

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПЛОСКОГО МЕХАНИЗМА

Методические указания
к практическим занятиям

Составители Е.В. Евтюшкин, О.Г. Волокитин

Томск 2014

Кинематическое исследование движения плоского механизма: методические указания к практическим работам / Сост. Е.В. Евтюшкин, О.Г. Волокитин. Томск: Изд-во Томского архитектурно-строительного университета, 2014. – 32 с.

Рецензент к.т.н., доц. Симоненко В.Г.
Редактор В.А. Литвинова

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Прикладная механика и основы конструирования» для студентов специальности 291300 «Механизация и автоматизация в строительстве».

Печатается по решению методического семинара кафедры прикладной механики и материаловедения №6 от 18.02.2014 г.

с 01.09.2014
до 01.09.2019

Оригинал макет подготовлен авторами.

Подписано в печать
Формат 60×90/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.
Уч.–изд. л. _____. Тираж ___ экз. Заказ №

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15

1. ВВЕДЕНИЕ

Методические указания составлены в помощь студентам (специалистам и бакалаврам), обучающимся по направлениям 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений», 190100 «Наземные транспортно-технологические комплексы», 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» к изучению темы «Определение положения центра тяжести твердого тела»

В данных методических указаниях излагается необходимая теория, приводится пример решения задач к выполнению расчетно-графической работы (РГР).

В процессе выполнения РГР формируются следующие общекультурные и профессиональные компетенции, предусмотренные Федеральным государственным общеобразовательным стандартом (ФГОС-3):

ОК-1 – владение культурой мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей её достижения;

ОК-8 – осознание социальной значимости своей будущей профессии, овладение высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности;

ПК-1 – способность использовать законы и методы математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении профессиональных задач.

Работа над РГР способствует приобретению студентом

– знаний расчетных схем наземных транспортно-технологических машин; принципов расчета элементов конструкций при рассмотрении элементов в Декартовом пространстве;

– умений пользоваться полученными теоретическими знаниями и осуществлять сборочно-разборочные операции при расчете элементов конструкций; пользоваться литературой по направлению своей профессии;

– навыков публичной речи, аргументации, ведения дискуссии и полемики, практического анализа различного рода рассуждений; использовании методов построения математической модели типовых профессиональных задач и содержательной интерпретации полученных результатов; владения основными методами исследования элементов конструкций;

– использования инженерной терминологии в области наземных транспортно-технологических машин и комплексов; владении методами определения основных эксплуатационных свойств и характеристик, наземных транспортно-технологических машин и комплексов элементов пространственных конструкций;

При изучении раздела кинематика студенты выполняют расчетно-графическую работу К-2 на тему «Плоскопараллельное движение твердого тела». Плоскопараллельным (или плоским движением) твердого тела называется такое движение, при котором каждая точка тела движется в некоторой плоскости параллельной заданной неподвижной плоскости. Целью работы является определение угловых скоростей и угловых ускорений звеньев плоского механизма и определение скоростей и ускорений точек этого механизма.

Скорости определяются с использованием плана скоростей и мгновенного центра скоростей. Ускорения определяются с использованием плана ускорений и графоаналитическим методом. Так как в данной работе используются графические методы, то для ее выполнения целесообразно применять компьютерные программы. В данных методических указаниях рассматривается применение для исследования движения плоского механизма системы автоматизированного проектирования **КОМПАС 3D**.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ И УСКОРЕНИЙ ТОЧЕК МЕХАНИЗМА

2.1. Теорема о скоростях точек плоской фигуры

Для определения скоростей точек плоской фигуры можно использовать теорему о скоростях точек плоской фигуры. Согласно этой теореме скорость любой точки определяется как векторная сумма скорости полюса и скорости точки, которую она получает при вращательном движении фигуры относительно оси проходящей через полюс перпендикулярно плоскости фигуры.

$$\bar{V}_B = \bar{V}_A + \bar{V}_{B/A} \quad (1)$$

За полюс принимается точка, скорость которой известна. Скорость точки относительно полюса определяется как при вращательном движении. То есть по модулю она равна произведению угловой скорости фигуры на расстояние от полюса до точки, а вектор скорости направлен перпендикулярно отрезку, соединяющему точку с полюсом по направлению вращения фигуры (иначе говоря, таким образом, чтобы при повороте на 90 градусов по направлению указанному дуговой стрелкой угловой скорости он указал бы на полюс).

$$V_{B/A} = \omega \cdot AB \quad (2)$$

2.2. План скоростей

План скоростей твердого тела (звена механизма) - это пучок лучей, показывающий распределение скоростей точек некоторого твердого тела (звена механизма) в данный момент времени.

