

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям

по дисциплине «Моделирование и проектирование производственных систем и процессов»

для студентов направления подготовки

23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

(Направленность (профиль) «Техническая эксплуатация автомобилей»)

Содержание

Введение	4
Практическое занятие №1.	
Моделирование механических систем	4
Практическое занятие №2.	
Моделирование случайных величин.....	8
Практическое занятие №3.	
Решение задач элементарной математики в MATHCAD	13
Библиографический список	39

Введение

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (Направленность (профиль) Техническая эксплуатация автомобилей) в качестве руководства при выполнении практических работ по дисциплине «Моделирование и проектирование производственных систем и процессов».

Практические занятия закрепляют и углубляют знания, полученные студентами во время лекций с учетом информации, усвоенной при изучении смежных дисциплин.

Перед практическим занятием студент должен изучить программу и содержание работы, проработать указанный в инструкции теоретический материал и подготовиться к ответам на контрольные вопросы.

Практическое занятие №1.

Моделирование гидравлических систем

(6 часов)

Целью работы является изучение методов построения аналитических моделей на примере моделирования простых гидравлических систем.

Задачами работы являются:

- овладение методикой составления уравнений материального баланса и уравнений связи на основе законов сохранения вещества, энергии и импульса;
- овладение методикой расчета систем нелинейных уравнений в пакете Mathcad;
- освоение навыков исследования объектов и систем по их аналитическим моделям.

Порядок выполнения работы

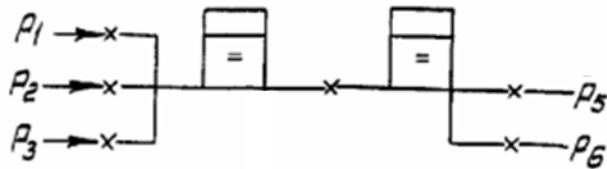
В соответствии с вариантом гидравлической системы, приведенном в задании решить следующие задачи:

1. Нанести на схему обозначения и задать направления движения потоков жидкости.
2. Составить систему уравнений математического описания гидравлической системы.
3. Провести расчет гидравлической системы на основании исходных данных задания.
4. Смоделировать работу гидравлической системы при разных значениях входного давления p_1 и построить статические характеристики переменных гидравлической системы в зависимости от давления p_1 .
5. При исходных значениях давлений изменить произвольным образом (в $2 \div 3$ раза) коэффициенты пропускной способности клапанов.

Принять все входные давления равными 200000 Па, выходные давления и давления в пустых емкостях 100000 Па, коэффициенты пропускной способности клапанов 0,05, высоты емкостей 10 м, плотность среды в системе 1000 кг/м³.

Рекомендации к составлению программы и оформлению работы

Рассмотрим следующий вариант задания:



1. Схема после нанесения обозначений и задания направления движения потоков жидкости будет выглядеть так:

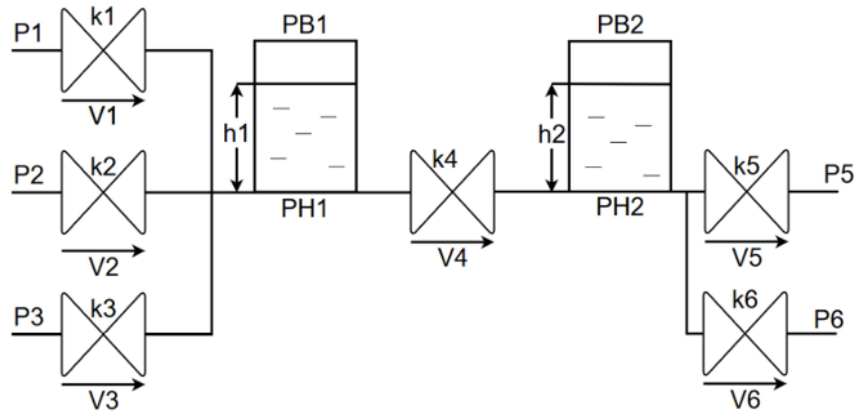


Рисунок 1 – Схема гидравлической системы с обозначениями

2. Исходные данные:

Входящие давления: p_1 , p_2 и p_3 равны 200000 Па.

Выходные давления: p_5 и p_6 равны 100000 Па.

Давление газа в пустой емкости $p_N = 100000$ Па.

Высоты емкостей: H_1 и H_2 равны 10 м.

Коэффициенты пропускания всех клапанов $k_i = 0.05$, где $i = 1, 6$.

Плотность среды $\rho = 1000$ кг/м³.

Ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с².

3. Требуется найти:

Расход жидкостей в клапанах: V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 , V_6 .

Давления столба жидкости в емкостях: p_{H1} , p_{H2} .

Давления газа в емкостях: p_{B1} , p_{B2} .

Высота жидкости в емкостях: h_1 , h_2 .

4. Фрагмент программы расчета

И с х о д н ы е д а н н ы е:

$P1 := 200000$ $P2 := 200000$ $P3 := 200000$
 $P5 := 100000$ $P6 := 100000$ $PN := 100000$
 $\underline{H1} := 10$ $\underline{H2} := 10$
 $k1 := 0.05$ $k2 := 0.05$ $k3 := 0.05$ $k4 := 0.05$ $k5 := 0.05$ $k6 := 0.05$
 $\rho := 1000$ $\underline{g} := 9.8$
 $\underline{ORIGIN} := 1$

Н а ч а л ь н ы е п р и б л и ж е н и я :

$V1 := 1$ $V2 := 1$ $V3 := 1$ $V4 := 1$ $V5 := 1$ $V6 := 1$
 $PH1 := 150000$ $PH2 := 150000$ $PB1 := 120000$ $PB2 := 120000$
 $h1 := 1$ $h2 := 1$

