

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра «Машины и технология литейного производства»

Использование программы КОМПАС-3D для построения планов скоростей, ускорений и сил рычажного механизма

Учебно-методическое пособие по дисциплине
«Прикладная механика литейного производства»
для студентов специальности 1-36 02 01
«Машины и технология литейного производства»

Электронный учебный материал

Минск ◊ БНТУ ◊ 2016

УДК 621.01: 531.8:378.147.091.313(075.8)

ББК 34.41.26я7

О-42

Автор

В.Ф.Одиночко, доцент кафедры машины и технология литейного производства» БНТУ, доцент, канд. техн. наук

Рецензент

С.Ю.Краснер, доцент кафедры физики и технической механики УО Витебский государственный технологический университет, канд. техн. наук

«КОМПАС-3D» предназначен для автоматизации проектно-конструкторских работ в различных отраслях деятельности при создании чертежей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. В программе «КОМПАС-3D» также можно создавать схемы, спецификации, таблицы, инструкции, расчётно-пояснительные записки, технические условия, текстовые и прочие документы. «КОМПАС-3D» может быть успешно использован при выполнении графических работ по дисциплине «Прикладная механика литейного производства».

В учебном электронном издании подробно рассмотрена методика построений планов скоростей, ускорений и сил рычажного механизма в программе «КОМПАС-3D». Издание предназначено для студентов учреждений высшего и среднего образования.

Белорусский национальный технический университет

пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь

Тел.(017) 293-92-04

Регистрационный № БНТУ/МТФ32-58.2016

© БНТУ, 2016

© Одиночко В.Ф.

© Одиночко В.Ф., компьютерный дизайн

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.....	5
2 КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА	5
2.1 Построение планов скоростей.....	5
2.2 Построение планов ускорений.....	22
3 КИНЕТОСТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА	32
4 ПЕЧАТЬ ГРАФИЧЕСКИХ ФАЙЛОВ ИЗ КОМПАС-3D	54
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	55

ВВЕДЕНИЕ

«КОМПАС» – семейство систем автоматизированного проектирования с возможностями оформления проектной и конструкторской документации согласно стандартам серии ЕСКД и СПДС. Программы данного семейства автоматически генерируют ассоциативные виды трёхмерных моделей (в том числе разрезы, сечения, местные разрезы, местные виды, виды по стрелке, виды с разрывом). Все они ассоциированы с моделью: изменения в модели приводят к изменению изображения на чертеже.

Стандартные виды автоматически строятся в проекционной связи. Данные в основной надписи чертежа (обозначение, наименование, масса) синхронизируются с данными из трёхмерной модели.

Система «КОМПАС-3D» предназначена для создания трёхмерных ассоциативных моделей отдельных деталей (в том числе деталей, формируемых из листового материала путём его гибки) и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. Параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе проектированного ранее прототипа. Многочисленные сервисные функции облегчают решение вспомогательных задач проектирования и обслуживания производства.

Система «КОМПАС-3D LT», которая была использована для построения схем и планов в данном учебно-методическом пособии, является бесплатной упрощенной версией «КОМПАС-3D» (без возможности моделирования сборок) и предназначена для использования в школах, кружках, а также в личных образовательных целях. В её состав помимо упрощенной версии «КОМПАС-3D» также входит система автоматизированного проектирования «КОМПАС-График».

1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

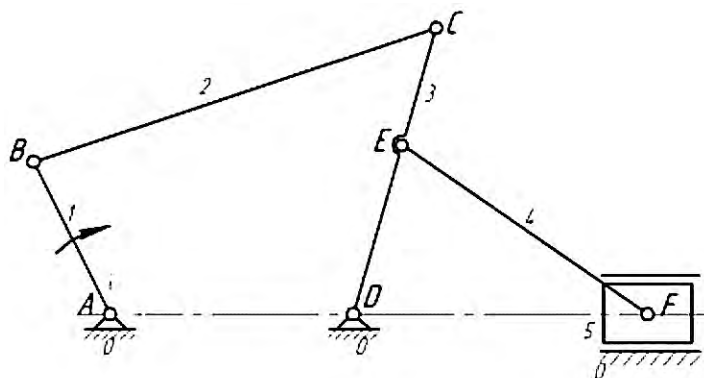


Рисунок 1 – Кинематическая схема механизма

Таблица 1 – Исходные данные

$l_{AB},$ мм	$l_{BC},$ мм	$l_{CD},$ мм	$l_{DE},$ мм	$l_{EF},$ мм	$l_{AD},$ мм	$m_1,$ кг	$m_2,$ кг	$m_4,$ кг	$m_5,$ кг	$I_{S_2},$ кгм ²	$I_{S_4},$ кгм ²	$P,$ Н	Частота вращения кривошипа, об/мин
100	200	140	100	150	190	10	20	15	40	1,0	1,5	250	140

Центр массы S_2 звена 2 расположен посередине звена. Центр массы S_4 звена 4 расположен на расстоянии равном $1/3 l_{EF}$ от точки E . Масса звена 3 незначительна и может быть проигнорирована.

2 КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА

2.1 Построение планов скоростей

Целью кинематического анализа является определение ускорений центров масс и угловых ускорений звеньев механизма в нескольких положениях ведущего звена.

Кинематическому анализу предшествует построение нескольких совмещенных планов механизма (рисунок 2). Методика построения шести планов механизма в программе КОМПАС-3D по исходными данными (см. рисунок 1 и таблица 1) подробно изложена в учебно-методическом пособии [1].

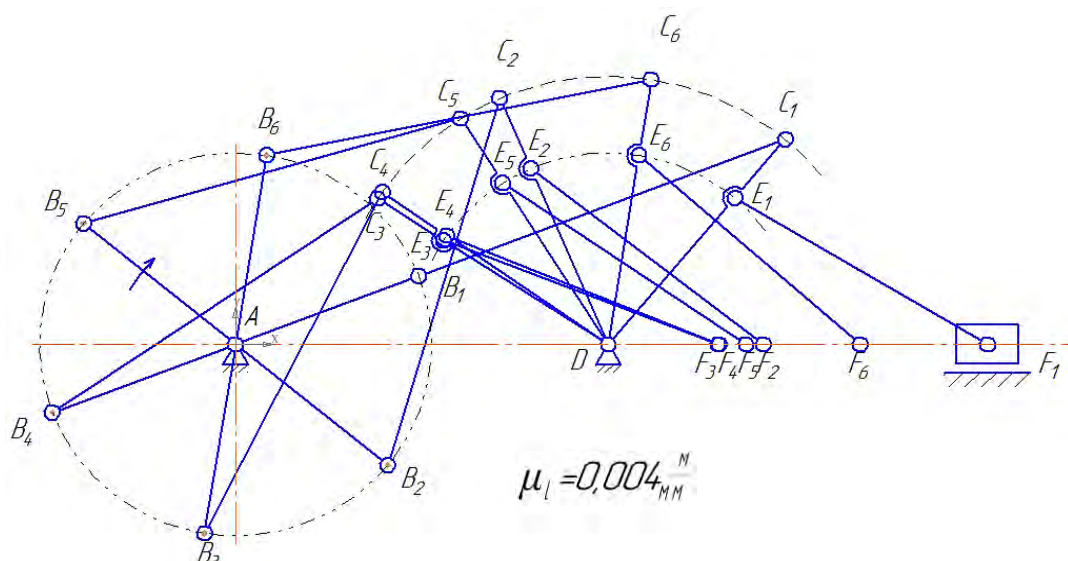


Рисунок 2 – Совмещённые планы механизма

Длины отрезков, изображающих на планах механизма звенья 1, 2, 3 и 4, отображенные с учетом масштабного коэффициента $\mu_l = 0,004 \frac{м}{мм}$, представлены в таблице 2 [1].

Таблица 2 – Длины отрезков, изображающих звенья на планах механизма

$AB, мм$	$BC, мм$	$CD, мм$	$DE, мм$	$EF, мм$	$AD, мм$
25	50	35	25	32,5	47,5

В данном пособии в учебных целях методика построений планов скоростей и ускорений в КОМПАС-3D показана для пятого положения механизма. Поэтому на ранее построенных совмещенных планах механизма выделите и удалите всё, что не относится к пятому положению (кроме ползуна со стойкой). Затем выделите ползун со стойкой, перетащите его из точки F_1 в точку F_5 . Добавьте номера звеньев (1, 2, 3, 4 и 5). Неподвижные звенья (стойки) обозначьте цифрой 0.

Точки на планах механизма обозначаются прописными буквами.

После окончания построений щелчком мыши на кнопке «Обновить изображение (Ctrl+F9)» (рисунок 3) обновите изображение (рисунок 4).

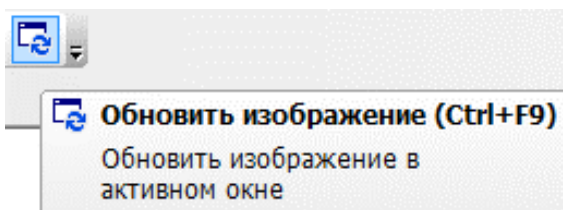


Рисунок 3

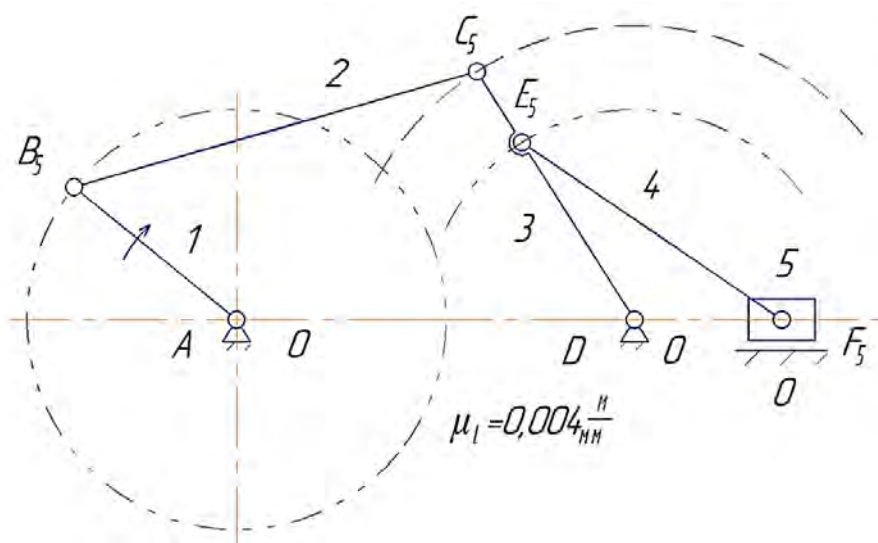


Рисунок 4 – План пятого положения механизма

Построение плана скоростей начинается с построения полюса p_v в непосредственной близости с планом положения. Для построения полюса используется инструмент «Точка» (рисунок 5) на активизированной инструментальной панели «Геометрия».



Рисунок 5

Стиль точки «Вспом. точка» выберите на панели свойств (рисунок 6).

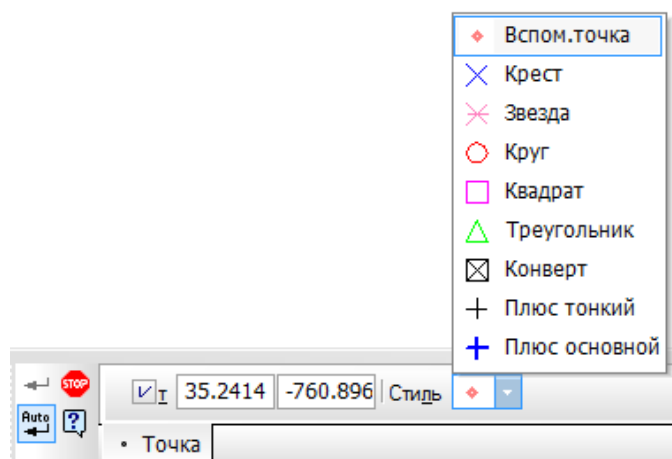


Рисунок 6

Отобразите точку щелчком мыши в любом месте чертежа рядом с планом механизма.

На панели «Компактная панель» щелчком мыши активизируйте инструментальную панель «Обозначения» (рисунок 7) и выберите инструмент «Ввод текста» (рисунок 8).

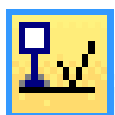


Рисунок 7



Рисунок 8

Щелкните левой кнопкой мыши в любом свободном месте чертежа. Убедитесь, что на панели свойств во вкладке «Формат» выбран шрифт «GOST type A», высота символов, например, 5.0 (рисунок 9).



Рисунок 9

В отличие от **обозначений точек на планах механизма**, **обозначения точек на планах скоростей** выполняется **строчными** буквами.

Напишите в текстовом поле букву *p*. Для отображения нижнего индекса *v* щелчком мыши активируйте закладку «Вставка» на панели свойств и выберите «Вставить индекс средней высоты» (рисунок 10).



Рисунок 10

При помощи клавиши «Стрелка вправо» на клавиатуре переключитесь на нижний индекс и проставьте с клавиатуры букву *v*.

Точки *A* и *D* механизма неподвижны. Их скорости равны нулю. Поэтому точки *a* и *d* также находятся в полюсе. Впишите буквы *a* и *d* с клавиатуры. Щелкните на кнопке «Прервать команду» (рисунок 11).

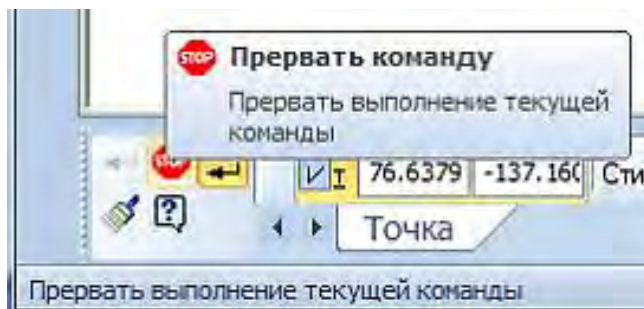
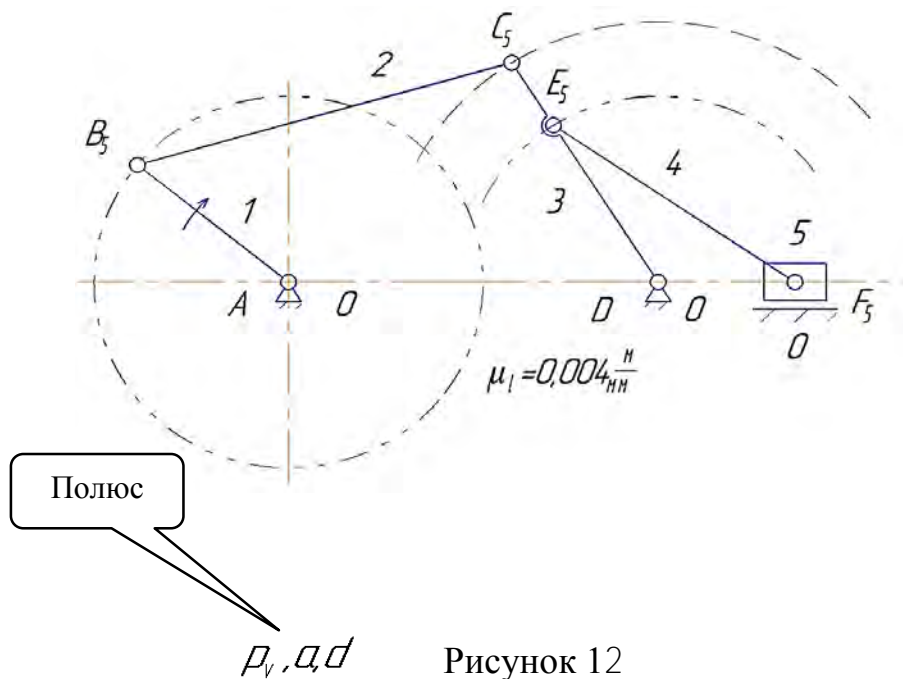


Рисунок 11

Выделите полученную надпись и перетащите её с помощью мыши к полюсу (рисунок 12). Щелчком на свободном месте экрана отмените выделение.



