

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Тюменский государственный нефтегазовый университет»  
Институт транспорта  
Кафедра «Детали машин»

---

## СТРУКТУРНЫЙ, КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И СИЛОВОЙ РАСЧЕТЫ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

*Методические указания  
к контрольной работе по дисциплине «Теории механизмов и машин»  
для студентов специальностей НР-130503, ПСТ-130501, НБ-130504,  
МОП-130602, АТХ-190601, СТЭ-190603, ПДМ-190205, СП-150202, ПТИ-  
260703, ТМ-151001, МКС-151002, МХП-240801, МСО-190207 заочной  
полной и сокращенной форм обучения*

---

Тюмень  
ТюмГНГУ  
2010

Утверждено редакционно-издательским советом  
Тюменского государственного нефтегазового университета

Составители:   доцент, к.т.н. Никитина Любовь Ивановна  
                          ассистент     Панков Дмитрий Николаевич

© государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Тюменский государственный нефтегазовый университет»  
2010 г

## ***ВВЕДЕНИЕ***

Курс «Теория механизмов и машин», рассматривающий общие методы исследования и проектирования механизмов и машин, входит в общепрофессиональный цикл дисциплин, формирующих знания инженеров по конструированию, изготовлению и эксплуатации машин.

Значение курса «Теория механизмов и машин» для подготовки инженеров-конструкторов, проектирующих новые механизмы и машины, очевидно, так как общие методы синтеза механизмов, излагаемые в этом курсе, дают возможность не только находить параметры механизмов по заданным кинематическим и динамическим свойствам, но и определять их оптимальные сочетания с учетом многих дополнительных условий.

Большое значение имеет курс «Теория механизмов и машин» и для подготовки инженеров–механиков по технологии изготовления и эксплуатации машин, так как знание видов механизмов и их кинематических и динамических свойств необходимы для ясного понимания принципов работы отдельных механизмов и их взаимодействия в машине.

Курс «Теория механизмов и машин» является основой для последующего изучения специальных видов машин.

**КОНТОРОЛЬНАЯ РАБОТА**  
по дисциплине «Теория механизмов и машин»

**Задача №1**

**Задание**

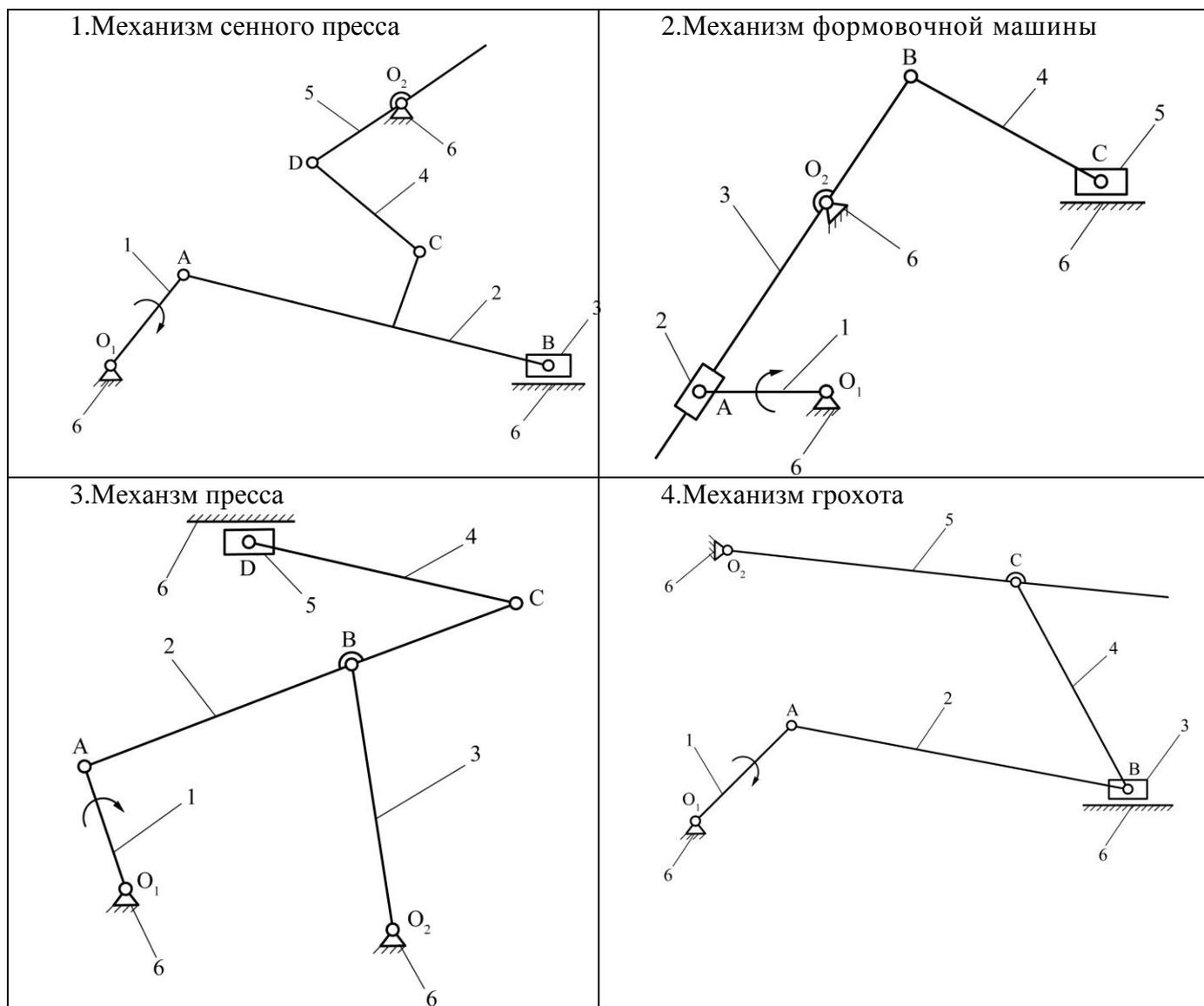
1. Выполнить структурный анализ рычажного шестизвенника.

