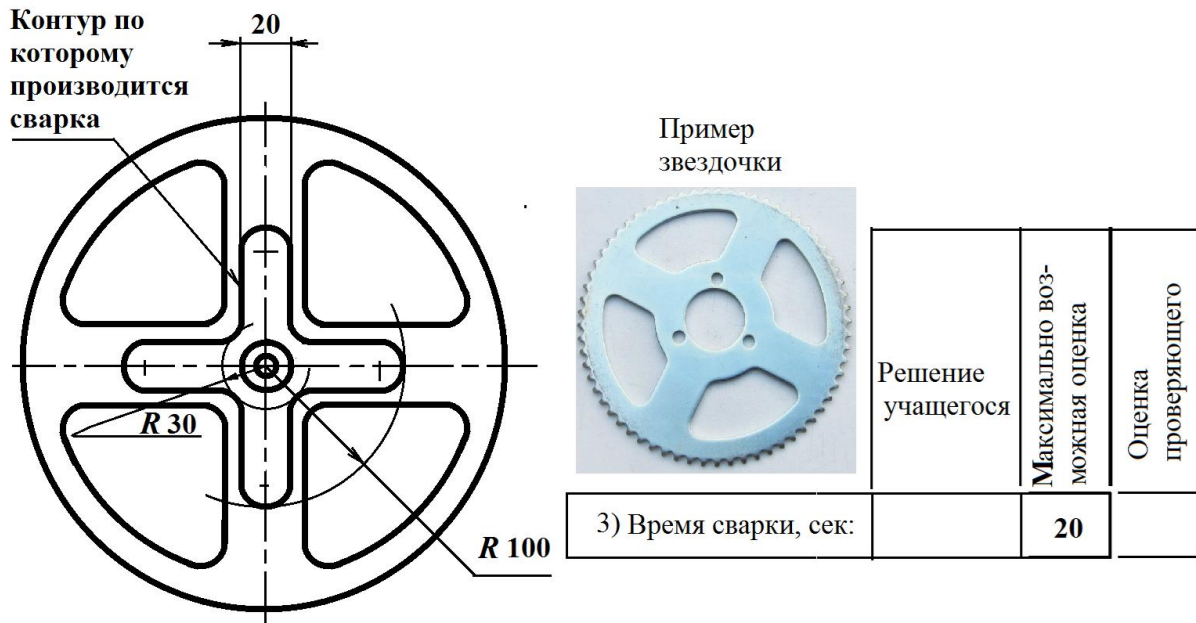


Рис. 3.3. Велосипедная звездочка для приваривания крестовины с шатуном педали

Решение.

Решение связано с определением длины указанного контура. Контур имеет 4 полуокружности у вершины крестовины, 4 аналогичных скругления, но уже их четверти окружности во впадинах крестовины. По условию все радиусы дуг одинаковые, условие касательности окружности двум перпендикулярным или параллельным прямым указывает на полуокружность или ее четверть (радиусы перпендикулярны касательным). Итого, имеются длины, равные 3 полным окружностям. Кроме того, имеется 8 отрезков прямых. Длина каждой окружности:

$$L_{ок} = \pi d \text{ или } L_{ок} = \pi 20 = 62,83 \text{ мм.}$$

Общая длина окружностей: $L_{\Sigma ок} = 3 \cdot 62,83 = 188,5 \text{ мм.}$

Рассчитать длину отрезка можно, определив расстояние от центров окружностей выступов и впадин до горизонтальной оси конструкции. Центр дальней окружности определяется как наружный радиус крестовины 100мм минус радиус окружности скругления 10мм. Итого: 90мм. Центр окружности впадины равен сумме полутолщины крестовины 10мм и радиуса окружности. Итого: 20мм. Тогда длина отрезка $90 - 20 = 70 \text{ мм.}$ Общая длина всего контура:

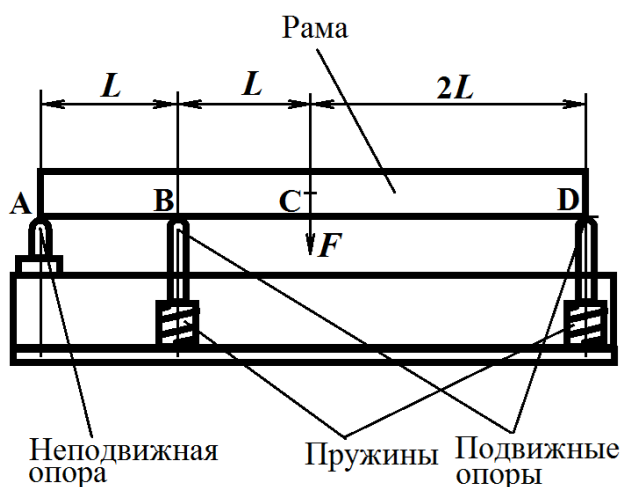
$$L = 188,5 + 8 \cdot 70 = 748,5 \text{ мм.}$$

При скорости сварки 10 мм/с время сварки составит 74.85 сек.

Ответ: 74.85 сек.

Подзадача № 4.

4) Далее транспортный робот переместил шатун к сборочному роботу. Сборочный робот устанавливает раму велосипеда на сборочное приспособление. На столе приспособления имеется неподвижная опора в виде вертикального стержня с торцовой сферической поверхностью (на вершине – точка А), и две аналогичные подпружиненные опоры в точках В и D. Опоры при нажатии на них опускаются вниз. Когда раму положили на приспособление, рама переместила вниз подпружиненные опоры. Определить величину перемещения вниз точки D, если центр тяжести рамы находится в точке С, а масса рамы $M=20\text{кг}$. Расстояния: $(AB)=L$; $(BC)=L$; $(CD)=2L$. Раму считать абсолютно жесткой. Коэффициенты жесткости пружин одинаковы $k=100\text{Н/мм}$.



Решение учащегося	Максимально возможная оценка	Оценка проверяющего
4) Перемещение в т. D, мм:	40	

Рис. 3.4. Сборочное приспособление

Решение.

Решение связано с определением сил на пружинах и их деформаций. Сумма моментов сил относительно точки А равна:

$$kX_1L + kX_2(4L) - F(2L) = 0.$$

Здесь X_1 и X_2 , соответственно, деформации первой (В) и второй (D) пружин. Поскольку рама не деформируется, то есть сохраняет свою прямолинейность в точках А, В, D, то после деформаций получится треугольник ADD' , где D' – положение точки D после деформации пружин. Соответственно, будет пропорция длинам L отрезков $X_2=4X_1$.

Подставляя в первое уравнение, получим:

$$0,25kX_2L + kX_2(4L) - F(2L) = 0.$$

Тогда: $X_2 = F(2L)/[0,25kL + k(4L)]$ или $X_2 = 2Mg/(4,25k)$
или $X_2 = 2 \cdot 20 \cdot 10/(4,25 \cdot 100) = 0,94 \text{ мм.}$

Ответ: $X_2 = 0.94 \text{ мм.}$

Примечание, если учащиеся не определяют отношение отрезков в треугольнике, то можно взять сумму всех проекций векторов сил на вертикальную ось. Сила в точке А равна $F_A = F - kX_1 - kX_2$. Сумма моментов относительно точки D: $F_A(4L) + kX_1(3L) - F(2L) = 0$. Таким образом, их трех уравнений с тремя неизвестными: $(F - kX_1 - kX_2)(4L) + kX_1(3L) - F(2L) = 0$. Здесь можно найти X_1 и подставить его в первое уравнение.

Подзадача № 5.

5) Одна из деталей 3D принтера имеет габариты куба 160x160x160мм и изображена тремя проекциями, приведенными на рисунке слева ("Задача для решения"). Три проекции – это изображение трех видов детали: спереди (взгляд по оси Z), слева (по оси X) и сверху (по оси Y). Все отверстия имеют сквозные, не меняющиеся по длине поперечные сечения. Нарисуйте разрез этой детали в плоскости, параллельной виду спереди (плоскость, параллельная XоY) и проходящей ровно посередине толщины детали. Для пояснения приведенных выше понятий на рисунке справа ("Пример для пояснения") даны все виды и разрезы применительно к другой детали. На разрезе рисуются все линии, которые попали в секущую плоскость и которые видны за ней. *Оценка за верный ответ 10 баллов.*



Рис. 3.5. Деталь для 3D принтера и пример решения

Ответ: (справа для пояснения даны трехмерные изображения)

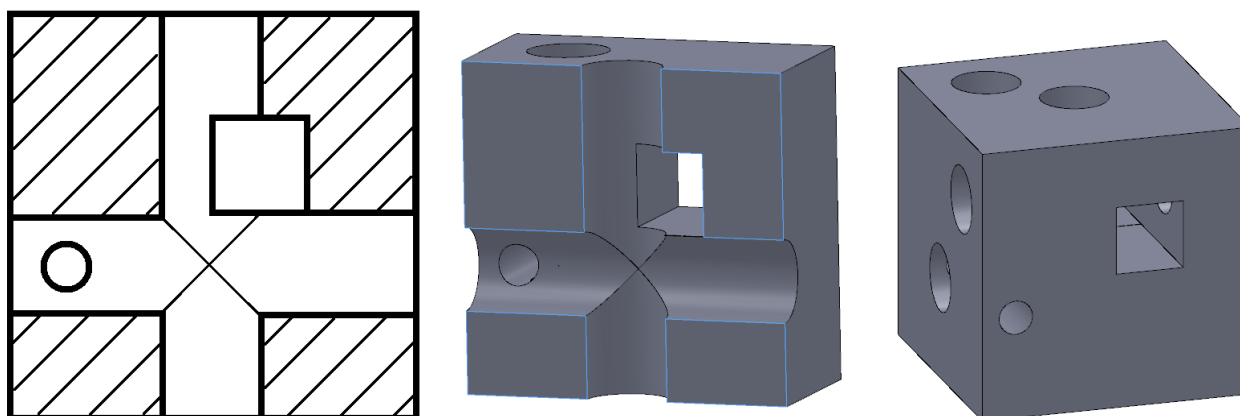


Рис. 3.6. Ответ к подзадаче № 5 задачи № 1.1

Задача № 3.1.2. Условие. Выпускник университета решил организовать собственное малое инновационное предприятие. Взяв кредит в банке, он купил киберфизическую производственную систему для ремонта малогабаритных одноместных электромобилей, таких как городские беспилотные роботы-такси.

Купленная молодым инженером система включает в себя: сборочный, обрабатывающий, сварочный, транспортный роботы и робот аддитивного производства (3D принтер). В процессе эксплуатации такой системы инженеру пришлось решать ряд производственных задач, представленных ниже. Во всех этих задачах ускорение свободного падения принять равным $g=10 \text{ Н/м}^2$.

Участнику на листе с ответами нужно нарисовать таблицу, приведенную ниже, и во вторую колонку вписать итоговый ответ. Решение дать ниже таблицы.

Подзадача № 1.

Для ремонта поврежденных участков композитных дверей и обшивки электромобиля робот, у которого в качестве рабочего органа установлена головка 3D принтера, наносит на эти участки слой пластикового покрытия, которое потом шлифуется. В среднем при ремонте наносится покрытие в виде цилиндра диаметром 100мм и толщиной 1мм. Для нанесения покрытия из головки 3D принтера выдавливается термопластиковая нить. Такая нить заправляется в головку принтера и имеет площадь поперечного сечения $0,5\text{мм}^2$. Сколько метров нити должен заказать инженер для выполнения каждого такого ремонта?