В соответствии с исходными данными (см. таблицу 1) кривошип 1 вращается с постоянной частотой $n_1 = 140$ об/мин. Угловая скорость кривошипа будет равна:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 140}{30} = 14,66 \text{ с}^{-1}.$$

Модуль вектора скорости точки B равен:

$$V_B = \omega_1 \cdot l_{AB} = 14,66 \cdot 0,1 = 1,466 \text{ м/с}.$$

Масштабный коэффициент скорости принимается произвольно, например $\mu_v = 0,04 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ /мм.

Длина вектора скорости $p_v b$ на плане скоростей, будет равна:

$$p_v b = \frac{V_B}{\mu_v} = \frac{1,466}{0,04} = 36,65 \text{ мм.}$$

Вектор скорости $p_v b$, направлен по **касательной** к траектории движения точки B **перпендикулярно** кривошипу AB на плане механизма в **направлении** угловой скорости ω_1 . Выберите инструмент «Перпендикулярный отрезок» на панели инструментов «Геометрия» (рисунок 13).



Рисунок 13

На панели свойств задайте стиль «Тонкая линия» (рисунок 14).

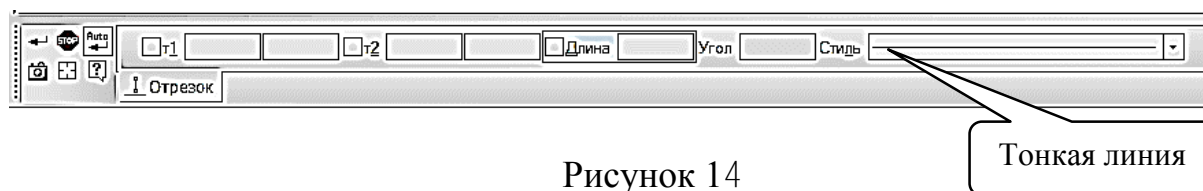


Рисунок 14

Щелкните на звене AB на плане механизма (звено выделится красным цветом). Используя привязку «Ближайшая точка» щелкните на точке p_v . В поле «Длина» на панели свойств запишите длину отрезка $p_v b$ (36,65 мм), направьте отрезок из полюса в сторону кривошипа AB и щелкните левой кнопкой мыши (рисунок 15). Закончите построение щелчком левой кнопкой мыши на кнопке «Прервать команду» (см. рисунок 11).

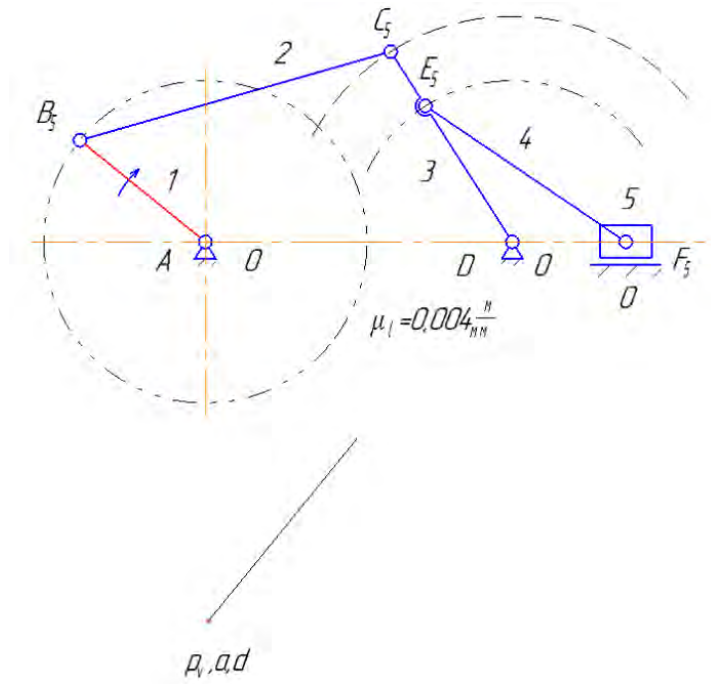


Рисунок 15

Обозначьте конец полученного отрезка строчной буквой b (рисунок 16).

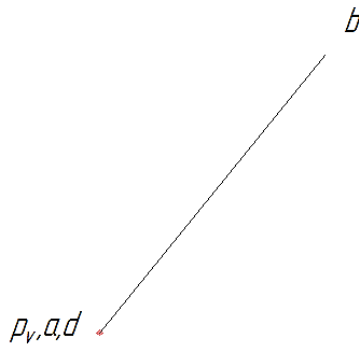


Рисунок 16

Шатун BC движется **плоскопараллельно**, поэтому на основании теоремы «О сложении скоростей», вектор скорости точки C можно определить из векторного уравнения $\vec{V}_C = \vec{V}_B + \vec{V}_{CB}$.

В данном векторном уравнении, **переносной скоростью** является V_B , а **относительной скоростью** является V_{CB} . Неизвестные по модулю, но известные по направлению векторы V_C и V_{CB} подчеркните одной чертой, вектор V_B известный по модулю и направлению – двумя.

$$\underline{\vec{V}_C} = \underline{\underline{\vec{V}_B}} + \underline{\vec{V}_{CB}}.$$

Вектор V_C **перпендикулярен** коромыслу CD , а вектор V_{CB} **перпендикулярен** шатуну BC . Векторное уравнение решается графически.

Для удобства построений воспользуйтесь вспомогательными линиями с помощью инструмента «Перпендикулярная прямая» на инструментальной панели «Геометрия» (рисунок 17).

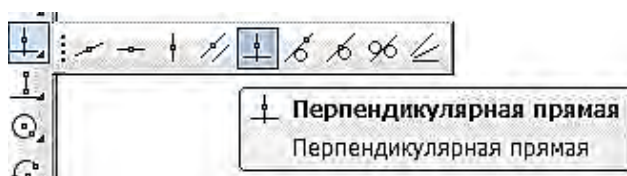


Рисунок 17

Для того чтобы провести вспомогательную линию через точку b перпендикулярно шатуну BC на плане механизма щелкните на звене BC (звено выделится красным цветом) (рисунок 18). Используя привязку «Ближайшая точка» в точке b щелчком мыши отобразите вспомогательную перпендикулярную прямую и щелкните на ней левой кнопкой мыши. Вспомогательная прямая выделится розовым цветом.

Аналогично выполните построение вспомогательной линии проходящей через полюс p_v перпендикулярно коромыслу CD . Завершите построение вспомогательных линий щелчком на кнопке «Прервать команду» (см. рисунок 11).

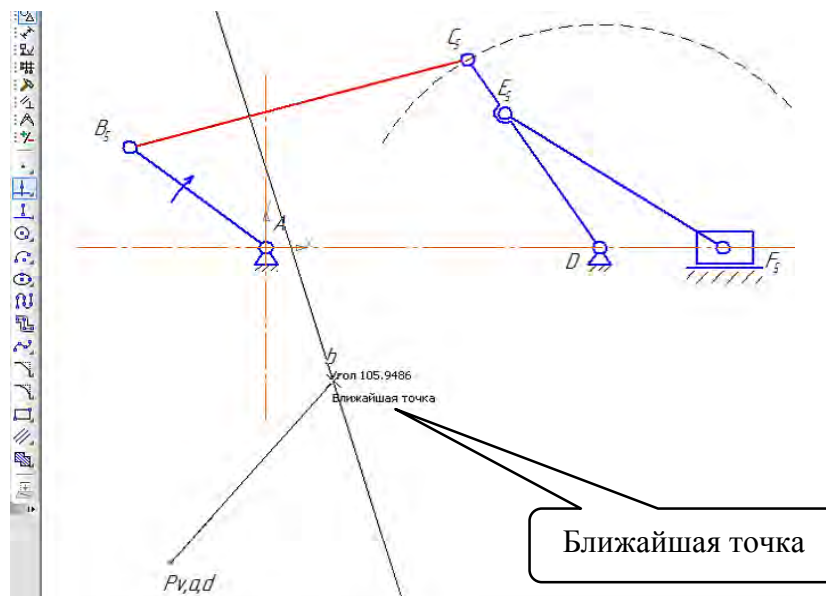


Рисунок 18

Точка пересечения вспомогательных прямых – точка c плана скоростей. Обозначьте эту точку.

Отобразите стрелки на векторах скоростей с помощью линий-выносок. Для этого активизируйте инструментальную панель «Обозначения» (см. рисунок 7) и выберите инструмент «Линия-выноска» (рисунок 19).

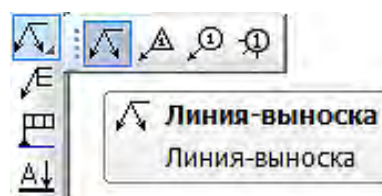


Рисунок 19

Линия-выноска должна проводиться в направлении противоположном направлению вектора. Например, вектор скорости точки B направлен от полюса ρ_v к точке b . Для изображения стрелки используя привязки «Ближайшая точка» щёлкните на точке b , а затем на точке ρ_v . Для завершения построения каждой из стрелок щелкайте на кнопке «Создать объект (Ctrl+Enter)» (рисунок 20).

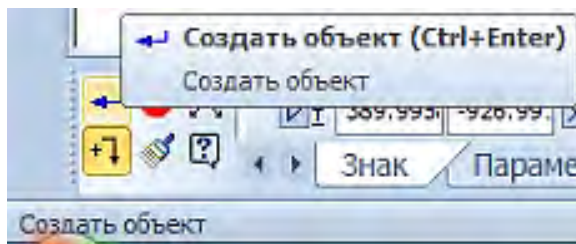


Рисунок 20

Вспомогательные линии выделите и удалите (рисунок 21).

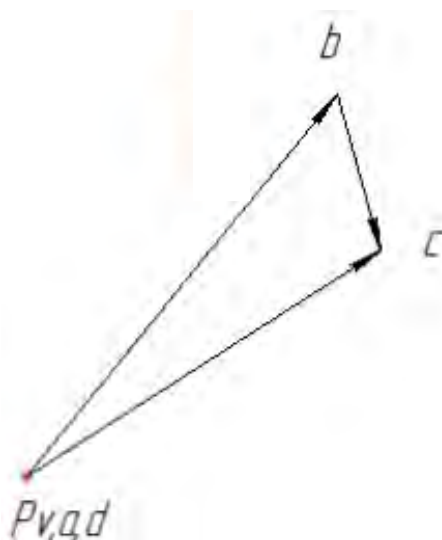


Рисунок 21

Положение точки e на плане скоростей определяется на основании **теоремы подобия**. Так как точка E лежит на звене CD , то на плане скоростей точка e будет находится на отрезке $p_v c$ и делить его в той же пропорции, в какой точка E делит звено CD , то есть $\frac{p_v e}{p_v c} = \frac{l_{DE}}{l_{CD}}$.

Активизируйте инструментальную панель «Измерения (2D)» и выберите инструмент «Расстояние между 2 точками» (рисунок 22).

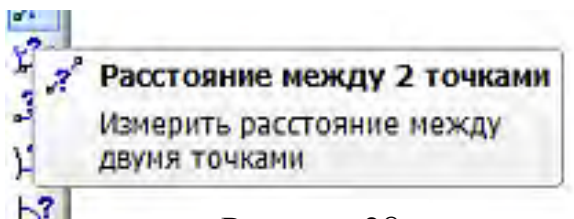


Рисунок 22

Для измерения на плане скоростей отрезка $p_v c$ щелкните на точке p_v , а затем на точке c используя привязки «Ближайшая точка». Результат измерения отобразится в окне «Информация» – $L1 = 31,344940$ мм (рисунок 23).

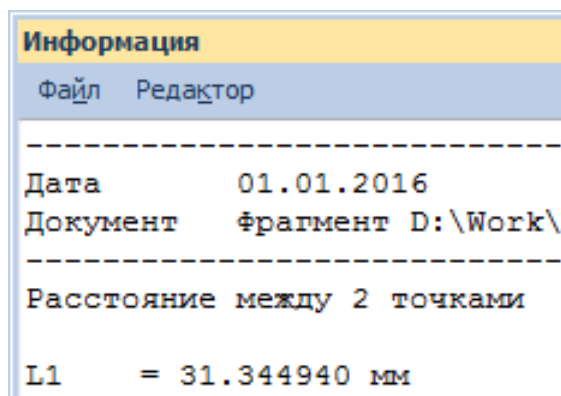


Рисунок 23

С учётом исходных данных (см. таблица 1) отрезок $p_v e$ будет равен:

$$p_v e = p_v c \cdot \frac{l_{DE}}{l_{CD}} = 31,35 \cdot \frac{0,1}{0,14} = 22,39 \text{ мм.}$$

Выберите инструмент «Точка на заданном расстоянии» на инструментальной панели «Геометрия» (рисунок 24). Укажите на панели свойств «Расстояние» – 22,39 мм и «Количество точек» – 1.

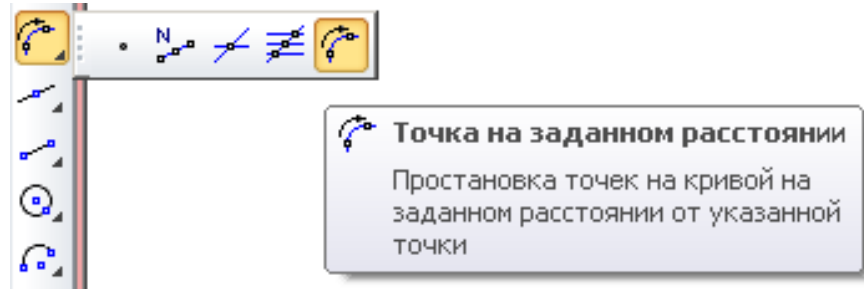


Рисунок 24

Для отображения точки e на векторе $p_v c$ на расстоянии 22,39 мм от полюса щелкните левой кнопкой мыши на векторе $p_v c$ (вектор выделится красным цветом). Затем щелкните левой кнопкой мыши на точке p_v , используя привязку «Ближайшая точка». Щелчком левой кнопкой мыши на свободном месте экрана закончите построение. Щелкните на кнопке «Прервать команду». Полученную точку обозначьте буквой e (рисунок 25).

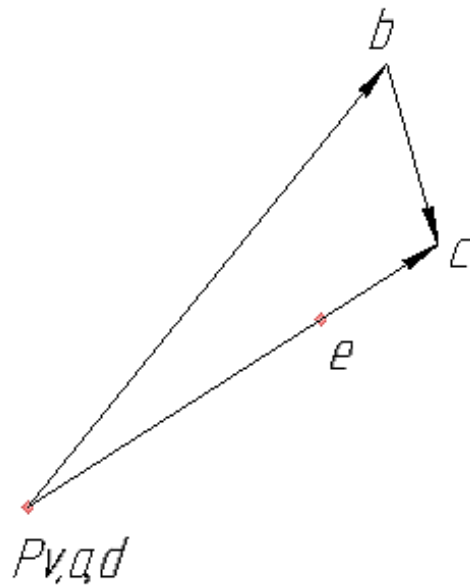


Рисунок 25

Для определения скорости точки F составьте векторное уравнение

$$\underline{\underline{\vec{V}_F}} = \underline{\underline{\vec{V}_E}} + \underline{\underline{\vec{V}_{FE}}}.$$

В этом уравнении, **переносной скоростью** является V_E , а **относительной скоростью** является V_{FE} . Вектор скорости V_F – **горизонтален**, а вектор скорости V_{FE} **перпендикулярен** шатуну EF . Известные по модулю векторы V_F и V_{FE} подчеркнуты одной чертой, вектор V_E , известный по модулю и направлению – двумя.

Векторное уравнение решается графически с использованием вспомогательных линий «Перпендикулярная прямая» (см. рисунок 17) и «Горизонтальная прямая» (рисунок 26).

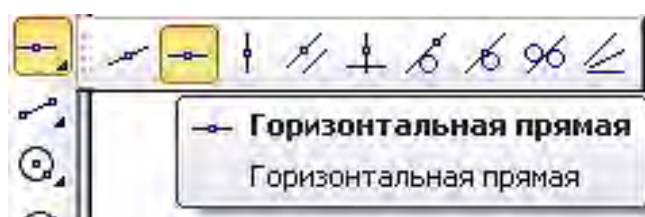


Рисунок 26

Проведите вспомогательную прямую перпендикулярно шатуну EF через точку e , используя привязку «Ближайшая точка». Через полюс p_v , используя привязку «Ближайшая точка», проведите вспомогательную горизонтальную прямую. Щелкните на кнопке «Прервать команду».

