

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет»
Инженерно-технический факультет
Кафедра нефтегазового дела

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Задачи динамического исследования

Методические указания для студентов,
обучающихся по направлению подготовки
21.03.01 Нефтегазовое дело,
профиль «Эксплуатация и обслуживание
технологических объектов нефтегазового производства»

Составители: В.Г. Краснов,

Т.Б.Казиахмедов,

Н.Н. Родионцев

Нижневартовск
2017

Введение

Эксплуатация, проектирование новых машин и оборудования нефтегазового комплекса требуют инженерного подхода в вопросах надежности, экономики, экологии и прочих требований машиностроения. Приобретение навыков основ конструирования задача, которая стоит перед инженером – студентом нефтяных вузов и кафедр. Знание основ расчета и конструирования определяется целым комплексом инженерных и специальных профильных дисциплин изучаемых студентом. «Теоретическая механика» - фундаментальная естественнонаучная дисциплина, лежащая в основе этого комплекса позволяет овладеть современными методами постановки исследования и решения задач механики. Динамика, раздел теоретической механики, он дает инструмент к решению задач механики. Основное дифференциальное уравнение динамики, общие теоремы динамики относятся к этим инструментам, применение которых находят в решении ряда задач, например, связанных с работой бурового комплекса, грузоподъемного оборудования.[1]

Спускоподъёмный комплекс буровой установки представляет собой механизм, состоящий из кронблока 4, талевого (подвижного) блока 2, стального каната 3, являющегося гибкой связью между буровой лебёдкой 6 и механизмом 7 крепления неподвижного конца каната. Кронблок 4 устанавливается на верхней площадке буровой вышки 5. Подвижный конец А каната 3 крепится к барабану лебедки 6, а неподвижный конец Б — через приспособление 7 к основанию вышки. К талевому блоку присоединяется крюк 1.

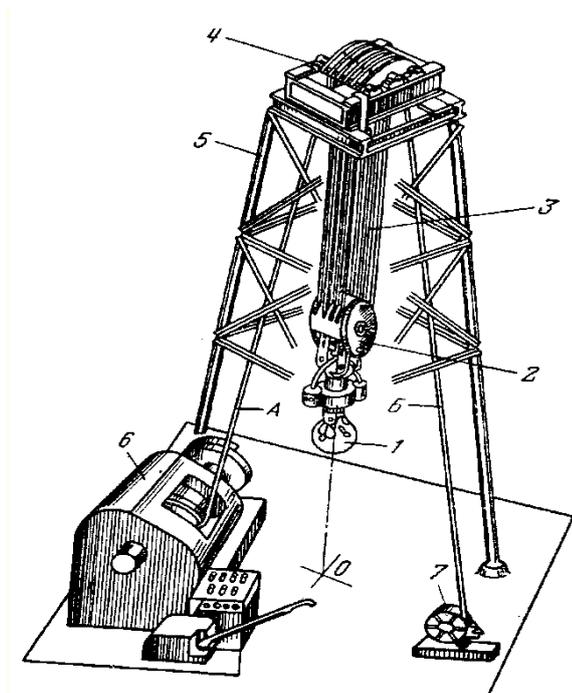


Рис 1.— Спускоподъёмный комплекс буровой установки.

Подъемный комплекс буровой установки в своей совокупности отдельных механизмов представляется сложной динамической системой. С целью упрощения задачи действительную систему целесообразней заменить приведенной системой, в решение которой могут быть использованы известные законы механики.

Теоретическая часть

Основной закон динамики

В основе динамики лежат законы, сформулированные И. Ньютоном. [2] **Второй закон**, известный как «основной закон динамики» устанавливает связь скорости точки и действующей на нее какой-нибудь силы,

Математически этот закон выражается векторным равенством:

$$ma = F, (1).$$

Здесь и далее приняты размерности:

m – масса материальной точки [кг],

a – ускорение [м/с²],

F – сила [кг/ м/с²]; [Н].

Если на точку действует одновременно несколько внешних сил, то они, могут быть заменены эквивалентной одной силой, и уравнение, выражающее основной закон динамики, принимает вид

$$ma = \Sigma F, \quad ma = R (2).$$

Уравнения (1,2) для свободной материальной точки позволяют решить следующие задачи динамики:

1) по заданному (наперед известному) закону движения точки, « a », $\frac{dv}{dt}$, $\frac{ds}{dt}$ и ее массе « m », определить действующую на нее силу или равнодействующую всех сил (первая задача динамики);

2) зная действующие на точку силу или эквивалентную силу, определить закон движения точки (вторая, или основная задача динамики). Силами действующими в системе могут быть, например:

сила тяжести G , действующая на любое тело, находящееся вблизи земной поверхности. Модуль силы тяжести равен весу тела.