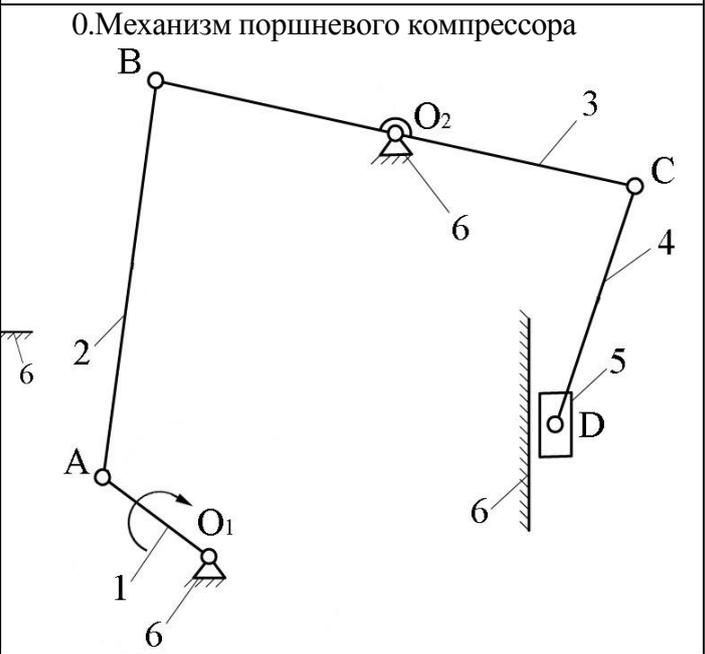
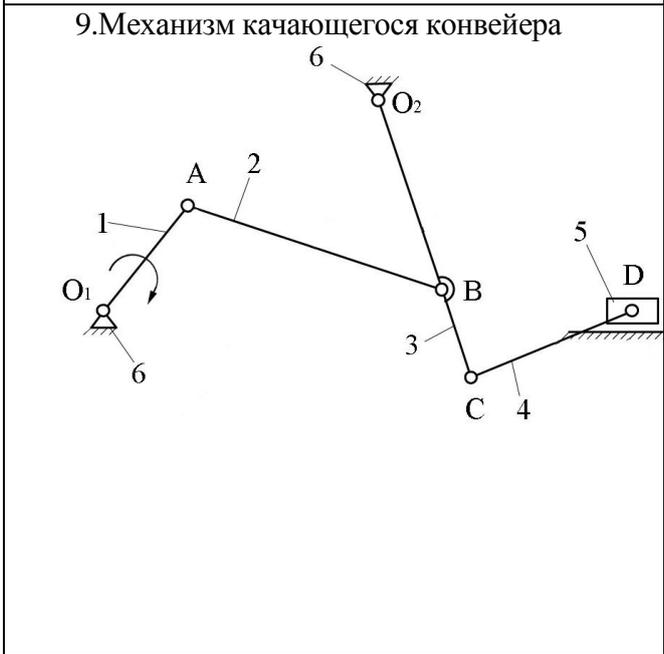
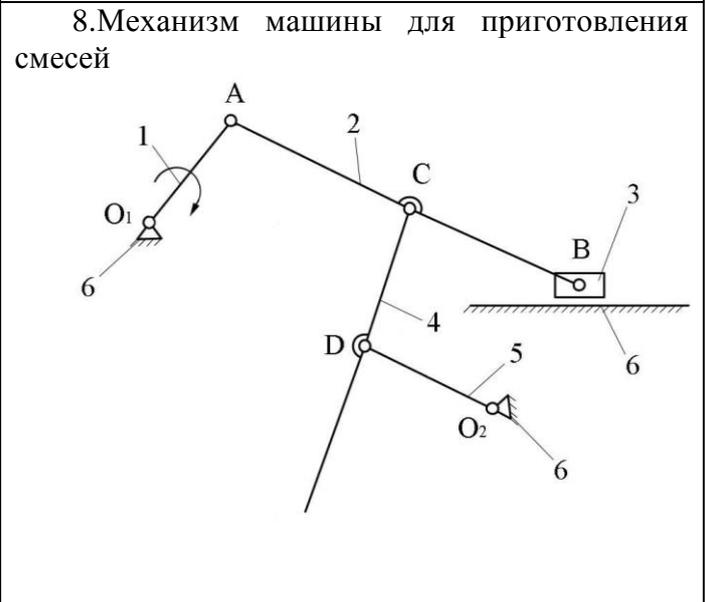
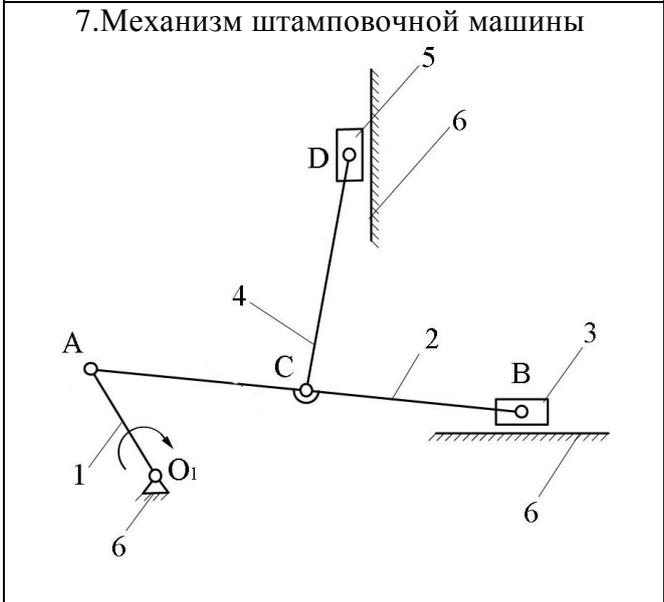
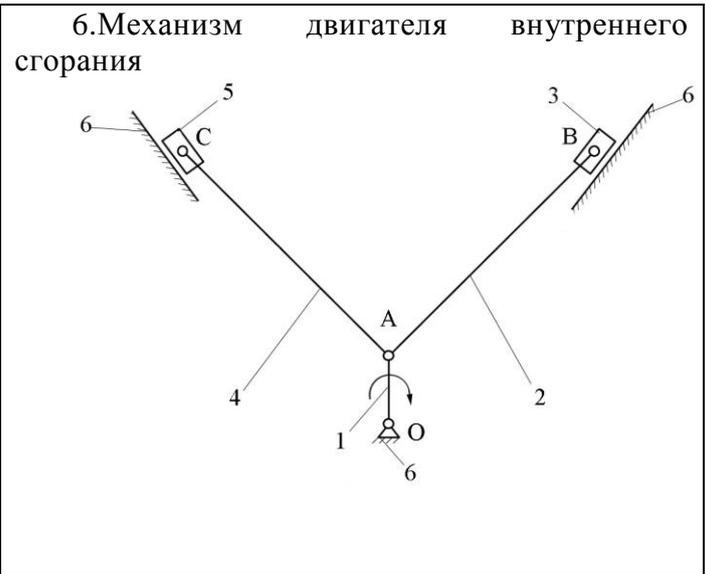
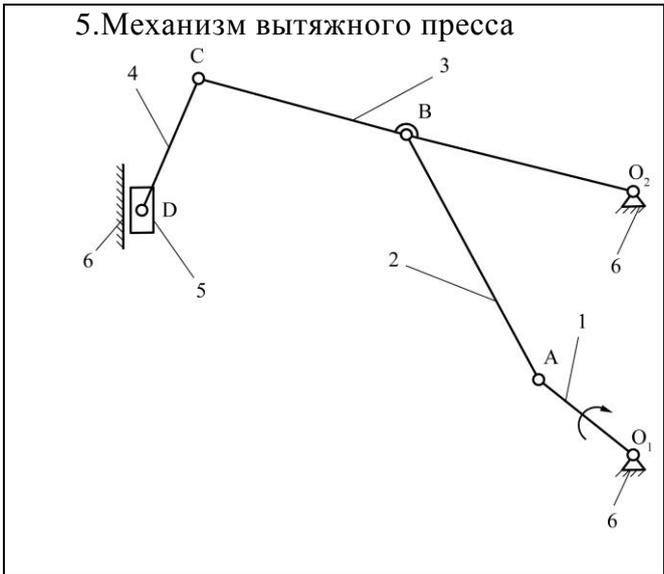
**Предлагается:**

- 10 вариантов структурных схем рычажных шестизвенников;

*Студент выбирает структурную схему по последней цифре зачетной книжки.*

**СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ РЫЧАЖНЫХ ШЕСТИЗВЕННИКОВ**





## УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧИ №1

### *Структурный анализ механизма*

Задачей структурного анализа механизма является – определение параметров структуры заданного механизма: числа звеньев, числа и вида кинематических пар, определение степени подвижности механизма, разбиение механизма на группы Ассура и начальный механизм, определение класса всего механизма.

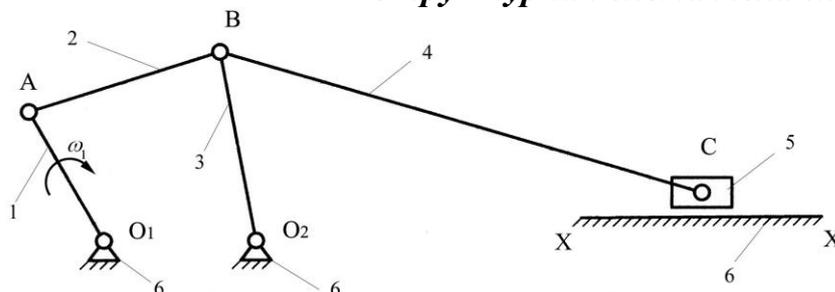
### *Алгоритм проведения структурного анализа*

1. Начертить структурную схему механизма.
2. Обозначить все подвижные и неподвижные звенья механизма. Начать обозначение с ведущего звена – кривошипа и далее по порядку. Показать направление вращения кривошипа. Найти количество подвижных звеньев  $n$ .
3. Заглавными буквами латинского алфавита обозначить все кинематические пары. Найти количество кинематических пар  $p_1$  и  $p_2$ .
4. Определить степень подвижности механизма  $W$ .
5. Отсоединить от механизма наиболее отдаленную от ведущего звена группу Ассура II класса, так чтобы оставшийся механизм продолжал работать, а степень его подвижности  $W$  не менялась. Определить вид, порядок, класс и степень подвижности данной группы Ассура. Записать структурную формулу группы Ассура.
6. Продолжать отсоединять от механизма группы Ассура до тех пор, пока не останется начальный механизм.
7. Определить класс и степень подвижности начального механизма. Записать структурную формулу начального механизма.
8. Записать структурную формулу всего механизма.
9. Определить класс механизма.