Точка пересечения вспомогательных прямых является точкой f плана скоростей. Обозначьте её. Стрелки на векторах $p_v e$, $p_v f$ и ef изобразите с помощью линий-выносок (см. рисунок 19). Удалите вспомогательные линии.

Выберите инструмент «Ввод текста» на панели инструментов «Обозначения» (см. рисунок 7) и перейдите на вкладку «Вставка» панели свойств. Далее выберите «Символ Ω ». В открывшемся окне задайте шрифт «Times New Roman» и набор символов «Греческий и коптский» (рисунок 27).

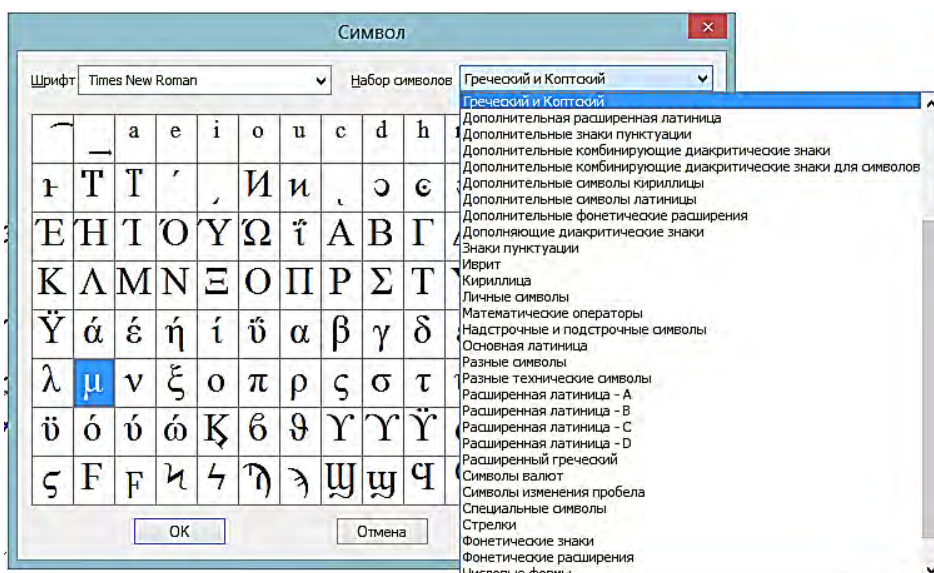


Рисунок 27

Выделите символ μ и щелкните ОК.

Используя инструмент «Ввод текста» (см. рисунок 7) запишите с клавиатуры значение масштабного коэффициента $\mu_v = 0,04 \frac{\text{м/с}}{\text{мм}}$. Используйте инструмент «Вставить дробь (средней высоты)» на вкладке «Вставка» панели свойств (рисунок 28).

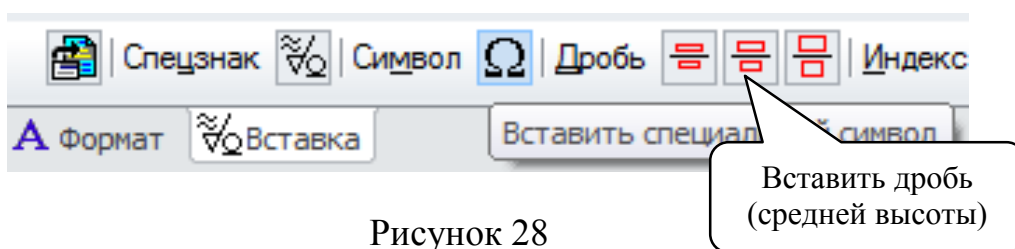


Рисунок 28

Для перемещения указателя мыши от числителя к знаменателю дроби используйте клавиши «Стрелка вправо» на клавиатуре (рисунок 29).

$$\mu_v = 0,04 \frac{\text{м/с}}{\text{мм}}$$

Рисунок 29

План скоростей для пятого положения механизма построен (рисунок 30).

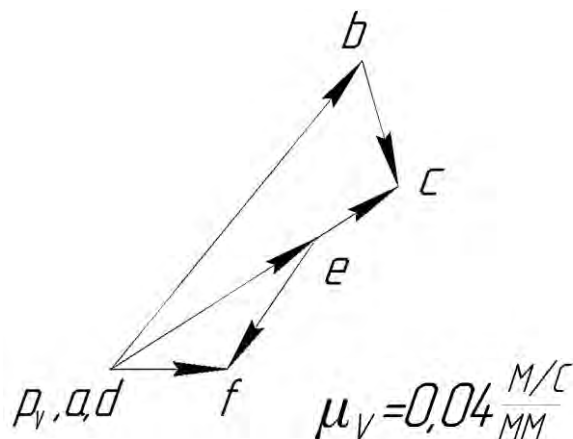


Рисунок 30

Постройте таблицу результатов. Для этого на инструментальной панели «Обозначения» выберите инструмент «Ввод таблицы» (рисунок 31).

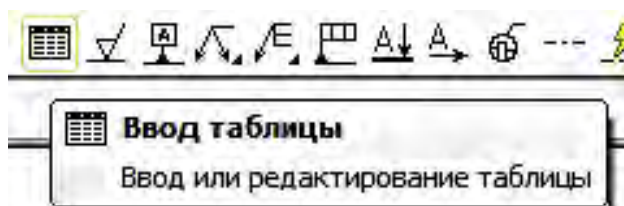


Рисунок 31

Щелкните на любое свободном месте чертежа. В окне «Создать таблицу» задайте 2 строки, 11 столбцов, ширина столбца 15 мм, высота 10 мм. Щелкните ОК. Далее, используя инструмент «Ввод текста» (см. рисунки 7, 8, 27) заполните первую строку таблицы в соответствии с образцом (таблица 3). Над таблицей напишите заголовок *Значения скоростей*.

Таблица 3

$\omega_1, \text{с}^{-1}$	$V_B, \text{м/с}$	$V_{CB}, \text{м/с}$	$V_C, \text{м/с}$	$V_E, \text{м/с}$	$V_{FE}, \text{м/с}$	$V_F, \text{м/с}$	$\omega_2, \text{с}^{-1}$	$\omega_3, \text{с}^{-1}$	$\omega_4, \text{с}^{-1}$

Запишите в таблицу уже известные значения ω_1 и V_B .

Измерьте длины векторов p_{ve} , p_{vc} , p_{vf} , bc и ef на плане скоростей (см. рисунки 22 и 23). Полученные значения перемножьте на масштабный коэффициент μ_v . Результаты вычислений впишите в таблицу (рисунок 32).

Значения скоростей

ω_1, c^{-1}	$V_B, m/c$	$V_{CB}, m/c$	$V_C, m/c$	$V_E, m/c$	$V_{FE}, m/c$	$V_F, m/c$	ω_2, c^{-1}	ω_3, c^{-1}	ω_4, c^{-1}
-14,66	1,466	0,48	1,25	0,9	0,58	0,43	-2,4	-8,93	-3,87

Рисунок 32

Определите угловые скорости звеньев 2, 3 и 4.

Угловая скорость шатуна 2 равна:

$$\omega_2 = \frac{V_{CB}}{l_{BC}} = \frac{0,48}{0,2} = 2,4 c^{-1}.$$

Угловая скорость коромысла 3 равна:

$$\omega_3 = \frac{V_{CD}}{l_{CD}} = \frac{1,25}{0,14} = 8,93 c^{-1}.$$

Угловая скорость шатуна 4 равна:

$$\omega_4 = \frac{V_{FE}}{l_{EF}} = \frac{0,58}{0,15} = 3,87 c^{-1}.$$

Результаты вычислений запишите в таблицу (рисунок 32).

Знак минус перед значением угловой скорости свидетельствует о её направлении по ходу часовой стрелки.

2.2 Построение планов ускорений

Построение плана ускорений начинается с построения полюса ρ_a в непосредственной близости с планом положения. Точки A и D на плане механизма неподвижны. Их ускорения равны нулю, поэтому точки a и d также находятся в полюсе (рисунок 33).

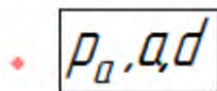


Рисунок 33

Масштабный коэффициент ускорения выбирается произвольно, например

$$\mu_a = 0,4 \frac{\text{м/с}^2}{\text{мм}}$$

Создайте таблицу 4 на свободном месте чертежа. Над таблицей напишите заголовок *Значения ускорений*. В дальнейшем все полученные значения ускорений по мере их поступления заносите в таблицу.

Таблица 4 – Значения ускорений

$a_B,$ м/с ²	$a_{CB}^n,$ м/с ²	$a_{CB}^r,$ м/с ²	$a_{CD}^n,$ м/с ²	$a_{CD}^r,$ м/с ²	$a_c,$ м/с ²	$a_E,$ м/с ²	$a_{FE}^n,$ м/с ²	$a_{FE}^r,$ м/с ²	$a_F,$ м/с ²	$\varepsilon_2,$ с ⁻²	$\varepsilon_3,$ с ⁻²	$\varepsilon_4,$ с ⁻²	$a_{S2},$ м/с ²	$a_{S4},$ м/с ²

Точка B движется с **постоянной угловой скоростью** по дуге окружности и её ускорение равно $a_B = \omega_1^2 \cdot l_{AB} = -14,66^2 \cdot 0,1 = 21,49 \text{ м/с}^2$. Запишите полученный результат в таблицу 4.

Длина вектора ускорения точки B , на плане ускорений, будет равна:

$$\rho_a b = \frac{a_B}{\mu_a} = \frac{21,49}{0,4} = 53,73 \text{ мм.}$$

На плане ускорений вектор ускорения точки B **параллелен кривошипу AB** и направлен из полюса ρ_a в направлении **от точки B к точке A на плане механизма**.

Для построения вектора ускорения точки B используйте инструмент «Параллельный отрезок» на панели инструментов «Геометрия».

Задайте стиль отрезка «Тонкая линия» и из полюса ρ_a отложите отрезок длиной 53,73 мм. Конец отрезка обозначьте буквой b (рисунок 34).

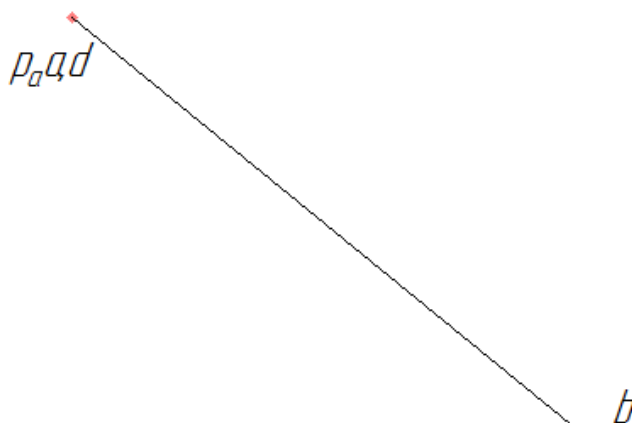


Рисунок 34

Точка C **одновременно принадлежит** шатуну BC и коромыслу CD . На основании теоремы «О сложении ускорений», можно записать следующие векторные уравнения для определения ускорения точки C :

$$\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}_{CB}^n + \vec{a}_{CB}^{\tau};$$

$$\vec{a}_C = \vec{a}_D + \vec{a}_{CD}^n + \vec{a}_{CD}^{\tau}.$$

Приравняйте их правые части и подчеркните неизвестные по модулю векторы одной чертой, а известные по модулю и направлению векторы – двумя.

$$\underline{\vec{a}_B} + \underline{\vec{a}_{CB}^n} + \underline{\vec{a}_{CB}^{\tau}} = \underline{\vec{a}_{CD}^n} + \underline{\vec{a}_{CD}^{\tau}}.$$

Полученное уравнение с двумя неизвестными может быть решено графическими способом.

Вектор \vec{a}_{CB}^n **параллелен** шатуну BC и направлен от точки C к точке B .

Вектор \vec{a}_{CD}^n **параллелен** коромыслу CD и направлен от точки C к точке D .

Модули нормальных составляющих относительных ускорений, равны:

$$a_{CB}^n = \omega_2^2 \cdot l_{BC} = 2,4^2 \cdot 0,2 = 1,15 \text{ м/с}^2;$$
$$a_{CD}^n = \omega_3^2 \cdot l_{CD} = 8,93^2 \cdot 0,14 = 11,16 \text{ м/с}^2.$$

Полученные данные запишите в таблицу 4.

Тангенциальные составляющие векторов ускорений \vec{a}_{CB}^τ и \vec{a}_{CD}^τ **перпендикулярны** соответственно шатуну BC и коромыслу CD .

Проведите вспомогательные параллельные прямые через точки b и d соответственно параллельно звеньям BC и CD .

Отложите используя привязки «Ближайшая точка» и «Точка на кривой» из точки b , параллельно шатуну BC отрезок, равный:

$$bn_2 = \frac{a_{CB}^n}{\mu_a} = \frac{1,15}{0,4} = 2,875 \text{ мм.}$$

Обозначьте конец отрезка n_2 (рисунок 35).

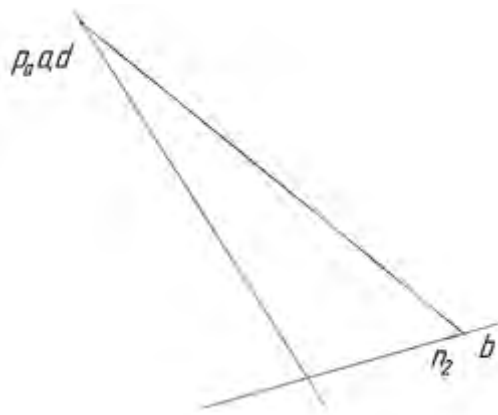


Рисунок 35

Далее из полюса ρ_a , параллельно коромыслу CD , отложите отрезок dn_3 , равный:

$$dn_3 = \frac{a_{CD}^n}{\mu_a} = \frac{11,16}{0,4} = 27,9 \text{ мм.}$$

Обозначьте его конец n_3 (рисунок 36).

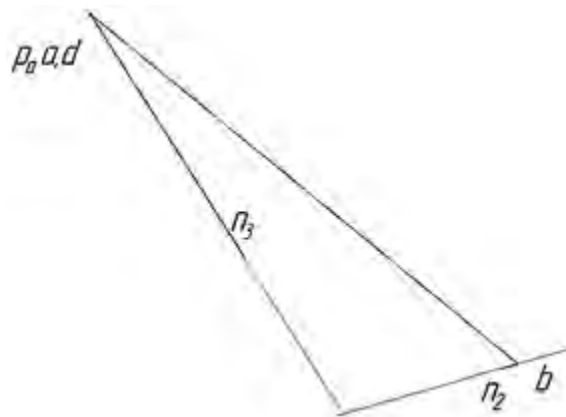


Рисунок 36

Удалите вспомогательные параллельные прямые.

Проведите вспомогательные перпендикулярные прямые через точки n_2 и n_3 соответственно перпендикулярно звеньям CD и BC . Полученную на пересечении двух вспомогательных линий точку обозначьте буквой c .

Соедините точки d , b , n_2 и n_3 с точкой c тонкими линиями при помощи отрезков используя привязки «Ближайшая точка» и «Пересечение». Стрелки на векторах отобразите с помощью линий-выносок. Удалите вспомогательные прямые (рисунок 37).

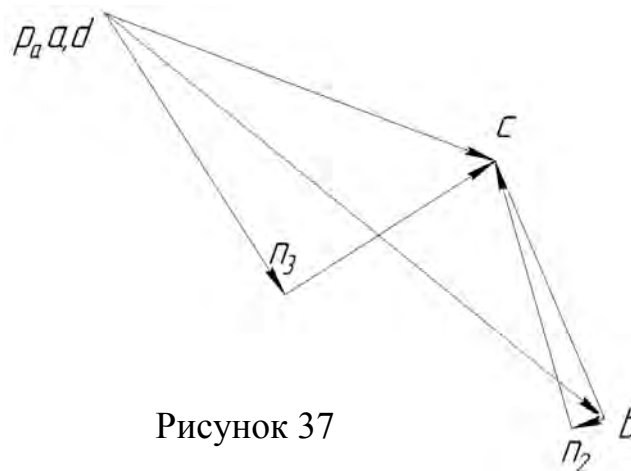


Рисунок 37

Измерьте длину отрезка ρ_{aC} при помощи инструмента «Расстояние между 2 точками». Для определения положения точки e , воспользуйтесь **теоремой подобия** и рассчитайте длину отрезка ρ_{ae} .

$$\rho_{ae} = \rho_{aC} \cdot \frac{l_{DE}}{l_{CD}} = 34,8 \cdot \frac{0,1}{0,14} = 24,8 \text{ мм.}$$

При помощи инструмента «Точка на заданном расстоянии» на отрезке ρ_{aC} отобразите точку на расстоянии 24,8 мм от полюса, обозначьте её e , и отобразите стрелку (рисунок 38).