Опытом установлено, что под действием силы G любое тело при свободном падении на Землю (с небольшой высоты и в безвоздушном пространстве) имеет одно и то же ускорение, называемое ускорением свободного падения, или ускорением силы тяжести. Значение g в разных местах земной поверхности различно на широте Москвы (на уровне моря) $g=9,8156\text{м/с}^2$

Тогда из уравнения (1) сила тяжести:

$$G=mg. (3)$$

Эти равенство позволяют, зная массу тела, определить его вес (модуль действующей на него силы тяжести) или, зная вес тела, определить его массу $m = \frac{G}{g}$.

Взаимодействие двух соприкасающихся поверхностей связано с проявлением силы трения модуль определяется равенством

$$F_{\text{тр}}=fN (4)$$

где f — коэффициент трения;

N — нормальная реакция.

Сила упругости связана с деформационными свойствами материала зависимостью:

$$F=cL,(5)$$

где L — удлинение (или сжатие) образца, c — так называемый коэффициент жесткости (в СИ измеряется в Н/м).

Сила аэродинамического (гидродинамического) сопротивления среды перемещаемого в ней тела. Эта сила зависит от скорости, плотности среды, и площади миделя и выражается равенством:

$$R = 0,5c_x\rho SU^2, (6)$$

где ρ — плотность среды кг/м^3 ; S — площадь проекции тела на плоскость, перпендикулярную направлению движения (площадь миделя); U — скорость обтекания, c_x :—безразмерный коэффициент сопротивления.

Задачу на проявление сил тяжести рассмотрим на примере спуско-подъемного комплекса бурильной установки.

Подъемный комплекс бурильной установки является сложной динамической системой. Заменим ее упрощенной приведенной схемой, представив ее как одно массовую систему рис.1. Под действием внешней силы T вся система будет перемещаться как абсолютно жесткое тело. Уравнение динамики для нее запишется в виде:

$$\frac{dx}{dt} = \Sigma T, \text{ или } ma = \Sigma T.$$

$$T - mg = ma; \text{ т.е } T = mg + ma; (7)$$

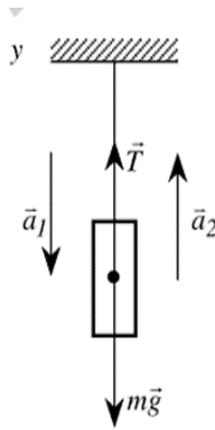


Рис.2 Одно массовая модель.

Зная силу T и величину суммарной массы можно используя уравнения (7) найти перемещение, скорости, и ускорения движения системы.

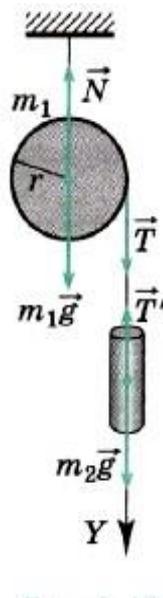


Рис.3 Много массовая система.

Исследованиями подъемных систем буровых установок определено, что приведенные к буровой колонне массы вращающихся трансмиссий и привода лебедки соизмеримы с массой поднимаемых буровых колонн, т.е. нельзя пренебрегать массой вращающихся трансмиссий. В рассматриваемой задаче масса разнесена на две составляющие – массу вращающихся частей и поступательно движущегося бурового става.

Вращение барабана нагруженного массой m_1 , укрепленной на канате, намотанном на шкив, описывается относительно неподвижной оси барабана уравнением

$$J\varepsilon = \Sigma M \quad (8)$$

где J - момент инерции маховика (кгм^2), ε – его угловое ускорение ($1/\text{с}^2$), ΣM – сумма моментов сил, действующих на барабан, включает момент силы натяжения каната $M(T_2)$ и момент силы сопротивления M_c . Тогда

$$J\varepsilon = Tr - M_c. \quad (9)$$

Поступательное движение груза массой m_1 описывается вторым законом Ньютона

$$ma = mg + T, \quad (10)$$

где « a » является ускорением центра масс груза, T_1 – силой натяжения каната.