С и с т е м а у р а в н е н и й :

Given

$$V1 = k1 \cdot \sqrt{|P1 - PH1|} \cdot \text{sign}(P1 - PH1) \qquad V2 = k2 \cdot \sqrt{|P2 - PH1|} \cdot \text{sign}(P2 - PH1)$$

$$V3 = k3 \cdot \sqrt{|P3 - PH1|} \cdot \text{sign}(P3 - PH1) \qquad V4 = k4 \cdot \sqrt{|PH1 - PH2|} \cdot \text{sign}(PH1 - PH2)$$

$$V5 = k5 \cdot \sqrt{|PH2 - P5|} \cdot \text{sign}(PH2 - P5) \qquad V6 = k6 \cdot \sqrt{|PH2 - P6|} \cdot \text{sign}(PH2 - P6)$$

$$PH1 = PB1 + h1 \cdot g \cdot \rho \qquad PH2 = PB2 + h2 \cdot g \cdot \rho$$

$$PB1 = PN \cdot \frac{H1}{H1 - h1} \qquad PB2 = PN \cdot \frac{H2}{H2 - h2}$$

$$V1 + V2 + V3 - V4 = 0$$

$$V4 - V6 - V5 = 0$$

Р е ш е н и е у р а в н е н и й и и с с л е д о в а н и е с и с т е м ы :