## ПРИМЕР №1

**Выполнить структурный анализ механизма.**

### 1. Структурная схема механизма.



### 2. Звенья механизма.

Звено	Наименование	Подвижность	Число подвижных звеньев
1	Кривошип	Подвижное	n=5
2	Шатун	Подвижное	
3	Коромысло	Подвижное	
4	Шатун	Подвижное	
5	Ползун	Подвижное	
6	Стойка	Неподвижное	

### 3. Кинематические пары.

Обозначение на структурной схеме	Соединяемые звенья	Вид	Тип кинематической пары		Индекс
			Характер соприкосновения	Степень подвижности	
O <sub>1</sub>	1,6	Вращат.	Низшая	Одноподвижная	$B_{O_1}(1,6)$
A	1,2	Вращат.	Низшая	Одноподвижная	$B_A(1,2)$
B	2,3	Вращат.	Низшая	Одноподвижная	$B_B(2,3)$
B	3,4	Вращат.	Низшая	Одноподвижная	$B_B(3,4)$
C	4,5	Вращат.	Низшая	Одноподвижная	$B_C(4,5)$
C	5,6	Поступат.	Низшая	Одноподвижная	$П_C(5,6)$
O <sub>2</sub>	3,6	Вращат.	Низшая	Одноподвижная	$B_{O_2}(3,6)$

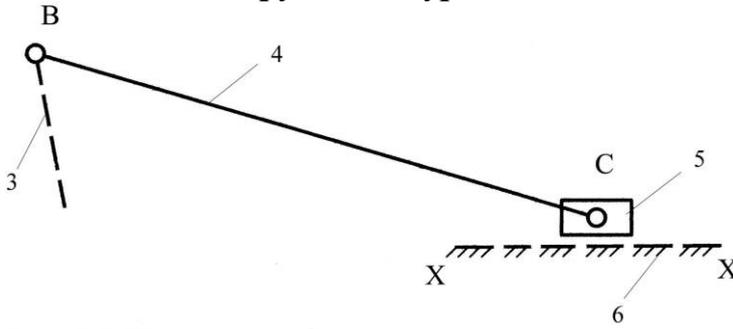
Число одноподвижных кинематических пар  $p_1 = 7$ , число двухподвижных кинематических пар  $p_2 = 0$ .

### 4. Степень подвижности механизма.

$$W = 3n - 2p_1 - p_2 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 - 0 = 1$$

## 5. Строение групп Ассура.

### 5.1. Последняя группа Ассура.

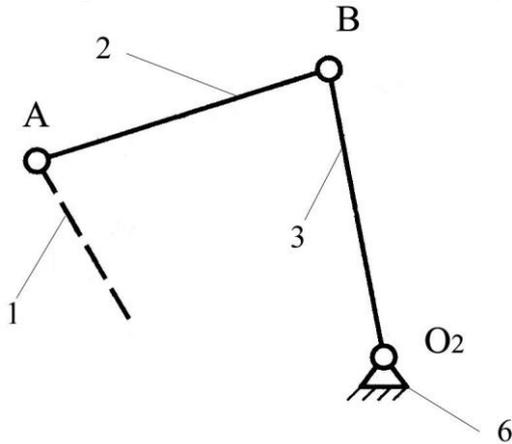


Вид ВВП, II класс, 2 порядок.

Степень подвижности:  $W = 3n - 2p_1 - p_2 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 - 0 = 0$ .

Структурная формула:  $II \left( \frac{4,5}{B_B(3,4)B_C(4,5)\dot{I}_N(5,6)} \right)$

### 5.2. Предпоследняя группа Ассура.

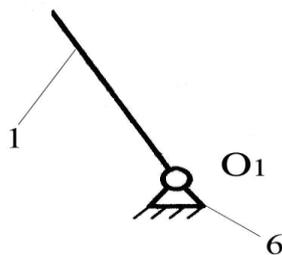


Вид ВВВ, II класс, 2 порядок.

Степень подвижности  $W = 3n - 2p_1 - p_2 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 - 0 = 0$ .

Структурная формула:  $II \left( \frac{2,3}{B_A(1,2)B_B(2,3)B_{O_2}(3,6)} \right)$

## 6. Строение начального механизма.



I класс

Степень подвижности  $W = 3n - 2p_1 - p_2 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 - 0 = 1$ .

Структурная формула:  $I \left( \frac{1}{B_{O_1}(1,6)} \right)$

### **7. Структурная формула всего механизма.**

$$I \left( \frac{1}{B_{O_1}(1,6)} \right) \rightarrow II \left( \frac{2,3}{B_A(1,2)B_B(2,3)B_{O_2}(3,6)} \right) \rightarrow II \left( \frac{4,5}{B_B(3,4)B_C(4,5)\dot{I}_{\bar{N}}(5,6)} \right)$$

**8. Класс всего механизма II**, так как наивысший класс группы Ассура, входящей в данный механизм II.

### **Задача №2**

#### **Задание**

1. По заданным размерам построить кинематическую схему механизма в расчетном положении, которое определяется углом  $\varphi$ . Угол  $\varphi$  откладывается в направлении угловой скорости  $\omega_1$  от оси **O-O**.

2. Определить скорости точек **A**, **B** и **C**. Для этого построить план скоростей.

3. Определить угловую скорость звена **2**  $\omega_2$ . Указать на схеме направление  $\omega_2$  круговой стрелкой.

4. Определить ускорения точек **A**, **B**, **C**, **S<sub>1</sub>**, **S<sub>2</sub>**, **S<sub>3</sub>**. Для этого построить план ускорений.

(Точки **S<sub>1</sub>**, **S<sub>2</sub>**, **S<sub>3</sub>** - центры масс звеньев. Находятся на серединах полных длин соответствующих звеньев. Для ползуна **3** точки **B** и **S<sub>3</sub>** совпадают).

5. Определить угловое ускорение звена **2**  $\varepsilon_2$ . Указать на схеме направление  $\varepsilon_2$  круговой стрелкой.

6. Определить реакции в кинематических парах от действия сил тяжести и инерционных нагрузок.

7. Определить уравнивающую силу.

#### **Предлагается:**

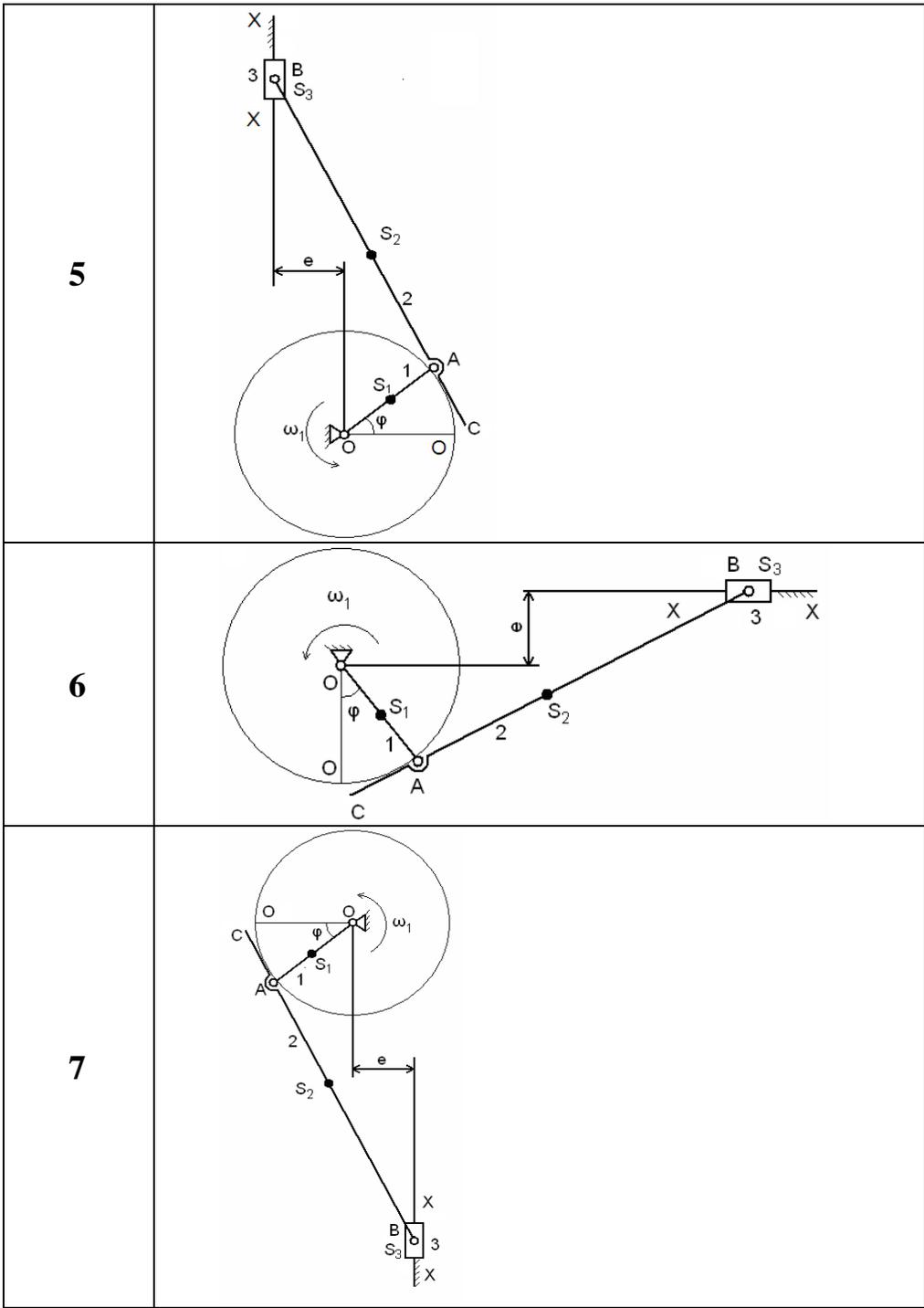
- 10 вариантов схем кривошипно-ползунных механизмов;
- каждая схема содержит 10 вариантов числовых данных.