Воспользуемся для решения теоремой моментов относительно оси вращения

$$\frac{dK_0}{dt} = \Sigma \overline{m_0} (F_k^e). \quad (11)$$

Производная по времени от главного момента количества движения системы относительно некоторого неподвижного центра равна сумме моментов всех внешних сил относительно того же центра [1].

$$K_0 = K_0^{\text{б.с.}} + K_0^{\text{тр.}} \quad (12)$$

Для бурового става (б.с.) Для трансмиссии (тр.)

$$K_0^{\text{тр.}} = I_0^{\text{тр.}} \omega, \quad I_0 = m^{\text{тр.}} \rho^2,$$

$$K_0^{\text{б.с.}} = m^{\text{б.с.}} v * r, \quad v = \omega * r \quad K_0^{\text{б.с.}} = m^{\text{тр.}} * r^2 \omega$$

$$K_0^{\text{б.с.}} = m^{\text{б.с.}} r^2 \omega$$

Для моментов сил

$$\Sigma \overline{m_0} (F_k^e) = G * r - M_c \quad (13)$$

$$G = mg, \quad \rho = r,$$

$$K_0 = m^{б.с.} r^2 \omega + m^{тр.} r^2 \omega$$

$$K_0 = (m^{б.с.} + m^{тр.}) r^2 \omega$$

$$\frac{dK_0}{dt} = (m^{б.с.} + m^{тр.}) r^2 \frac{d\omega}{dt}$$

$$\frac{G * r - M_c}{(m^{б.с.} + m^{тр.}) r^2} = \varepsilon. \quad (14)$$

Задача исследования

Проявление массовых сил в переносном движении, когда проекция сил тяжести на траекторию движения равны нулю, наблюдаются в работе гидроустановки. [3], расчетная модель которой приведена на Рис 4.

В рабочем режиме установки принято прямолинейное перемещение роликов образующую бесконечную цепь, связанную с ведущим барабаном 2 (рис.1)

Принято, что ролики перемещаются в потоке поступательно со скоростью «u» и вращают барабан радиусом – r, с угловой скоростью – ω . преодолевая момент M_c . Для проведения исследования системы воспользуемся известным принципом Даламбера.

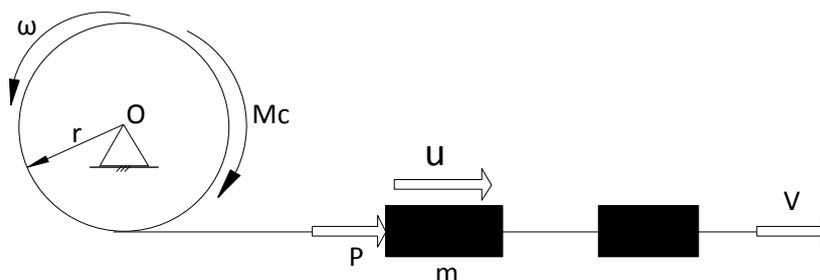


Рис.4 Расчетная модель.

Для систем:

$$\sum m_0(F_i) = 0 \quad (15)$$

$$M_u - M_c + \rho r + F_u r = 0$$

$$-M_c + m^\delta \varepsilon r^2 + 0.5 \sigma \rho \delta^2 S r + m^\rho \varepsilon r^2$$

$$(m^\delta + m^\rho) r^2 \varepsilon = M_c - 0.5 \sigma \rho \delta^2 S r$$

$$\varepsilon = \frac{M_c - 0.5\sigma\rho\delta^2 S r}{(m^\delta + m^\rho)r^2} = \frac{M_c - 0.5\sigma\rho U^2 S}{(m^\delta + m^\rho)r} \quad (16)$$

Для ролика:

$$\sum F_i = 0$$

$$-T + P + F_u = 0 \quad (17)$$

$$T = P + F_u$$

$$T = 0.5\sigma U^2 \rho S + m^\rho \varepsilon r$$

$$T = 0.5U^2 \rho S + \frac{(M_c + 0.5\sigma\rho\delta^2 S)m^\rho r}{(m^\delta + m^\rho)r}$$

$$T = 0.5\sigma U^2 \rho S + \frac{(M_c + \rho\sigma U^2 S)m^\rho}{(m_B + m_\rho)} \quad (18)$$

Полученная зависимость связывает геометрические и кинематические параметры. Нахождение этих взаимосвязей является задачей динамического исследования.

Для цилиндра (ролика) значения площади и массы приняты:

	s	m
цилиндр1	0,055	5
цилиндр2	0,11	10
цилиндр3	0,22	20

	M	m
Барабан	1	3
	2	
	4	

Обработка результатов исследования

Таб.1 Параметры зависимости.