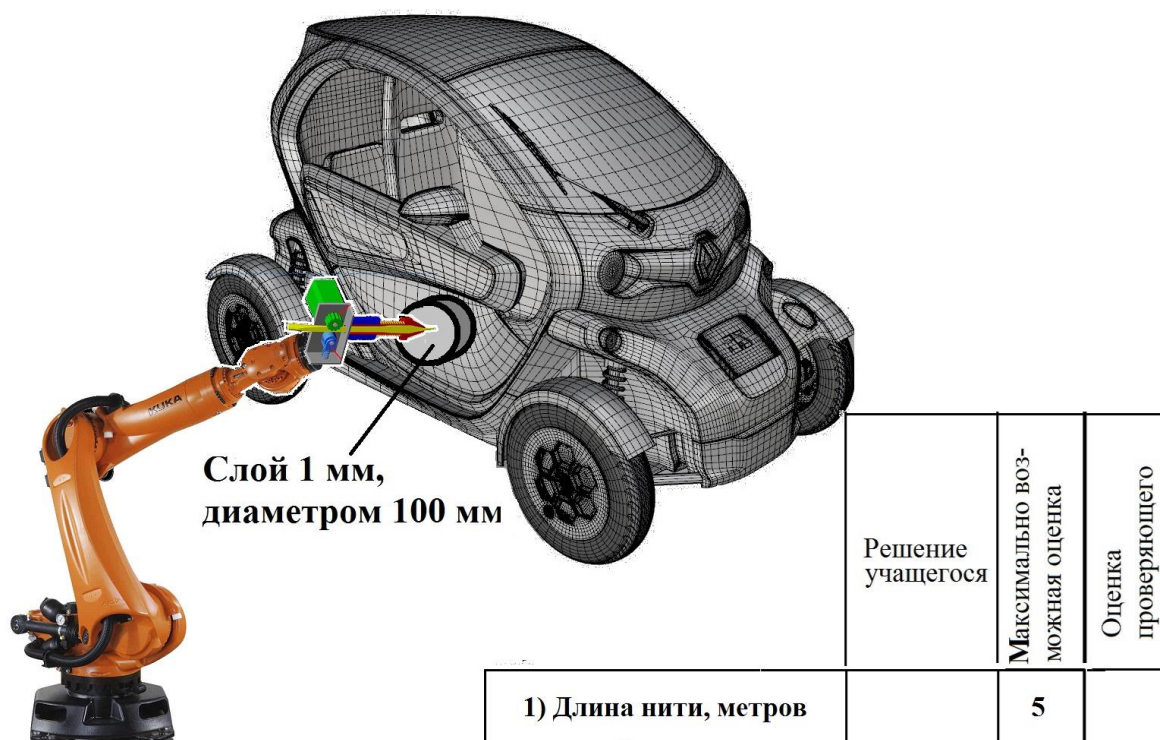


Рис. 3.7. Нанесение слоя пластика на дверцу автомобиля с использованием робота и головки 3D принтера

Решение.

В основе решения закон сохранения материи, в данном случае, объема. Очевидно, что объем покрытия равен объему цилиндра:

$$V(1) = LS \text{ или } V(1) = L(\pi D^2 / 4) \text{ или } V(1) = 1 \cdot (\pi 100^2 / 4) \text{ мм}^3.$$

Объем нити аналогичен: $V(2) = LS$ или $V(2) = 0,5L$. Поскольку $V(1)=V(2)$, то $L = 2\pi \cdot 100^2 / 4 = 15700 \text{ мм}$.

Ответ: $L=15,7$ метра.

Подзадача № 2.

Ремонт электромобиля выполняется на стапеле, который закрепляется на транспортной платформе-роботе. Такой робот и доставил ранее электромобиль к роботу с головкой 3D принтера. В процессе ремонтных работ из платформы опускаются вниз четыре опоры, которые ее приподнимают, и которыми платформа опираются жестко на пол цеха. Площадь опорной поверхности каждой опоры $S=10000 \text{ мм}^2$. Необходимо определить максимальное давление в кило-Паскалях, которое оказывается опорами платформы на пол, если центр тяжести электромобиля смещен влево и определяется силой $P=5000 \text{ Н}$. Электромобиль симметричен

относительно его продольной вертикальной плоскости. Измеренные в плоскости рисунка расстояния от линии действия этой силы до середины указанных опор: $L_1=1500\text{мм}$ и $L_2=500\text{мм}$. Стапель и платформа имеют общую массу $M=200\text{кг}$. Они симметричны относительно вертикальных плоскостей.

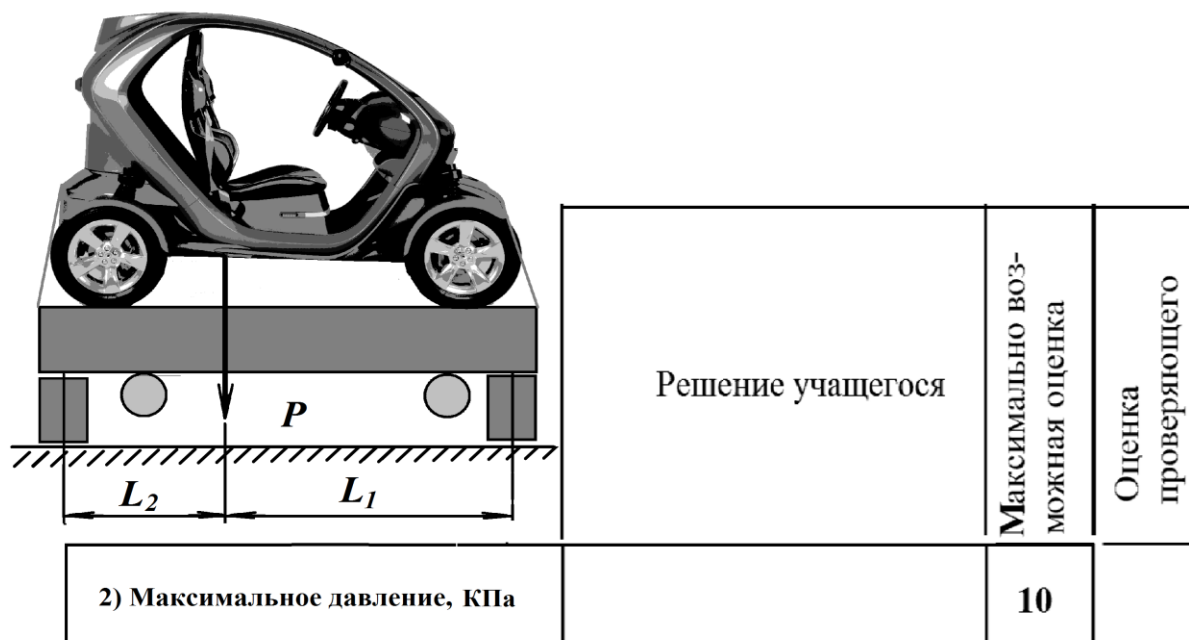


Рис. 3.8. Ремонтируемый электромобиль на транспортной платформе-роботе

Решение.

Решение основано на понятии рычага и понятии давления. Давление от опор на пол определяется силами, приложенными к этим опорам и их площадью. Чтобы найти силы, необходимо учесть симметричность всей конструкции относительно вертикальной продольной оси. Следовательно, силы на дальних по рисунку и соответствующих им ближних опорах одинаковы. Тогда нужно определить силы на левой и правой по рисунку опорах. Так как сила тяжести от электромобиля смещена влево, то, очевидно, что левая опора более нагружена. Определим силу на ней. Для этого определим моменты сил относительно точки в центре правой по рисунку опоры:

$$F_n(L_1 + L_2) = 0,5(PL_1 + Mg \cdot 0,5(L_1 + L_2)).$$

Откуда: $F_n = 0,5(PL_1 / (L_1 + L_2) + 0,5 \cdot 0,5Mg)$
или $F_n = 0,5(5000 \cdot 1500 / (1500 + 500) + 0,25 \cdot 200 \cdot 10) = 2125\text{Н}$.

Тогда искомое давление: $p = F_d / S$ или $p = 2125 / 0,01 = 212500$ Па или $p = 212,5$ кПа.

Ответ: $p = 212,5$ кПа

Подзадача № 3.

Каркас электромобиля состоит из так называемых шовных труб (рис. 3.9 слева). Такие трубы получают сворачиванием узкого стального листа в цилиндр, и место стыка этого листа потом сваривают. При долгой эксплуатации электромобиля и прогибах его труб их швы в некоторых местах разошлись. В связи с этим, инженер решил все швы еще раз проварить для повышения прочности каркаса. При такой сварке сварочный электрод перемещают вдоль продольной оси трубы и сваривают ее продольным швом. В итоге сварочный робот должен сварить две боковые стойки, напоминающие овал (рис. 3.9 слева). Эскиз такой стойки жирными линиями отображен на рис. 3.9 справа. На нем же даны размеры. Каждая овальная стойка состоит из 10 участков трубы. Часть таких участков – дуги окружностей, другая часть – отрезки прямых линий. Дуги окружностей имеют радиусы: $R_1 = R_4 = 100$ мм, $R_3 = R_6 = 200$ мм, $R_2 = R_5 = 800$ мм. Углы, характеризующие длины этих дуг, имеют, соответственно, значения: $\alpha_1 = \alpha_4 = 90$ град, $\alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_5 = \alpha_6 = 45$ град (напомним, что весь оборот окружности соответствует значению 360 град, для сравнения: на часах весь оборот минутной стрелки на циферблате равен 60 минутам, тогда $\alpha_1 = 90$ град соответствует 15 минутам, а угол $\alpha_2 = 45$ град соответствует 7,5 минутам). Прямолинейные участки указанных стоек имеют длины: $L_1 = 600$ мм, $L_2 = L_3 = 400$ мм, $L_4 = 300$ мм. Сколько секунд потребуется для сварки обеих стоек, если скорость перемещения электрода сварочным роботом вдоль таких труб составляет $V = 10$ мм/с?

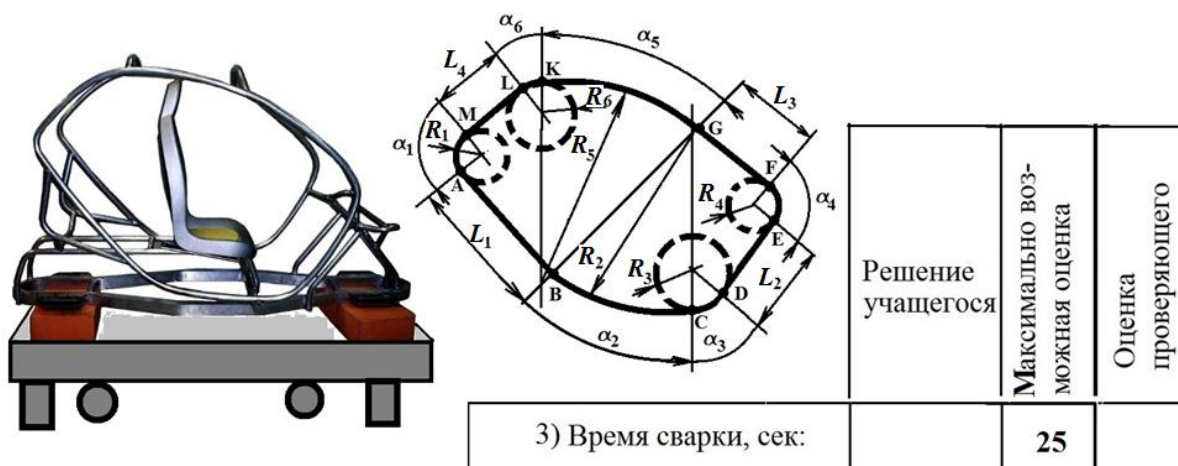


Рис. 3.9. Трубчатый каркас электромобиля и его размеры

Решение.

Решение связано с определением длины указанного контура обеих стоек. Контур каждой стойки имеет 6 дуг окружности и 4 прямолинейных участка. Длина каждой i -той дуги окружности:

$$L_{окi} = 2U_i \pi R_i,$$

где U_i – угловая доля дуги в угле, описывающем всю окружность: $U_i = \alpha_i/360$. Тогда длины дуг:

$$L_{ок1} = L_{ок4} = 2(90/360)\pi \cdot 100 = 157 \text{ мм};$$

$$L_{ок3} = L_{ок6} = 2(45/360)\pi \cdot 200 = 157 \text{ мм};$$

$$L_{ок2} = L_{ок8} = 2(45/360)\pi \cdot 800 = 628 \text{ мм}.$$

Соответственно, длина каждой стойки будет равна:

$$L_c = 2L_{ок1} + 2L_{ок3} + 2L_{ок3} + L_1 + 2L_1 + L_4$$

$$\text{или } L_c = 2(157 + 157 + 628) + 600 + 2 \cdot 400 + 300 = 3584 \text{ мм}.$$

Две стойки будут иметь длину $L = 2L_c = 7168$ мм. Время сварки

$$t = L/V \text{ или } t = 7168/10 = 716,8 \text{ с или примерно } t=717 \text{ с}.$$

Ответ: $t=717$ с.

Подзадача № 4.

Далее транспортный робот переместил электромобиль к обрабатываемому роботу. Робот должен просверлить вертикальное отверстие на определенную глубину в раме электромобиля для установки камеры нового автопилота. В рабочий орган робота установили пружинный компенсационный патрон, в который, в свою очередь, вставили сверло диаметром $D=8$ мм. Инженер решил просверлить отверстие в электромобиле прямо на транспортном роботе. В процессе сверления пружина жесткостью $k_1=10\text{Н/мм}$ компенсационного патрона начнет вертикально сжиматься. При этом четыре вертикальных одинаковых пружины подвески электромобиля также начнут сжиматься. Жесткость каждой из них $k=100\text{Н/мм}$. Пружины закреплены на каркасе электромобиля с использованием свободновращающихся шарниров. В результате перемещения рабочего органа робота вниз на высоту $H=10$ мм и сжатия пружин сверло к моменту начала сверления переместится на

определенную глубину. Требуется определить, на какую величину переместится вершина этого сверла L , если расстояния от оси отверстия до каждой из четырех пружин подвески автомобиля одинаковы. Остальные части автомобиля и роботов считать абсолютно жесткими.