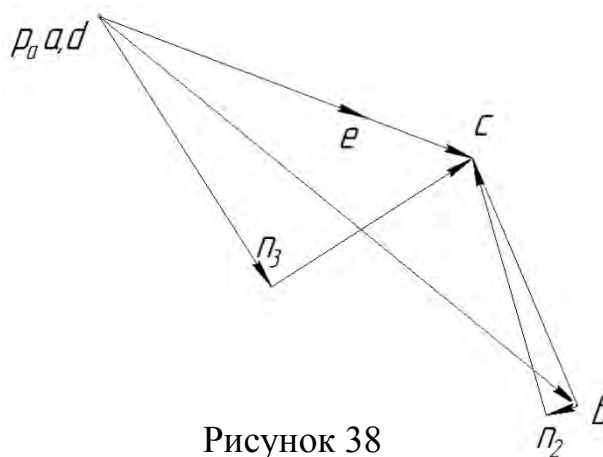


Рисунок 38

Длины отрезков ρ_{ae} и ρ_{aC} перемноженные на масштабный коэффициент μ_a соответствуют ускорениям a_E и a_C . Запишите их значения в таблицу 4.

Для определения ускорения точки F составьте векторное уравнение:

$$\vec{a}_F = \vec{a}_E + \vec{a}_{FE}^n + \vec{a}_{FE}^r.$$

Вектор \vec{a}_E известен по модулю и направлению (см. рисунок 38).

Модуль нормальной составляющей относительного ускорения, равен:

$$a_{FE}^n = \omega_4^2 \cdot l_{EF} = 3,87^2 \cdot 0,15 = 2,25 \text{ м/с}^2.$$

Запишите значение a_{FE}^n в таблицу 4.

Вектор a_{FE}^n направлен **параллельно** шатуну EF от точки F к точке E .

Вектор a_{FE}^{τ} перпендикулярен шатуну EF , а вектор ускорения a_F – горизонтален.

В данном уравнении имеется два неизвестных, так направление вектора $\rho_a f$ на плане ускорений известно (**горизонтальная линия**). Подчеркните известные и неизвестные величины $\underline{\underline{\vec{a}_F}} = \underline{\underline{\vec{a}_E}} + \underline{\underline{\vec{a}_{FE}^n}} + \underline{\underline{\vec{a}_{FE}^{\tau}}}$.

Из конца вектора ускорения точки e , отложите параллельно шатуну EF отрезок, равный:

$$en_4 = \frac{a_{FE}^n}{\mu_a} = \frac{2,25}{0,4} = 5,62 \text{ мм.}$$

Обозначьте конец полученного отрезка n_4 . Через точку n_4 проведите вспомогательную прямую перпендикулярную EF , которая будет линией действия вектора тангенциальной составляющей a_{FE}^{τ} , а через полюс ρ_a проведите вспомогательную горизонтальную линию. Точка пересечения линий – точка f . Обозначьте её. Нарисуйте стрелки и удалите вспомогательные линии. Соедините тонкой линией точки e и f (рисунок 39).

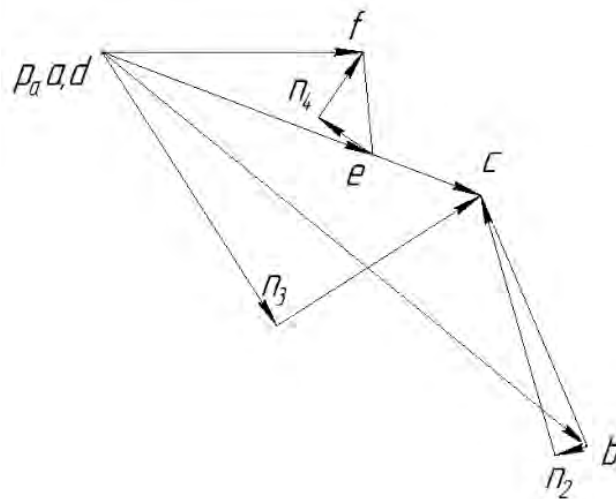


Рисунок 39

Измерьте на плане ускорений отрезки n_2c , n_3c и n_4f и перемножьте результаты измерений на масштабный коэффициент μ_a . Полученные результаты соответствующие тангенциальным составляющим ускорений a_{CB}^{τ} , a_{CD}^{τ} и a_{FE}^{τ} запишите в таблицу 4.

Определите угловые ускорения звеньев 2, 3 и 4.

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{CB}^r}{l_{BC}} = \frac{9,3}{0,2} = 46,5 \text{ с}^{-2};$$

$$\varepsilon_3 = \frac{a_{CD}^r}{l_{CD}} = \frac{8,32}{0,14} = 59,4 \text{ с}^{-2};$$

$$\varepsilon_4 = \frac{a_{FE}^r}{l_{EF}} = \frac{2,73}{0,15} = 18,2 \text{ с}^{-2}.$$

Полученные результаты запишите в таблицу 4.

Для проведения **силового анализа механизма** нужно знать **ускорения центров масс звеньев**.

Центр масс кривошипа 1 (точка S_1) совпадает с неподвижной точкой A , ускорение которой равно нулю.

Центр масс шатуна 2 (точка S_2) лежит на середине звена BC . Разделите отрезок cb на плане ускорений на две равные части пользуясь инструментом «Точка» и привязкой «Середина» (см. рисунок 24). Соедините эту точку с полюсом стрелкой-выноской и обозначьте S_2 .

Масса коромысла 3 в соответствии с исходными данными не задана.

Центр массы шатуна 4 (точка S_4) расположен на расстоянии равном $1/3 l_{EF}$ от точки E . Разделите отрезок ef на плане ускорений на три равные части. Для этого воспользуйтесь инструментом «Точка по кривой» на инструментальной панели «Геометрия» (рисунок 40).

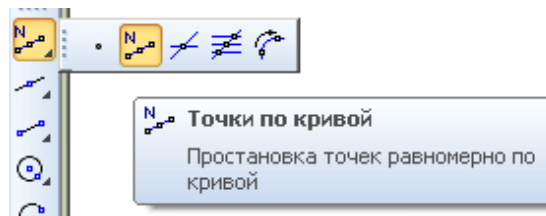


Рисунок 40

На панели свойств укажите количество участков – 3 (рисунок 41).

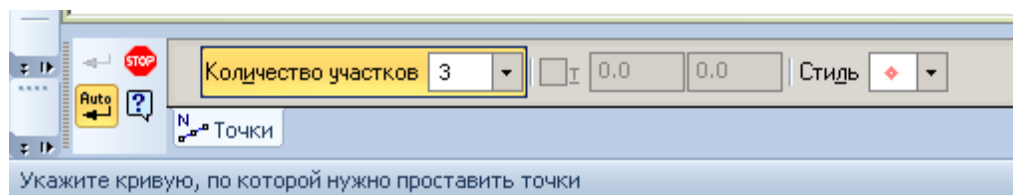


Рисунок 41

Щелкните на отрезке ef на плане ускорений. Щелкните на кнопке «Прервать команду». Обозначьте S_4 точку, лежащую ближе к точке e . На плане ускорений соедините стрелками точки S_2 и S_4 с полюсом (рисунок 42).

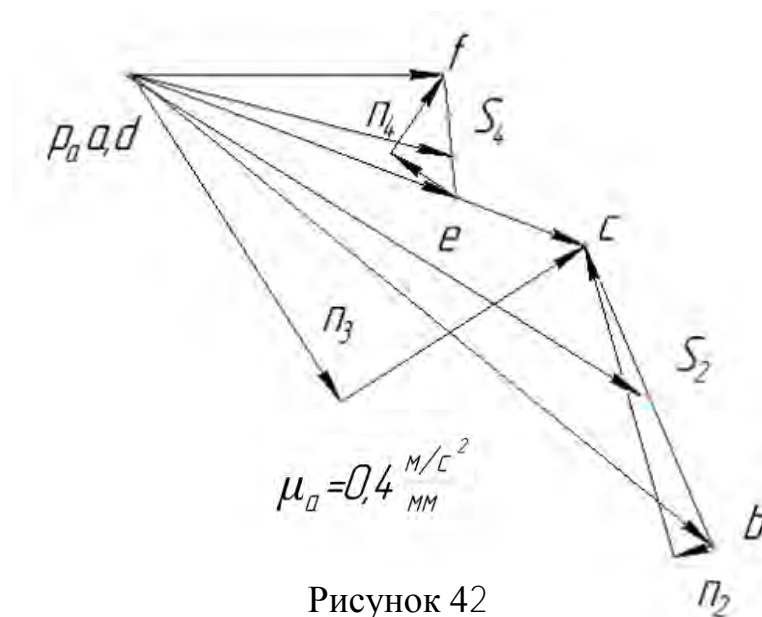


Рисунок 42

Центр масс точка S_5 ползуна совпадает с точкой F , поэтому ускорение центра массы звена 5 равно ускорению точки F .

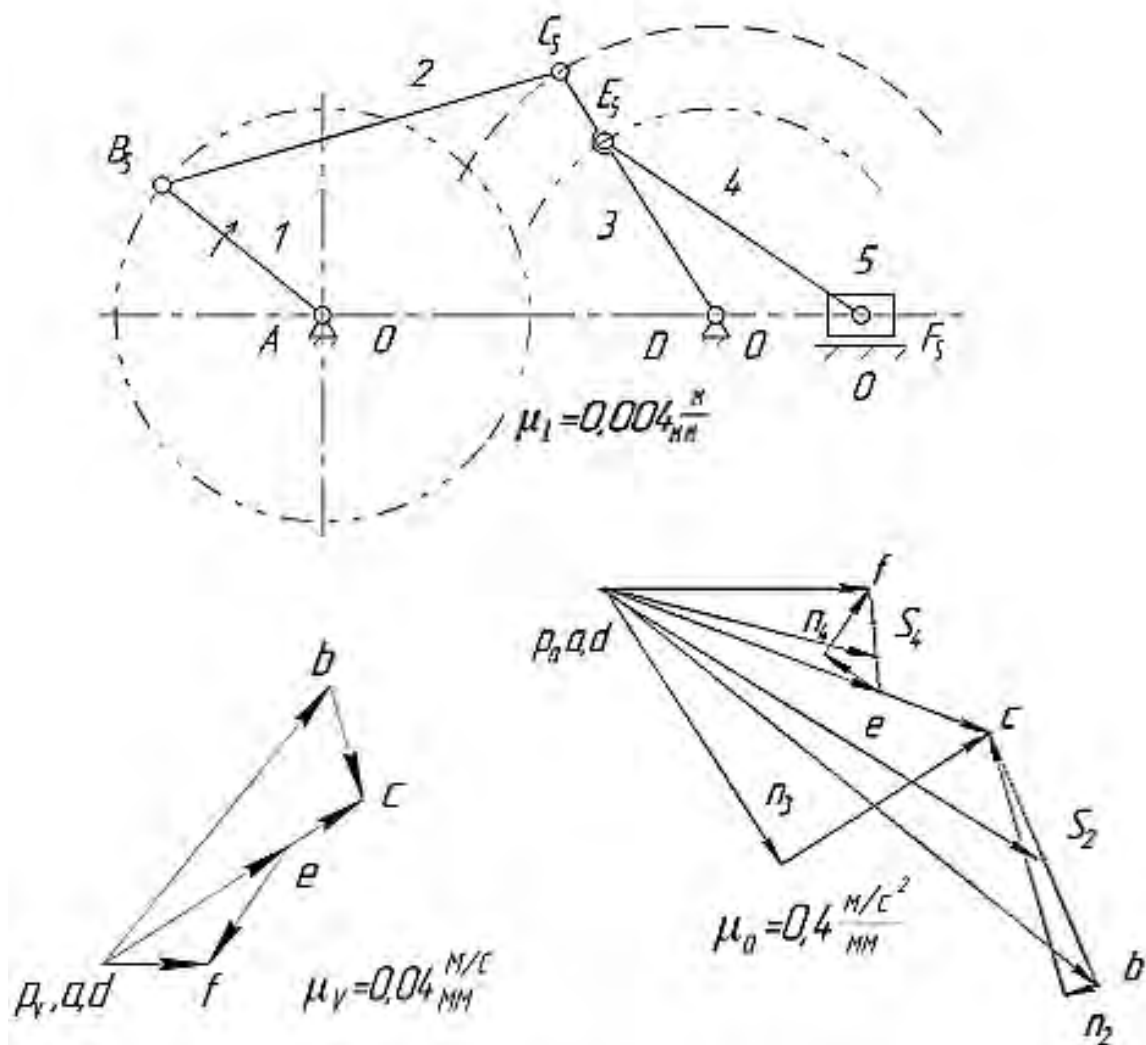
Измерьте на плане ускорений отрезки a_{S2} и a_{S4} , перемножьте их на масштабный коэффициент μ_a и тем самым определите ускорения этих точек, которые равны соответственно $17,5 \text{ м/с}^2$ и $9,48 \text{ м/с}^2$. Полученные данные запишите в таблицу 4.

Таблица 4 – Значения ускорений

$a_B,$ м/с^2	$a_{CB}^n,$ м/с^2	$a_{CB}^t,$ м/с^2	$a_{CD}^n,$ м/с^2	$a_{CD}^t,$ м/с^2	$a_c,$ м/с^2	$a_E,$ м/с^2	$a_{FE}^n,$ м/с^2	$a_{FE}^t,$ м/с^2	$a_F,$ м/с^2	$\varepsilon_2,$ с^{-2}	$\varepsilon_3,$ с^{-2}	$\varepsilon_4,$ с^{-2}	$a_{S2},$ м/с^2	$a_{S4},$ м/с^2
21,49	1,15	9,3	11,16	8,32	13,92	9,94	2,25	2,73	8,97	46,45	59,4	18,2	17,5	9,48

Над таблицей напишите *Значения ускорений*. Рядом с планом ускорений укажите масштабный коэффициент μ_a на схеме (рисунок 43).

Кинематический анализ механизма в пятом положении кривошипа выполнен.



Значения скоростей

$\omega_1, \text{с}^{-1}$	$V_B, \text{м/с}$	$V_D, \text{м/с}$	$V_C, \text{м/с}$	$V_E, \text{м/с}$	$V_{FE}, \text{м/с}$	$V_F, \text{м/с}$	$\omega_2, \text{с}^{-1}$	$\omega_3, \text{с}^{-1}$	$\omega_4, \text{с}^{-1}$
-14,66	1466	0,48	125	0,9	0,58	0,43	-2,4	-8,93	-3,87

Значения ускорений

a_b	a_D^0	a_D^1	a_D^0	a_D^1	a_c	a_c	a_{FE}^0	a_{FE}^1	a_f	E_2	E_3	E_4	a_{c2}	a_{c4}
м/с^2	м/с^2	м/с^2	м/с^2	м/с^2	м/с^2	м/с^2	м/с^2	м/с^2	м/с^2	с^{-2}	с^{-2}	с^{-2}	м/с^2	м/с^2
2149	115	93	1116	832	1392	994	225	273	897	4645	596	182	175	948

Рисунок 43

3 КИНЕТОСТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА

Задачей кинетостатического (силового) анализа является определение реакций в кинематических парах механизма и внешнего уравновешивающего момента сил, приложенного к ведущему звену (кривошипу).

Под реакциями в кинематических парах подразумеваются силы, с которыми звенья механизма воздействуют друг на друга.

Предположим, что звено 2 и звено 3 соединены кинематической парой.