План скоростей механизма представляет собой совокупность планов скоростей его звеньев.

Свойства плана скоростей:

1. Отрезки, соединяющие полюс плана скоростей (как правило, обозначаемый буквой «р») с другими его точками, соответствуют скоростям одноименных точек механизма. Отрезки, соединяющие две некоторые точки плана скоро-

- стей, соответствуют скорости одной точки механизма относительно другой.
2. Отрезки плана скоростей перпендикулярны одноименным отрезкам схемы механизма, так как скорость одной точки относительно другой перпендикулярна соединяющему их отрезку.
 3. Фигуры плана скоростей подобны одноименным фигурам схемы механизма, так как расстояния между точками плана скоростей определяется расстояниями между соответствующими точками механизма и угловой скоростью звена, которому эти точки принадлежат. Отметим, что из подобия фигур следует, что точки плана скоростей делят его отрезки на части, длины которых пропорциональны длинам одноименных отрезков схемы механизма.

2.3. Мгновенный центр скоростей

Мгновенным центром скоростей (МЦС) называется такая неизменно связанная с плоской фигурой точка, скорость которой в данный момент времени равна нулю.

Доказано, что в любой момент времени такая точка существует и при этом она единственна.

Если положение МЦС определено, то можно, приняв его за полюс определить скорости точек плоской фигуры. Так как МЦС неподвижен, то формула для определения скорости по теореме о скоростях точек плоской фигуры упростится.

$$V_A = \omega \cdot AP \quad (3)$$

Таким образом, скорости точек определяются таким образом, как будто фигура вращается относительно оси проходящей через МЦС перпендикулярно плоскости фигуры.

Способ определения положения МЦС зависит от типа рассматриваемой задачи. Для решения данного задания достаточно использование одного способа, который основан на том, что скорости точек должны быть перпендикулярны отрезкам, соединяю-

щим их с МЦС. Таким образом, если известно направление векторов скоростей двух точек плоской фигуры, то положение МЦС можно определить как пересечение перпендикуляров к этим векторам.

2.4. План ускорений

План ускорений твердого тела (звена механизма) - это пучок лучей, показывающий распределение ускорений точек некоторого твердого тела (звена механизма) в данный момент времени.

Свойства плана ускорений аналогичны свойствам плана скоростей, за исключением того, что его отрезки не перпендикулярны одноименным отрезкам схемы механизма. Для построения плана ускорений обычно пользуются теоремой об ускорениях точек плоской фигуры. Согласно этой теореме ускорение любой точки плоской фигуры определяется как векторная сумма ускорения полюса и ускорения точки, которое она получает при вращательном движении фигуры относительно оси проходящей через полюс перпендикулярно плоскости фигуры.

$$\bar{a}_B = \bar{a}_A + \bar{a}_{B/A}^n + \bar{a}_{B/A}^\tau \quad (4)$$

Нормальное и касательное ускорения точки относительно полюса определяется как при вращательном движении. Нормальное ускорение по модулю определяется, как произведение квадрата угловой скорости на расстояние от точки до полюса и направлено параллельно отрезку, соединяющему точку с полюсом по направлению к полюсу, а касательное определяется, как произведение углового ускорения фигуры на расстояние до полюса и направлено перпендикулярно отрезку, соединяющему точку с полюсом по направлению углового ускорения (иначе говоря, таким образом, чтобы при повороте на 90 градусов по направлению указанному дуговой стрелкой углового ускорения оно указало бы на полюс).

$$a_{B/A}^n = \omega^2 \cdot AB$$

$$a_{B/A}^\tau = \varepsilon \cdot AB$$

3. ПРИМЕР

В качестве примера рассмотрим механизм, изображенный на рис. 1 при $\varphi=60^\circ$. Необходимо в указанном положении механизма определить скорости точек механизма и угловые скорости звеньев, используя план скоростей и мгновенные центры скоростей, а также ускорения точек механизма и угловые скорости звеньев используя план ускорений.