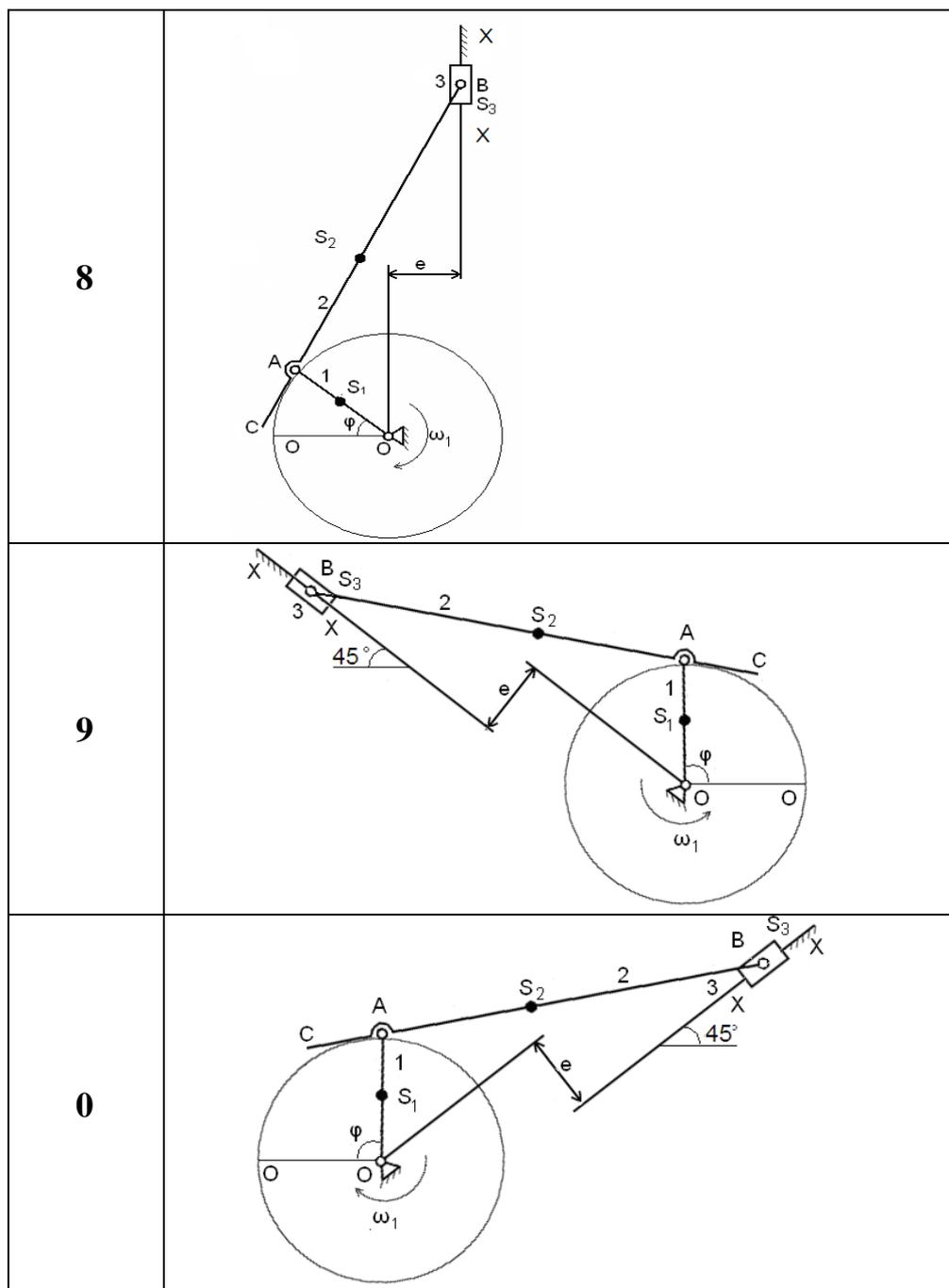
**Студент выбирает задачу по двум последним цифрам зачетной книжки:**

- номер схемы – по последней цифре зачетной книжки;
- числовые данные из таблицы — по предпоследней цифре зачетной книжки.

# СХЕМЫ КРИВОШИПНО-ПОЛЗУННЫХ МЕХАНИЗМОВ

Задание	Схема
<b>1</b>	
<b>2</b>	
<b>3</b>	
<b>4</b>	





### ЧИСЛОВЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

Величина	Предпоследняя цифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$OA, \text{ мм}$	25	30	32	28	26	250	320	300	280	260
$AB, \text{ мм}$	80	90	90	84	80	800	900	900	840	800
$AC, \text{ мм}$	30	38	36	30	30	300	360	380	300	300
$AS_2, \text{ мм}$	25	26	27	27	25	250	270	260	270	250
$e, \text{ мм}$	13	26	24	18	20	130	240	260	180	200
$\varphi, \text{ град}$	30	45	60	120	135	150	225	240	300	315
$\omega_1, \text{ 1/сек}$	28	30	32	35	40	44	48	50	55	60

$m_1, \text{ кг}$	$0,8 \cdot OA$ (длина $OA$ поставляется в метрах)
$m_2, \text{ кг}$	$0,8 \cdot BC$ (длина $BC$ поставляется в метрах)
$m_3, \text{ кг}$	$2 \cdot m_2$
$I_{S2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	$0,1 \cdot m_2 \cdot BC^2$ (длина $BC$ поставляется в метрах)

## УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАЧИ №2

### *Порядок построения кинематической схемы механизма в заданном положении.*

Кинематическая схема механизма в заданном положении строится в масштабе с использованием условных обозначений звеньев и кинематических пар.

При этом необходимо учитывать, что траектория точки  $A$  кривошипа – окружность радиуса  $OA$ , описываемая вокруг стойки  $O$ . Траектория ползуна  $B$  – прямая линия.

1. Начертить условное обозначение стойки  $O$ .
2. От оси  $O-O$  в направлении угловой скорости  $\omega_1$  отложить заданный угол  $\varphi$ .
3. От стойки  $O$  отложить длину  $OA$ .
4. От стойки  $O$  отложить длину эксцентриситета  $e$  в направлении, указанном на схеме.
5. На расстоянии  $e$  провести прямую линию, соответствующую траектории ползуна  $B$ .
6. Из точки  $A$  радиусом  $AB$  сделать циркулем засечку на проведенной прямой линии. На пересечении прямой и дуги получим точку  $B$ .
7. Соединяем прямой линией точки  $A$  и  $B$ .
8. От точки  $A$  на продолжении прямой  $AB$  откладываем отрезок  $AC$ .

### **ПРИМЕР №2**

#### **Дано:**

Угловая скорость кривошипа является постоянной и равна  $\omega_1 = 30 \text{ с}^{-1}$ .

Размеры звеньев:

$OA = 20 \text{ мм}$ ,  $AB = 76 \text{ мм}$ ,  $AC = 26 \text{ мм}$ .

Для расчета используются формулы, приведенные в **приложении 2**.

#### **Решение**

**1. Определение скоростей точек звеньев и угловых скоростей звеньев для заданного положения механизма.**

##### **1.1. Определение скорости точки $A$ .**

$$V_A = \omega_1 \cdot OA = 30 \cdot 0,02 = 0,6 \text{ м/с}.$$

Вектор скорости  $\vec{V}_A$  перпендикулярен кривошипу  $OA$ .

Выбираем масштаб плана скоростей  $\mu_v = 0,01 \frac{\dot{\text{и}} / \tilde{\text{и}}}{\dot{\text{и}} \dot{\text{и}}}$ .

Найдём отрезок, изображающий вектор скорости  $\vec{V}_A$  на плане:

$$P_v a = \frac{V_A}{\mu_v} = \frac{0,6}{0,01} = 60 \dot{\text{и}} \dot{\text{и}} .$$

Из полюса плана скоростей  $P_v$  откладываем данный отрезок в направлении, перпендикулярном  $OA$  в направлении угловой скорости  $\omega_1$ .