Принято реакцию звена 2 на звено 3 обозначать R_{23} , а реакцию звена 3 на звено 2 – R_{32} . То есть в векторном виде $\vec{R}_{32} = -\vec{R}_{23}$.

При силовом анализе механизмов используют **принцип кинестатики**, в соответствии с которым, для нахождения реакций в кинематических парах можно использовать уравнения равновесия статики, если к **внешним силам**, действующим на звенья механизма, прибавить **силы инерции**.

Главный вектор сил инерции звена 2 равен:

$$\vec{F}_{i2} = -m_2 \cdot \vec{a}_{S_2};$$

где m_2 – масса звена 2;

\vec{a}_{S_2} – ускорение центра масс звена 2.

Главный момент сил инерции звена 2 равен:

$$\vec{M}_{i2} = -I_{S_2} \cdot \vec{\varepsilon}_2;$$

где $I_{S_{12}}$ – момент инерции звена 2 относительно центральной оси;

ε_2 – угловое ускорение звена 2.

Силовой анализ выполняется **графоаналитическим** методом для плана механизма, для которого уже ранее выполнен **кинематический** анализ.

На плане механизма (рисунок 44) нанесите на звенья 2 и 4 центры масс (точки соответственно S_2 и S_4 в соответствии с исходными данными) используя инструмент «Точка по кривой» (см. рисунок 24).

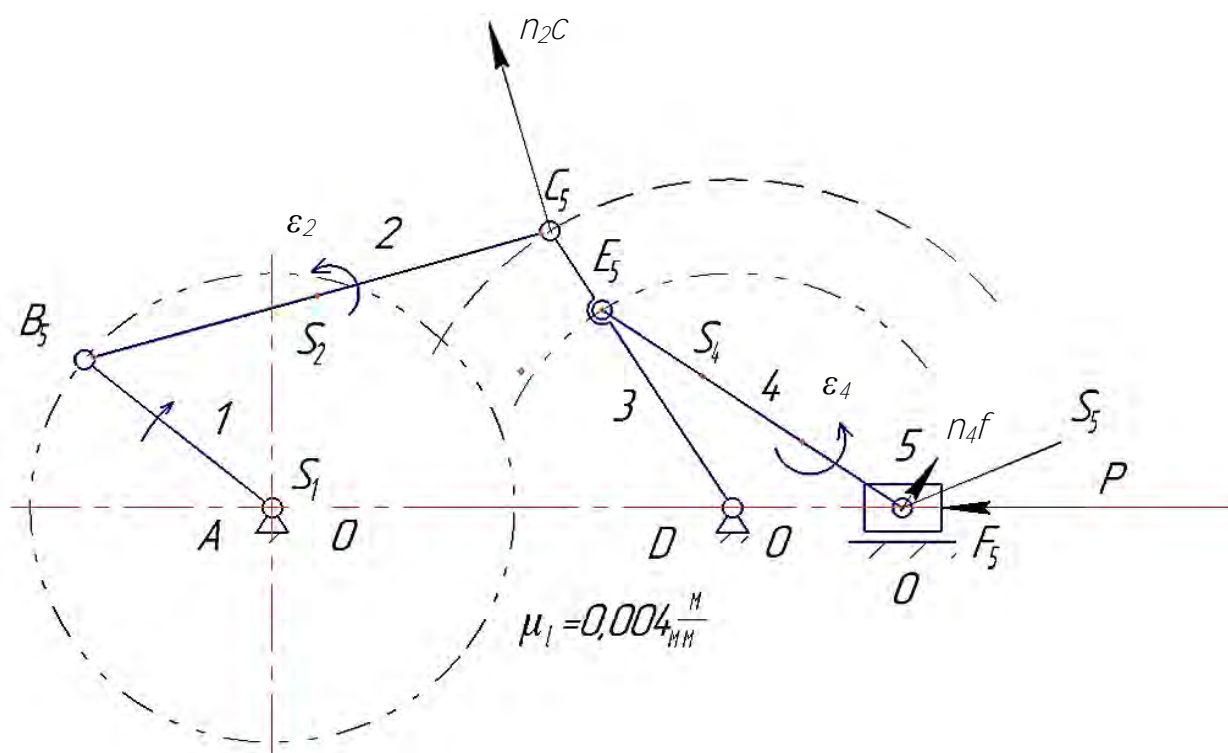


Рисунок 44

Для определения направления углового ускорения звена 2 **мысленно перенесите** с плана ускорений вектор тангенциальной составляющей a_{CB}^T (вектор n_{2C} на плане ускорений) в точку C на плане механизма. Угловое ускорение ϵ_2 будет направлено против хода часовой стрелки (рисунок 44).

Аналогично **мысленно перенесите** в точку F вектор a_{FE}^T , (вектор n_{4f} на плане ускорений). Угловое ускорение ϵ_4 также будет направлено против хода часовой стрелки (рисунок 44).

Центр масс кривошипа 1 находится на оси его вращения, поэтому сила инерции кривошипа равна нулю ($F_{i1} = 0$). Момент сил инерции также равен нулю ($M_{i1} = 0$), так как угловая скорость кривошипа величина постоянная.

Инерционные нагрузки шатуна BC (звена 2) равны:

$$F_{i2} = m_2 \cdot a_{S2} = 20 \cdot 17,5 = 350 \text{ Н};$$
$$M_{i2} = I_{S2} \cdot \varepsilon_2 = 1,0 \cdot 46,45 = 46,45 \text{ Нм.}$$

В соответствии с исходными данными (см. таблицу 1) масса коромысла 3 не задана (например, в данном механизме она незначительна). В этом случае инерционные нагрузки коромысла можно считать равными нулю ($F_{i3} = 0; M_{i3} = 0$).

Для шатуна EF (звена 4) инерционные нагрузки равны:

$$F_{i4} = m_4 \cdot a_{S4} = 15 \cdot 9,48 = 142,2 \text{ Н};$$
$$M_{i4} = I_{S4} \cdot \varepsilon_4 = 1,5 \cdot 18,2 = 27,3 \text{ Нм.}$$

Ползун (звено 5) движется поступательно, поэтому имеет место только сила инерции, равная:

$$F_{i5} = m_5 \cdot a_F = 40 \cdot 8,97 = 358,8 \text{ Н.}$$

Силовой анализ механизма производят в последовательности, обратной последовательности исследования его кинематики. Простейшими кинематическими цепями, обладающими кинетостатической определмостью, являются структурные группы Ассур. Силовой анализ производят по группам Ассур, начиная с последней, включающей в себя выходное звено.

В данном случае, это группа Ассур второго класса второго вида, состоящая из шатуна 4 и ползуна 5.

Выберите масштабный коэффициент длины, например, $\mu_l = 0,002 \frac{\text{м}}{\text{мм}}$ и начертите группу Ассур 4–5.

На шатун действует сила тяжести G_4 , а на ползун действует сила тяжести G_5 и сила полезного сопротивления P . Приложите к звеньям группы эти внешние нагрузки (рисунок 45).

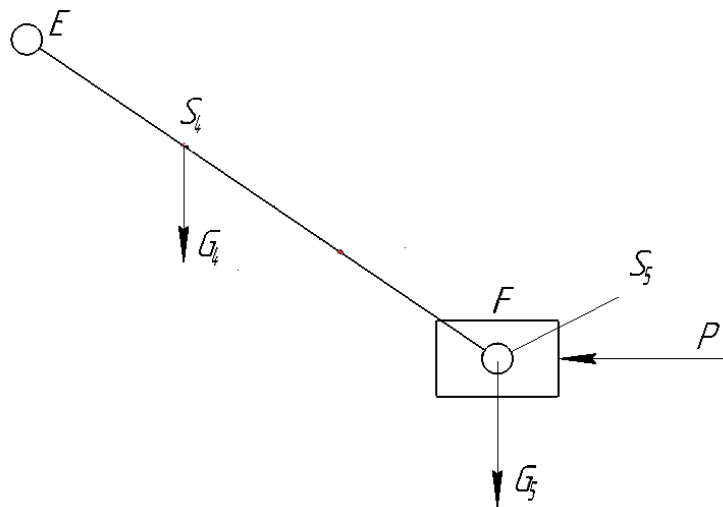


Рисунок 45

Вектор силы инерции F_{i4} звена 4, приложите к центру масс и направьте **противоположно** вектору ускорений p_{aS4} . (см. план ускорений на рисунке 43). Вектор силы инерции F_{i5} ползуна приложите в точке F и направьте **противоположно** вектору ускорения этой точки p_{af} . Приложите реакцию R_{O5} стойки 0 на ползун 5 (без учёта трения), которая направлена **перпендикулярно** траектории движения ползуна 5 (вертикально вверх) (рисунок 46).

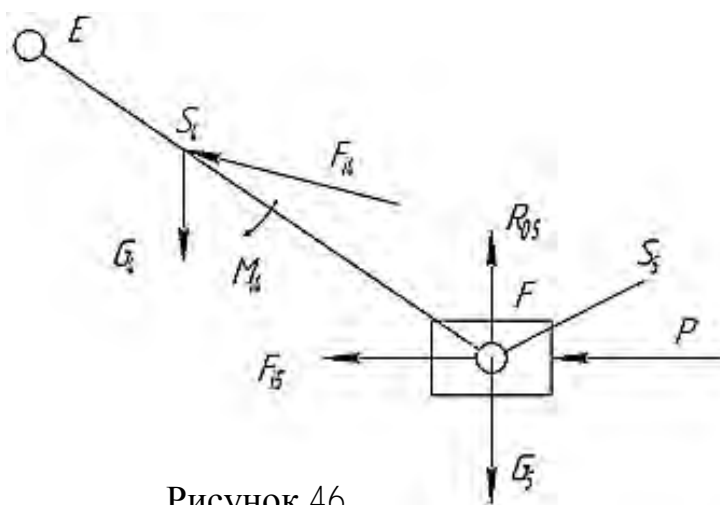


Рисунок 46

Момент сил инерции M_{i4} направьте **противоположно** угловому ускорению ε_4 .

Для отображения стрелки активизируйте инструментальную панель «Геометрия» и выберите инструмент «Дуга по 2 точкам и углу раствора» (рисунок 47).

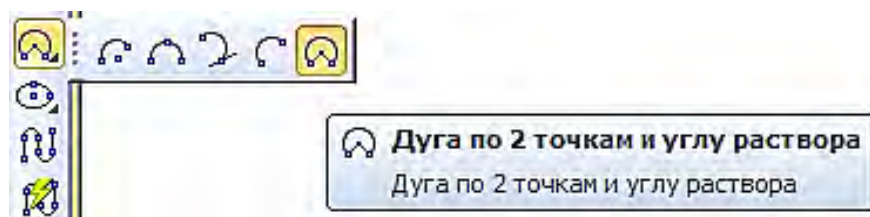


Рисунок 47

На панели свойств введите в поле «Угол» 120,0. Выберите направление дуги «По часовой стрелке», стиль – «Основная» (рисунок 48).

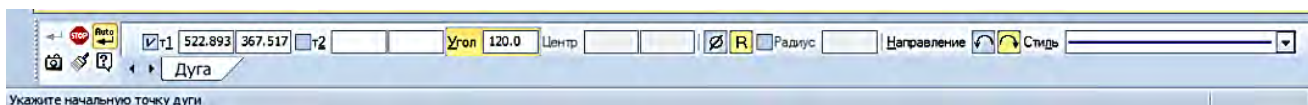


Рисунок 48

В любом свободном месте экрана нарисуйте дугу. Радиус дуги и её положение выберите произвольно, но так чтобы размеры дуги получились соизмеримыми с размерами звена 4. Щелкните на кнопке «Прервать команду».

Активизируйте инструментальную панель «Геометрия» и выберите инструмент «Отрезок». С помощью двух отрезков произвольной длины с использование привязки «Выравнивание» дорисуйте стрелку (рисунок 49). Щелкните на кнопке «Прервать команду».

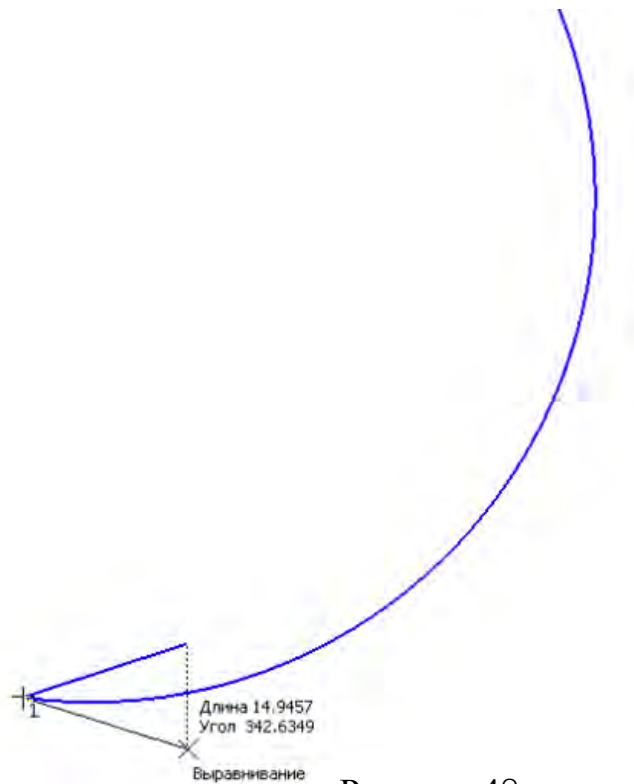


Рисунок 49

Выделите стрелку рамкой (рисунок 50) и перетащите её мышкой на звено 4.

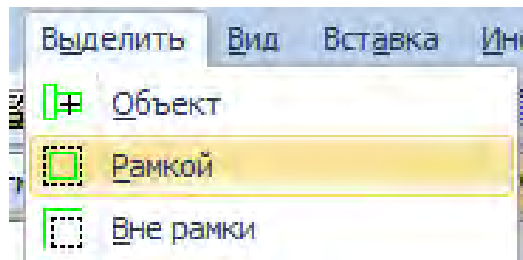


Рисунок 50

Реакции во внешних кинематических парах группы обычно представляют в виде **нормальной** и **тангенциальной** составляющих. Направление указанных реакций выбирается **произвольно**.

Реакцию R_{34} коромысла на шатун в шарнире E , представьте в виде двух составляющих: нормальной R_{34}^n , направленной **параллельно** звену EF и тангенциальной R_{34}^t , направленной **перпендикулярно** звену EF (рисунок 51).

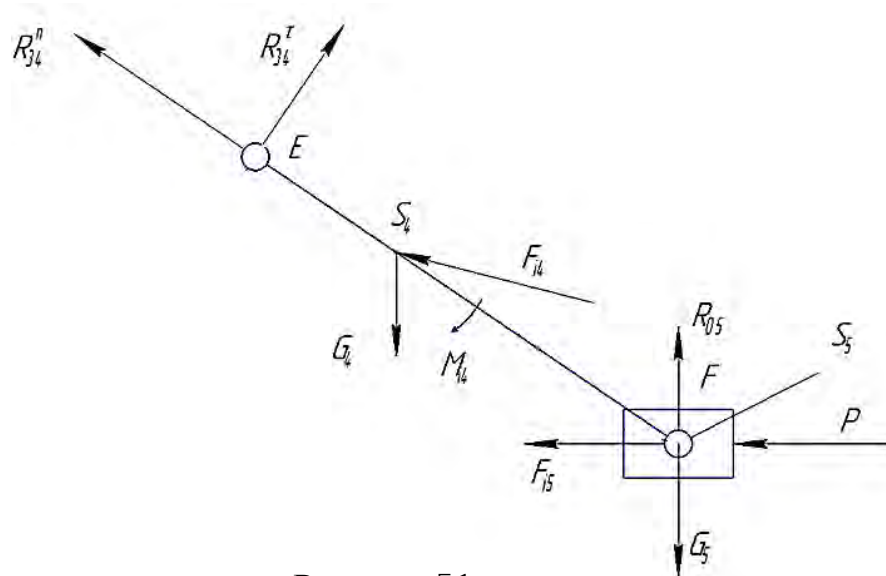


Рисунок 51

Отобразите плечо h_{G4} силы G_4 (рисунок 52). Для этого проведите вертикальную вспомогательную линию через точку S_4 вдоль вектора G_4 используя привязку «Ближайшая точка». Затем проведите вспомогательную линию перпендикулярно вектору G_5 .