Скорость	Цилиндр 1			Цилиндр 2			Цилиндр 3		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
1	62,5	63,125	64,375	140,3846	141,1538	142,6923	302,1739	303,0435	304,7826
2	248,125	248,75	250	559,2308	560	561,5385	1206,087	1206,957	1208,696
3	557,5	558,125	559,375	1257,308	1258,077	1259,615	2712,609	2713,478	2715,217
4	990,625	991,25	992,5	2234,615	2235,385	2236,923	4821,739	4822,609	4824,348

Сравнительная зависимость принятых параметров, приведена на рис.5

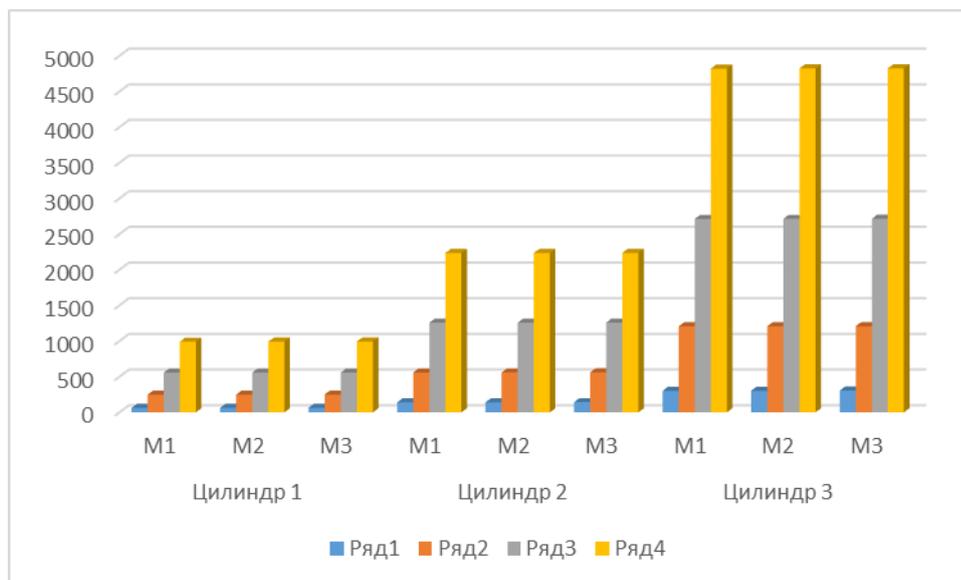
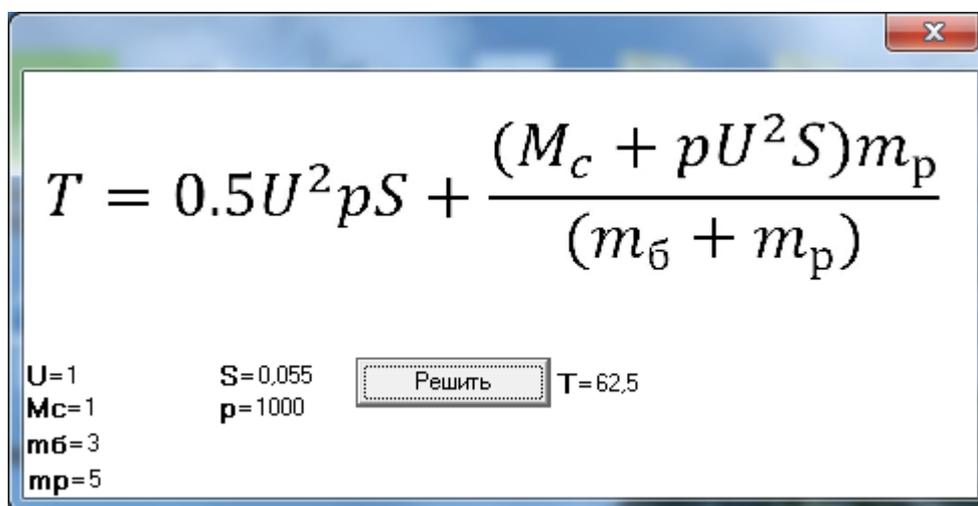


Рис.5 Гистограмма параметров установки.

Представленная ниже программа служит для автоматизации необходимых расчетов. Она разработана средствами Delphi7.



Используя представленную программу провести исследование зависимости по выданному преподавателем заданию.

5. Контрольные вопросы.

1. Как определяется момент инерции рассматриваемой системы?
2. От чего зависит момент инерции тел массой m относительно оси вращения барабана?
3. Каков физический смысл момента инерции твердого тела?
4. Дайте определение момента силы относительно неподвижной оси.
5. Каким образом в работе определяется сила натяжения каната?
6. Напишите уравнение для расчета момента инерции барабана, пренебрегая трением в подшипниках вала.

Литература.

1. Нефтепромысловое оборудование. Ивановского В.Н. Учеб. Для ВУЗов.- М.: «ЦентрЛитНефтеГаз» 2006.720с.
2. Краткий курс теоретической механики. Тарг С.М. «Высшая школа» М.
3. Продольно-поточная гидросиловая установка. Патент 156588 27.02.2015г.