$D(P1) := \text{Find}(V1, V2, V3, V4, V5, V6, PH1, PH2, PB1, PB2, h1, h2)$

$P1 := 200000, 250000.. 350000$

$D(P1)_1 =$

4.518
11.269
15.79
19.209

$D(P1)_2 =$

4.518
1.409
-0.815
-2.449

$D(P1)_3 =$

4.518
1.409
-0.815
-2.449

$D(P1)_{04} =$

13.553
14.086
14.161
14.311

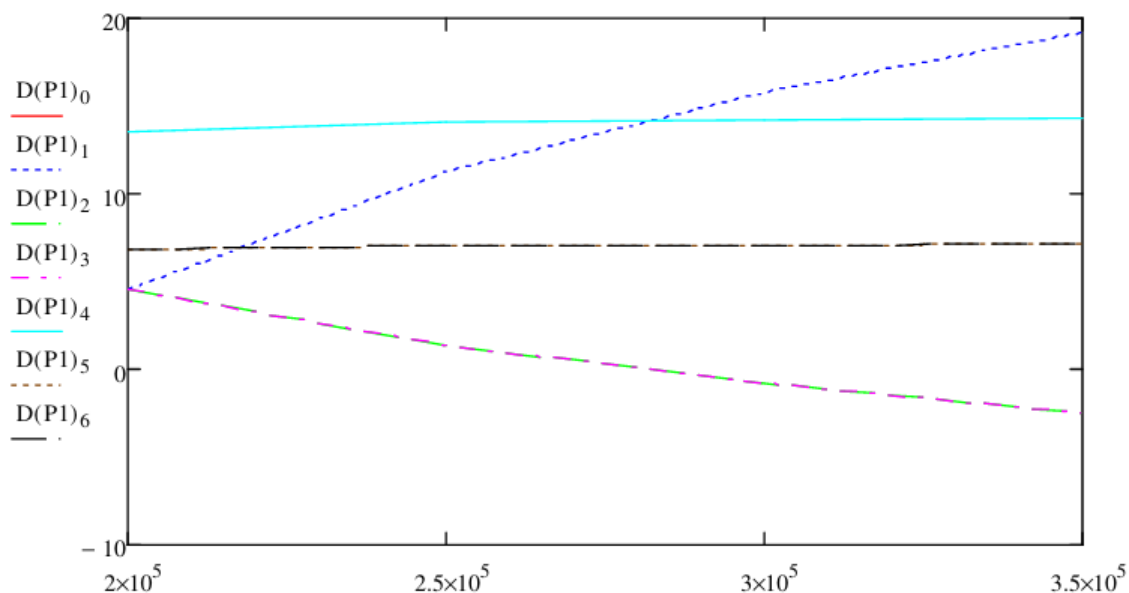
$D(P1)_5 =$

6.776
7.043
7.08
7.155

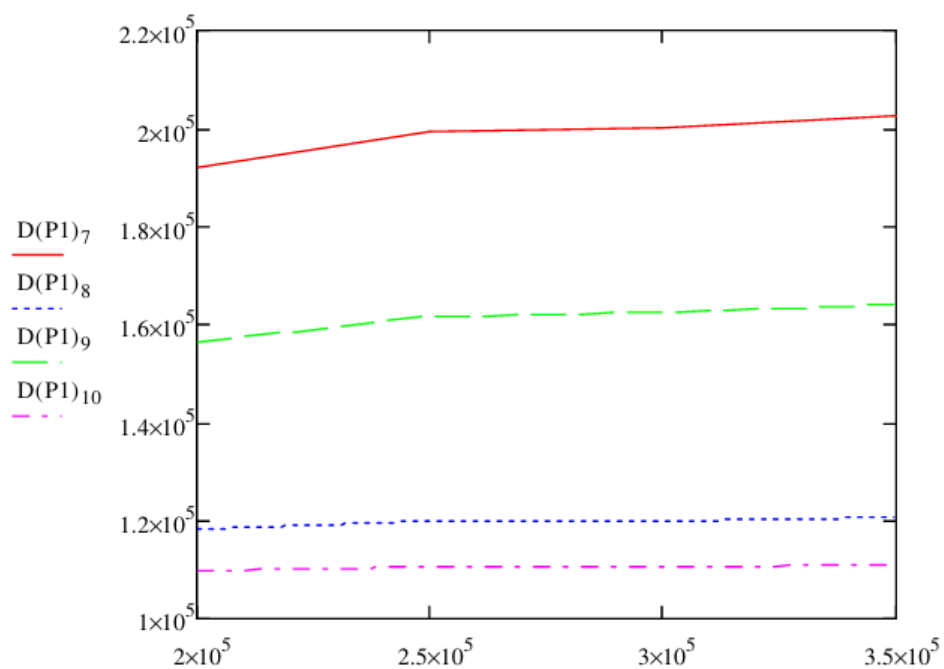
$D(P1)_6 =$

6.776
7.043
7.08
7.155

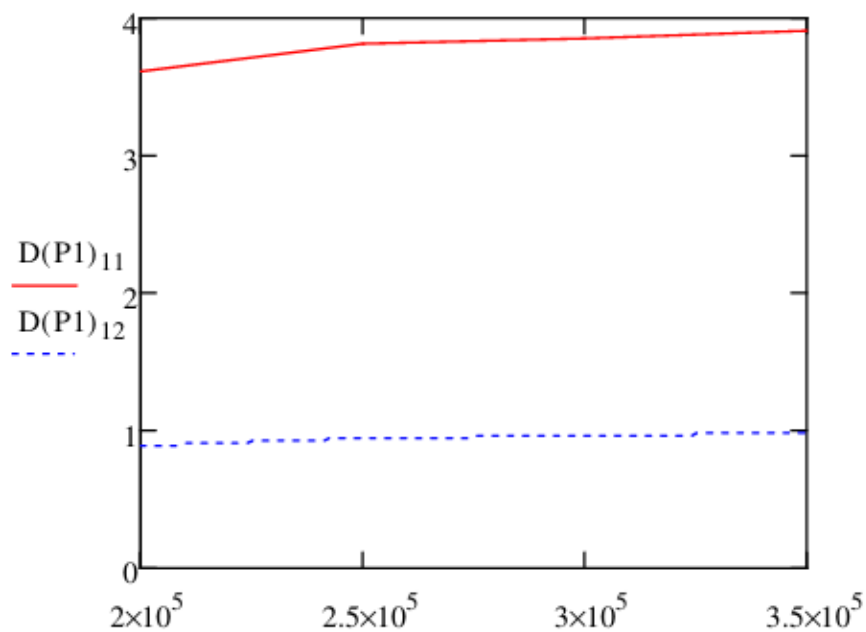
Графики изменения расходов $V1, V2, V3, V4, V5, V6$ в зависимости от давления $P1$:



Графики изменения давлений жидкости $PH1(D7), PH2(D8)$ и газа $PB1(D9), PB2(D10)$ в емкостях в зависимости от давления $P1$:



Графики изменения уровней жидкости $h1(D11)$, $h2(D12)$ в емкостях в зависимости от давления $P1$:



Примечание: Исследование с изменением произвольным образом (в $2 \div 3$ раза) коэффициентов пропускной способности клапанов провести самостоятельно.

5. Содержание отчета:

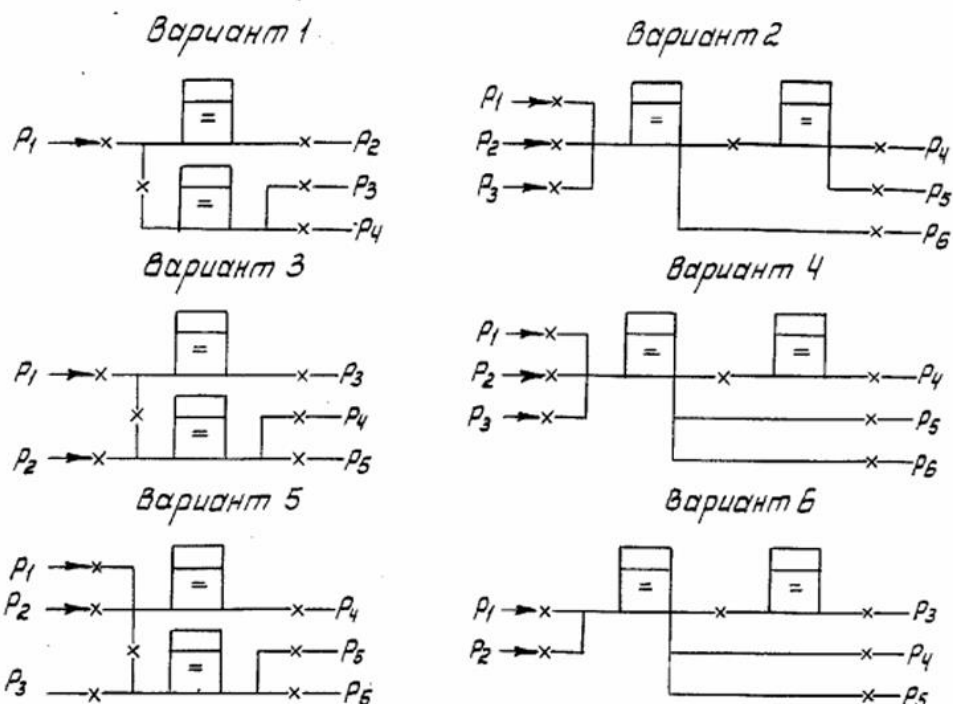
1. Титульный лист.

2. Цель работы.
3. Вариант задания.
4. Все необходимые расчеты, результаты и полученные графики с подробными комментариями и пояснениями.
5. Выводы по работе.

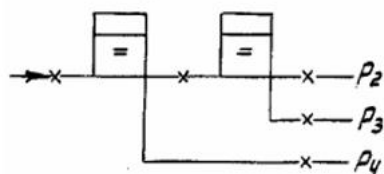
6. Контрольные вопросы

1. Почему при построении алгоритмов решения задач рекомендуется использовать метод математической декомпозиции?
2. Как и с какой целью строится информационная матрица системы уравнений математического описания?
3. Какие основные допущения принимаются при компьютерном моделировании простой гидравлической системы?
4. Каким уравнением описывается движение потока жидкости через клапан?