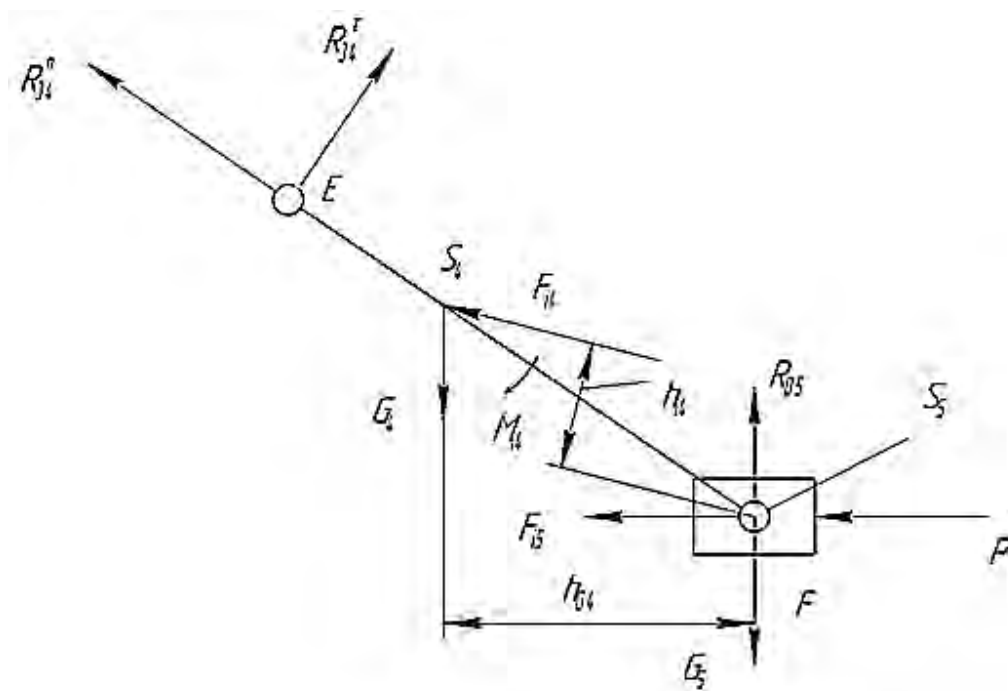


Рисунок 52

Для отображения размерной линии активизируйте инструментальную панель «Размеры» (рисунок 53).

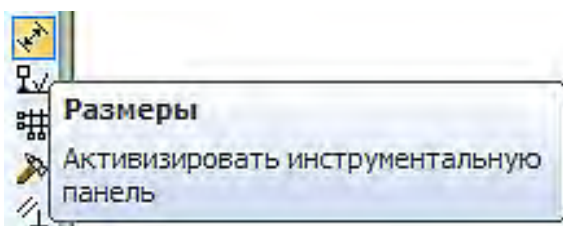


Рисунок 53

Выберите инструмент «Линейный размер» (рисунок 54).

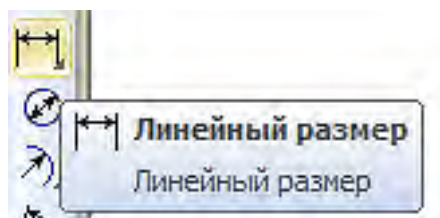


Рисунок 54

Проставьте размерную линию по вспомогательной линии перпендикулярной вектору G_5 , используя привязки «Пересечение». Щелкните по размерной линии левой кнопкой мыши. Щелкните на кнопке «Прервать команду».

Двойным щелчком на размерной надписи вызовите окно диалога «Задание размерной надписи» (рисунок 55).

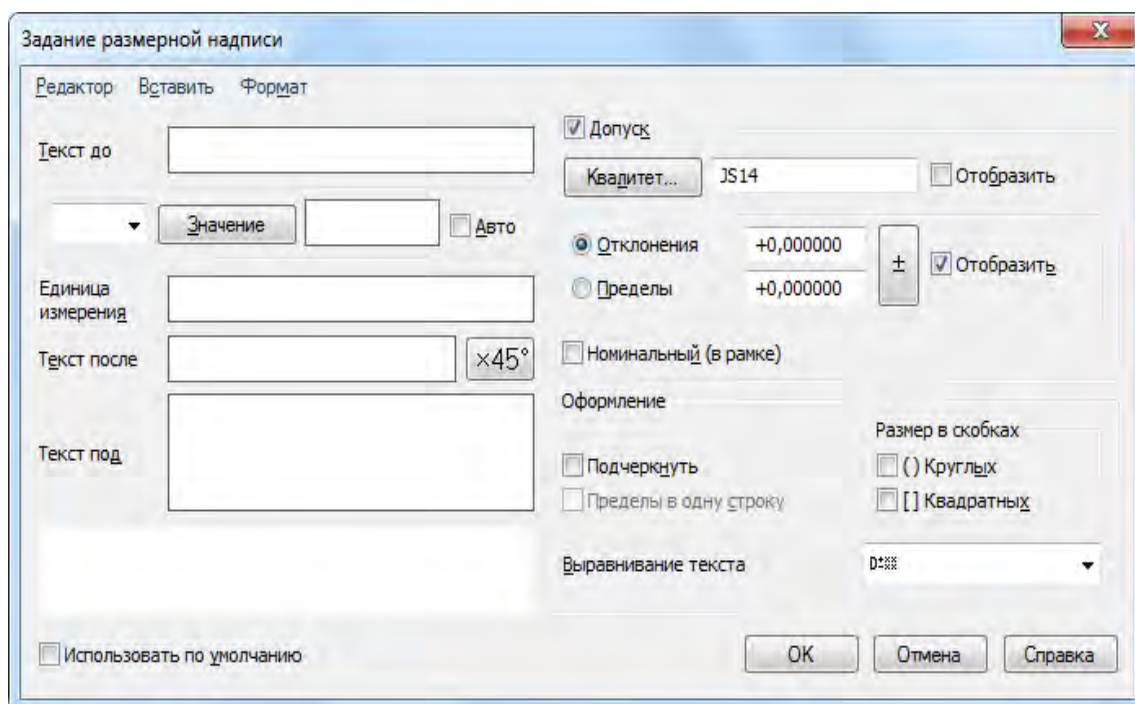


Рисунок 55

В окне диалога «Задание размерной надписи» удалите надпись в текстовом поле «Значение» и введите надпись h_{G4} используя пункт «Средней высоты» в списке «Индекс» на вкладке «Вставить». Щелкните ОК.

Проведите тонкую линию по вспомогательной перпендикулярной линии через точку S_4 используя инструмент «Отрезок». Удалите вспомогательные линии.

Аналогично постройте плечо h_{i4} (см. рисунок 52).

Определите длины плечей сил h_{G4} и h_{i4} . Для этого измерьте их на схеме и умножьте результаты измерений на масштабный коэффициент $\mu_l = 0,002 \frac{\text{м}}{\text{мм}}$ (см. рисунки 22 и 23). Получите: $h_{G4} = 0,0827 \text{ м}$; $h_{i4} = 0,034 \text{ м}$.

На схеме (см. рисунок 52) три неизвестных вектора: R_{34}^n , R_{34}^t и R_{05} .

Начните силовой анализ группы с определения **тангенциальной** составляющей R_{34}^t . Для этого запишите уравнение равновесия моментов сил действующих на звено 4 относительно точки F и приравняйте его к нулю.

$$\sum M_F = -R_{34}^{\tau} \cdot l_{EF} + G_4 \cdot h_{G4} + F_{i4} \cdot h_{i4} - M_{i4} = 0.$$

Определите тангенциальную составляющую R_{34}^{τ} , которая равна:

$$R_{34}^{\tau} = \frac{G_4 \cdot h_{G4} + F_{i4} \cdot h_{i4} - M_{i4}}{l_{EF}} = \frac{150 \cdot 0,0827 + 142,2 \cdot 0,034 - 27,3}{0,15} = -67,068 \text{ Н.}$$

Направление вектора R_{34}^{τ} было выбрано **неправильно**, так как результат получился со знаком минус. Поэтому нужно **перенаправить** вектор R_{34}^{τ} на схеме на противоположное направление (рисунок 56).

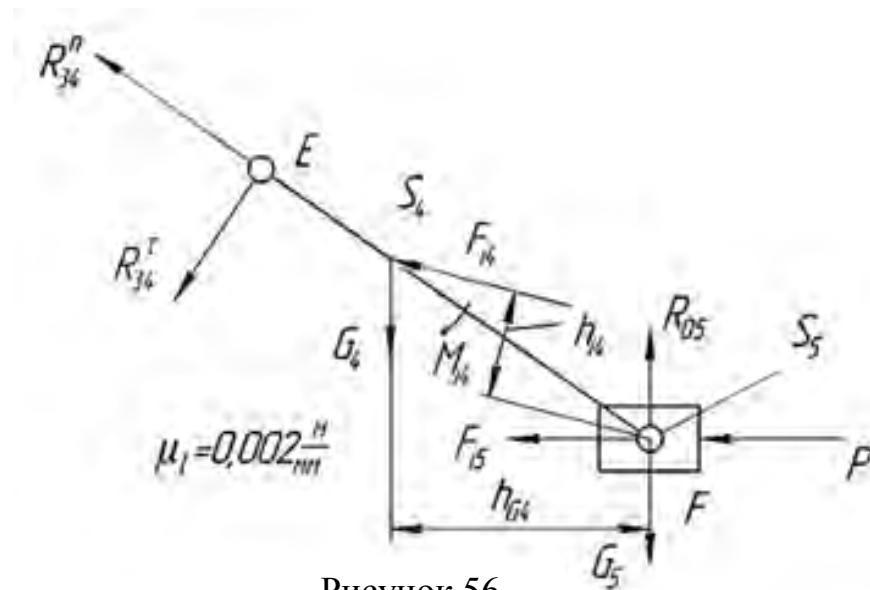


Рисунок 56

На схеме группы Ассура (рисунок 56) осталось два **известных** по направлению, но **неизвестных** по модулю вектора: R_{34}^n и R_{05} . Модули этих векторов можно определить построением плана сил.

Примите масштабный коэффициент, например равный:

$$\mu_f = 10 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

При построении плана сил **учитывайте** масштабный коэффициент. Например, длина вектора полезной силы P определится следующим образом:

$$p = \frac{P}{\mu_f} = \frac{250}{10} = 25 \text{ мм.}$$

Аналогично определите длины остальных известных векторов.

При определении сил тяжести звеньев можно принять ускорение свободного падения равным 10 м/с^2 . Вычислите значения сил тяжести умножив массы звеньев на 10 м/с^2 .

Составьте векторное уравнение равновесия сил, действующих на всю группу Ассур 4–5. При этом, **неизвестные** по модулю векторы R_{34}^n и R_{05} , запишите соответственно в **начале** и в **конце** этого уравнения. Кроме того, при составлении уравнения целесообразно силы записать в такой последовательности, как они приложены к звеньям. То есть, **вначале записать силы приложенные** к звену 4, а затем **силы приложенные** к звену 5.

$$R_{34}^n + R_{34}^r + G_4 + F_{i4} + G_5 + F_{i5} + P + R_{05} = 0.$$

Во строке под уравнением запишите модули известных векторов.

$$R_{34}^n + R_{34}^r + G_4 + F_{i4} + G_5 + F_{i5} + P + R_{05} = 0.$$

67,1	150	142,2	400	359	250
------	-----	-------	-----	-----	-----

Длины векторов для построения планов сил получите делением модулей векторов на масштабный коэффициент и запишите их значения в строке под значениями модулей сил.

$$R_{34}^n + R_{34}^r + G_4 + F_{i4} + G_5 + F_{i5} + P + R_{05} = 0.$$

67,1	150	142,2	400	359	250
6,7	15	14,2	40	35,9	25

Скопируйте векторное уравнение сил в КОМПАС для удобства при построении плана сил.

Построение плана сил начните из произвольной точки, из которой отложите первый известный вектор R_{34}^r длиной 6,7 мм параллельно его изображению на группе Ассур, используя инструмент «Параллельный отрезок и стиль линии «Тонкая». Затем из конца построенного вектора аналогично отложите

вектор G_4 длиной 15 мм. Далее последовательно отложите все остальные известные векторы используя привязки «Ближайшая точка» (рисунок 57).

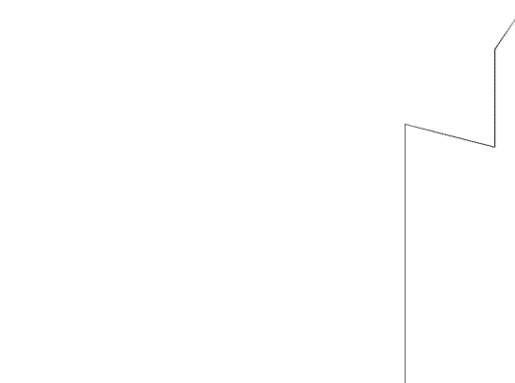


Рисунок 57

Через конец последнего вектора p проведите вертикальную вспомогательную линию параллельно направлению вектора R_{05} , а через начало первого вектора проведите вспомогательную линию параллельно звену EF (направление вектора R_{34}^n) и тем самым замкните многоугольник сил (рисунок 58).

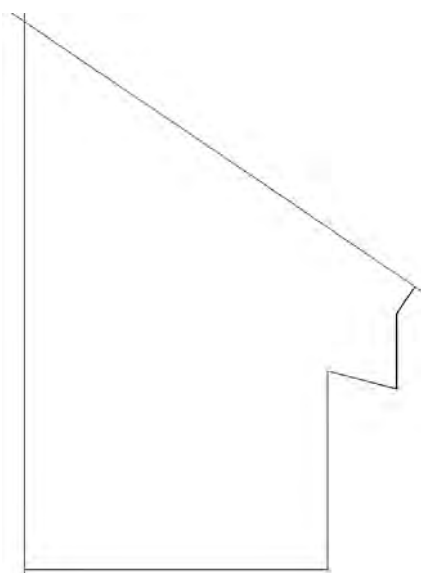


Рисунок 58

Для определения реакции R_{34} соедините стрелкой точку пересечения вспомогательных линий с концом вектора R_{34}^T . Удалите вспомогательные линии. Расставьте остальные стрелки и обозначьте векторы (рисунок 59).

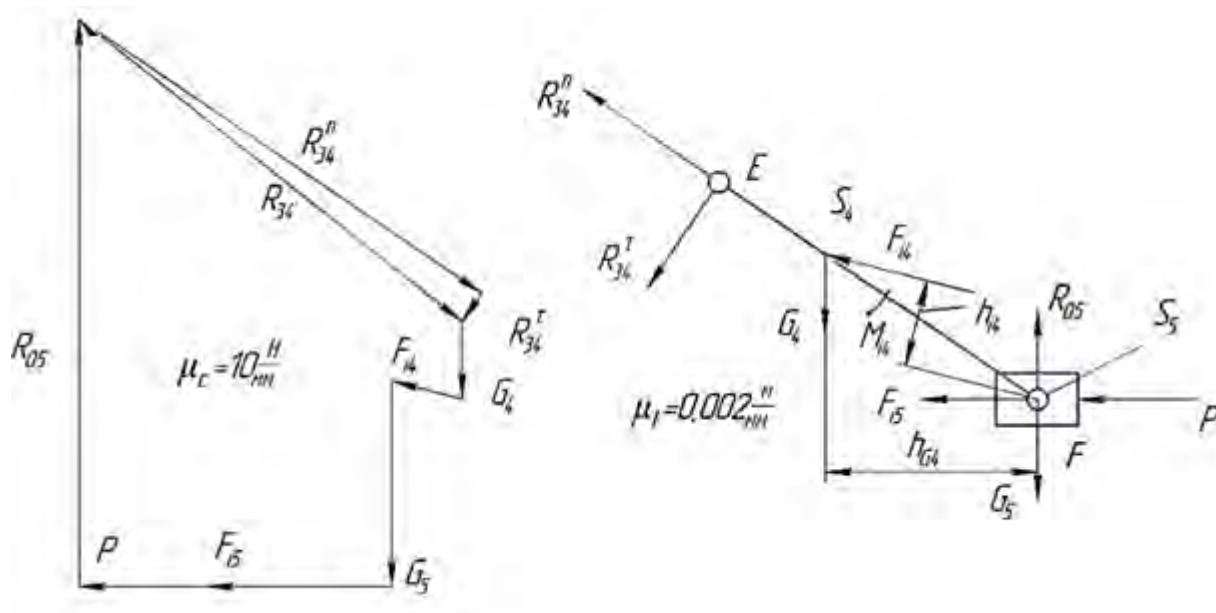


Рисунок 59

Для определения реакции во внутренней кинематической паре F группы, запишите уравнение равновесия сил, действующих на одно из звеньев группы, например, на 4 звено:

$$\vec{R}_{34} + \vec{G}_4 + \vec{F}_{i4} + \vec{R}_{54} = 0.$$

Неизвестным в этом уравнении является только вектор R_{54} , который в данном случае можно найти **на уже ранее построенном плане сил**. Началом вектора R_{54} будет конец вектора F_{i4} , а концом его будет начало вектора R_{34} (рисунок 60).