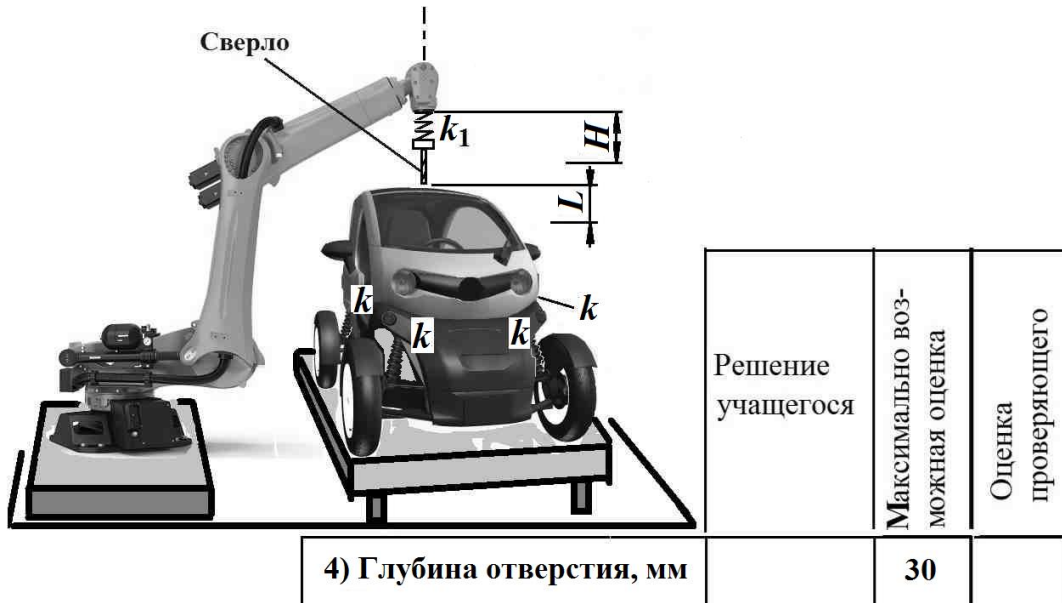


Рис. 3.10. Сверление отверстия роботом в крыше автомобиля

Решение.

Решение связано с определением сил на пружинах и их деформаций. Перемещение рабочего органа вниз на длину H до момента начала сверления создаст усилие:

$$F = k_{cp} H .$$

Эта сила одинаково действует как на первую пружину, так и на четыре пружины автомобиля. Поскольку сила равноудалена от них, то все они будут деформироваться одинаково. Сила на первой пружине, соответственно: $F = k_1 H_1$. Сила на четырех пружинах: $F = 4k H_4$. Поскольку эти силы по закону Ньютона равны, то $k_1 H_1 = 4k H_4$. Но деформации этих пружин равны общей деформации, равной перемещению рабочего органа робота:

$$H = H_1 + H_4 .$$

Тогда $H_4 = H - H_1$. Подставляя в предыдущее уравнение, получим:

$$k_1 H_1 = 4k(H - H_1) \text{ или } k_1 H_1 + 4k H_1 = 4k H , \text{ или } H_1(k_1 + 4k) = 4k H .$$

Откуда: $H_1 = 4k H / (k_1 + 4k)$.

Подставим числовые значения: $H_1 = 4 \cdot 100 \cdot 10 / (10 + 4 \cdot 100) = 9,76$ мм. Это деформация первой пружины. Рабочий орган работа переместиться на 10 мм, но пружина, что выше сверла сожмется на 9,76 мм. Само же сверло и его вершина переместятся на величину:

$$L = H - H_1 \text{ или } L = 10 - 9,76 = 0,24 \text{ мм.}$$

Это равно величине H_4 – деформации каждой из четырех пружин подвески. Отметим, что сразу же можно было посчитать искомую деформацию:

$$L = H_4 = k_1 H / (k_1 + 4k) \text{ или } L = 100 / 410 = 0,24 \text{ мм}$$

Ответ: $L = 0,24$ мм.

Подзадача № 5.

Для участка сборки инженер получил чертеж одной из частей электромобиля, которая без размеров изображена тремя проекциями, приведенными на рисунке слева внизу ("Задача для решения"). Три проекции – это изображение трех видов конструкции: спереди (взгляд по оси Z), слева (по оси X) и сверху (по оси Y). Конструкция состоит только из одинаковых элементов. Нарисуйте разрез этой конструкции плоскостью, параллельной виду спереди (плоскость, параллельная XоY) и проходящей ровно посередине толщины конструкции. Для пояснения приведенных выше понятий на рисунке справа ("Пример для пояснения") даны все виды и разрезы применительно к другой детали. На разрезе рисуются все кромки детали, которые попали в секущую плоскость и которые видны за ней.

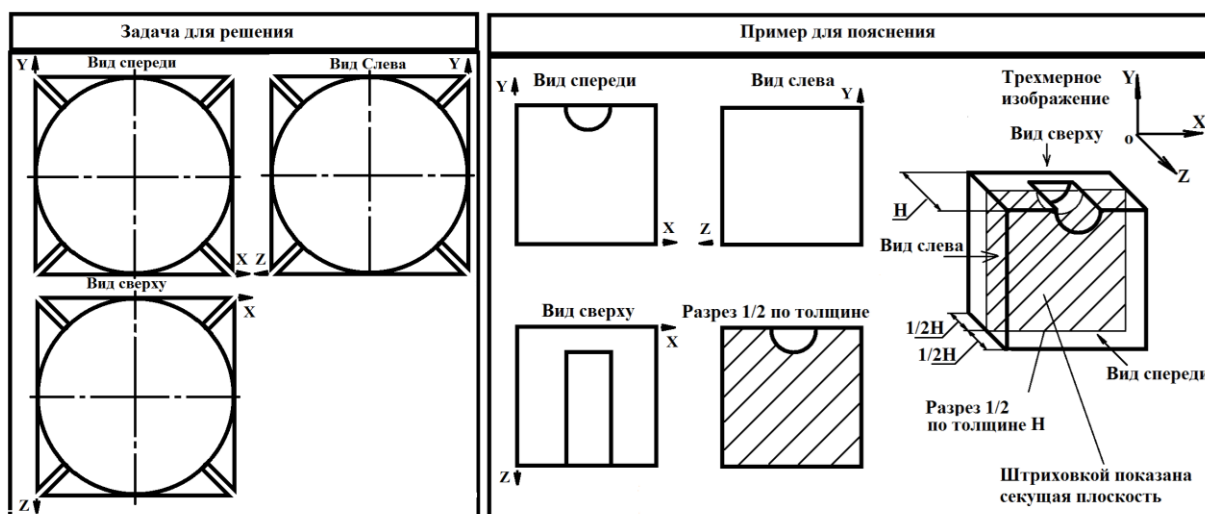


Рис. 3.11. Одна из частей электромобиля и пояснение к решению задачи

Решение.

Для решения задачи необходимо сначала понять конструкцию. Это сборка деталей. Представлено шесть одинаковых конусов, которые сходятся вершинами к центру фигуры, при этом между данными вершинами остается зазор. Для построения разреза в указанной плоскости нужно понять, что конусы спереди и сзади не попадают в плоскость разреза. Таким образом, четыре конуса попадают в секущую плоскость и в ней отображаются прямоугольными треугольниками. Поскольку по условию разрез – это изображение контуров сечения и контуров, что расположены за ним, то контур заднего конуса – его окружность, что видна за указанными четырьмя конусами, также отображается. В центре сечения отображается точка – вершина заднего конуса, но такая точка закрывается осевыми линиями.

Справа для пояснения даны трехмерные изображения конусов.

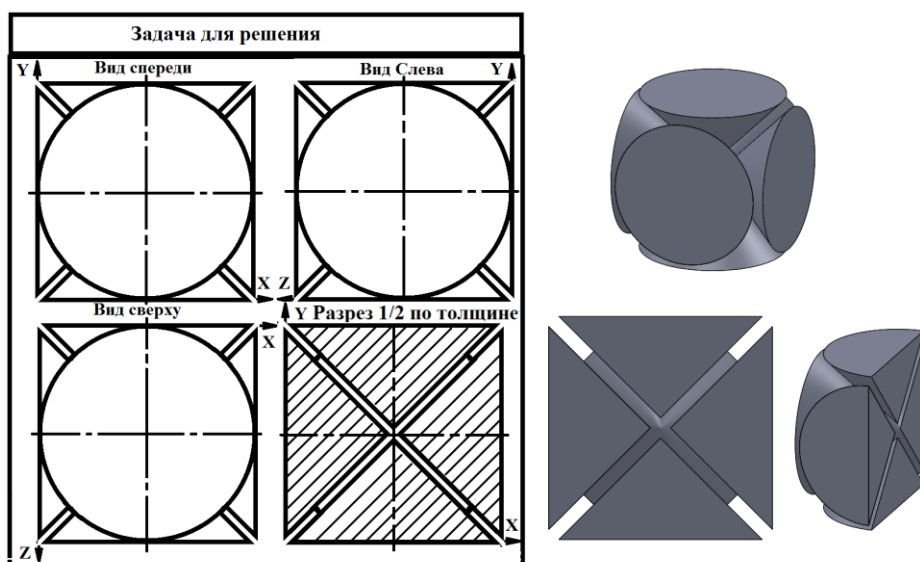


Рис. 3.12. Ответ к подзадаче № 5 задачи № 1.2

3.2. Задачи для учащихся 10–11 классов

Задача № 3.2.1. Условие. Пользуясь технологиями Интернета вещей, велосипедист стиля "Кросс-кантри" поместил заказ на велосипед с новыми прочностными характеристиками. После идентификации и проверки платежеспособности контракт был заключен с одним из "умных заводов", где была разработана компьютерная модель велосипеда. На одну из рабочих площадок завода переехали мобильные: сборочный, обрабатывающий, сварочный, транспортный роботы и машина аддитивного производства, которые образовали единую киберфизическую производственную систему. После поступления из технологического бюро через сеть Wi-Fi управляющих программ для роботов началось

производство деталей и сборка велосипеда. Во всех задачах ускорение свободного падения принять равным $g=10 \text{ Н/м}^2$.

Участнику на листе с ответами нужно нарисовать таблицу, приведенную ниже, и во вторую колонку вписать итоговый ответ. Решение дать ниже таблицы.

Подзадача № 1.

Обрабатывающий робот начал фрезеровать заготовку шатуна педали велосипеда (рис. 3.13). При резании на торец фрезы в точке "С" действуют силы, которые обычно представляют как горизонтальную силу: $P_z = 200\text{Н}$ и вертикальную силу $P_x = 100\text{Н}$. Размеры на рисунке $L=500\text{мм}$, $H=100\text{мм}$. В точке "А" сверху на цилиндрической поверхности локтя робота наклеен датчик (полоска бумаги $10 \times 10\text{мм}$ с проволочками) для контроля допустимых деформаций сжатия в этом месте локтя робота.

1.1) Как изменится сжатие поверхности локтя под наклеенным в точке "А" датчиком, если обе составляющие силы увеличить одновременно в два раза? (оценка за верный ответ 4 балла).

1.2) Увеличится или уменьшится сжатие под датчиком "А" при уменьшении вертикальной составляющей P_x ? (оценка за верный ответ 3 балла).

1.3) Если принять, что $P_z = 0$, то как изменится сжатие локтя под наклеенным датчиком, если высоту H увеличить до $H=200 \text{ мм}$? (оценка за верный ответ 3 балла).

Массой всех элементов задачи пренебречь. Жесткость локтя при сжатии $k_c=1000\text{Н/мм}$; при изгибе $k_u=1000\text{Н*м/мм}$. В поперечном сечении у точки А локоть считать жестко заделанным.

Решение учащегося	Максимально возможная оценка	Оценка проверяющего
1.1) Сжатие будет:	4	
1.2) Сжатие будет:	3	
1.3) Сжатие будет:	3	

Рис. 3.13. Обрабатывающий робот

Решение.

1.1) Задача относится к задачам упругости. Согласно закону Гука при упругих деформациях растяжения-сжатия всегда справедливо: $F=kX$. Таким образом, если все нагрузки увеличить в два раза (массами и весом пренебрегаем по условию задачи), то при сохранении жесткости все деформации увеличатся ровно в два раза.

Ответ №1.1: Увеличится в 2 раза.

1.2) Сила P_x направлена вверх и изгибает трубчатый локоть робота. В точке В произойдет перемещение вверх. Верхние слои трубы сжимаются, что и указано в условии задачи. Таким образом, если сила уменьшится, то и сжатие уменьшится.

Ответ №1.2: Уменьшится.

1.3) Если останется только вертикальная изгибающая локоть сила, то при увеличении H ничего не изменится, так как модуль силы, ее направление и плечо силы не меняются.

Ответ №1.3: Не изменится.