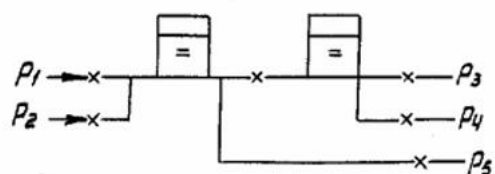
7. Варианты заданий



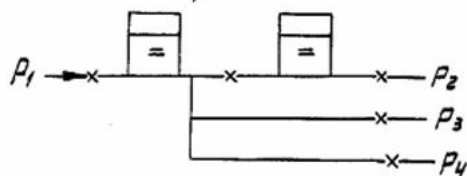
Вариант 7



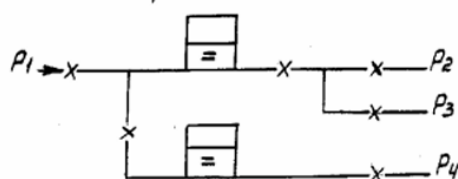
Вариант 8



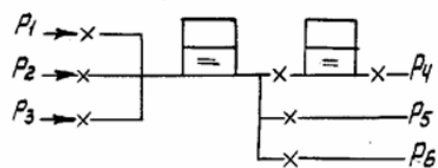
Вариант 9



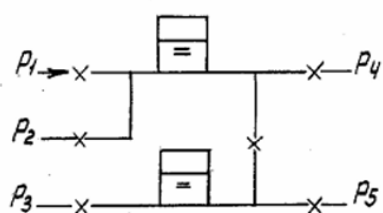
Вариант 10



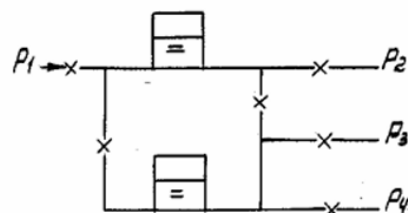
Вариант 11



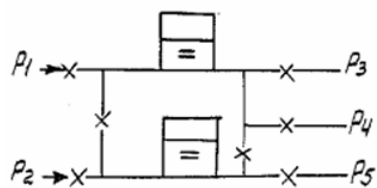
Вариант 12



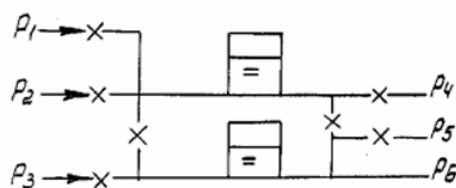
Вариант 13



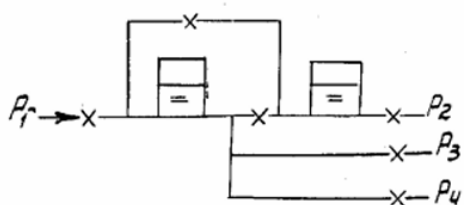
Вариант 14



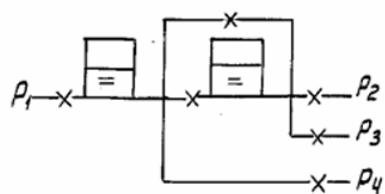
Вариант 15

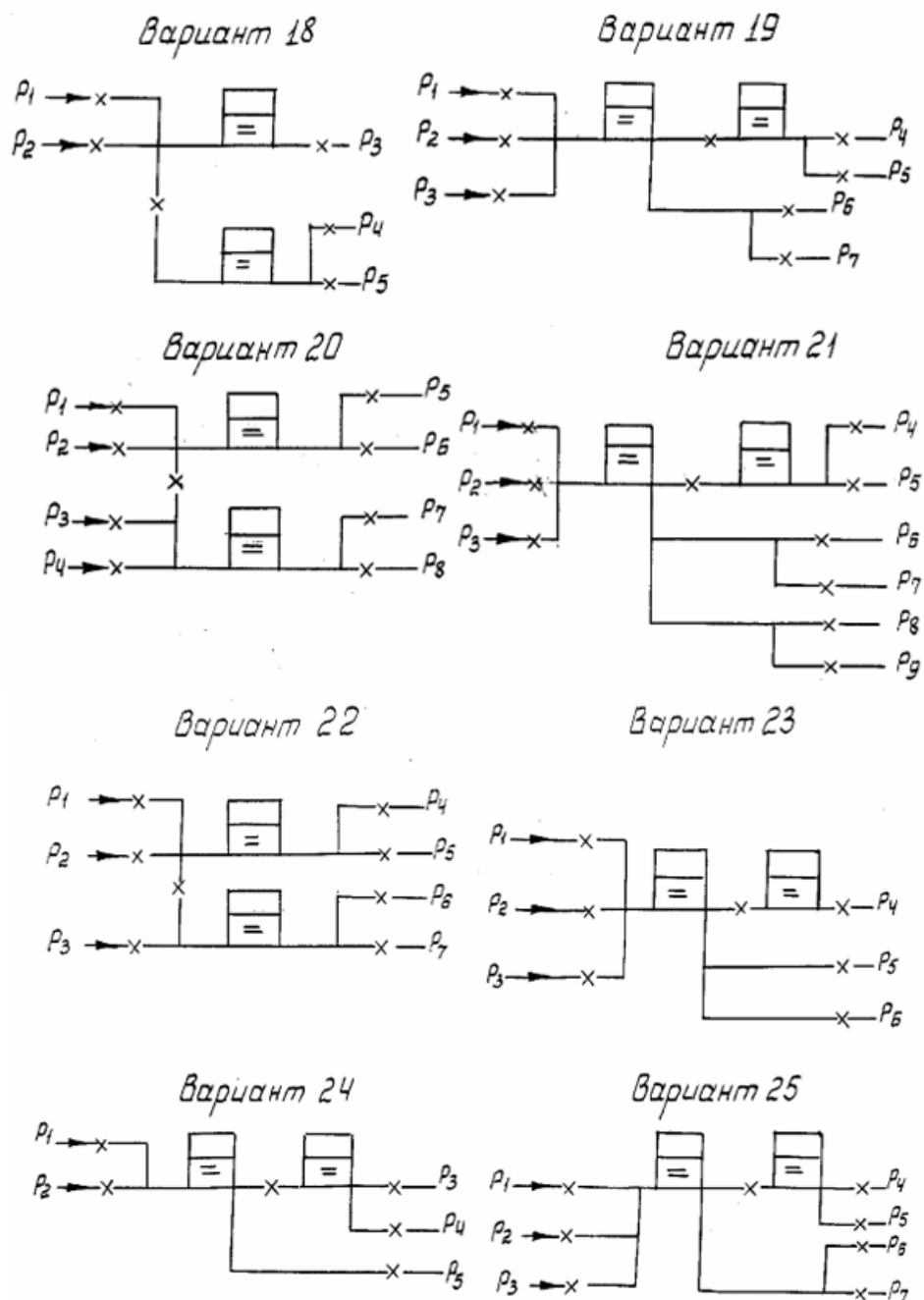


Вариант 16



Вариант 17





Практическое занятие №2.

Моделирование механической системы
при плоском движении твердых тел
(6 часов)

Цель работы: уметь определять кинематические параметры тела при поступательном и вращательном движениях, определять параметры любой точки тела.

Дано: Шкив вращается в соответствии с нижеприведёнными кинематическими графиками на рисунке 1 (6 вариантов). Определить число оборотов шкива ($z_{\text{общ}}$) и общий угол поворота ($\varphi_{\text{общ}}$) за время вращения шкива.

Кинематические графики

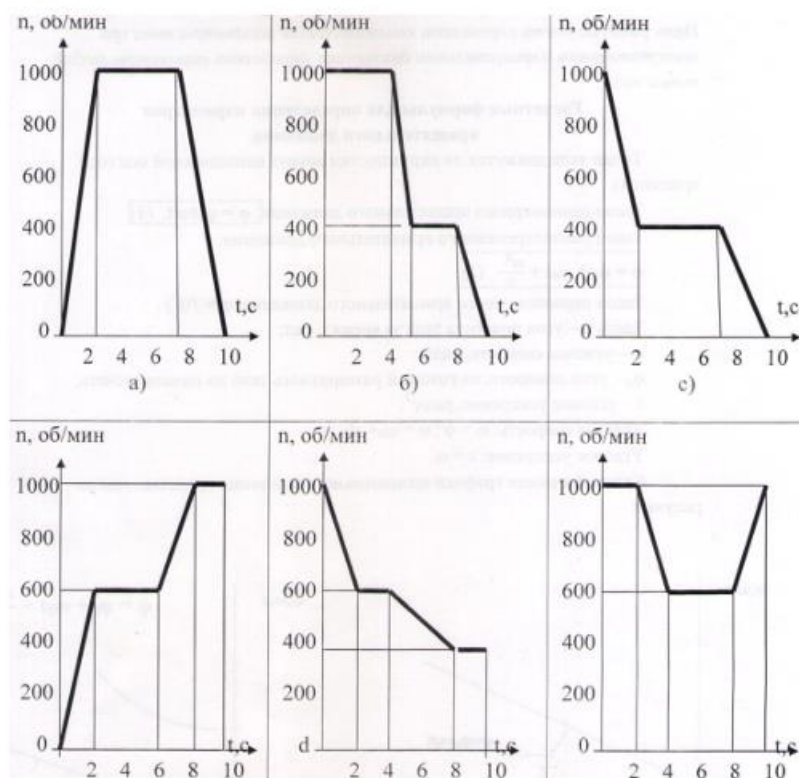


Рисунок 1

Методические рекомендации для решения задач