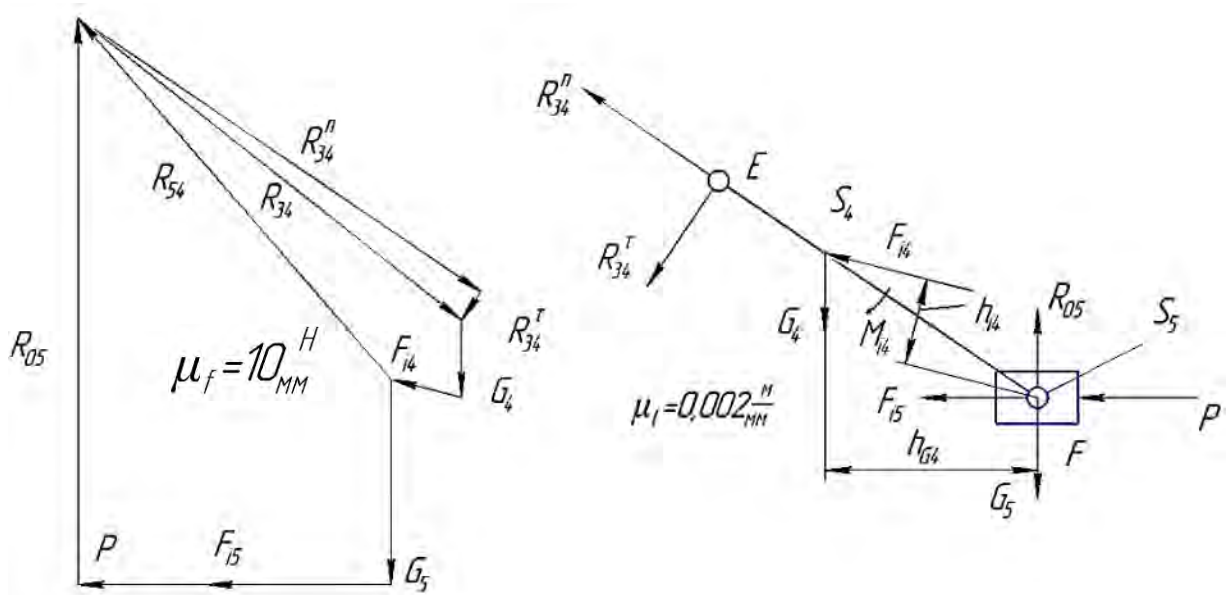


Рисунок 60

Создайте в КОМПАС-3D таблицу и заполните первую строку в соответствии с образцом (таблица 5). Измерьте векторы R_{34} , R_{45} и R_{05} на плане сил, умножьте на масштабный коэффициент μ_f и запишите в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты силового анализа

R_{01} , Н	R_{12} , Н	R_{23} , Н	R_{03} , Н	R_{34} , Н	R_{45} , Н	R_{05} , Н	$M_{уп}$, Нм
				950,5	930,1	1103,2	

Не изменяя масштабный коэффициент длины $\mu_l = 0,002 \frac{м}{мм}$ начертите группу Ассур 2–3 (рисунок 61).

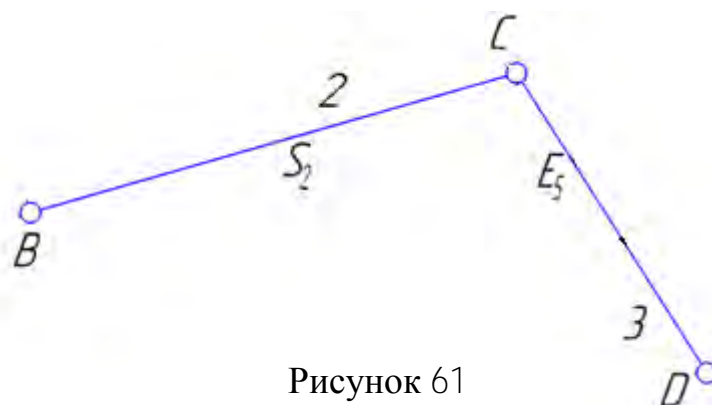


Рисунок 61

Приложите к звеньям группы 2-3 внешние нагрузки: реакцию R_{43} , которая направлена **противоположно** реакции R_{34} и силу тяжести G_2 (рисунок 62). Силой тяжести G_3 в данном конкретном случае можно пренебречь, так как масса звена 3 не задана (см. таблицу 1).

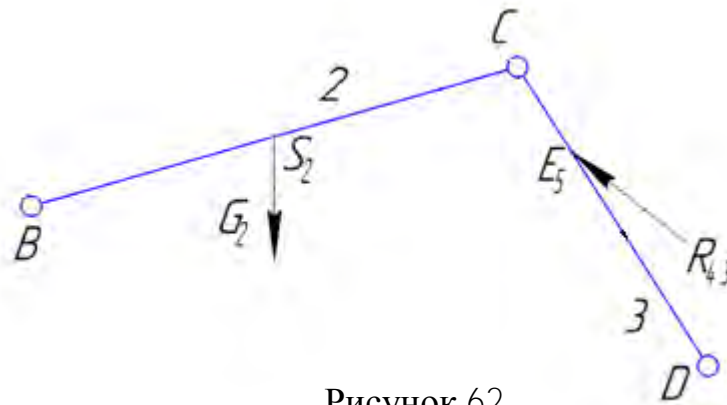


Рисунок 62

По этой же причине инерционные нагрузки приложите только к второму звену (рисунок 63). Сила инерции F_{i2} направлена **противоположно** вектору a_{S2} на плане ускорений, а момент сил инерции M_{i2} **противоположен** угловому ускорению ε_2 (см. рисунок 44).

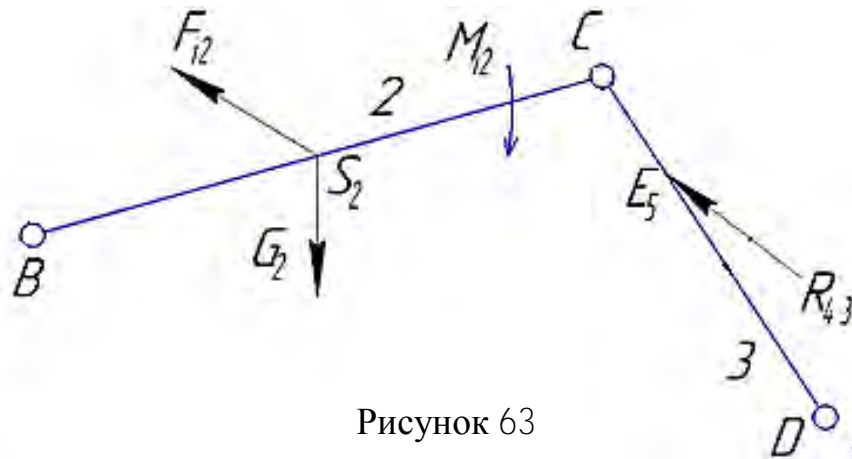


Рисунок 63

Покажите плечи сил, относительно общей точки C группы, и перейдите к определению тангенциальных составляющих R_{12}^t и R_{03}^t (рисунок 64).

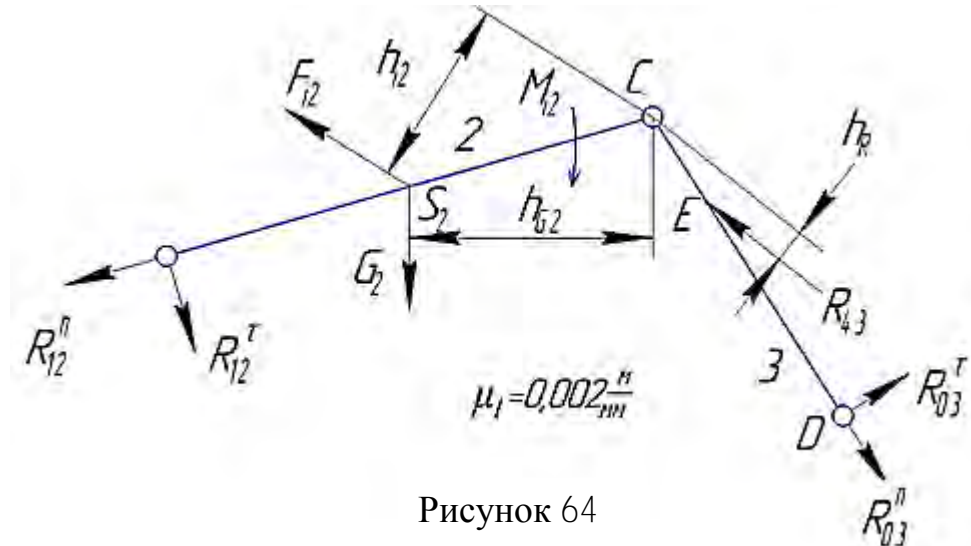


Рисунок 64

Определите длины плечей сил h_{G_2} , h_{i_2} и h_R . Для этого измерьте их на схеме и умножьте результаты измерений на масштабный коэффициент $\mu_l = 0,002 \frac{\text{м}}{\text{мм}}$). Получите: $h_{G_2} = 0,096 \text{ м}$; $h_{i_2} = 0,0741 \text{ м}$; $h_R = 0,0132 \text{ м}$.

Для определения тангенциальной составляющей R_{12}^t запишите уравнение равновесия моментов сил относительно точки C для второго звена:

$$\sum M_C = R_{12}^t \cdot l_{BC} + G_2 \cdot h_{G_2} - F_{i_2} \cdot h_{i_2} - M_{i_2} = 0.$$

Тангенциальная составляющая R_{12}^t равна:

$$\begin{aligned} -R_{12}^t &= \frac{G_2 \cdot h_{G_2} + F_{i_2} \cdot h_{i_2} - M_{i_2}}{l_{BC}} = \frac{200 \cdot 0,096 - 350 \cdot 0,0741 - 46,5}{0,2} = \\ &= -266,175 \text{ Н.} \end{aligned}$$

$$R_{12}^t = 266 \text{ Н.}$$

Запишите уравнение равновесия моментов сил относительно точки C для третьего звена:

$$\sum M_C = R_{03}^t \cdot l_{CD} - R_{43} \cdot h_R = 0.$$

Тангенциальная составляющая R_{03}^τ равна:

$$R_{03}^\tau = \frac{R_{43} \cdot h_R}{l_{CD}} = \frac{950,6 \cdot 0,0132}{0,14} = 89,3 \text{ Н.}$$

Примите масштабный коэффициент сил прежний $\mu_f = 10 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$.

Составьте векторное уравнение равновесия сил, действующих на всю группу Ассур 2–3 и запишите во второй строке модули известных векторов. Длины векторов на плане сил получите **делением** модулей векторов на **масштабный коэффициент** и запишите под значениями модулей сил в третьей строке.

$$\vec{R}_{12}^n + \vec{R}_{12}^\tau + \vec{G}_2 + \vec{F}_{i2} + \vec{R}_{43} + \vec{R}_{03}^\tau + \vec{R}_{03}^n = 0.$$

266	200	350	950,5	93,3	
26,6	20	35	95	9,3	

Скопируйте это уравнение в окно программы КОМПАС–3D.

Из произвольно выбранной точки последовательно отложите известные по величине и направлению векторы аналогично как при построении плана сил для группы Ассур 4–5 (рисунок 65).

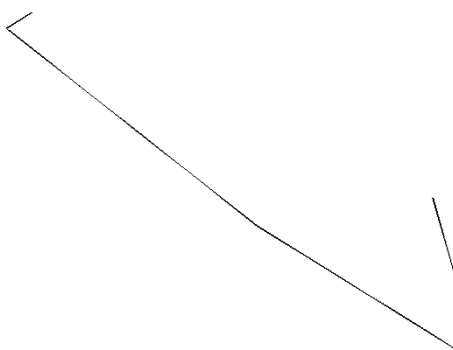


Рисунок 65

Через конец последнего вектора (R_{03}^τ) проведите вспомогательную прямую параллельно звену 3, а через начало первого вектора (\vec{R}_{12}^τ) проведите вспомогательную прямую параллельно звену 2 (рисунок 66).

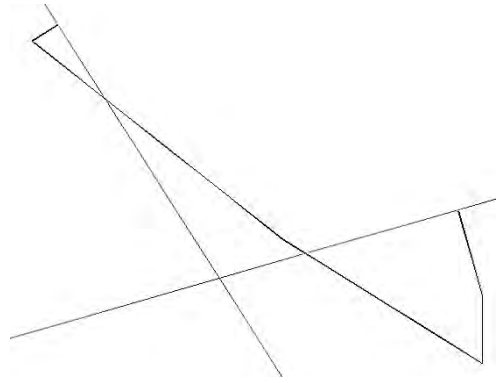


Рисунок 66

Соедините стрелкой точку пересечения вспомогательных линий с концом вектора R_{03}^{τ} . Соедините стрелкой конец вектора \vec{R}_{03}^{τ} с началом вектора \vec{R}_{12}^{τ} . Удалите вспомогательные линии. Расставьте остальные стрелки и обозначьте векторы (рисунок 67).

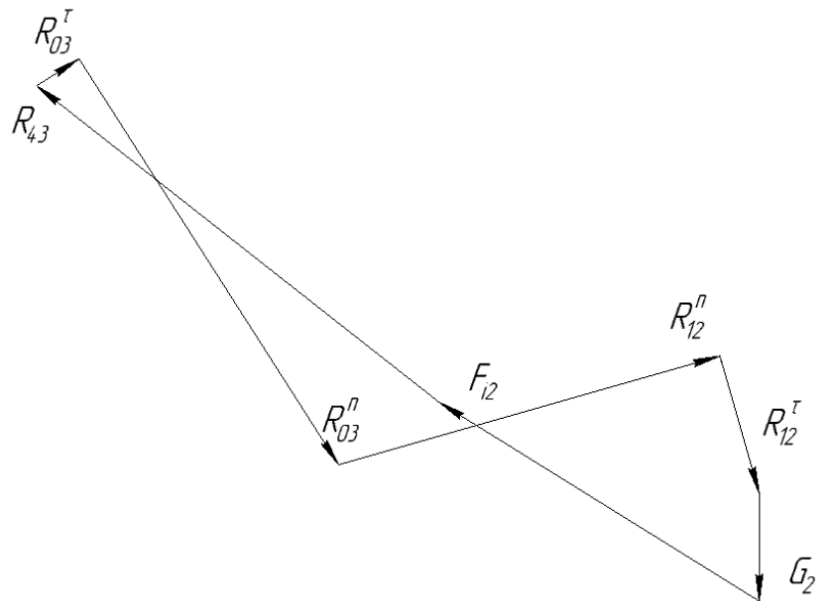


Рисунок 67

Соедините стрелкой начало вектора \vec{R}_{12}^n с концом вектора \vec{R}_{12}^τ . Соедините стрелкой начало вектора \vec{R}_{03}^τ с концом вектора \vec{R}_{03}^n . Обозначьте полученные векторы соответственно \vec{R}_{12} и \vec{R}_{03} (рисунок 68).