### 1.2. Определение скорости точки B.

Запишем векторное уравнение:

$$\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA} .$$

Направления векторов скоростей:

$$\vec{V}_B \perp X-X, \vec{V}_{BA} \perp BA .$$

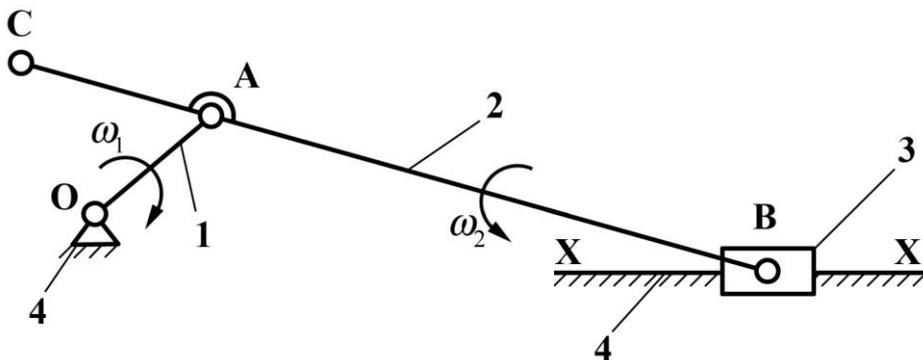
Продолжим строить план скоростей.

Из конца вектора  $\vec{V}_A$  (точка  $a$ ) проводим направление вектора  $\vec{V}_{BA}$ . Из полюса (точка  $p_v$ ) проводим направление вектора  $\vec{V}_B$ . На пересечении двух проведённых направлений получим точку  $b$ . Измеряя длины полученных отрезков и умножая их на масштаб  $\mu_v$ , получим значения скоростей:

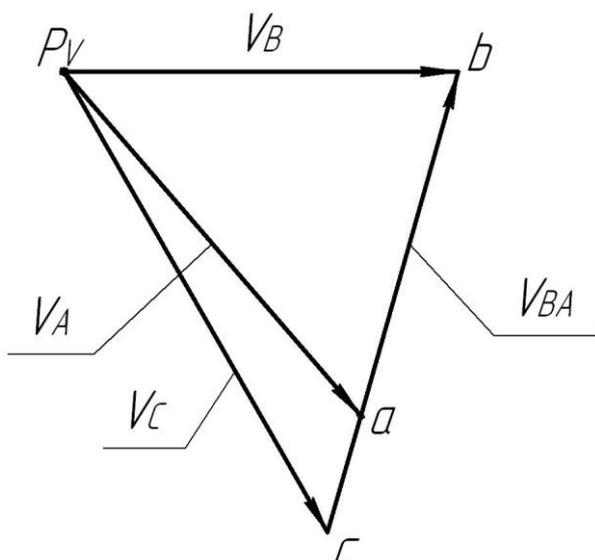
$$V_B = P_v b \cdot \mu_v = 52 \cdot 0,01 = 0,52 \dot{\text{и}} / \tilde{\text{и}} ;$$

$$V_{BA} = ab \cdot \mu_v = 47 \cdot 0,01 = 0,47 \dot{\text{и}} / \tilde{\text{и}} .$$

**Кинематическая схема механизма**  $\mu_l = 0,001 \frac{\dot{\text{и}}}{\dot{\text{и}} \dot{\text{и}}}$



**План скоростей**  $\mu_v = 0,01 \frac{\dot{\text{и}} / \tilde{\text{и}}}{\dot{\text{и}} \dot{\text{и}}}$



### 1.3. Определение скорости точки C.

Воспользуемся следствием из теоремы подобия. Составим пропорцию:

$$\frac{AB}{AC} = \frac{ab}{ac},$$

$$ac = \frac{ab \cdot AC}{AB} = \frac{47 \cdot 26}{76} = 16 \text{ мм}.$$

Данный отрезок откладываем на продолжении отрезка  $ab$ . Точку  $c$  соединяем с полюсом  $P_V$ .

Величина скорости точки C:

$$V_C = P_V c \cdot \mu_v = 70 \cdot 0,01 = 0,7 \text{ м/с}.$$

### 1.4. Определение угловой скорости шатуна AB.

$$\omega_2 = \frac{V_{BA}}{AB} = \frac{0,47}{0,076} = 6,2 \text{ с}^{-1}.$$

Для определения направления  $\omega_2$  переносим вектор  $\vec{V}_{BA}$  в точку  $B$  шатуна  $AB$  и смотрим как она движется относительно точки  $A$ . Направление этого движения соответствует  $\omega_2$ . В данном случае угловая скорость  $\omega_2$  направлена против часовой стрелки.

Скорость	Отрезок на плане	Направление	Величина отрезка на плане, мм	Масштабный коэффициент $\mu_v$	Значение скорости, м/с
$V_A$	$p_V a$	$\vec{V}_A \perp OA$	60	$0,01 \frac{\text{м/с}}{\text{мм}}$	0,6
$V_B$	$p_V b$	$\vec{V}_B \parallel X-X$	52		0,52
$V_{BA}$	$ab$	$\vec{V}_{BA} \perp BA$	47		0,47
$V_C$	$p_V c$		70		0,70
$\omega_2$	Против часовой стрелки				6,2 $\text{с}^{-1}$

## 2. Определение ускорений точек звеньев и угловых ускорений звеньев для заданного положения механизма.

### 2.1. Определение ускорения точки $A$ .

Так как угловая скорость  $\omega_1$  является постоянной, то  $\vec{a}_A = \vec{a}_A^n$ .

$$a_A = \omega_1^2 \cdot OA = 30^2 \cdot 0,02 = 18 \text{ м/с}^2.$$

Вектор ускорения  $\vec{a}_A$  направлен параллельно кривошлупу  $OA$  от точки  $A$  к точке  $O$ .

Выбираем масштаб плана ускорений  $\mu_a = 0,3 \frac{\text{м/с}^2}{\text{мм}}$ . Найдём отрезок, изображающий вектор ускорения  $\vec{a}_A$  на плане:  $P_a a = \frac{a_A}{\mu_a} = \frac{18}{0,3} = 60 \text{ мм}$ . Из полюса плана ускорений  $P_a$  откладываем данный отрезок в направлении, параллельном  $AO$ .

### 2.2. Определение ускорения точки $B$ .

Запишем векторное уравнение:  $\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA}$ .

Вектор относительного ускорения  $\vec{a}_{BA}$  раскладываем на нормальную и касательную составляющие:  $\vec{a}_{BA} = \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^\tau$ .

Нормальное относительное ускорение равно:

$$a_{BA}^n = \omega_2^2 \cdot AB = 6,2^2 \cdot 0,076 = 2,92 \text{ м/с}^2.$$

Найдём отрезок, изображающий вектор ускорения  $\vec{a}_{BA}^n$  на плане:

$$an = \frac{a_{BA}^n}{\mu_a} = \frac{2,92}{0,3} = 9,7 \text{ мм}.$$

Продолжаем строить план ускорений. Вектор ускорения  $\vec{a}_{BA}^n$  направлен параллельно  $AB$ . Откладываем отрезок  $an$  из точки  $a$  плана ускорений в указанном направлении от точки  $B$  к точке  $A$ .

Вектор ускорения  $\vec{a}_{BA}^\tau$  направлен перпендикулярно  $AB$ . Проводим это направление из точки  $n$  плана ускорений.

Вектор ускорения  $\vec{a}_B$  направлен параллельно оси  $x-x$ . Проводим это направление из полюса  $p_a$ . Две прямые линии, проведённые из точек  $n$  и  $p_a$  в указанных направлениях, пересекаются в точке  $b$ .

Найдём величины ускорений. Измеряя длины полученных отрезков и умножая их на масштаб  $\mu_a$ , получим:

$$a_B = P_a b \cdot \mu_a = 45 \cdot 0,3 = 13,5 \text{ м/с}^2; \quad a_{BA}^\tau = nb \cdot \mu_a = 38 \cdot 0,3 = 11,4 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{BA} = ab \cdot \mu_a = 39 \cdot 0,3 = 11,7 \text{ м/с}^2.$$

### 2.3. Определение ускорения точки $C$ .

Воспользуемся следствием из теоремы подобия. Составим пропорцию:

$$\frac{AB}{AC} = \frac{ab}{ac}, \quad ac = \frac{ab \cdot AC}{AB} = \frac{39 \cdot 26}{76} = 13 \text{ м}.$$

Данный отрезок откладываем на продолжении отрезка  $ab$ . Точку  $c$  соединяем с полюсом  $P_a$

Величина ускорения точки  $C$ :

$$a_c = P_a c \cdot \mu_a = 69 \cdot 0,3 = 20,7 \text{ м/с}^2.$$

#### 2.4. Определение ускорения точки $S_1$ .

Воспользуемся следствием из теоремы подобия. Составим пропорцию:

$$\frac{OA}{AS_1} = \frac{P_a a}{as_1}, \quad as_1 = \frac{P_a a \cdot AS_1}{OA} = \frac{60 \cdot 10}{20} = 30 \text{ м}.$$

Данный отрезок откладываем на прямой  $P_a a$  от точки  $a$ .