I. Расчетные формулы для определения параметров поступательного движения тела.

Все точки тела движутся одинаково.

Закон равномерного движения: $S = S_0 + V_{\text{cp}} \cdot t$.

Закон равнопеременного движения: $S = S_0 + V_0 \cdot t + a_{\tau} / 2 \cdot t^2$.

Здесь S_0 – путь, пройденный до начала отсчета, м;

V_0 – начальная скорость движения, м/с;

a_{τ} – постоянное касательное ускорение, м/с²

Скорость: $V = S / t = V_0 + a_{\tau} \cdot t$.

Ускорение: $a_{\tau} = V'$.

Закон неравномерного движения: $S = f(t)$.

II. Расчетные формулы для определения параметров вращательного движения тела.

Точки тела движутся по окружностям вокруг неподвижной оси (оси вращения).

Закон равномерного вращательного движения: $\varphi = \varphi_0 + \omega t$. (1)

Закон равнопеременного вращательного движения:

$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \varepsilon t^2 / 2$. (2)

Закон неравномерного вращательного движения: $\varphi = f(t^3)$.

Здесь φ – угол поворота тела за время t , рад;

ω – угловая скорость, рад/с;

φ_0 – угол поворота, на который развернулось тело до начала отсчета;

ε – угловое ускорение, рад/с²;

Угловая скорость: $\omega = \varphi'$; $\omega = \omega_0 + \varepsilon t$;

Угловое ускорение: $\varepsilon = \omega'$.

