

МНОГОПРОФИЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ОЛИМПИАДА

«ЗВЕЗДА»

«ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА»

2015/16 уч.г.

11 КЛАСС

Решения

1. Поскольку на систему тел не действуют горизонтальные внешние силы, ее центр масс (который совпадает со средним шариком) должен двигаться вертикально вниз. Поэтому в момент падения на поверхность скорость среднего шарика направлена вниз, значит, вниз направлены и скорости остальных шариков. Поэтому в момент падения стержня на поверхность скорость шарика 3 равна нулю, а движение стержня в этот момент представляет вращение вокруг шарика 3. Поэтому скорость шарика 1 в два раза больше скорости шарика 2: $v_1 = 2v_2$. Далее, из закона сохранения энергии имеем

$$mgl + mg \frac{l}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + \frac{mv_1^2}{2}$$

Отсюда и условия связи скоростей находим

$$v_1 = \sqrt{\frac{12gl}{5}}, \quad v_2 = \sqrt{\frac{3gl}{5}}, \quad v_3 = 0$$

2. Пусть масса соли в стакане m , масса воды - M . Тогда для первоначального содержания соли в стакане имеем

$$\rho = \frac{m}{(m+M)} \Rightarrow \frac{M}{m} = \frac{1-\rho}{\rho}$$

Новое процентное содержание соли после выпаривания можно найти так

$$2\rho = \frac{m/2}{(m/2 + M_1)}$$

где M_1 - масса воды, оставшаяся после выпаривания половины раствора. Отсюда

$$M_1 = \frac{m(1-2\rho)}{4\rho}$$

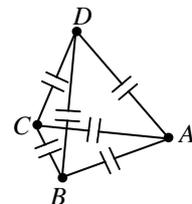
Поэтому новое количество воды равно

$$M_2 = \frac{m(1-2\rho)}{4\rho} + \frac{M}{2} = \frac{m(1-2\rho)}{4\rho} + \frac{m(1-\rho)}{2\rho} = \frac{m(3-4\rho)}{4\rho}$$

Теперь можно найти новое процентное содержание соли

$$\rho_1 = \frac{m}{(m+M_2)} = \frac{4\rho}{3} = 40\%.$$

3. Легко видеть, что данная на рисунке цепь эквивалентна цепи, в которой провода расположены вдоль ребер тетраэдра, и в каждое ребро включен один конденсатор. При подключении источника напряжения к двум вершинам (например, А и В) конденсаторы, находящиеся на ребрах, связывающих эти вершины, будут заряжаться. Это конденсаторы, включенные в ребра АВ, АС и СВ, AD и DB. А вот будет ли заряжаться конденсатор CD зависит от потенциалов точек D и C – если их потенциалы одинаковы, он заряжаться не будет. А чтобы их потенциалы были одинаковы, нужно чтобы участки А-D-B А-C-B были одинаковы. А это возможно, если конденсатор половинной



емкости включен либо между точками А и В, либо D и С. Таким образом, если подключить источник к клеммам С и D, или А и В, то один из конденсаторов схемы будет не заряжен. При всех остальных включениях все конденсаторы будут заряжены.

4. Причины аварии на ТМІ-2:

Ошибки эксплуатации:

Эксплуатация станции при закрытых клапанах автоматической подачи питательной воды

Отключение автоматической системы охлаждения автоматической защиты реактора

Напрасное отключение главных циркуляционных насосов (1-ый контур остался без циркуляции на протяжении 12 часов)

Отказ в работе оборудования:

Неправильные показания уровнемера

Отказ клапана компенсатора объема

Выход из строя одного из парогенераторов

Конструктивные недоработки:

Недостаточно надежная работа конденсаторно-питательного тракта АЭС

Нарушение теплоотвода в парогенераторе приводит к быстрому его осушению

МНОГОПРОФИЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ОЛИМПИАДА

«ЗВЕЗДА»

«ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА»

2015/16 уч.г.

10 КЛАСС

Решения

1. Условие равновесия груза на левом поршне имеет вид

$$\frac{mg}{S} = \rho g(\Delta h + \Delta x) \quad (1)$$

где m - масса груза, ρ - плотность жидкости, Δx - величина подъема уровня жидкости в правом колене. Поскольку уменьшение объема жидкости в левом колене равно увеличению объема жидкости в правом, Δh и Δx связаны соотношением

$$\Delta h S = \Delta x 4S \quad (2)$$

Из (1)-(2) находим

$$\Delta h = \frac{4m}{5\rho S} \quad (3)$$

Аналогично находим, на сколько опустился правый поршень (по сравнению с начальным уровнем), если на него положить тот же груз (убрав его с левого поршня)