Величина ускорения:

$$a_{s_1} = P_a s_1 \cdot \mu_a = 30 \cdot 0,3 = 9 \text{ м/с}^2.$$

#### 2.5. Определение ускорения точки $S_2$ .

Воспользуемся следствием из теоремы подобия. Составим пропорцию:

$$\frac{AB}{AS_2} = \frac{ab}{as_2}, \quad as_2 = \frac{ab \cdot AS_2}{AB} = \frac{39 \cdot 25}{76} = 13 \text{ м}.$$

Данный отрезок откладываем на прямой  $ab$  от точки  $a$ . Точку  $s_2$  соединяем с полюсом  $P_a$ .

Величина ускорения:

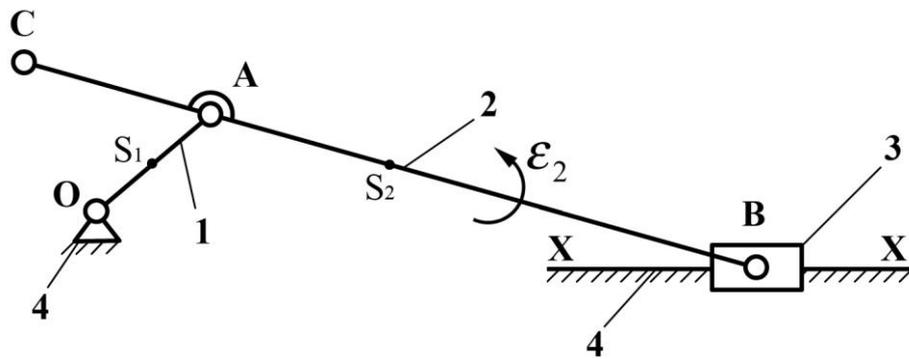
$$a_{s_2} = P_a s_2 \cdot \mu_a = 52 \cdot 0,3 = 15,6 \text{ м/с}^2.$$

#### 2.6. Определение углового ускорения шатуна $AB$ .

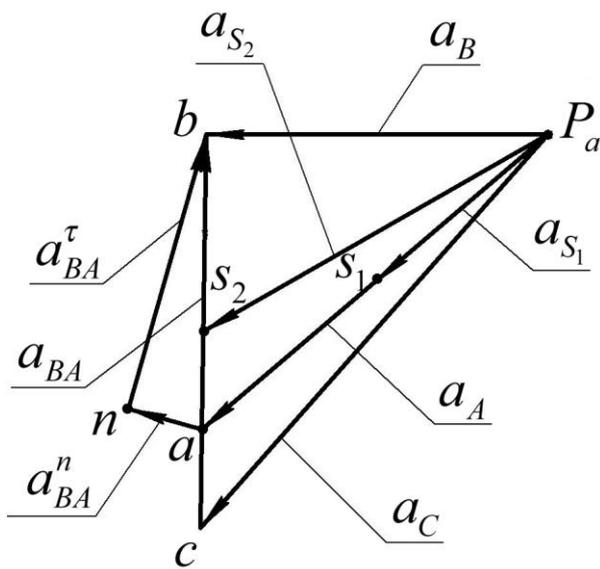
$$\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^r}{AB} = \frac{11,4}{0,076} = 150 \text{ с}^{-2}.$$

Для определения направления  $\varepsilon_2$  переносим вектор  $\vec{a}_{BA}^r$  в точку  $B$  шатуна  $AB$  и смотрим как она движется относительно точки  $A$ . Направление этого движения соответствует  $\varepsilon_2$ . В данном случае угловое ускорение  $\varepsilon_2$  направлено против часовой стрелки.

Кинематическая схема механизма  $\mu_1 = 0,001 \frac{\dot{i}}{\dot{i} \dot{i}}$



План ускорений  $\mu_a = 0,3 \frac{\dot{i} / \ddot{n}^2}{\dot{i} \dot{i}}$



Ускорение	Отрезок на плане	Направление	Длина отрезка на плане, мм	Масштабный коэффициент $\mu_a$	Значение ускорения $\dot{i} / c^2$
$a_A$	$P_a a$	$\vec{a}_A // AO$	60	$0,3 \frac{\dot{i} / c^2}{i \dot{i}}$	18
$a_B$	$P_a b$	$\vec{a}_B // X - X$	45		13,5
$a_C$	$P_a c$		69		20,7
$a_{BA}^n$	$ap$	$\vec{a}_{BA}^n // AB$	9,7		2,92
$a_{BA}^r$	$nb$	$\vec{a}_{BA}^r \perp AB$	38		11,4
$a_{BA}$	$ab$		39		11,7
$a_{S_1}$	$P_a s_1$		30		9
$a_{S_2}$	$P_a s_2$		52		15,6
$\varepsilon_2$	Против часовой стрелки				

### 3. Силовой расчет группы Ассур вида ВВП

#### 3.1. Определение масс звеньев.

$$m_2 = 0,8 \cdot (AB + BC) = 0,8 \cdot (0,076 + 0,026) = 0,0816 \hat{e} \dot{a},$$

$$m_3 = 2 \cdot m_2 = 2 \cdot 0,0816 = 0,1632 \hat{e} \dot{a}.$$

#### 3.2. Определение момента инерции относительно оси, проходящей через центр масс звена 2.

$$I_{S_2} = 0,1 \cdot m_2 \cdot (AB + BC)^2 = 0,1 \cdot 0,0816 \cdot 0,102^2 = 0,0000849 \hat{e} \dot{a} \cdot \dot{i}^2.$$

#### 3.3. Определение силы тяжести звеньев.

$$G_2 = m_2 \cdot g = 0,0816 \cdot 9,8 = 0,799 \hat{I} \quad , \quad G_3 = m_3 \cdot g = 0,1632 \cdot 9,8 = 1,599 \hat{I} \quad .$$

#### 3.4. Определение силы инерции.

$$F_{u_2} = m_2 \cdot a_{S_2} = 0,0816 \cdot 15,6 = 1,27 \hat{I} \quad , \quad F_{\dot{e}_3} = m_3 \cdot a_{\dot{A}} = 0,1632 \cdot 13,5 = 2,2 \hat{I} \quad .$$

Силы инерции направлены в противоположную сторону соответствующим ускорениям центров масс звеньев.

#### 3.5. Определение момента инерции.

$$M_{u_2} = I_{S_2} \cdot \varepsilon_2 = 0,0000849 \cdot 150 = 0,0127 \hat{I} \cdot \dot{i} \quad ;$$

Момент инерции направлен в противоположную сторону угловому ускорению  $\varepsilon_2$ .

Построим группу Ассур в масштабе  $\mu_l$ . Покажем все действующие на нее силы и неизвестные реакции  $R_{43}^r, R_{12}^r, R_{12}^n$ .

#### 3.6. Определение реакции $R_{12}^r$ .

Составим уравнение моментов всех сил, действующих на звено 2, относительно точки В.

$$\sum_{i=1}^n M_{\dot{A}} = 0; \quad R_{12}^r \cdot AB - F_{u_2} \cdot h_2 + G_2 \cdot h_1 - M_{u_2} = 0.$$

Найдем реакцию  $R_{12}^r$ .

$$R_{12}^r = \frac{F_{u_2} \cdot h_2 - G_2 \cdot h_1 + M_{u_2}}{AB} = \frac{1,27 \cdot 0,037 - 0,799 \cdot 0,049 + 0,0127}{0,076} = 0,27 \text{ Н.}$$

Длины плеч  $h_1$  и  $h_2$  измерены на расчетной схеме и умножены на масштабный коэффициент  $\mu_l = 0,001 \frac{\dot{i}}{\dot{i} \dot{i}}$ .

$$h_1 = 49 \cdot 0,001 = 0,049 \dot{i} ; \quad h_2 = 37 \cdot 0,001 = 0,037 \dot{i} .$$

### 3.7. Определение реакций $R_{43}$ и $R_{12}^n$ .

Составим векторное уравнение равновесия всех сил, действующих на всю группу Ассура.

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$$

$$\vec{R}_{12}^n + \vec{R}_{12}^r + \vec{F}_{u_2} + \vec{G}_2 + \vec{G}_3 + \vec{F}_{u_3} + \vec{R}_{43} = 0.$$

Выберем масштаб плана сил  $\mu_F = 0,03 \frac{\dot{I}}{\dot{i} \dot{i}}$ .