Число оборотов вращения тела: $z = \varphi / 2\pi$. (3)

Угловая скорость рад/с: $\omega = 2 \pi n / 60 = \pi n / 30$. (4)

Кинематические графики вращательного движения представлены на рисунке 2.

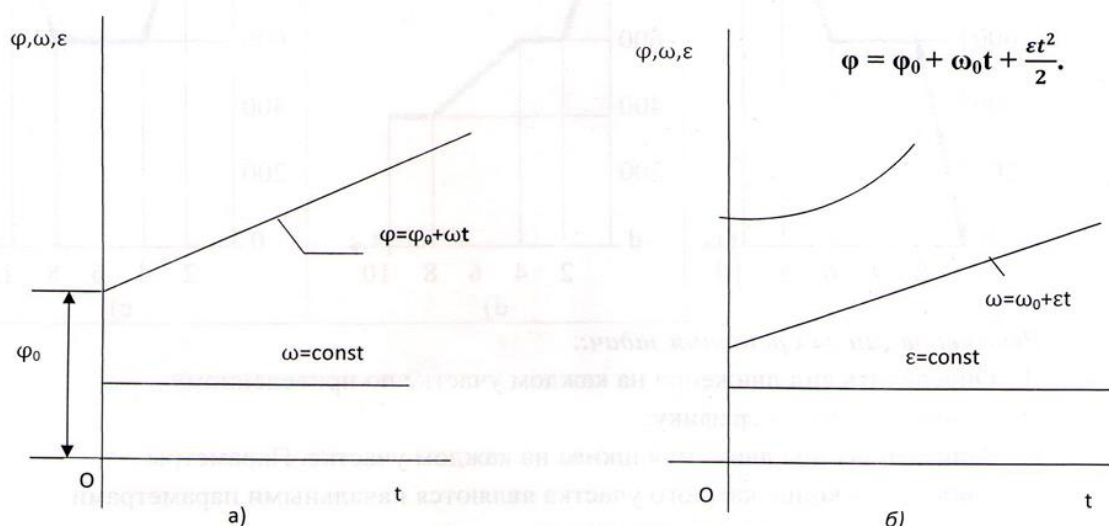


Рисунок 2

III. Разбить график движения шкива на участки и определить вид движения на каждом участке по приведенному кинематическому графику.

IV. Записать законы движения шкива на каждом участке. Параметры движения в конце каждого участка являются начальными параметрами движения на каждом последующем.

V. Определить полный угол поворота шкива за время вращения. Использовать формулу для перехода от угловой скорости к угловому ускорению $\varepsilon = (\omega - \omega_0) / t$. (5)

VI. Определить полное число оборотов шкива, используя формулу (3).

Пример решения задачи:

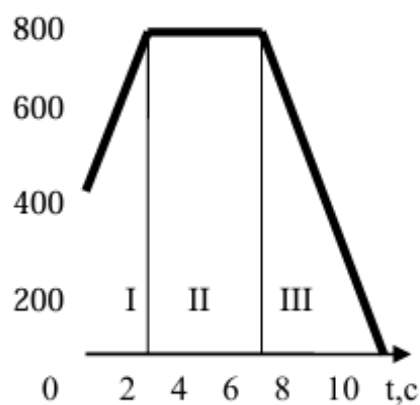
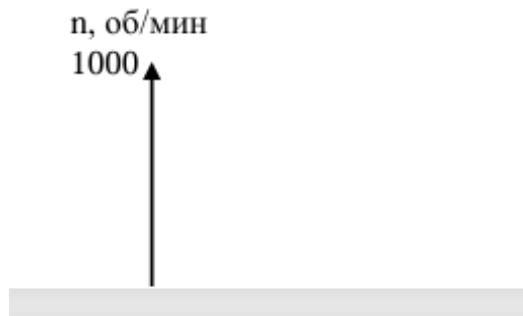


Рисунок 3

1 участок. Вид движения - равноускоренное. Записываем закон движения по формуле (2):

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \varepsilon t^2 / 2;$$

$$\varphi_0 = 0; \quad (4);$$

$$\omega_0 = \pi n / 30 = 3,14 \cdot 400 / 30 = 41,9 \text{ рад/с.}$$

$$t = 2 \text{ с} - \text{по графику};$$

$$\varepsilon = (\omega - \omega_0) / t - \text{формула (5);}$$

$$\varepsilon = (83,8 - 41,9) / 2 = 20,95 \text{ рад/с}^2;$$

$$\omega = \pi n / 30 = 3,14 \cdot 800 / 30 = 83,8 \text{ рад/с.}$$

Подставив значения в формулу (2), получим:

$$\varphi_1 = \varphi_0 + \omega_0 t + \varepsilon t^2 / 2 = 0 + 41,9 \cdot 2 + 20,95 \cdot 2^2 / 2 = 125,7 \text{ рад};$$

$$z_1 = \varphi / 2\pi = 125,7 / 2 \cdot 3,14 = 20 \text{ оборотов} - \text{по формуле (3).}$$

2 участок. Вид движения – равномерное.

Записываем закон движения по формуле (1):

$$\varphi_2 = \varphi_0 + \omega t = 0 + 83,8 \cdot 4 = 335,2 \text{ рад};$$

$$z_2 = \varphi / 2\pi = 335,2 / 2 \cdot 3,14 = 53,4 \text{ оборота.}$$

3 участок. Вид движения – равнозамедленное.