$$\frac{mg}{4S} = \rho g(\Delta h_1 + \Delta x_1)$$

где Δh_1 - величина опускания уровня в правом колене, $\Delta x_1 = 4\Delta h_1$ - величина подъема уровня в левом. Отсюда

$$\Delta h_1 = \frac{m}{20\rho S} \quad (4)$$

Из (3)-(4) получаем для смещения правого поршня

$$\Delta h_1 = \frac{\Delta h}{16}$$

2. Пусть масса соли в стакане m , масса воды - M . Тогда для первоначального содержания соли в стакане имеем

$$\rho = \frac{m}{(m+M)} \quad \Rightarrow \quad \frac{M}{m} = \frac{1-\rho}{\rho}$$

Новое процентное содержание соли после выпаривания можно найти так

$$2\rho = \frac{m/2}{(m/2 + M_1)}$$

где M_1 - масса воды, оставшаяся после выпаривания половины раствора. Отсюда

$$M_1 = \frac{m(1-2\rho)}{4\rho}$$

Поэтому новое количество воды равно

$$M_2 = \frac{m(1-2\rho)}{4\rho} + \frac{M}{2} = \frac{m(1-2\rho)}{4\rho} + \frac{m(1-\rho)}{2\rho} = \frac{m(3-4\rho)}{4\rho}$$

Теперь можно найти новое процентное содержание соли

$$\rho_1 = \frac{m}{(m+M_2)} = \frac{4\rho}{3} = 40\% .$$

3. Рассмотрим условие равновесия поршней. Внешними силами по отношению к системе двух поршней, соединенных стержнем являются силы, действующие на них со стороны атмосферного воздуха, и воздуха между поршнями. Условие равновесия этой системы дает:

$$p_0(3S/2) + pS = p(3S/2) + p_0S \quad (1)$$

где S и $3S/2$ - площади сечений труб, p_0 и p - атмосферное давление и давление газа в трубах. Из формулы (1) имеем

$$(p_0 - p)(3S/2) = (p_0 - p)S \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что поршни в такой трубе (из соединенных труб разных поперечных сечений) находятся в равновесии только в том случае, когда давление газа в трубах равно атмосферному давлению. Это значит, что при охлаждении газа с ним происходит изобарический процесс с уменьшением объема. Для этого поршни должны перемещаться влево до стыка труб. При этом новый объем газа составит

$$\frac{Sl}{S(l/2) + (3S/2)(l/2)} = \frac{4}{5}$$

от старого (где l - длина стержня, связывающего поршни). Температура газа составит в этот момент $4T_0/5$. После этого поршни уже не могут перемещаться, поэтому при дальнейшем охлаждении объем газа не меняется, т.е. с ним происходит изохорический процесс с уменьшением давления. Для этого процесса имеем

$$\frac{p_0}{(4T_0/5)} = \frac{p_x}{(T_0/2)}$$

где p_x - искомое давление. Отсюда

$$p_x = \frac{5p_0}{8}$$

Таким образом, новое давление газа составит $5/8$ от старого, объем - $4/5$.

4. Причины аварии на ТМІ-2:

Ошибки эксплуатации:

Эксплуатация станции при закрытых клапанах автоматической подачи питательной воды

Отключение автоматической системы охлаждения автоматической защиты реактора

Напрасное отключение главных циркуляционных насосов (1-ый контур остался без циркуляции на протяжении 12 часов)

Отказ в работе оборудования:

Неправильные показания уровнемера

Отказ клапана компенсатора объема

Выход из строя одного из парогенераторов

Конструктивные недоработки:

Недостаточно надежная работа конденсаторно-питательного тракта АЭС

Нарушение теплоотвода в парогенераторе приводит к быстрому его осушению

МНОГОПРОФИЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ОЛИМПИАДА

«ЗВЕЗДА»

«ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА»

2015/16 уч.г.

9 КЛАСС

Решения

1. Необходимо измерить с помощью динамометра силу тяжести для двух тел. Шкала динамометра позволит это сделать, т.к. масса стального тела больше половины предела шкалы. Пусть масса второго тела m , стали $M = 0,25$ кг. Тогда показания динамометра P составят

$$P = (m + M)g = (\rho + \rho_0)gV$$

где ρ - плотность тела, ρ_0 - плотность стали. С другой стороны, объем тел можно найти, поскольку масса и плотность второго тела известны

$$V = \frac{M}{\rho_0}$$

Отсюда

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{P}{Mg} - 1 \right).$$

2. Условие равновесия груза на левом поршне имеет вид

$$\frac{mg}{S} = \rho g(\Delta h + \Delta x) \quad (1)$$

где m - масса груза, ρ - плотность жидкости, Δx - величина подъема уровня жидкости в правом колене. Поскольку уменьшение объема жидкости в левом колене равно увеличению объема жидкости в правом, Δh и Δx связаны соотношением