Вычислим величины отрезков, соответствующих векторам сил. Данные занесем в таблицу 1:

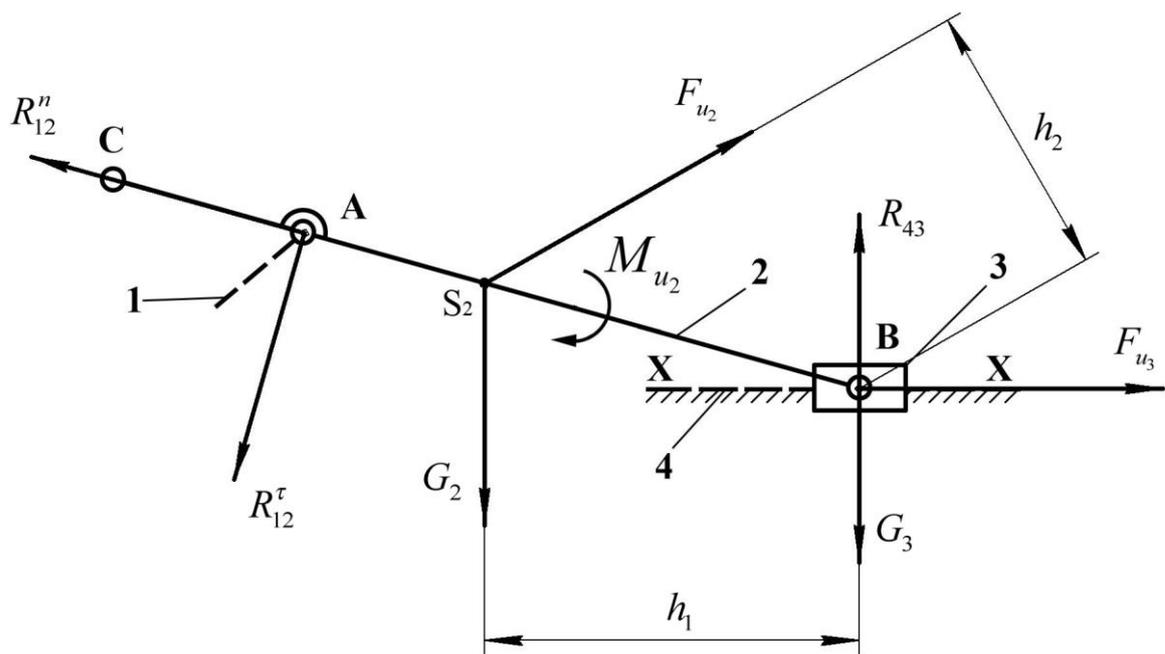
Таблица 1

Обозначение силы	$G_2$	$G_3$	$F_{\dot{e}_2}$	$F_{\dot{e}_3}$	$R_{12}^r$	$R_{12}^i$	$R_{12}$	$R_{43}$
Величина силы, Н	0,799	1,599	1,27	2,2	0,27	3,33	3,36	1,14
Отрезок на плане, мм	27	53	42	73	9	111	112	38

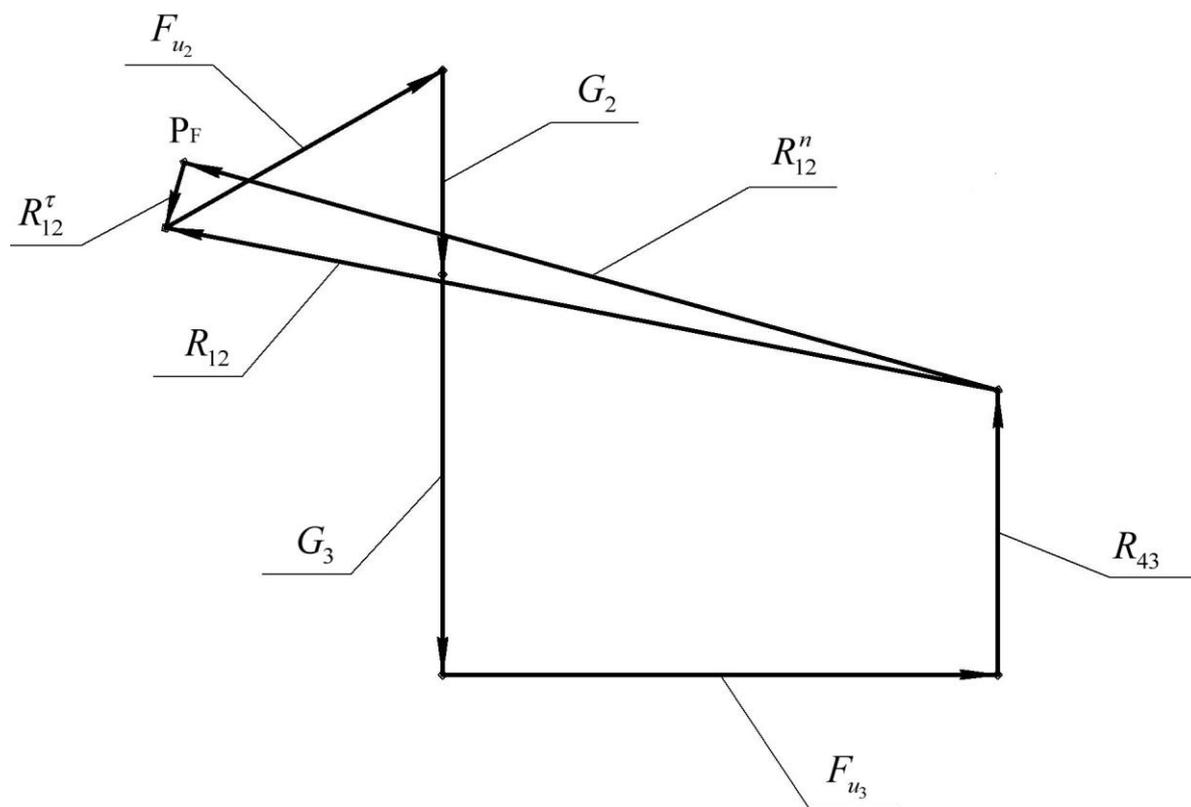
Строим план сил. В соответствии с векторным уравнением откладываем отрезки, соответствующие векторам  $\vec{G}_2, \vec{G}_3, \vec{F}_{u_2}, \vec{F}_{u_3}, \vec{R}_{12}^r$ . Векторы можно откладывать в любом порядке, но обязательно начать построение с вектора  $\vec{R}_{12}^r$ . Отложив все известные векторы, из начала вектора  $\vec{R}_{12}^r$  проводим направление вектора  $\vec{R}_{12}^n$ , а из конца последнего вектора проводим направление вектора  $\vec{R}_{43}$ . Пересекаясь, эти направления замыкают многоугольник сил.

Измеряя на плане сил отрезки, соответствующие векторам  $\vec{R}_{12}^n, \vec{R}_{12}^r, \vec{R}_{43}$  и умножая их на масштаб  $\mu_F$ , получим значение этих реакций. Данные занесены в таблицу 1.

Группа Ассура вида ВВП  $\mu_1 = 0,001 \frac{\dot{i}}{i \dot{i}}$



План сил для группы Ассура вида ВВП  $\mu_F = 0,03 \frac{\dot{I}}{i \dot{i}}$



#### 4. Силовой расчет начального механизма

##### 4.1. Определение массы кривошипа.

$$m_1 = 0,8 \cdot OA = 0,8 \cdot 0,02 = 0,016 \text{ кг}.$$

##### 4.2. Определение силы тяжести звена:

$$G_1 = m_1 \cdot g = 0,016 \cdot 9,8 = 0,157 \text{ Н}.$$

##### 4.3. Определение силы инерции.

$$F_{\dot{e}_1} = m_1 \cdot a_{S_1} = 0,016 \cdot 9 = 0,144 \text{ Н}.$$

Сила инерции направлена в противоположную сторону ускорению  $a_{S_1}$ .

Построим начальный механизм в масштабе  $\mu_l$ .

Покажем все действующие на него силы, неизвестную реакцию  $R_{41}$  и уравнивающую силу  $F_{\dot{\omega}}$ , которую приложим перпендикулярно кривошипу  $AO$  в точке  $A$ .

##### 4.4. Определение уравнивающей силы $F_{уп}$ .

Запишем уравнение моментов всех сил относительно точки  $O$ .

$$\sum_{i=1}^n M_O = 0$$

$$-R_{21} \cdot h_4 - G_1 \cdot h_3 + F_{\dot{\omega}} \cdot OA = 0$$

Уравнивающая сила  $F_{уп}$  равна:

$$F_{\dot{\omega}} = \frac{R_{21} \cdot h_4 + G_1 \cdot h_3}{OA} = \frac{3,36 \cdot 0,016 + 0,157 \cdot 0,007}{0,02} = 2,75 \text{ Н}.$$

Здесь  $\vec{R}_{21} = -\vec{R}_{12}$ .

Длины плеч  $h_3$  и  $h_4$  измерены на расчетной схеме и умножены на масштабный коэффициент  $\mu_l = 0,001 \frac{\text{м}}{\text{мм}}$ .

$$h_3 = 7 \cdot 0,001 = 0,007 \text{ м}; \quad h_4 = 16 \cdot 0,001 = 0,016 \text{ м}.$$

##### 4.6. Определение реакцию $R_{41}$

Составим векторное уравнение равновесия всех сил, действующих на начальный механизм.

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0.$$

$$\vec{R}_{21} + \vec{F}_{уп} + \vec{F}_{\dot{\omega}} + \vec{G}_1 + \vec{R}_{41} = 0.$$

Выберем масштаб плана сил  $\mu_F = 0,05 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$ .