Подзадача № 2.

1) Далее транспортный робот переместил шатун к сварочному роботу. Его тепловизор показал начальную температуру $T_{u1}=20$ градусов Цельсия у стального шатуна и стальной звездочки, которую нужно приварить к шатуну для большей прочности. Робот начал приваривать звездочку к шатуну, нанося на место сварки стальной расплав. Тепловизор робота показал температуру расплава $T_{p1} =1000$ градусов. Масса шатуна и звездочки вместе – $M_u=100$ граммов. Масса нанесенного расплава $M_p=10$ граммов. Удельная теплоемкость стальных шатуна, звездочки и расплава $C=500$ Дж/(кг·град). Удельная теплота плавления стали $\lambda=100000$ Дж/кг. Определить итоговую температуру всей сваренной конструкции по окончании процесса сварки и застывания расплава. Дополнительный прогрев заготовок от горящего газа, теплообмен с окружающей средой не учитывать.

Решение.

Согласно закону сохранения энергии теплота системы, выделенная при нагревании деталей до температуры T должна быть равна теплоте, выделенной при затвердевании расплава и его охлаждении до этой же температуры T . Теплота при нагревании:

$$Q_{u1} = M_u C(T - T_{u1}).$$

Теплота при отвердевании расплава:

$$Q_{p3} = \lambda M_p.$$

Теплота при остывании расплава:

$$Q_p = M_p C(T_{p1} - T).$$

Баланс:

$$Q_{ш} = Q_{pz} + Q_p \text{ или } M_{ш}C(T - T_{ш1}) = \lambda M_p + M_p C(T_{p1} - T).$$

Откуда:

$$-M_{ш}CT_{ш1} + M_{ш}CT - \lambda M_p - M_p CT_{p1} + M_p CT = 0$$

или $(M_{ш}C + M_p C)T = M_{ш}CT_{ш1} + \lambda M_p + M_p CT_{p1},$

или $T = (M_{ш}CT_{ш1} + \lambda M_p + M_p CT_{p1}) / (M_{ш}C + M_p C),$

или

$$T = (0,1 \cdot 500 \cdot 20 + 100000 \cdot 0,01 + 500 \cdot 1000) / (0,1 \cdot 500 + 0,01 \cdot 500) = 127,7C^{\circ},$$

Ответ: $T = 127.7$ градусов Цельсия.

Подзадача № 3.

Далее транспортный робот переместил шатун к сборочному роботу. Сборочный робот после соединения рамы и узла с педалями должен провести испытание сборки, а именно прокрутить педали, выполнив $n=1000$ оборотов педали. Сколько киловатт-часов электроэнергии должно быть израсходовано роботом, если касательная сила от катка, на который опирается заднее колесо, составляет $F=10\text{Н}$. Диаметр заднего колеса $D=600$ мм. Коэффициент полезного действия привода велосипеда $\eta_6=90\%$. Коэффициент полезного действия приводов робота $\eta_p=80\%$. Отношение диаметра звездочки шатуна (педали) к диаметру звездочки колеса 2:1. Силами трения между колесом и барабаном, тепловыми потерями и сопротивлением воздуха пренебречь.

Решение.

Согласно закону сохранения энергии электроэнергия, подведенная к роботу для требуемого вращения педали, должна быть равна работе, совершаемой силой сопротивления на колесе велосипеда, при этом необходимо учесть потери в велосипеде от педали к колесу и потери в самом роботе. Сила на шине колеса совершает работу за один его оборот, равную длине шины, умноженной на эту силу:

$$A_1 = \pi DF.$$

Поскольку отношение звездочек 2:1, то при $n=1000$ оборотов педали, колесо совершит 2000 оборотов и общая работа указанной силы равна

$A = 2000\pi DF$. Эта работа может быть выполнена при подводе электроэнергии $A_э = A / \eta_p / \eta_э$. Тогда:

$$A_э = 2000\pi DF / \eta_p / \eta_э \text{ или}$$

$$A_э = 2000\pi \cdot 0,6 \cdot 10 / 0,9 / 0,8 = 52359,87 \approx 52360 \text{ Дж.}$$

Учитывая, что $1 \text{ час} = 3600 \text{ с}$ и что $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{сек} = 0,001 \text{ кВт} \cdot \text{сек} = 0,001 / 3600 \text{ кВт} \cdot \text{час}$, то получим:

$$52360 \text{ Дж} / 3600 / 1000 = 0,0145 \text{ кВт} \cdot \text{час.}$$

Ответ: $P = 0,0145 \text{ кВт} \cdot \text{час.}$

Подзадача № 4.

Далее транспортный робот переместил сборку велосипеда к станку аддитивного производства в виде 3D принтера. Станок с рамой в виде прямоугольного параллелепипеда, напоминающего аквариум (ABCD – нижние балки и EFGH – верхние балки), наносит пластиковую окантовку на педаль посредством головки, которая расположена в точке Р. Головка расположена на перемещающихся направляющих балках (KL) и (MN), которые скользят по верхним балкам, соответственно (EH)-(FG) и (EF)-(HG). Указанные балки сами опираются на вертикальные стойки (EA), (FB), (GC), (HD). Рассчитать вертикальные силы, которые возникнут на вертикальных стойках в точках E, F, G, H при указанном расположении головки. Масса головки 200гр. Расстояния (HN)=800мм; (NG)=400мм; (GL)=825мм; (LF)=275мм. Массой всех остальных частей станка пренебречь. Все части станка считать абсолютно жесткими

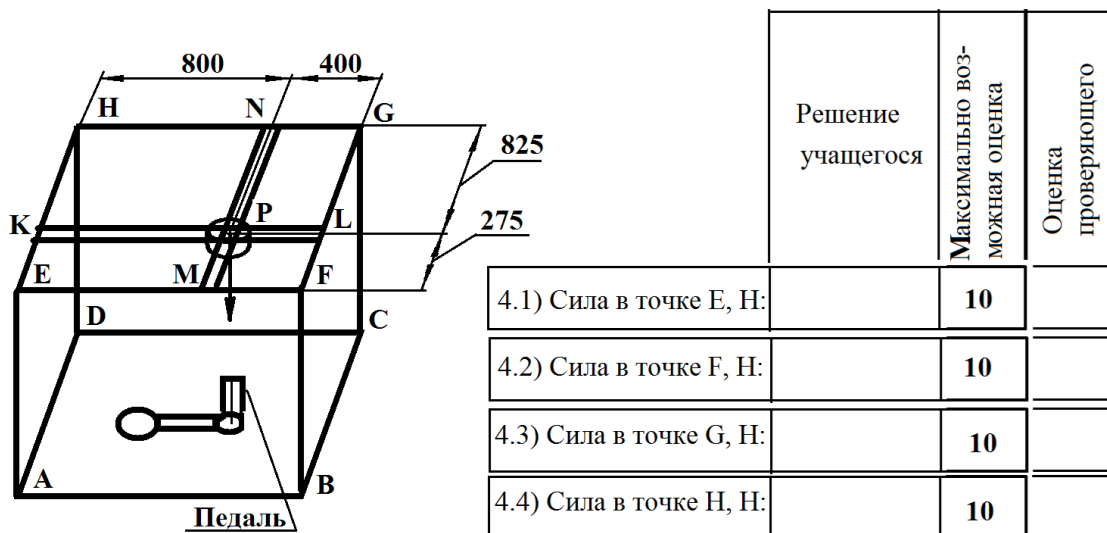


Рис. 3.14. Станок аддитивного производства

Решение.

4) Рассмотрим рычаг KPL. Отношение плеч KP/PL=2/1. Таким образом, $F_P=0.2 \cdot 10=2\text{Н}$.

Сумма моментов вокруг точки К: $1200F_L - 800F_P=0$. Откуда: $F_L=(2/3)F_P$. Аналогично, $F_K=(1/3)F_P$. Таким же образом рассмотрим рычаги: ЕКН и FLG. Отношение плеч КН/ЕК= 825/275=3/1. Аналогично, по правилам рычага: $1100F_F-825F_L=0$, откуда: $F_F=(825/1100)F_L=(3/4)F_L$.

Таким же образом: $F_G=(275/1100)F_L=(1/4)F_L$. Аналогично, по правилам рычага: $F_E=(825/1100)F_K=3/4F_K$ и $F_H=(275/1100)F_K=(1/4)F_K$.

Окончательно:

$$\begin{aligned} F_F &= (825/1100)F_L = (3/4)F_L = (3/4)(2/3)F_P = (1/2)F_P \text{ или } F_L = 1\text{Н}; \\ F_G &= (275/1100)F_L = (1/4)F_L = (1/4)(2/3)F_P = (1/6)F_P \text{ или } F_G = 1/3\text{Н}; \\ F_E &= (825/1100)F_K = (3/4)F_K = (3/4)(1/3)F_P = (1/4)F_P \text{ или } F_E = 1/2\text{Н}; \\ F_H &= (275/1100)F_K = (1/4)F_K = (1/4)(1/3)F_P = (1/12)F_P \text{ или } \\ F_H &= 1/6\text{Н}. \end{aligned}$$

Проверим сумму: $F_L + F_G + F_E + F_H = 1 + 1/3 + 1/2 + 1/6 = 2\text{Н}$ (для массы 200гр).

Ответ: $F_L = 1\text{Н}; F_G = 1/3\text{Н}; F_E = 1/2\text{Н}; F_H = 1/6\text{Н}$.

Замечание. Реальный станок всегда имеет погрешности. Если контакт происходит первоначально по точкам К и L, то из-за этих погрешностей в точках М и N будут зазоры. Возможна ситуация наоборот, когда контакт будет по последним точкам, а зазор будет в первых точках. Тогда первоначально будут появляться пропорции 3/4, затем 2/3. Но их произведение даст тот же самый результат.

Подзадача № 5.

Одна из деталей 3D принтера имеет габариты куба и изображена тремя проекциями, приведенными на рисунке слева ("Задача для решения"). Три проекции – это изображение трех видов детали: спереди (взгляд по оси Z), слева (по оси X) и сверху (по оси Y). Нарисуйте сечение этой детали в плоскости, параллельной виду спереди (плоскость, параллельная ХоУ) и проходящей ровно посередине толщины детали. Для пояснения приведенных выше понятий на рисунке справа ("Пример для пояснения") даны все виды и сечения применительно к другой детали. На сечении рисуются все линии, которые попали в секущую плоскость.

Участнику на листе с ответами нужно нарисовать таблицу, приведенную ниже, и во вторую колонку вписать итоговый ответ. Решение дать ниже таблицы.

Подзадача № 1.

Для ремонта поврежденных участков композитных дверей и обшивки электромобиля робот с установленной в качестве рабочего органа головкой 3D принтера наносит на такие участки слой пластикового покрытия, которое потом шлифуется. В среднем при ремонте наносится покрытие в форме усеченного конуса с радиусами оснований $R_1=50$ и $R_2=45$ мм и высотой $H=2$ мм. Для нанесения покрытия из головки 3D принтера выдавливается термопластиковая нить. Такая нить заправляется в головку и имеет площадь поперечного сечения $0,5 \text{ мм}^2$. Сколько метров нити должен заказать инженер для выполнения каждого такого ремонта?

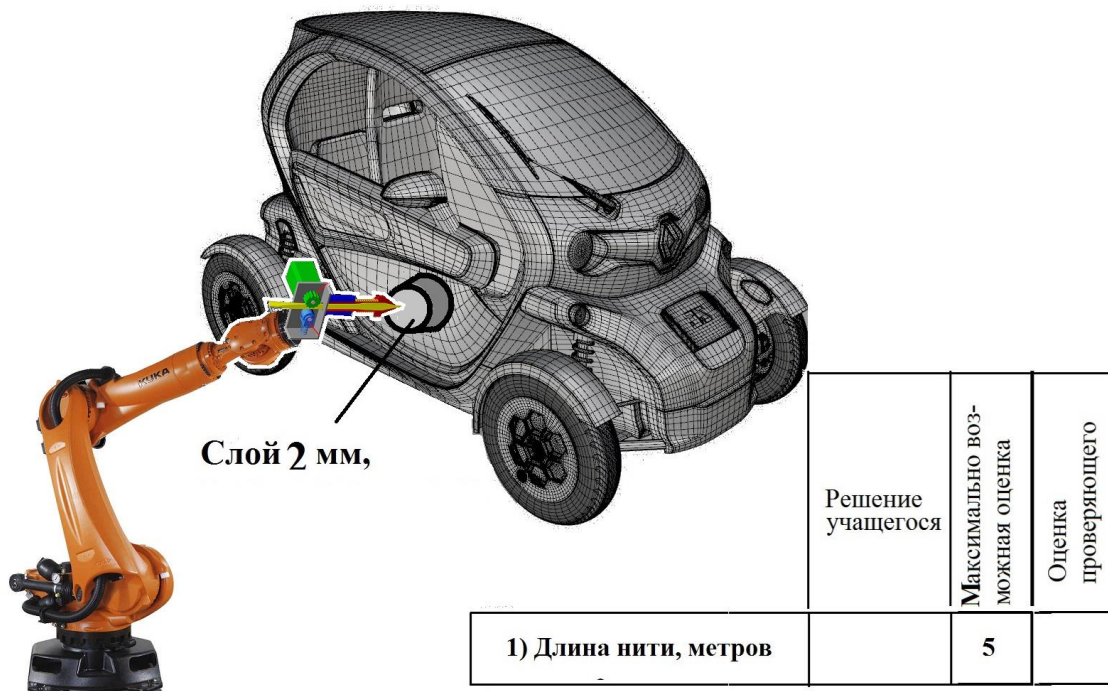


Рис. 3.17. Нанесение слоя пластика на дверцу автомобиля с использованием робота и головки 3D принтера

Решение.