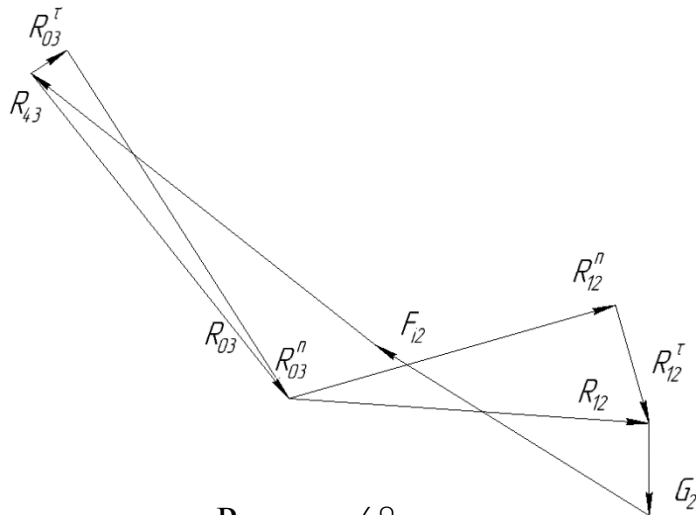


Рисунок 68

Найдите реакцию в шарнире C . Для чего запишите уравнение равновесия сил, действующих на коромысло EC :

$$\vec{R}_{23} + \vec{R}_{43} + \vec{R}_{03} = 0.$$

В этом уравнении неизвестным является вектор \vec{R}_{23} . Его начало, это конец вектора \vec{R}_{03} , а конец – это начало вектора \vec{R}_{43} . Отобразите вектор \vec{R}_{23} (рисунок 69).

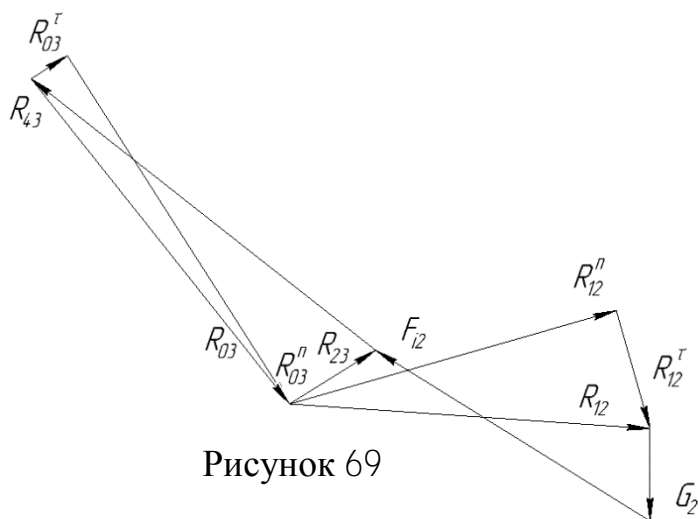


Рисунок 69

Измерьте длины векторов R_{12} , R_{23} и R_{03} на плане сил, умножьте их на масштабный коэффициент μ_f и соответственно получите: 782,4 Н; 219,6 Н; 899,7Н.

Полученные результаты запишите в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты силового анализа

R_{01} , Н	R_{12} , Н	R_{23} , Н	R_{03} , Н	R_{34} , Н	R_{45} , Н	R_{05} , Н	$M_{уп}$, Нм
	782,4	219,6	899,7	950,5	930,1	1103,2	

Для выполнения силового анализа входного кривошипа АВ начертите его не изменяя масштабный коэффициент длины $\mu_l = 0,002 \frac{м}{мм}$.

Проведите через точку В вспомогательную прямую параллельно вектору R_{12} . Приложите в точке В реакцию, направленную **противоположно** реакции R_{12} (см. рисунок 68).

Определите силу тяжести G_1 , как произведение массы m_1 на величину ускорения свободного падения $10 м/с^2$ ($G_1 = 10 \cdot 10 = 100 Н$). Приложите силу тяжести G_1 в точке А вертикально вниз. Приложите реакцию R_{01} в точке А и направьте её **произвольно** (рисунок 70).

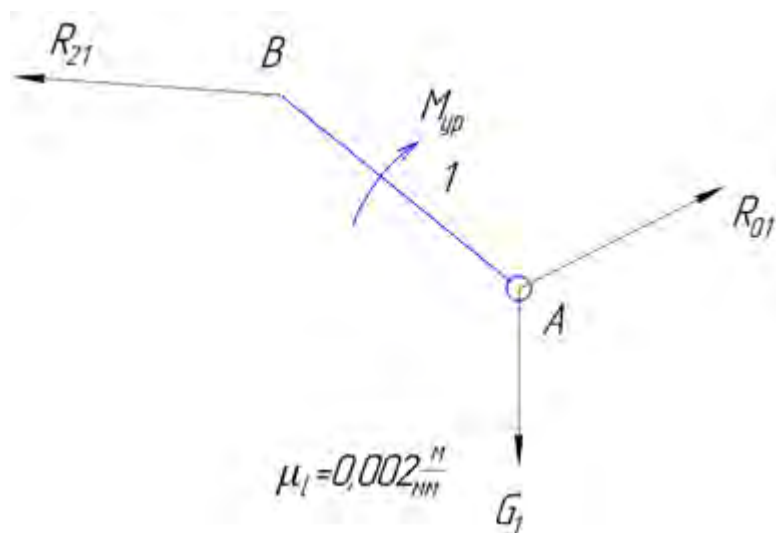


Рисунок 70

Векторное уравнение равновесия сил, действующих на кривошип, имеет вид:

$$\vec{R}_{21} + \vec{G}_1 + \vec{R}_{01} = 0.$$

$$\begin{matrix} 782,4 \\ 78,2 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 100 \\ 10 \end{matrix}$$

В данном уравнении имеется один неизвестный вектор R_{01} .

Из произвольной точки отложите вектор R_{21} длиной 78,2 мм (см. таблицу 5), а из его конца отложите вектор G_1 длиной 10 мм. Замыкающим будет искомым вектор R_{01} . Нанесите на план сил стрелки и обозначения (рисунок 71).

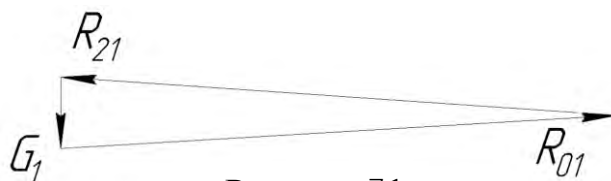


Рисунок 71

Измерьте вектор R_{01} , умножьте на масштабный коэффициент μ_f . Получите $78,15 \cdot 10 = 781,5$ Н.

Для **равновесия** кривошипа к нему должен быть приложен **внешний уравновешивающий момент сил** $M_{ур}$. Его модуль будет равен:

$$M_{ур} = R_{21} \cdot h_{21},$$

где h_{21} плечо силы R_{21} .

Для построения плеча нанесите на схему кривошипа две вспомогательные линии параллельно и перпендикулярно вектору R_{21} (рисунок 72).

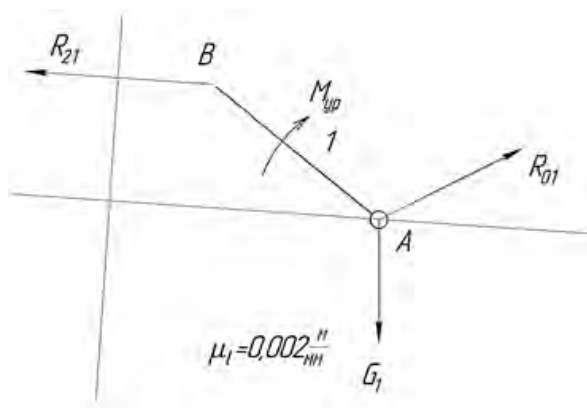


Рисунок 72

Проставьте размерную линию по вспомогательной линии перпендикулярной вектору R_{21} , используя привязки «Пересечение» (см. рисунок 54). Надпишите размерную линию. Проведите выноску для размерной линии тонкой линией по параллельной вспомогательной прямой. Удалите вспомогательные прямые (рисунок 73).

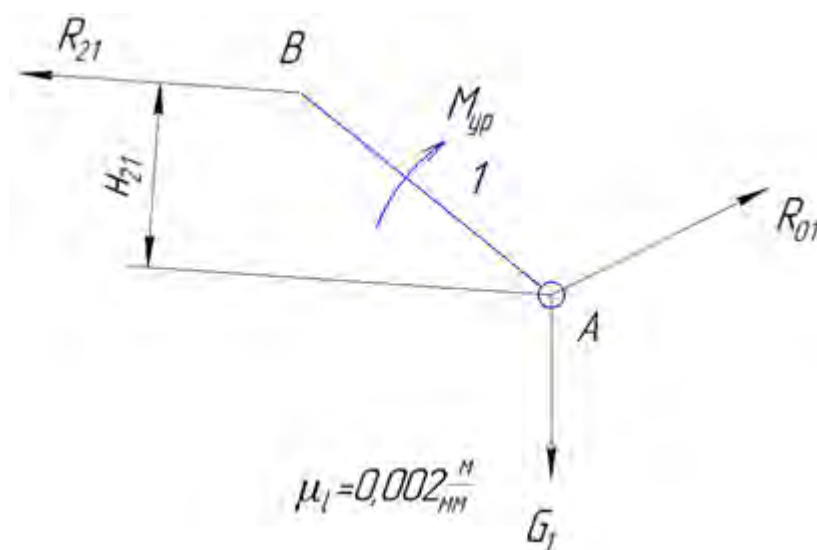


Рисунок 73

Измерьте длину плеча и умножьте её величину на масштабный коэффициент длины $\mu_l = 0,002 \frac{\text{м}}{\text{мм}}$.

$$h_{21} = 28,8 \cdot 0,002 = 0,0576 \text{ м.}$$

Вычислите модуль уравнивающего момента:

$$M_{\text{ур}} = R_{21} \cdot h_{21} = 782,4 \cdot 0,0576 = 45,05 \text{ Нм.}$$

Запишите полученные значения R_{01} и $M_{\text{ур}}$ в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты силового анализа

R_{01} , Н	R_{12} , Н	R_{23} , Н	R_{03} , Н	R_{34} , Н	R_{45} , Н	R_{05} , Н	$M_{\text{ур}}$, Нм
782,5	782,4	219,6	899,7	950,5	930,1	1103,2	45,05

Кинестатический анализ механизма в пятом положении ведущего звена выполнен.

4 ПЕЧАТЬ ГРАФИЧЕСКИХ ФАЙЛОВ ИЗ КОМПАС-3D

Созданные в КОМПАС-3D графические материалы необходимо вывести на печать в масштабе 1:1. Для этого:

1 Расположите объекты для печати на фрагменте компактно, так чтобы они в масштабе 1:1 помещались на листе, который поддерживается вашим принтером, например А4.

2 Выделите все объекты, которые будут выведены на печать.

3 Выполните команду **Файл, Печать**.

4 В окне диалога **Печать документа** (рисунок 74) в списке **Подгонка масштаба листов** выберите **Обрезать по размеру страницы**. В поле **Масштаб листов** впишите 1.

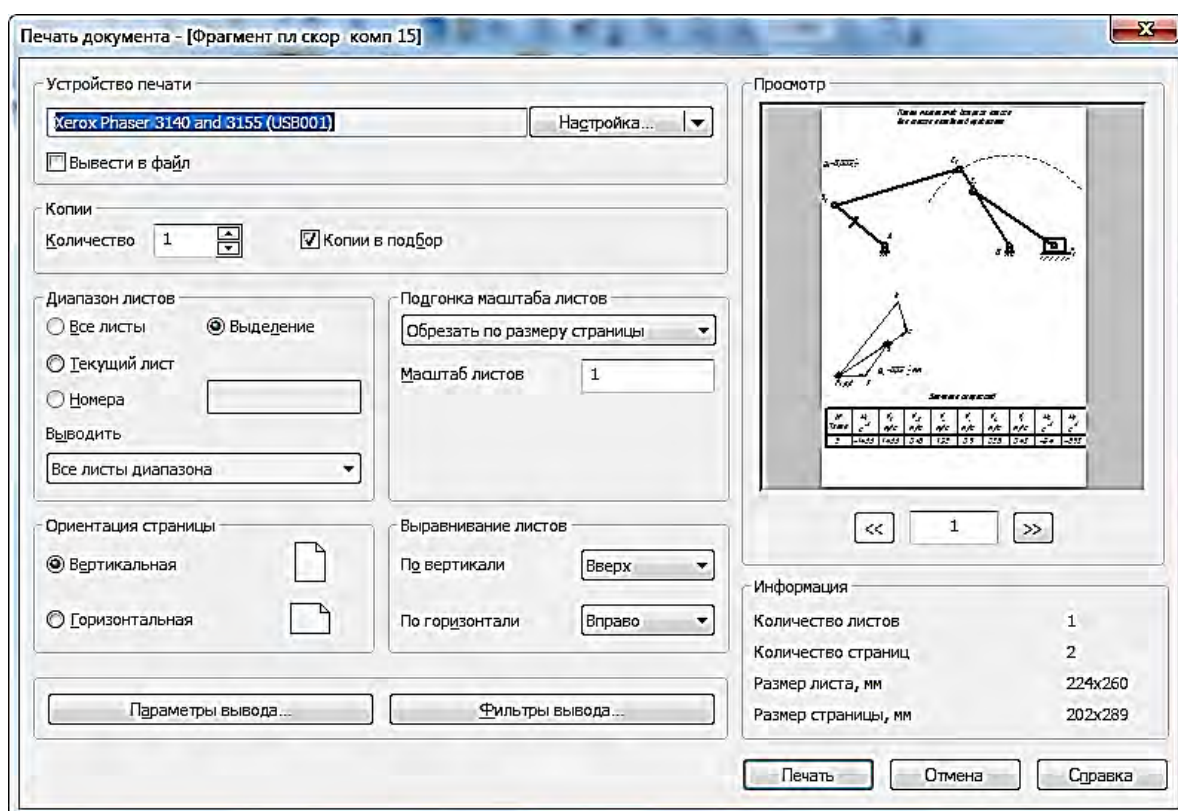


Рисунок 74

5 Щелчком на кнопке **Параметры вывода** откройте окно диалога **Настройка параметров вывода** (рисунок 75).

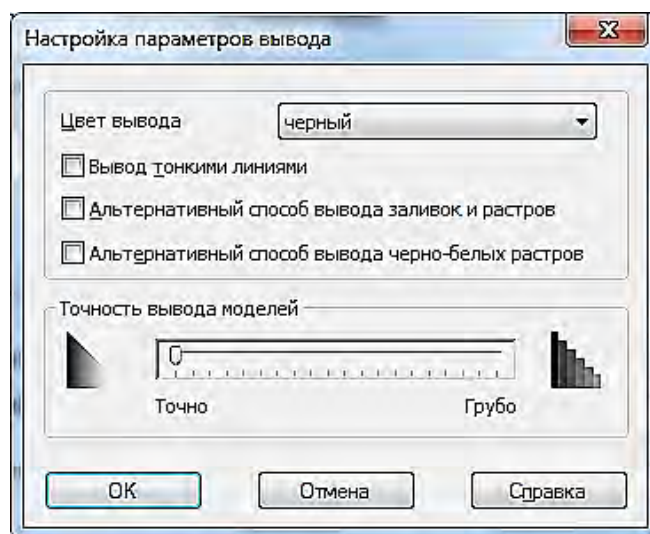


Рисунок 75

6 В окне диалога **Настройка параметров вывода** установите: **Цвет вывода** черный, **Точность вывода моделей** Точно. **ОК**.

7 В окне диалога **Печать документа** щелкните на кнопке **Печать**.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Одиночко, В.Ф. Использование программы КОМПАС-3D для построения планов рычажного механизма. Учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства». Учебное электронное издание. Регистрационный номер БНТУ/МТФ 32–46.2015, 26 с.
2. <http://kompas.ru/kompas-3d-1t/download/>. КОМПАС-3D-LT V12
3. <https://www.youtube.com/watch?v=z1yJyclU26o>. Построение планов сил.
4. https://www.youtube.com/watch?v=0O007_wrDWE Построение планов ускорений.
5. https://www.youtube.com/watch?v=FGf7az_Fobs Построение планов скоростей.
6. <http://www.twirpx.com/file/1512443/>. АСКОН. КОМПАС-3D V15. Руководство пользователя