Записываем закон движения по формуле (2):

$$\varphi_3 = \varphi_0 + \omega_0 t + \varepsilon t^2 / 2 = 0 + 83,8 \cdot 4 - 20,95 \cdot 4^2 / 2 = 167,6 \text{ рад};$$

$$\varepsilon = (\omega - \omega_0) / t = (0 - 83,8) / 4 = - 20,95 \text{ рад/с}^2;$$

$$z_3 = \varphi / 2\pi = 167,6 / 2 \cdot 3,14 = 26,7 \text{ оборотов.}$$

Угол поворота

$$\varphi_{\text{общ}} = 125,7 + 335,2 + 167,6 = 628,5 \text{ рад.}$$

Количество оборотов

$$z_{\text{общ}} = 20 + 53,4 + 26,7 = 100,1 \text{ оборота.}$$

Контрольные вопросы

1. Какое движение твёрдого тела называется плоским (плоскопараллельным)?
2. Приведите примеры звеньев механизмов, совершающих плоское движение.
3. Из каких простых движений складывается плоское движение?
4. Какими уравнениями задаётся плоское движение?
5. Зависит ли поступательное перемещение плоской фигуры и её вращение от выбора полюса?
6. Как определяется скорость произвольной точки тела при плоском движении?
7. Что такое мгновенный центр скоростей?
8. Из каких составляющих складывается ускорение точки при плоском движении?
9. Каковы условия и уравнения равновесия плоской системы параллельных сил?
10. В чём заключается метод разбиения при определении центра тяжести твёрдого тела?
11. Какие графические методы (например, планы скоростей и ускорений) применяются для моделирования плоского движения?
12. Какие допущения обычно принимаются при моделировании плоских механических систем (например, невесомость звеньев, отсутствие трения)?

Практическое занятие №3.

Моделирование случайных величин

(6 часов)

Теоретическое обоснование

Решение любой задачи методом статистического моделирования состоит в:

разработке и построении структурной схемы процесса, выявлении основных взаимосвязей;

формальном описании процесса;

моделировании случайных явлений (случайных событий, случайных величин, случайных функций), сопровождающих функционирование исследуемой системы;

моделировании (с использованием данных, полученных на предыдущем этапе) функционирования системы – воспроизведении процесса в соответствии с разработанной структурной схемой и формальным описанием;

накоплении результатов моделирования, их статистической обработке, анализе и обобщении.

Моделирование случайных величин

Для моделирования случайной величины необходимо знать ее закон распределения. Наиболее общим способом получения последовательности случайных чисел, распределенных по произвольному закону, является способ, в основе которого лежит их формирование из исходной последовательности случайных чисел, распределенных в интервале $[0, 1]$ по равномерному закону.

Формулы для моделирования случайных величин

Экспоненциальный

Плотность распределения

$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x}.$	(5.1)
--	-------

Формула для моделирования случайной величины

$x_i = -\frac{1}{\lambda} \cdot \ln \xi_i.$	(5.2)
---	-------

Вейбула

Плотность распределения

$f(x) = \frac{a}{b} \left(\frac{x}{a} \right)^{a-1} \exp \left[- \left(\frac{x}{b} \right)^a \right].$	(5.3)
---	-------

Формула для моделирования случайной величины

$x_i = -b \cdot (\ln \xi_i)^{1/a}$	(5.4)
------------------------------------	-------

Гамма-распределение

Плотность распределения

$f(x) = \frac{\lambda^n}{\Gamma(\eta)} \cdot e^{-\lambda x} x^{\eta-1}$	(5.5)
---	-------

Формула для моделирования случайной величины

$x_i = -\frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^{\eta} \ln(1 - \xi_j)$	(5.6)
---	-------

Нормальное

Плотность распределения

$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$	(5.7)
--	-------

Формула для моделирования случайной величины

$x_i = \bar{x} + \sigma \left(\sum_{i=1}^{\eta} \xi_i - 6 \right)$	(5.8)
---	-------

Аппаратура и материалы

Микрокалькулятор, программное обеспечение MS Excel.

Указания по технике безопасности

При выполнении работы студенты должны руководствоваться общими для учебных аудиторий правилами техники безопасности.

Методика и порядок выполнения работы

Получить вариант задания (таблица 5.1)

Таблица 5.1 – Исходные данные

Вариант	Условия моделирования
1	Периодичность поступления заявок на обслуживание подчинена показательному закону распределения. Средний интервал между поступлениями заявок в систему равен $\bar{t} = 2$ часа. Определить последовательность значений продолжительности интервалов между поступлениями заявок. Число реализаций равно 10.
2	Время обслуживания работника предприятия кассой бухгалтерии является случайной величиной, распределенной в соответствии с законом Вейбула. Среднее время обслуживания $\bar{t} = 3$ мин, среднеквадратическое отклонение равно $\sigma = 2$ мин. Требуется смоделировать случайную величину, отвечающую этим условиям. Число реализаций принять равным 10.
3	При обработке экспериментальных данных было установлено, что время, расходуемое на станции технического обслуживания автомобилей для замены двигателя, распределено по нормальному закону, параметры которого равны $\bar{x} = 2,8$ часа на один двигатель и $\sigma_x = 0,6$ часа. Требуется смоделировать для отмеченных условий случайную величину – время X , расходуемое для замены двигателя. Число реализаций принять равным 5.
4	Время проверки приемки квартального отчета инспектором налоговой службы (t) величина случайная, распределенная в соответствии с законом Вейбула. Среднее время проверки и приемки равно $\bar{t} = 20$ мин. Коэффициент вариации величины равен $V_t = 0,52$. Требуется смоделировать для заданных условий случайные числа (число реализаций принять равным 10).
5	Среднее число исправных станков в токарном цехе на заводе равно $\bar{x} = 6$. Среднеквадратическое отклонение равно $\sigma_x = 2,2$. Требуется смоделировать число исправных станков в цехе (число реализаций равно пяти) при условии, что случайная величина имеет гамма-распределение.
6	Вероятность замены неисправной детали на новую при ремонте автомобиля в каждом испытании равна $p = 0,63$. Смоделировать пять испытаний и определить последовательность замены детали на новую или восстановленную.