$$\Delta h S = \Delta x 4S \quad (2)$$

Из (1)-(2) находим

$$\Delta h = \frac{4m}{5\rho S} \quad (3)$$

Аналогично находим, на сколько опустился правый поршень (по сравнению с начальным уровнем), если на него положить тот же груз (убрав его с левого поршня)

$$\frac{mg}{4S} = \rho g(\Delta h_1 + \Delta x_1)$$

где Δh_1 - величина опускания уровня в правом колене, $\Delta x_1 = 4\Delta h_1$ - величина подъема уровня в левом. Отсюда

$$\Delta h_1 = \frac{m}{20\rho S} \quad (4)$$

Из (3)-(4) получаем для смещения правого поршня

$$\Delta h_1 = \frac{\Delta h}{16}$$

3. Пусть масса соли в стакане m , масса воды - M . Тогда для первоначального содержания соли в стакане имеем

$$\rho = \frac{m}{(m + M)} \quad \Rightarrow \quad \frac{M}{m} = \frac{1 - \rho}{\rho}$$

Новое процентное содержание соли после выпаривания можно найти так

$$2\rho = \frac{m/2}{(m/2 + M_1)}$$

где M_1 - масса воды, оставшаяся после выпаривания половины раствора. Отсюда

$$M_1 = \frac{m(1-2\rho)}{4\rho}$$

Поэтому новое количество воды равно

$$M_2 = \frac{m(1-2\rho)}{4\rho} + \frac{M}{2} = \frac{m(1-2\rho)}{4\rho} + \frac{m(1-\rho)}{2\rho} = \frac{m(3-4\rho)}{4\rho}$$

Теперь можно найти новое процентное содержание соли

$$\rho_1 = \frac{m}{(m+M_2)} = \frac{4\rho}{3} = 40\% .$$

4. Включая теплоэлектронагревательный элемент 8 можно увеличить количество пара в компенсаторе, и, следовательно, увеличить давление. Механизм достаточно инерционен, поскольку требует времени для нагревания воды. Открывая один из клапанов 7 можно сбросить часть пара в барботер 6 и, следовательно, уменьшить давление в реакторе. Открывая второй клапан, можно забросить в компенсатор более холодную воду и, следовательно, сконденсировать пар и тоже быстро понизить давление. Последние два механизма позволяют экстренно вносить коррективы в работу реактора.

МНОГОПРОФИЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ОЛИМПИАДА

«ЗВЕЗДА»

«ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА»

2015/16 уч.г.

8 КЛАСС

Решения

1. Пусть когда в Москве время t , время в Нью-Йорке $t - T$ (оно отстает от московского). И пусть самолет летит время Δt . Тогда

$$8 + \Delta t = 13 + T$$

$$3 + \Delta t = 22 - T$$

Вычитая эти равенства друг из друга, получаем $T = 7$ час.

2. Используем очевидные соотношения

$$\begin{cases} f_a = F_1 + F_2 + F_3 \\ f_b = F_2 + F_3 - F_1 \\ f_c = F_1 + F_2 - F_3 \end{cases}$$

Решая систему уравнений, получим

$$F_1 = \frac{f_a - f_b}{2} = 9 \text{ Н}, F_2 = \frac{f_b + f_c}{2} = 8 \text{ Н}, F_3 = \frac{f_a - f_c}{2} = 13 \text{ Н}.$$

3. Необходимо измерить с помощью динамометра силу тяжести для двух тел. Шкала динамометра позволит это сделать, т.к. масса стального тела больше половины предела шкалы. Пусть масса второго тела m , стали $M = 0,25$ кг. Тогда показания динамометра P составят

$$P = (m + M)g = (\rho + \rho_0)gV$$

где ρ - плотность тела, ρ_0 - плотность стали. С другой стороны, объем тел можно найти, поскольку масса и плотность второго тела известны

$$V = \frac{M}{\rho_0}$$

Отсюда

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{P}{Mg} - 1 \right).$$

4. АЭС вырабатывает за 12 часов следующую энергию

$$E = Pt = 10^9 \cdot 12 \cdot 60 \cdot 60 = 4,3 \cdot 10^{13} \text{ Дж}$$

По условию половину этой энергии необходимо запастись. Т.е. необходимо запастись $2,3 \cdot 10^{13}$ Дж. Эффективным способом запасаения этой энергии являются гидроаккумуляторы. За счет «ночной энергии» некоторая масса воды поднимается на определенную высоту, а потом спускается вниз, вращая турбины генератора и вырабатывая электрический ток. Оценим, какой объем воды и на какую высоту нужно поднять, чтобы запастись эту энергию. Пусть мы поднимаем воду на высоту 10 метров. Тогда ее энергия есть $E = mgh = \rho Vgh$. Т.е.