В основе решения закон сохранения материи, в данном случае, объема. Очевидно, что объем покрытия равен объему усеченного конуса. Объем усеченного конуса может быть определен через объемы полных конусов с основаниями R_1 и R_2 :

$$V_1 = (\pi/3)H_1R_1^2 \text{ и } V_2 = (\pi/3)H_2R_2^2.$$

Таким образом, необходимо знать высоту каждого конуса. Например, можно построить прямоугольный треугольник, из которого видно, что $H_1=20$ мм, а $H_2=18$ мм (рис. 3.18). Тогда:

$$V(1) = V_1 - V_2 = (\pi/3)(H_1R_1^2 - H_2R_2^2)$$

или $V(1) = (\pi/3)(20 \cdot 50^2 - 18 \cdot 45^2) = 14182 \text{ мм}^3$.

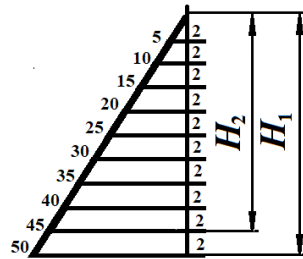


Рис. 3.18. Схема к расчету усеченного конуса

Объем нити определяется через цилиндр:

$V(2) = LS$ и, поскольку $V(1) = V(2)$ и $S = 0,5 \text{ мм}^2$, то $L = V(1)/S$
или $L = 28364$.

Ответ: $L=28,36$ метра.

Подзадача № 2.

Ремонт электромобиля выполняется на стапеле, который закрепляется на транспортной платформе-роботе. Такой робот и доставил ранее электромобиль к 3D принтеру. В процессе ремонтных работ из платформы опускаются вниз четыре опоры, которые ее приподнимают, и которыми платформа опираются жестко на пол цеха. Площадь опорной поверхности каждой опоры $S=10000 \text{ мм}^2$. Необходимо определить максимальное давление в мега-Паскалях, которое оказывается опорами платформы на пластиковый пол, если центр тяжести электромобиля смещен влево и определяется некоторой силой P . Электромобиль симметричен относительно его продольной вертикальной плоскости. Измеренные в плоскости рисунка расстояния от линии действия этой силы до середины указанных опор: $L_1=1500 \text{ мм}$ и $L_2=500 \text{ мм}$. Стапель и платформа имеют общую массу $M=200 \text{ кг}$. Они симметричны относительно вертикальных плоскостей. Для оценки давления в одной из правых опор платформы-робота был установлен электронный датчик, который показал усилие на этой опоре $F_n = 1000 \text{ Н}$.

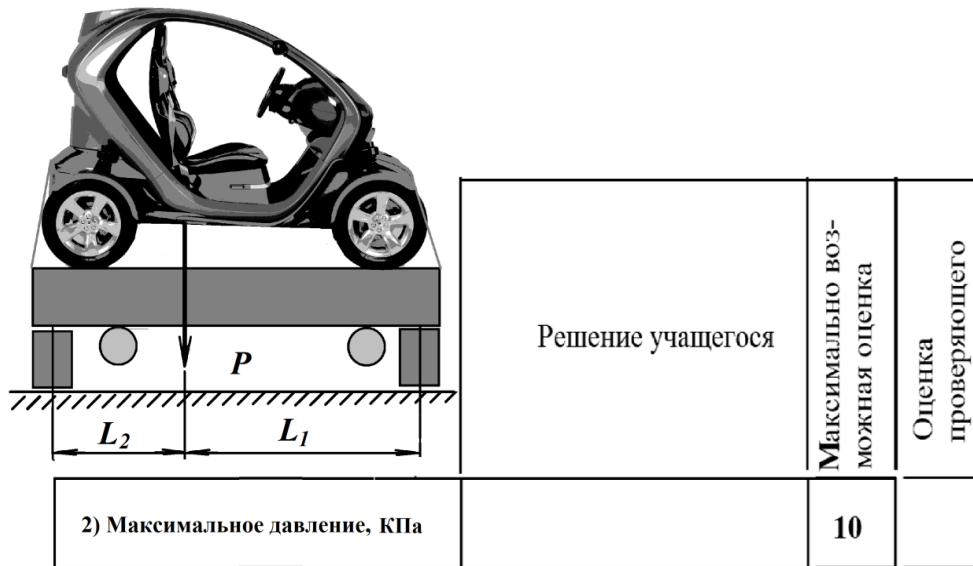


Рис. 3.19. Ремонтируемый электромобиль на транспортной платформе-роботе

Решение.

Решение основано на понятии рычага и понятии давления. Давление от опор на пол определяется силами, приложенными к этим опорам и их площади. Чтобы найти силы, необходимо учесть симметричность всей конструкции относительно вертикальной продольной плоскости. Следовательно, силы на дальних и соответствующих им ближних опорах одинаковы. Тогда нужно определить силы на левых опорах. Чтобы найти вес электромобиля, запишем сумму моментов сил относительно центра левой опоры:

$$F_n(L_1 + L_2) = 0,5[PL_2 + Mg \cdot 0,5(L_1 + L_2)]$$

$$\text{или } P = 2F_n(L_1 + L_2) - Mg \cdot 0,5(L_1 + L_2) / L_2,$$

$$\text{или } P = 2 \cdot 1000(1500 + 500) - 200 \cdot 10 \cdot 0,5(500 + 1500) / 500 = 4000 \text{ Н.}$$

Так как сила тяжести от электромобиля смещена влево, то, очевидно, что левая опора более нагружена. Определим силу на ней. Сумма всех сил на вертикальную ось равна нулю:

$$2F_n + 2F_n = P + Mg, \text{ откуда: } F_n = 1/2(P + Mg - 2F_n)$$

$$\text{или } F_n = 1/2(4000 + 200 \cdot 10 - 2 \cdot 1000) = 2000 \text{ Н.}$$

Имеется второй вариант: определить моменты сил относительно точки в центре правой опоры:

$$F_n(L_1 + L_2) = 0,5[PL_1 + Mg \cdot 0,5(L_1 + L_2)].$$

Откуда:

$$F_n = 0,5(PL_1/(L_1+L_2) + 0,5Mg)$$

или $F_n = 0,5(4000 \cdot 1500/(1500 + 500) + 0,5 \cdot 200 \cdot 10) = 2000 \text{ Н.}$

$p = F_n/S$ или $p = 2000/0,01 = 200000 \text{ Па}$ или $p = 0,02 \text{ мПа.}$

Ответ: $p=0.2 \text{ мПа}$

Подзадача № 3.

Каркас электромобиля состоит из труб малого диаметра (см. 3.20 слева). Компьютеризированный гибочный станок по программе должен из трубы согнуть две боковые стойки, напоминающие овал (см. 3.20 слева). Эскиз каждой такой стойки жирными линиями отображен на рисунке внизу справа. На нем же даны размеры в параметрах. Каждая овальная стойка состоит из 10 участков трубы. Часть таких участков – дуги окружностей, другая часть – отрезки прямых линий. Дуги окружностей имеют радиусы: $R_1=R_4, R_3=R_6, R_2=R_5$. Углы, характеризующие длины этих дуг имеют, соответственно, значения: $\alpha_1=\alpha_4=90$ град, $\alpha_2=\alpha_3=\alpha_5=\alpha_6=45$ град. Прямолинейные участки указанных стоек имеют длины: $L_1 = 1,5L_2 = L_3 = 1,5L_4$. Задано, что: $R_3/R_1=2; R_2/R_6=4; L_4/R_4=3$. Обычно с трубопрокатного завода поставляются трубы длиной 6 метров. Если их разрезать пополам, то заготовка трубы будет иметь длину 3 метра. Требуется определить величину минимального радиуса дуги окружности для указанной стойки, которая получится из трубы длиной $L=3$ метра.

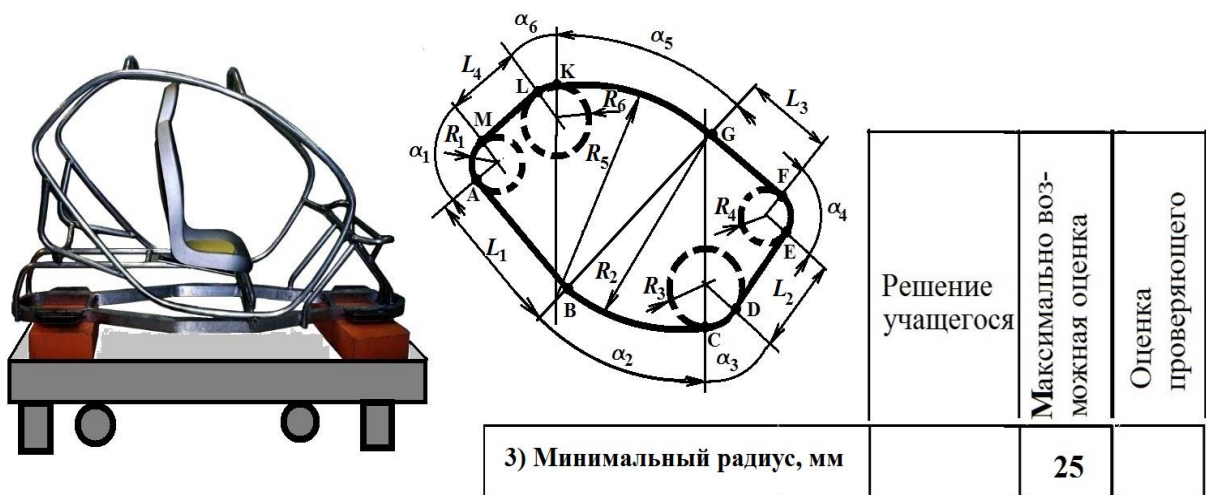


Рис. 3.20. Трубчатый каркас электромобиля и его размеры

Решение.

Решение связано с определением длины указанного контура стоек. Контур каждой стойки имеет 6 дуг окружности и 4 прямолинейных участка.

Длина каждой i -той дуги окружности:

$$L_{oki} = 2(\alpha_i / 360)\pi R_i,$$

тогда общая длина всех дуг окружностей и прямолинейных участков:

$$L = 2(\alpha_1 / 360)\pi R_1 + 2(\alpha_2 / 360)\pi R_2 + 2(\alpha_3 / 360)\pi R_3 + 2(\alpha_4 / 360)\pi R_4 + \\ + 2(\alpha_5 / 360)\pi R_5 + 2(\alpha_6 / 360)\pi R_6 + L_1 + L_2 + L_3 + L_4.$$

По условию задачи можно выявить, что: $L_1 = 4,5R_1$, $L_2 = 4 \cdot 3R_1$, $L_3 = 4,5R_1$ и $L_4 = 4 \cdot 3R_1$. Подставляя в предыдущее выражение с учетом долей углов дуг, получим:

$$L = 2(1/4)\pi R_1 + 2(1/8)\pi(8R_1) + 2(1/8)\pi(2R_1) + 2(1/4)\pi R_1 + \\ + 2(1/8)\pi(8R_1) + 2(1/8)\pi(2R_1) + 2 \cdot (4,5R_1) + 2 \cdot (4 \cdot 3R_1),$$

откуда $R_1 = L / (6\pi + 15)$ или $R_1 = 3000 / 33,85 \approx 88,6$ мм.

Ответ: $R_1 = 88,6$ мм.

Подзадача № 4.

Далее транспортный робот переместил электромобиль к обрабатывающему роботу. Робот должен просверлить вертикальное отверстие диаметром $D=8$ мм на глубину $L_0=4$ мм в раме на крыше электромобиля для последующего монтажа там новой камеры его автопилота. В рабочий орган робота установлен датчик контроля осевой силы резания на сверле. Робот перемещает сверло вниз. К моменту начала сверления и начала отсчета L_0 датчик показал величину этой силы $F=100$ Н. При этом четыре вертикальных пружины подвески электромобиля сжались. Жесткость в вертикальном направлении каждой из них: передних $k_1=k_2=25$ Н/мм и задних $k_3=k_4=50$ Н/мм. Пружины прикреплены через свободно вращающиеся шарниры к абсолютно жесткой раме электромобиля. Кроме того, при сверлении связанные жестко непосредственно с пружинами накачаные колеса также сжались подобно пружинам. Все колеса одинаковые и условно вертикальную жесткость каждого из них можно принять, как и у пружин, равной некоторой

величине k . В результате перемещения рабочего органа робота и сверла вниз на указанную выше глубину L_0 и сжатия пружин и колес силой от сверла в итоге было просверлено отверстие глубиной $L=3$ мм. Требуется определить жесткость каждого колеса k , если расстояния от оси отверстия до осей каждой из четырех пружин подвески электромобиля одинаковы.