Вариант	Условия моделирования
7	При испытании могут иметь место зависимые и совместные три события: работает только первый кассир по выдаче заработной платы, работает только второй кассир, работают оба кассира. При этом известно, что вероятность работы первого кассира равна 0,6; вероятность работы второго кассира равна 0,7; вероятность работы двух кассиров равна 0,4. Смоделировать возможность реализации двух событий: работает только первый кассир; работает только второй кассир в трех испытаниях.
8	Сохраняются условия задачи 7. Определить номер интервала, в который попадет максимальное количество отказов.
9	Система имеет два элемента. Средняя периодичность первого элемента равна $\bar{t}_1 = 60$ час., второго элемента – $\bar{t}_2 = 85$ час. Периодичности отказа первого и второго элемента – случайные величины, подчиненные экспоненциальному закону распределения. Определить параметр и функцию распределения потока отказов системы по интервалам времени $\Delta t = 8$ час. Число реализации принять равным $N = 10$.
10	Сохраняются условия задачи 9. Определить номера интервалов, в которые попадут максимальные количества отказов первого, второго элемента и в целом всей системы.
11	Пусть при испытании могут иметь место зависимые и совместные события A и D . Известно, что вероятности появления событий равны $P(A) = 0,6$; $P(D) = 0,3$, а также вероятность совместного появления событий и : $P(AD) = 0,4$. Смоделировать появление событий и в пяти испытаниях.
12	Периодичность проверки предприятий налоговой инспекции величина случайная (Δt), подчиняющаяся закону гамма-распределения. Средний интервал проверки равен $\Delta \bar{t} = 2,5$ месяца. Коэффициент вариации величины равен $V = 0,38$. Требуется смоделировать для заданных условий возможные моменты проверок предприятия налоговой инспекцией (число реализаций принять равным 10).
13	Сохраняются условия задачи 12. Определить количество проверок налоговой инспекцией за первый год работы предприятия.
14	Среднее число работающих машин на заводе равно $\bar{x} = 25$. Коэффициент вариации числа работающих равен $V = 0,6$.

Вариант	Условия моделирования
	Требуется смоделировать число работающих машин на заводе (число реализаций равно 10). Случайная величина имеет распределение Вейбула.
15	После каждой проверки предприятия налоговой инспекцией вероятность появления необходимости аудиторской проверки данного предприятия равна $P = 0,72$. Смоделировать шесть испытаний. Определить последовательность проведения различных проверок предприятия.

Определить параметры модели.

Смоделировать случайную величину, распределенную по заданному закону.

Построить гистограмму распределения случайной величины.

Произвести оценку качества.

Сделать выводы.

Содержание отчета и его форма

Отчет должен содержать:

расчет параметров модели

расчет случайной величины, распределенной по заданному закону;

гистограмму распределения случайной величины;

оценку качества;

выводы.

Контрольные вопросы и защита работы

1 В чем заключается решение задачи методом статистического моделирования?

2 Какой способ получения последовательности случайных чисел Вам известен?

3 Как определить плотность распределения экспоненциального закона?

4 Как определить плотность распределения Вейбула?

5 Как определить плотность гамма-распределения?

6 Как определить плотность распределения нормального закона?

Защита работы проводится в устной форме, состоит в предоставлении студентом правильно выполненного отчета по работе, коротком докладе и в ответах на вопросы, представленные выше.

Библиографический список

Основная

1. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: Учебник для вузов / В.П.Тарасик. – Мн.: ДизайнПРО, 2004.
2. Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами: Учеб. пособие / Э.Я.Рапопорт. – М.: Высш.шк., 2003. – 299с.: ил.
3. Рапопорт Э.Я. Анализ и синтез систем автоматического управления с распределенными параметрами: Учеб. пособие / Э.Я.Рапопорт. – М.: Высш.шк., 2005. – 292с.
4. Бутковский А.Г. Характеристика систем с распределенными параметрами / А.Г.Бутковский. – М.: Наука, 1979.
5. Самарский А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. - М.: Физматлит, 2005. - 320с.
6. Шарма Д.Н. Уравнения в частных производных для инженеров / Д.Н. Шарма, К. Синг. – М.: Техносфера, 2002. – 320с.
7. Советов Б.Я. Моделирование систем. Учебник для ВУЗов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. - М.: Высшая школа, 2001 г. – 343с.
8. Введение в математическое моделирование: Учеб. пособие / под ред. П.В.Трусова. – М.: Логос, 2005. – 440с.

Дополнительная

9. Бусленко Н.Г. Моделирование сложных систем / Н.Г.Бусленко.- М.: Наука, 1978.
10. Вавилов А.А. Имитационное моделирование производственных систем / А.А.Вавилов. - М.: Техника, 1983.
11. Демиденко Н.Д. Управляемые распределенные системы / Н.Д.Демиденко. – Новосибирск: Наука, 1999.
12. Дидюк Г.А., Золотов О.И., Пустыльников Л.М. Специальные разделы теории автоматического регулирования и управления (теория СРП). С предисловием А.Г. Бутковского. Учебное пособие. – СПб.: СЗТУ, 2000.
13. Коваль В.А. Спектральный метод анализа и синтеза распределенных управляемых систем / В.А.Коваль. – Саратов.: СГТУ, 1997.
14. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин / И.П.Копылов. - М.: Высш. шк., 1994. - 318 с.
15. Основы математического моделирования. Построение и анализ моделей с примерами на языке Matlab: Учеб. пособие / Д. Л. Егоренко, А.Л.

Фратков, В.Ю. Харламов; Под. ред. д-ра техн. наук А.Л. Фраткова.- СПб.: БГТУ, 1994.