Вычислим величины отрезков, соответствующих векторам сил. Данные занесем в таблицу 2.

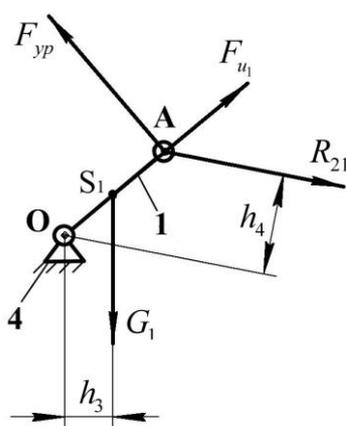
Строим план сил. В соответствии с векторным уравнением откладываем отрезки, соответствующие векторам  $\vec{R}_{21}, \vec{F}_{уп}, \vec{F}_{\dot{\omega}}, \vec{G}_1$ . Векторы можно откладывать в любом порядке. Соединяя начало первого вектора и

конец последнего, получим многоугольник сил и отрезок, определяющий реакцию  $R_{41}$ . Измеряя его длину и умножая на масштаб  $\mu_F$ , получим величину реакции  $R_{41}$ . Данные занесены в таблицу 2.

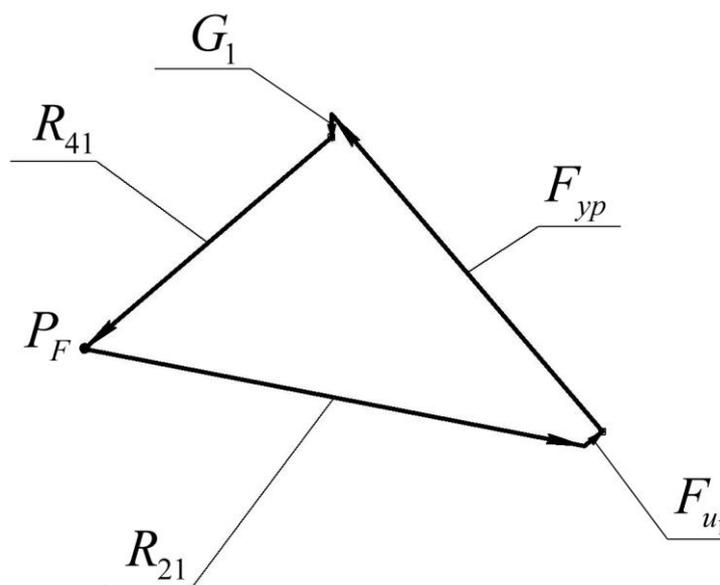
Таблица 2

Обозначение силы	$G_1$	$F_{e_1}$	$R_{21}$	$F_{od}$	$R_{41}$
Величина силы, Н	0,157	0,144	3,36	2,75	2,15
Отрезок на плане, мм	3	3	67	55	43

Начальный механизм  $\mu_l = 0,001 \frac{\dot{i}}{\dot{i} \dot{i}}$



План сил для начального механизма  $\mu_F = 0,05 \frac{\dot{I}}{\dot{i} \dot{i}}$



## **5. Правила оформления контрольной работы**

### **5.1. Пояснительная записка.**

Пояснительная записка – документ, содержащий, все виды расчетов, схемы, таблицы, поясняющие расчеты и принятые решения.

Пояснительная записка контрольной работы должна содержать:

1. Титульный лист (приложение 1);
2. Задание на контрольную работу;
3. Содержание;
4. Структурный анализ механизма;
5. Кинематический анализ механизма:
  - 5.1. Определение скоростей точек звеньев и угловых скоростей звеньев;
  - 5.2. Определение ускорений точек звеньев и угловых ускорений звеньев;
6. Силовой расчет механизма.

### **5.2. Общие требования к оформлению пояснительной записки.**

Текстовые документы расчетно-графической работы должны быть сброшюрованы по ГОСТ 2.301-68. Титульный лист выполняется на бумаге формата *A4* по ГОСТ 2.301-68 и должен соответствовать указанному ниже образцу. Текст записки должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word. Шрифт пояснительной записки – Times New Roman, размер шрифта 14 с полуторным межстрочным интервалом. Выравнивание – по ширине. Ориентация страницы – книжная.

Текст записки пишется в рамку, образованную полями: левое – 20 мм, правое – 5 мм, верхнее – 5 мм, нижнее – 5 мм.

Заголовки всех разделов выделяют в отдельную строку и выполняют прописными буквами.

Очередной раздел необходимо начинать с новой страницы.

Раздел «Содержание» должен содержать названия разделов и подразделов с указанием страниц.

### **5.3. Правила оформления графических построений.**

1. Графические построения следует выполнять карандашом в соответствии с ГОСТ 2.105-95 и ГОСТ 2.106-96 на масштабной координатной бумаге («миллиметровке»).

2. Все построения необходимо снабжать соответствующей им надписью и масштабным коэффициентом.

3. Масштабные коэффициенты построений следует выбирать так, чтобы площадь листа была максимально заполненной.

4. Кинематическая схема механизма:

4.1. В расчетном положении кинематическую схему механизма надо выполнять основными линиями, указать масштаб;

4.2. Кинематические пары следует обозначать заглавными буквами латинского алфавита, центры масс звеньев буквами «S» с индексами,

соответствующими номеру звена;

4.3. Для расчетного положения механизма указывать номера звеньев и направления угловых скоростей и ускорений, полученные на основании расчетов.

5. Планы скоростей и ускорений:

5.1. Концы векторов скоростей (ускорений) точек механизма следует обозначать малыми буквами латинского алфавита в соответствии с буквами на плане механизма;

5.2. Направления абсолютных и относительных скоростей (ускорений) надо показывать стрелками.

6. Планы сил:

6.1. Группы Ассура следует выполнять в масштабе;

6.2. Векторы сил необходимо изображать в истинном направлении;

6.3. Каждый вектор надо снабжать соответствующим обозначением;

6.4. Планы сил необходимо строить в масштабе.

### *Рекомендуемая литература*

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин [Текст] : учебник для студентов вузов / И. И. Артоболевский. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1988. - 640 с.

2. Левитский, Н.И. Теория механизмов и машин [Text] : учебное пособие для студентов университетов и вузов / Левитский, Н.И. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1990. - 592 с.

3. Марголин Ш.Ф. Теория механизмов и машин (Теория, примеры, графические работы) [Текст] : учебное пособие для студентов-заочников механических специальностей технологических вузов / Ш. Ф. Марголин. - М. : Высшая школа, 1968. - 357 с.

4. Смелягин А. И. Теория механизмов и машин [Текст] : учебное пособие / А. И. Смелягин ; НГТУ. - М. : ИНФРА-М ; Новосибирск : НГТУ, 2006. - 263 с.

5. Теория механизмов и машин [Текст] : учебник для вузов / Ред. К.В. Фролов. - М. : Высшая школа, 2002. - 496 с.

6. Теория механизмов и машин [Текст]: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по машиностроительным специальностям / М.З. Коловский [и др.]. - М. : ИЦ "Академия", 2006. - 559 с.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Тюменский государственный нефтегазовый университет»  
Институт транспорта

Кафедра «Детали машин»

**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА**  
**по дисциплине «Теория механизмов и машин»**  
Варианты: задача №1 - 5, задача №2 - 5-3

Выполнил: студент группы АТХ-04-1  
Иванов А.С.

Проверил: к.т.н., доцент Никитина Л.И.

Тюмень, 2010 г.

## *Содержание*

Введение	4
Задача №1. Структурные схемы рычажных шестизвенников	4
Указания к выполнению задачи №1	
Пример №1. Структурный анализ механизма	
Задача №2. Структурные схемы кривошипно-ползунных механизмов	
Указания к выполнению задачи №2	
Пример №2	
Определение скоростей точек звеньев и угловых скоростей звеньев для заданного положения механизма	
Определение ускорений точек звеньев и угловых ускорений звеньев для заданного положения механизма	
Силовой расчет группы Ассур вида ВВП	
Силовой расчет начального механизма	
Правила оформления контрольной работы	
Рекомендуемая литература	
Приложение 1. Образец оформления титульного листа	

*Учебное издание*

**Никитина** Любовь Ивановна  
**Панков** Дмитрий Николаевич

**СТРУКТУРНЫЙ, КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И СИЛОВОЙ РАСЧЕТЫ  
РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Редактор *Г.Б.Мальцева*

Подписано в печать \_\_\_\_\_ Формат 60/90 1/16 Усл. печ. л. \_\_\_\_\_  
Тираж 150 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

Издательство государственного образовательного учреждения высшего  
профессионального образования  
«Тюменский государственный нефтегазовый университет  
625000, г.Тюмень, ул.Володарского, 38.

Отдел оперативной полиграфии издательства.  
625039, г.Тюмень, ул. Киевская, 52