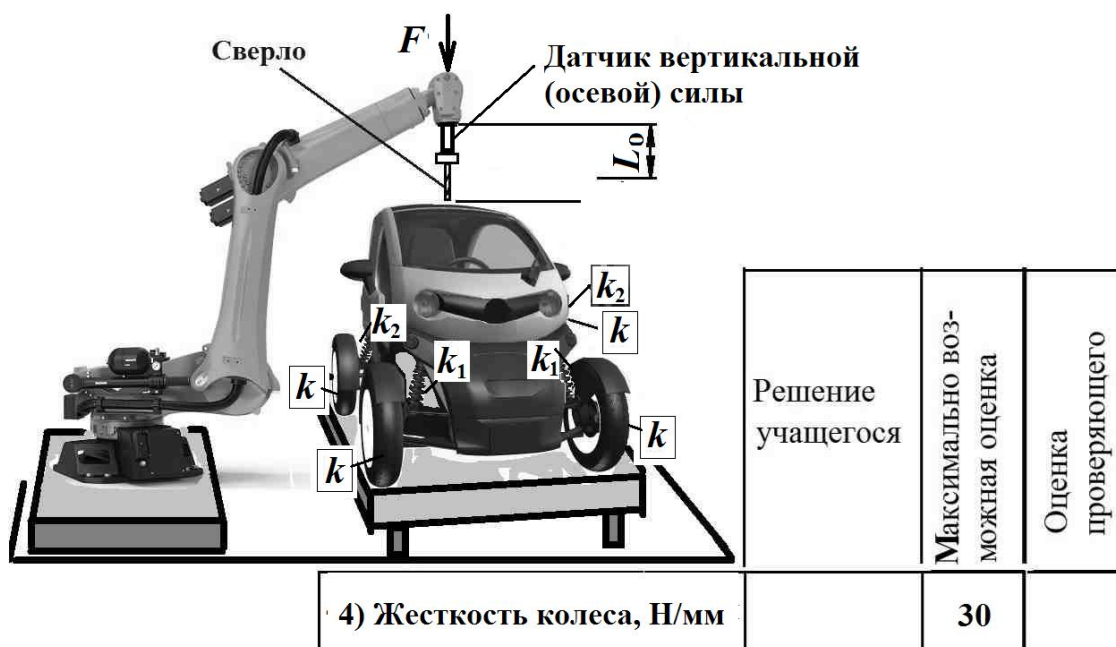


Рис. 3.21. Сверление отверстия роботом в крыше электромобиля

Решение.

Решение связано с определением сил на пружинах и колесах и их деформаций. Важным является обстоятельство, указанное в условии: "Пружины прикреплены шарнирно к раме электромобиля". Значит, рама занимает произвольное положение при деформациях. Поскольку колеса связаны с пружинами напрямую, то они образуют пары: пружина подвески и упругое колесо. Условно в расчетах можно принять, что это последовательно расположенные пружины. Жесткость передних пар:

$$k_n = k_1 k / (k_1 + k).$$

Жесткость задних пар:

$$k_3 = k_2 k / (k_2 + k).$$

Сила, действующая сверху, по условию равноудалена от осей пружин и колес. Автомобиль имеет симметрию относительно продольной вертикальной плоскости. На каждую половину действует сила $F/2$. Так как

сила равноудалена от пружин, то по условию равенства нулю момента сил на каждую пружину действует сила $F/4$. Тогда перемещение вниз шарнира крепления пружин, по закону Гука равно:

спереди: $X_1 = (F/4)/k_n$;

сзади: $X_2 = (F/4)/k_3$.

Поскольку рама абсолютно жесткая, то перемещение ее в центре между шарнирами будет равно среднеарифметическому значению перемещения шарниров спереди и сзади: $X=(X_1+X_2)/2$. По условию сверло переместилось вниз на L_0 , но отверстие получилось глубиной L . Значит, рама и шарниры переместились вниз на глубину $X=(L_0-L)$. Учитывая сказанное, можно получить следующие зависимости:

$$L_0 - L = (X_1 + X_2)/2 \quad \text{или} \quad L_0 - L = ((F/4)k_n + (F/4)k_3)/2,$$

или $8(L_0 - L)/F = 1/(k_1k/(k_1 + k)) + 1/(k_2k/(k_2 + k)),$

или $8(L_0 - L)/F = (k_1 + k)/(k_1k) + (k_2 + k)/(k_2k).$

Раскрывая справа скобки, получим:

$$8(L_0 - L)/F = 1/k_1 + 1/k + 1/k_2 + 1/k$$

или $8(L_0 - L)/F - 1/k_1 - 1/k_2 = 2/k,$ отсюда:

$$k = 2/[8(L_0 - L)/F - 1/k_1 - 1/k_2].$$

Подставим числа:

$$k = 2/[8(4 - 3)/100 - 1/25 - 1/50] = 2/(8/100 - 4/100 - 2/100) = 100\text{Н/мм}.$$

Ответ: $k=100\text{Н/мм}$.

Подзадача № 5.

Для участка сборки инженер получил чертеж одной из частей электромобиля, которая без размеров изображена тремя проекциями, приведенными на рисунке слева внизу ("Задача для решения"). Конструкция была получена на 3D принтере и имеет как выступающие части, так и углубления; имеет только диагональные плоскости симметрии. Указанные три проекции – это изображения трех видов конструкции: спереди (взгляд по оси Z), слева (по оси X) и сверху (по оси Y). Нарисуйте разрез этой конструкции вертикальной диагональной плоскостью, параллельной оси Y, проходящей через центр конструкции и расположенной под углом 45 градусов к виду спереди (см. пример на рисунке справа). Для пояснения приведенных выше понятий на рисунке справа ("Пример для пояснения") даны все виды и разрез применительно к

некоторой детали. Для справки: на разрезе рисуются все кромки конструкции, которые попали в секущую плоскость и которые видны за ней.

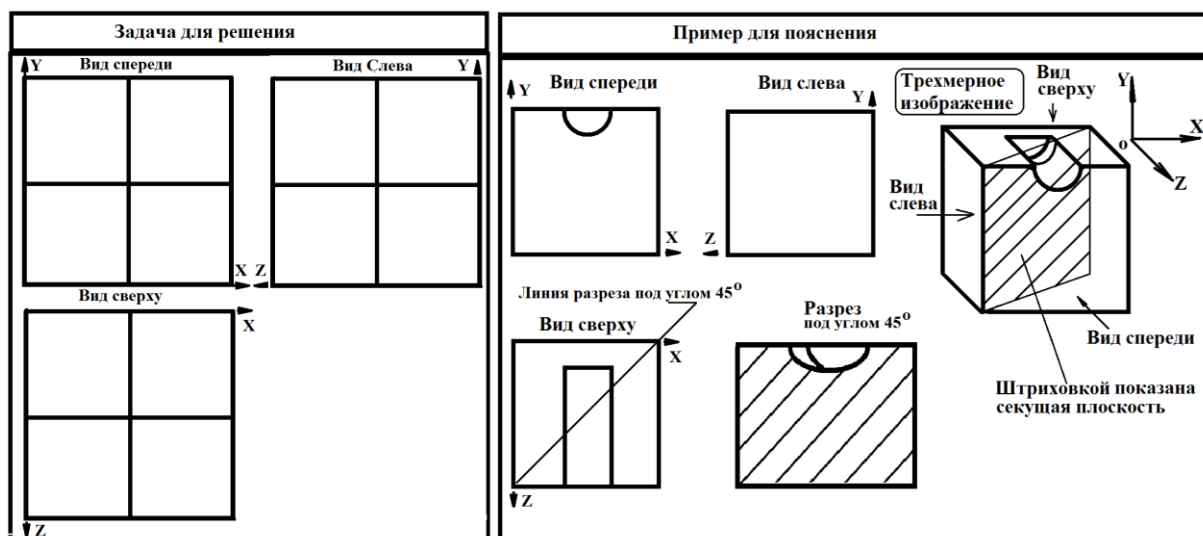


Рис. 3.22. Одна из сборок электромобиля и пояснение к решению

Решение.

Для решения задачи необходимо сначала понять конструкцию. Представлено четыре куба, которые сходятся вершинами к центру фигуры. Для построения разреза в указанной плоскости нужно понять, что кубы спереди и сзади от плоскости разреза не попадают в нее. Поскольку по условию разрез – это изображение контуров сечения и контуров, что расположены за ним, то контур заднего куба вверху также отображается. Два куба в сечении – разные детали, поэтому штриховки разные, но данную особенность можно не учитывать при оценке работы учащегося. Справа для пояснения даны трехмерные изображения четырех кубов.

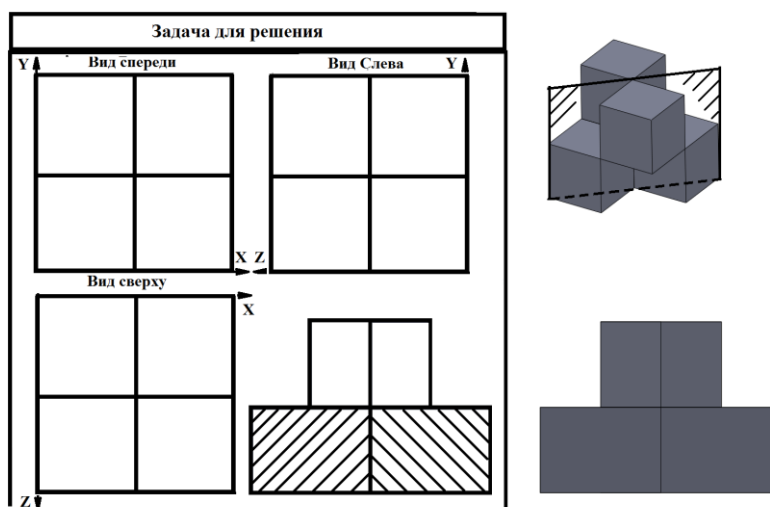


Рис. 3.22. Ответ к подзадаче № 5 задачи № 2.2

4. ТИПИЧНЫЕ ОШИБКИ В РЕШЕНИЯХ УЧАСТНИКОВ ОЛИМПИАДЫ. ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЙ ПРОЕКТНЫХ ЗАДАЧ С ПРОИЗВОЛЬНЫМИ ВАРИАНТАМИ РЕШЕНИЙ

4.1. Типичные ошибки в решениях участников олимпиады

Пятилетний опыт проведения рассматриваемой олимпиады, проверка решений ее участников позволил выявить некоторые общие особенности при решении задач.

Обзор решений задач отборочного этапа и проектных задач с заданными вариантами решений позволил установить, что участники олимпиады сумели разобраться в сложных формулировках технических задач, выявить в них главное и второстепенное и привести такие задачи к типовым формулировкам задач по физике или математике. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что в данной олимпиаде в основном принимали участие учащиеся, склонные к технике и технологиям, имеющие навыки работы с техническими объектами, понимающие их устройство и принципы работы. Такие участники сумели выявить в задачах необходимые физические законы и геометрические связи.

Вместе с тем, обзор олимпиадных решений позволил выявить и ряд типичных ошибок участников. Условно их можно разделить на три основные группы. К первой группе относятся простые ошибки, связанные с невнимательностью участников, что, по-видимому, характерно для данной возрастной группы. Это ошибки математических преобразований: не изменялся знак при переносе слагаемых или сомножителей из левой части равенства в правую, потеря таких слагаемых или сомножителей при преобразованиях, потеря степеней, потеря коэффициентов и так далее. Таким образом, тренировка внимательности, получение навыков подробного изложения математических преобразований, умение проверять и перепроверять записи является важным элементом при подготовке к такого рода олимпиадам.

Ко второй группе типичных ошибок следует отнести неточное запоминание основных физических законов и основных формул математики. В частности, например, был выявлен большой процент ошибочных решений при расчете площади круга: многие участники полагали, что такая площадь зависит от его диаметра в первой степени (по-видимому, подменяли формулу площади круга формулой длины окружности). Подобные ошибки встречались и в формулах по кинематике, например, во взаимосвязи высоты и времени падения тела. Таким образом, необходимость в запоминании точного выражения ряда математических и физических формул остается также актуальной.