$$V = \frac{E}{\rho gh} = \frac{2,3 \cdot 10^{13}}{10^5} = 2,3 \cdot 10^8 \text{ м}^3.$$

Это объем небольшого озера – несколько километров в диаметре. В настоящее время такие гидроаккумулирующие станции существуют и, как правило используют, естественный рельеф местности и естественные водоемы. За счет «ночной энергии» вода насосами закачивается наверх,

днем спускается вниз и, с помощью тех же насосов, уже и с помощью тех же насосов (уже использующихся как генераторы) вырабатывает электрический ток.

Другой вариант – использование литиевых аккумуляторов большой емкости. Но такие аккумуляторы дороги и требуют замены каждые 5-6 лет. Можно сжимать воздух, а потом сжатый воздух будет вращать турбины генератора. Удобно делать там, где есть возможность опустить пневмоаккумуляторы под воду на глубину не менее 100 м.

Еще один способ использования «ночной» энергии – создание постоянного потребителя «ночной» энергии. Это может быть, например, комплекс теплиц для выращивания овощей. За счет ночной энергии теплицы обогреваются и освещаются, днем они не используют энергию АЭС.

МНОГОПРОФИЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ОЛИМПИАДА

«ЗВЕЗДА»

«ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА»

2015/16 уч.г.

7 КЛАСС

Решения

1. Толщину слоя олова найдем из очевидного соотношения

$$d = \frac{m}{\rho S}$$

Найдем далее, толщину в системе СИ.

$$d = \frac{m}{\rho S} = \frac{1,46 \cdot 10^{-3} (\text{кг})}{7300 (\text{кг} / \text{м}^3) \cdot 100 \cdot 10^{-4} (\text{м}^2)} = 2 \cdot 10^{-5} (\text{м}) = 0,02 (\text{мм})$$

2. Пусть когда в Москве время t , время в Нью-Йорке $t - T$ (оно отстает от московского). И пусть самолет летит время Δt . Тогда

$$8 + \Delta t = 13 + T$$

$$3 + \Delta t = 22 - T$$

Вычитая эти равенства друг из друга, получаем $T = 7$ час.

3. Очевидно, одинаково. В начале и в конце процесса объемы жидкостей были одинаковы.

Поэтому, если в стакане с молоком находится объем V молока, то оно взято из второго стакана и заменено точно таким же количеством кофе.

4. Реактор вырабатывает за 12 часов следующую энергию

$$E = Pt = 10^9 \cdot 12 \cdot 60 \cdot 60 = 4,3 \cdot 10^{13} \text{ Дж}$$

По условию половину этой энергии необходимо запастись. Т.е. необходимо запастись $2,3 \cdot 10^{13}$ Дж.

Эффективным способом запасаения этой энергии являются гидроаккумуляторы. За счет «ночной энергии» некоторая масса воды поднимается на определенную высоту, а потом спускается вниз, вращая турбины генератора и вырабатывая электрический ток. Оценим, какой объем воды и на какую высоту нужно поднять, чтобы запастись эту энергию. Пусть мы поднимаем воду на высоту 10 метров. Тогда ее энергия есть $E = mgh = \rho Vgh$. Т.е.

$$V = \frac{E}{\rho gh} = \frac{2,3 \cdot 10^{13}}{10^5} = 2,3 \cdot 10^8 \text{ м}^3.$$

Это объем небольшого озера – несколько километров в диаметре. В настоящее время такие гидроаккумулирующие станции существуют и, как правило используют, естественный рельеф местности и естественные водоемы. За счет «ночной энергии» вода насосами закачивается наверх, днем спускается вниз и, с помощью тех же насосов, уже и с помощью тех же насосов (уже использующихся как генераторы) вырабатывает электрический ток.

Другой вариант – использование литиевых аккумуляторов большой емкости. Но такие аккумуляторы дороги и требуют замены каждые 5-6 лет. Можно сжимать воздух, а потом сжатый воздух будет вращать турбины генератора. Удобно делать там, где есть возможность опустить пневмоаккумуляторы под воду на глубину не менее 100 м.

Еще один способ использующихся использования «ночной» энергии – создание постоянного потребителя «ночной» энергии. Это может быть, например, комплекс теплиц для выращивания овощей. За счет ночной энергии теплицы обогреваются и освещаются, днем они не используют энергию АЭС.