Третья группа типичных ошибок связана с неверным применением законов физики. Например, большой процент участников олимпиады не учел явления расплавления или затвердевания металлов в задачах теплового баланса. В задачах механики, связанных с моментами сил часто не учитываются силы от заданных масс, воздействия разного рода жестких опор и пружин. Зачастую не учитываются работы отдельных сил, например, силы трения.

По-видимому, все эти ошибки участников данной олимпиады являются характерными и для других аналогичных олимпиад. Таким образом, специфических ошибок, которые можно было бы ожидать применительно к данной олимпиаде (непонимание постановки задачи, неумение разобраться в ее технической сущности), которые бы доминировали среди других ошибок выявлено не было.

Обзор решений участников олимпиады проектных задач с произвольными вариантами решений позволил установить следующие особенности, связанные с разделами, указанными в раздаточных материалах (см. вступление в п. 2).

Анализ текущего состояния дел в области поставленной задачи. Несмотря на прямое указание, что должны быть перечислены наиболее близкие известные решения и дан перечень их достоинств и недостатков, как правило, такие достоинства и недостатки участниками не называются. В понимании многих участников олимпиады слово "анализ" – это перечисление объектов или процессов и перечисление их некоторых характеристик. Нередко к прототипам относятся достаточно далекие от заданного объекта решения. Например, для удаления льда на арктических судах рассматривались разного рода ручные скребки, щетки и кувалды. К наиболее же близким прототипам изобретаемого устройства должны быть отнесены механизмы удаления льда с подводом электрической энергии, нагревательные устройства с подводом тепла от различных источников энергии, устройства с использованием световых (инфракрасные или лазеры), звуковых волн, химические способы воздействия на лед. Именно перечень их достоинств и недостатков должен был присутствовать в данном разделе проекта.

Цели и задачи исследования. Зачастую участники не различают данные понятия. Приводятся крупные и мелкие задачи, не дается взаимосвязь цели и задач. Как правило, цель следует из формулировки задания: "разработать устройство с минимальными...", "разработать наиболее экономичное ...", "предложить наиболее производительный ...". Таким образом, цель проекта должна быть связана с разработкой "минимального" "экономичного", "производительного" способа или устройства, или устройства и способа с другими заданными характеристиками. Задачи – это действия, направленные на достижение данной цели. Часто они

связаны с формулировками следующих за этим разделов проекта. Об этом прямо было записано в раздаточном материале.

Поиск и формулирование идеи, которая будет положена в основу решения поставленной в условии задачи. Очевидно, что это самая творческая и наименее формализованная часть проекта. Типичная ошибка участников – раздел начинается со слов: "я предлагаю ...". В таком случае не показывается, откуда пришла идея, как она связана с анализом первого раздела проекта. Более логичным было бы изложение начала этого раздела со слов: "Приведенный в первом разделе анализ показал, что ...". Недостатки и достоинства ближайших прототипов позволяют выявить противоречия в поиске решения, когда хочется достичь одного, но противостоит что-то другое. Это позволяет глубже понять задачу, разобраться в ее сути. В этом и заключается необходимость первого раздела проекта. Далее возможны решения различными методами. Один из них общеизвестен – это метод проб и ошибок. Чаще всего он не позволяет выйти за рамки известных прототипов. Именно поэтому второй типичной ошибкой участников было повторение прототипов вплоть до повторения самого прототипа, названного в условии задачи. Организаторы олимпиады рекомендовали ее участникам познакомиться с базовыми принципами ТРИЗа. Один из них связан с выявлением физического противоречия. Далее, методами ТРИЗа нужно было произвести поиск решения для этого противоречия. Именно такое начало данного раздела, связанное с поиском идеи, считалось наиболее правильным.

Развитие идеи в конкретных конструкторско-технологических решениях. Как было показано выше в примере решения задачи 2.2.1 от идеи до ее воплощения зачастую имеется большая дистанция. Нужно было показать, как данная идея станет конкретным устройством или процессом, и как все это будет работать. Типичной ошибкой участников было описание устройства в виде намерений. Например, "лазером будет обработана поверхность винта". Лазер – это особый луч света, а свет распространяется бесконечно до встречи с преградой. Лазер может прожечь лопасть гребного винта насквозь или расплавить часть его поверхности, но удалить часть поверхности металла на винте с требуемой глубиной и обеспечить оставшуюся поверхность заданного качества (в том числе, шероховатость) проблематично. Другой пример замены разработки намерениями: "робот будет ходить по кораблю и удалять лед". Очевидно, что здесь предполагается наделение робота-андроида всеми человеческими качествами. Такие возможности роботов остаются сегодня делом будущего. Данная разработка сегодня еще не может быть реализованной. Таким образом, правильным вариантом ответа в данном разделе было бы описание структуры устройства, описание его основных частей и описание их взаимодействия.

Особо следует остановиться на ошибках участников в части рисунков, поясняющих устройства или процессы. Зачастую рисунки носят художественный характер. Например, робот-андроид изображается подобным человеку или таким, как это представлено в фантастических фильмах. Аналогично представляются роботы-тележки, роботы квадрокоптеры и другие устройства: внешний вид с разного рода подробностями: "здесь будут глаза", "здесь будут уши", "здесь будут антенны" и так далее. Необходимо было показать, например, как робот-тележка будет удерживаться на металлической поверхности, то есть показать колеса, в которых показать электромагниты, показать руку манипулятора, все ее звенья, рабочий орган, инструмент. Если это, например, робот для получения ледяного керна, то показать зубья режущей части, двигатель и механизм ее вращения, показать полости и шнеки для вывода срезанного льда наверх, выдвижные клинья для крепления робота в вырезанном канале и т.д. Таким образом, рисунок должен показывать, какие ключевые устройства или элементы работы имеются и как они приводятся в движение. То есть, этот рисунок должен доказать реализуемость идеи.

Технические, экономические, экологические расчеты. Несмотря на второстепенность этого раздела (его составляющая в общую оценку проекта невысока) и его относительную простоту, этот раздел оказался практически не представлен в проектах участников. Цель данного раздела – доказать работоспособность устройства или реалистичность процесса. Основное внимание здесь было отведено техническим расчетам. Например, металлическая щетка, которая по принципу газонокосилки срезает лед на арктическом корабле, должна быть подпружиненной для исключения жесткого удара по скрытым подо льдом конструкциям этого корабля. Участник олимпиады мог бы показать, что для заданной массы щетки, корпуса с редуктором, в котором она крепится, подпружиненного звена руки манипуляционного робота, установленного на тележке, необходима пружина заданной жесткости, рассчитанной по закону Гука. Таким образом, в расчетной формуле была бы масса указанного узла рассматриваемого устройства, данная жесткость пружины и предполагаемые перепады высот типовых элементов корабля (поручни, ограждения, палубные элементы, которые могли бы быть скрыты наносами льда). По замыслу организаторов олимпиады, в этом разделе участник могли бы показать свои умения применять знания, полученные на уроках физики и математики для решения практических задач.

Очевидно, что решения участников олимпиады могли бы быть разными. Не во всех решениях можно составить инженерные расчетные схемы и выполнить расчеты. В связи с этим, в данном разделе допускались и другие виды расчетов, включая экономические и экологические. Таким

образом, применение знаний, полученных в других дисциплинах (технологии, химии и так далее) могло найти здесь свое отражение.

Как было отмечено выше, этот раздел оказался практически не представленным. По мнению организаторов олимпиады, отчасти это можно отнести на ограниченность времени проведения очного этапа олимпиады: несколько часов на выполнение анализа прототипов, поиска идеи, ее воплощение в конкретных конструкциях, оформление проекта, – все это выполнение проекта в условиях временного цейтнота. Для составления расчетных схем и выполнения расчетов времени было недостаточно. С другой стороны, у участников олимпиады, в проектах в которых отсутствовал анализ прототипов, не было собственных оригинальных идей, не было подробного описания конструкции, было достаточно времени рассчитать, например, размеры сечений опорных элементов конструкций прототипов, заимствованных из задания. Или, например, частое решение задачи удаления льда на арктических судах было тепловое решение. Можно было бы рассчитать потребляемую мощность нагревания корпуса судна заданной массы по предполагаемому водоизмещению для стаивания льда. По сути, здесь необходимо применить две формулы – нагревание стального судна, нагревание предполагаемой массы льда и плавление льда. Кроме того, необходима формула собственно для расчета мощности. Но и таких расчетов обнаружить не удалось.

Таким образом, при подготовке к данной олимпиаде, как и при подготовке к инженерной деятельности вообще, необходимо уделить внимание умению применять знания законов физики в практической деятельности. Необходимо научиться не только понимать сами устройства, понимать их работу, но и научиться видеть явления, протекающие в элементах этих устройств и в процессах, связанных с этими устройствами, уметь описывать эти явления базовыми уравнениями физики; в дальнейшем для описания таких явлений студентам университетов даются знания и навыки применять и прикладные формулировки данных законов для повседневных инженерных расчетов.

Таким образом, в целом, расчетные элементы данной олимпиады, несмотря на специфику технических формулировок, не являются проблематичными для учащихся средних учебных заведений. Проектные задачи в силу очевидности: отсутствие предмета, связанного с проектной инженерной деятельностью (лишь в некоторой части этот вопрос рассматривается в предмете "Технология") вызывают большие проблемы у учащихся, и этот вопрос, по мнению организаторов олимпиады, требует своего изучения специалистами в сфере среднего и высшего образования.

4.2. Принципы оценки олимпиадных решений

4.2.1. Методика определения баллов за решение задач отборочного этапа и задач проектного типа с заданными вариантами решений

Принципы оценки указанных задач практически не отличаются от аналогичных подходов в оценке задач на олимпиадах по физике и математике. Такие оценки и критерии их определения приведены в табл. 4.1. Изучение данных критериев позволит участникам точнее расставить свои приоритеты при подготовке к олимпиаде.

Таблица 4.1. Оценки и критерии их определения для расчетных задач

<i>№</i>	<i>Процент ы и оценки</i>	<i>Краткое формули- рование решений</i>	<i>Подробное пояснение критериев, комментарии, объяснения</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	100% (1,0)	Полное верное решение	Приведено полное решение задачи, включающее следующие элементы: а) кратко описано и прокомментировано условие задачи, записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом, в случае необходимости приведены расчетные схемы со всеми необходимыми обозначениями и пояснения к схемам; б) описаны все вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений, используемых в условии задачи и основных констант; описание физических величин, встречающихся в задачах, может производиться с помощью математических соотношений, текстуально или с помощью рисунков); в) проведены все необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу; г) представлен правильный ответ в общем виде и в численном значении с указанием единиц измерения искомой величины.

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4
2	90% (0,9)	Верное решение. Имеются небольшие недочеты, в целом не влияющие на решение.	Все решения удовлетворяет критерию 1, но имеются незначительные неточности, поправки, плохо читаемые символы и отдельные слова, которые могут трактоваться в пользу участника олимпиады. Не все вводимые в решении буквенные обозначения физических величин даются с пояснениями. Не все необходимые для решения задачи обозначения приведены на расчетной схеме.
3	60... 80% (0,6... 0,8)	Решение в целом верное, однако содержит существенные ошибки (не физические, а математические)	Все решения удовлетворяет критерию 1, но в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.
4	30... 50% (0,3... 0,5)	Есть понимание физики явления, но не найдено одно из необходимых для решения уравнений, в результате полученная система уравнений неполна и невозможно найти решение.	<p>а) Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием и без пояснений преобразований, направленных на решение задачи, и ответа. Или</p> <p>б) В решении отсутствует одна из исходных формул, необходимых для решения задачи (или отсутствует необходимое утверждение, лежащее в основе решения задачи), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. Или</p> <p>в) В решении отсутствует необходимая со всеми необходимыми обозначениями расчетная схема и пояснения к ней, без которой решение принципиально невозможно. Или</p> <p>г) В одной из исходных формул, необходимых для решения задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>

1	2	3	4
5	10... 20% (0,1... 0,2)	Есть отдельные уравнения, относящиеся к сути задачи, при отсутствии решения (или при ошибочном решении)	Доказаны вспомогательные утверждения, помогающие в решении задачи. Рассмотрены отдельные важные случаи при отсутствии решения (или при ошибочном решении). Сделана необходимая расчетная схема. Приведен правильный ответ без описания, как он получен.
6	0 (0)	Решение неверное и отсутствуют какие-либо относящиеся к решению рассуждения.	Нет ответа и нет ни одного из рассуждений, относящихся к сути задачи. Рассуждения есть, но они, очевидно, даны "для заполнения страницы", они не относятся к сути задачи.

Примечания.

1. Максимальный балл за задачу нужно умножить на коэффициент второй колонки.
2. Если задача не относится к классу физических задач (например, чертежная, математическая или химическая и т.д.), то разработчики задачи устанавливают соответствующие критерии (3-6 шт) как ее оценивать при частичном решении.

4.2.2. Методика определения баллов за решение задач проектного типа с произвольными вариантами решений

Оценка проектов данного типа задач производилась суммированием пяти частных оценок. Первая: "Полнота исследования проблемы: обзор и анализ ближайших прототипов" (максимум – 15 баллов). Вторая частная оценка: "Оригинальность идеи, положенной в основу предлагаемого решения" (максимум – 30 баллов). Третья частная оценка: "Логика изложения: описание того, как получена идея; описание решений по ее воплощению; конструкторско-технологическая и, возможно, экономическая проработка" (максимум – 15 баллов). Четвертая: "Возможность практического осуществления предложенных решений" (максимум – 10 баллов). И, наконец, пятая: "Наличие, качество и достаточность схем и рисунков" (максимум – 15 баллов). Итого каждый участник мог максимально набрать 100 баллов за решение такой задачи.

Первая частная оценка определялась количеством прототипов участника по отношению к предполагаемому максимальному их

количеству. Кроме того, вносились коррективы в эту оценку в зависимости от количества перечисленных участником достоинств и недостатков этих прототипов. Критерии получения второй частной оценки рассмотрены ниже в табл. 4.2.

Третья частная оценка определялась по критериям: имеется или отсутствует описание того, как участник пришел к своей новой идее, имеется или отсутствует описание устройства, достаточное для понимания его работы и взаимодействия всех его ключевых составных частей. Имеется или отсутствует инженерный расчет элементов устройства, или имеются другие расчеты с использованием формул, изучаемых участником в различных школьных предметах.

Четвертая частная оценка определялась в зависимости от того реализуемо ли сегодня решение участника полностью, реализуемо ли оно частично или решение участника сегодня не реализуемо.

Последняя, пятая оценка определялась количеством рисунков участника, которые можно отнести к разъясняющим устройство или принцип его работы. Кроме того, рисунки разделялись на категории: подробный технический рисунок (эскиз) принятый в инженерной практике, рисунок, отчасти позволяющий понять суть устройства, и схемы: расчетная, электрическая, гидравлическая и так далее.

Очевидно, что наибольшую трудность в определении объективного оценивания вызвала вторая частная оценка, связанная с основной творческой составляющей проектов участников – оригинальность идеи. Как было отмечено ранее, идеи участников варьировались от простого повторения заданного в условии задачи прототипа до изобретения новой группы объектов, базируемой на получении нового принципа их работы. Поскольку такие идеи сопряжены с изобретением, то организаторы олимпиады сочли целесообразным принять критерии оценки изобретений, изложенные в изданиях по ТРИЗу, в частности в общеизвестных работах Г.С. Альтшуллера.

Таким образом, для оценки проектов участников олимпиады была составлена таблица, в которой по вертикали приведены уровни решения задачи, а по горизонтали – стадии ее прохождения. В ячейках этой таблицы "5x5" даны результаты каждого этапа на своем уровне и стадии и одновременно вписаны величины баллов, которыми оцениваются участники при выполнении ими соответствующего шага работы. Поскольку в условиях предусматривалось, что решение участник должен будет привести только одно самое главное, самое существенное, то все другие более простые дополнительные решения не рассматривались жюри при определении оценки.

Таким образом, такая таблица дала возможность жюри количественно и достаточно объективно оценить решения участников олимпиады.

Таблица 4.2. Примеры выполнения проектной задачи и оценки ее уровней и стадий выполнения

Стадии Уровни (У)	1. Выбор и описание задачи	2. Выбор и обоснование поисковой концепции	3. Сбор информации (поиск аналогов)	4. Поиск идеи решения	5. Развитие идеи в конструкцию
У1. Использование готового объекта	1.1. Использована готовая задача: сделать станок из легких прочных материалов, как это применяется в самолетах	2.1. Использована готовая поисковая концепция: облегчение тяжелых частей на легкие и такие же прочные	3.1. Использованы имеющиеся сведения: облегчение конструкций в самолето- и автомобилестроении (сталь заменяется на алюминий или композиты)	4.1. Использовано готовое решение: Предложено заменить тяжелые стальные части станков на легкие алюминиевые или композитные.	5.1. Использована готовая конструкция: Выполнить стол станка и устройства привода инструмента из металлокомпозита на алюминиевой матрице
Баллы (У1)	1	2	3	4	5
У2. Выбор одного объекта из нескольких	1.2. Выбрана одна из нескольких задач: сделать станок с более легкими и такими же прочными конструктивными элементами	2.2. Выбрана одна поисковая концепция из нескольких: применение форм с более рациональными показателями в соотношении масса/прочность	3.2. Собраны сведения из нескольких источников: Требования легкости и прочности приводят к изменениям конструкций (коробчатые, сотовые конструкции)	4.2. Выбрано одно решение из нескольких: вместо цельных литых конструкций, применение коробчатых, полых, сотовых	5.2. Выбрана одна из нескольких конструкций: вместо литой чугунной станины и опорных частей предлагаются сварные из стальных коробчатых профилей
Баллы (У2)	2	4	6	8	10

Стадии Уровни	1. Выбор и описание задачи	2. Выбор и обоснование поисковой концепции	3. Сбор информации (поиск аналогов)	4. Поиск идеи решения	5. Развитие идеи в конструкцию
У3. Частичное изменение выбранного объекта	1.3. Изменена исходная задача: отказаться от морально устаревшего компонента и тем самым снизить массу	2.3. Поисковая концепция изменена применительно к условиям задачи: замена типового механизма на более прогрессивный	3.3. Собранная информация изменена применительно к условиям задачи: современные электродвигатели могут менять частоты вращения управлением от электроники и останавливать вал в нужном угловом положении	4.3 Изменено известное решение: отказаться от коробок с зубчатыми колесами и другими передаточными устройствами на новые двигатели с переменной частотой вращения и контролем положения ротора	5.3. Изменена исходная конструкция: вместо коробок подач линейных перемещений и вращений с зубчатыми колесами использовать прямые приводы: вал двигателя – движитель механизма
Баллы (У3)	3	6	9	12	15
У4. Создание нового объекта	1.4 Найдена новая задача: Отказаться от перемещения тяжелой заготовки, обеспечить все перемещения только за счет инструмента.	2.4. Найдена новая поисковая концепция: устранение движений одного тяжелого объекта за счет переложения их на движения второго – легкого	3.4. Получены новые данные, относящиеся к задаче: промышленные роботы-манипуляторы обеспечивают все перемещения по всем 6-ти степеням свободы исполнительного устройства	4.4. Найдено новое решение: Предложено все устройства перемещения по координатам связать только с инструментом, заготовка же должна стоять на неподвижном столе.	5.4. Создана новая конструкция: заготовку закрепить на неподвижном столе. Инструмент установить на устройство типа промышленного робота (манипулятора).
Баллы (У4)	5	10	15	20	25

Стадии Уровни	1. Выбор и описание задачи	2. Выбор и обоснование поисковой концепции	3. Сбор информации (поиск аналогов)	4. Поиск идеи решения	5. Развитие идеи в конструкцию
У5. Создание нового комплекса объектов	1.5. Найдена новая проблема: последовательность устройств перемещений по координатам обуславливает рост их прочности и мощности	2.5. Найден новый метод: замена последовательной кинематики на параллельную	3.5. Получены новые данные, относящиеся к проблеме: применение нового метода (параллельного) полностью меняет устройство станков	4.5. Найден новый принцип: заменить последовательность соединения механизмов на параллельные соединения	5.5. Созданы новые конструктивные принципы: использовать плиту с приводом инструмента, которая удлиняющимися параллельными приводами может совершать все 6 движений
	6	12	18	24	30

Предположим, например, что участник решил вместо типовых коробок с шестернями использовать электроприводы с регулируемыми частотами вращения и контролем положения ротора. При этом он описал задачу, выбрал и обосновал поисковую концепцию, привел примеры аналогов в этом направлении, описал идею, как он собирается реализовать задачу, но не привел (не успел) конкретные конструктивные решения, как это будет реализовано, то оценка за выполненные работы – 12 баллов. Если одновременно с этим участник назвал еще изменение конструктивных элементов с цельных на коробчатые или замену материалов на более легкие – это более простые и очевидные решения, то они не засчитываются, так как по условию задачи требовалось дать одно наиболее эффективное решение.

В частности, предложение участников использовать вместо металлорежущего станка для обработки лопасти винта круизного лайнера фрезу с собственным приводом, как устройство на новом принципе, получило оценку 30 баллов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном издании для учащихся средних образовательных учреждений приведены задачи отборочного и заключительного этапов Всероссийской олимпиады по направлению "Машиностроение". Цель этого издания – показать многообразие форм задач: от отдельных задач, наподобие типовых задач по физике и математике до проектных задач с неограниченным количеством вариантов решений; показать многообразие творческих работ современных инженеров-машиностроителей: от простого решения частных задач по типовым методикам расчетов до изобретения нового класса устройств. Очевидно, что приведенные задачи существенно отличаются от реальных инженерных задач, для решения которых в университетах ведется обучение студентов в общей сложности от четырех (уровень бакалавр), шести лет (уровень магистр, обучение еще два года) до десяти лет (в аспирантуре, обучение еще четыре года). В последнем случае инженеры-машиностроители могут выполнять самостоятельные научные исследования и, таким образом, давать обществу новые знания в области машиностроения. Тем не менее, и приведенные в издании задачи позволяют участникам на соответствующем уровне понять характер работы инженеров-машиностроителей и правильно определиться с будущей профессией. Эта профессия, наряду со знаниями в других науках, требует хорошей математической подготовки, хорошего понимания физических законов, требует пространственного воображения, умения разбираться в технических устройствах и их работе. Эта профессия требует, как наблюдательности, внимательного отношения к частным вопросам, так и широкого кругозора, широты мышления и умения изобретать. Авторы надеются, что все эти вопросы нашли отражение в приведенных в издании задачах, в анализе ошибок и критериях оценивания. Авторы полагают, что рассматриваемые подходы найдут дальнейшее развитие в подобных олимпиадах и, найдут отражение в других изданиях для учащихся средних образовательных учреждений; изданиях, по которым учащиеся этих заведений применяют свои знания по физике и математике при решении повседневных и перспективных технических задач передовых отраслей машиностроения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щуров, И.А. Машиностроение. Исторический обзор, состояние, проблемы и перспективы: учебное пособие / И.А. Щуров. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, – 2014. – 75 с.
2. Лопатин, Б. А. Исследование нагруженности приводов подач машины для безогневой резки труб большого диаметра// Б.А. Лопатин, Т.Р. Хазиев/ Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение», – 2013,– том 13, № 1.–С. 28–35.
3. Bacciaglia, A. A systematic review of voxelization method in additive manufacturing //A. Bacciaglia, A. Ceruti, A. Liverani / Mechanics & Industry, – 2019,– Vol. 20, 630.– PP. 1–19. <https://doi.org/10.1051/meca/2019058> .
4. Van de Werken, N. Additively manufactured carbon fiber-reinforced composites= State of the art and perspective// N. van de Werken, H. Tekinalp, P. Khanbolouki, S. Ozcan, A. Williams, M. Tehrani / Additive Manufacturing.– 2020,– Vol. 31.–PP. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100962> .
5. Kim, J. Development of a Mole-Like Drilling Robot System for Shallow Drilling// J. Kim, H. W. Jang, J-U. Shin, J-W. Hong, H. Myung/IEEE.– 2018,– Access, Vol 6.–PP. 76454–76463. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2884495 .

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Задачи отборочного этапа	5
1.1. Задачи для учащихся 7–9 классов	7
1.2. Задачи для учащихся 10–11 классов	26
2. Задачи финального этапа. Проектный тип с произвольными вариантами решений.	43
2.1. Задачи для учащихся 7–9 классов	45
2.2. Задачи для учащихся 10–11 классов.	50
3. Задачи финального этапа. Проектный тип с заданными вариантами решений	
3.1. Задачи для учащихся 7–9 классов	60
3.2. Задачи для учащихся 10–11 классов.	73
4. Типичные ошибки в решениях участников олимпиады. Принципы оценки решений проектных задач с произвольными вариантами решений	
4.1. Типичные ошибки в решениях участников олимпиады	88
4.2. Принципы оценки олимпиадных решений	
4.2.1. Методика определения баллов за решение задач отборочного этапа и задач проектного типа с заданными вариантами решений. . .	93
4.2.2. Методика определения баллов за решение задач проектного типа с произвольными вариантами решений	95
Заключение	100
Библиографический список	101
..	

Щуров Игорь Алексеевич

**МАШИНОСТРОЕНИЕ. СБОРНИК ЗАДАЧ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ
К МНОГОПРОФИЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ОЛИМПИАДЕ «ЗВЕЗДА»**

Учебное пособие

Техн. редактор *А.В. Миних*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 02.12.2021. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 4,42. Тираж 50 экз. Заказ 540/627.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.

454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.