3.1. Построение плана скоростей

Определим скорость точки А:

$$V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 62,8 \text{ см/с}$$

Выбираем на листе произвольную точку o , от которой начнем построение плана скоростей. Выбираем масштаб ($1 \text{ см} = 5 \text{ см/с}$) и проводим отрезок oa , соответствующий скорости точки А ($oa = 62,8/5=12,6 \text{ см}$, $oa \perp OA$).

Определим положение точки b . Так как отрезки ab и ob плана скоростей должны быть перпендикулярны одноименным отрезкам схемы механизма, то точка b является пересечением прямых проведенных из точек p и a , перпендикулярно отрезкам O_1B и AB , соответственно.

Для определения положения точек c и d построим на основе отрезка ab фигуру $abcd$ подобную фигуре $ABCD$. Необходимые для построения размеры можно вычислить из пропорции:

$$\frac{ab}{AB} = \frac{ac}{AC} = \frac{cd}{CD}$$

(размер ab измеряется на плане скоростей).

Положение точки e определим как пересечение прямой проведенной из точки d перпендикулярно отрезку DE и вертикали проведенной из точки o , так как скорость точки E направлена вертикально.

Для определения скоростей точек механизма необходимо измерить в выбранном масштабе отрезки плана скоростей, соединяющие точку p с остальными точками плана скоростей.

Измерив, остальные отрезки плана скоростей, можно определить угловые скорости звеньев механизма.

$$\omega_{AB} = \frac{ab}{AB};$$

$$\omega_{O_1B} = \frac{pb}{OB};$$

$$\omega_{DE} = \frac{de}{DE}.$$

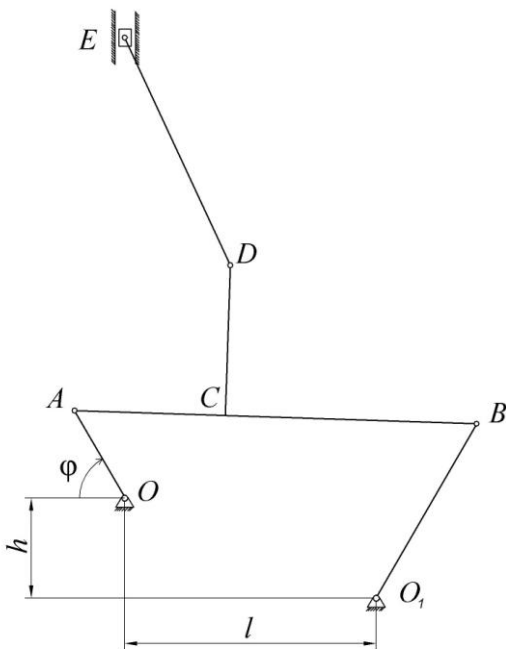


Рис. 1. Заданная схема механизма

3.2. Определение скоростей точек и угловых скоростей звеньев с использованием мгновенного центра скоростей

Определим положения мгновенных центров скоростей звеньев механизма совершающих плоское движение (звенья $ABCD$ и DE) как пересечение перпендикуляров к скоростям точек этих звеньев.

Рассмотрим звено $ABCD$. Точки A и B этого звена принадлежат также звеньям OA и O_1B , которые совершают вращательные движения. Следовательно, скорости точек A и B будут направлены перпендикулярно отрезкам OA и O_1B , соответственно. Таким образом, МЦС звена $ABCD$ (точка P_{ABCD}) является точка пересечения прямых OA и O_1B .

Рассмотрим звено DE . Скорость точки E может быть направлена только вертикально. Точка D принадлежит звену $ABCD$, МЦС которого определен. Скорость точки D направлена перпендикулярно отрезку, соединяющему точку с МЦС. Таким образом, МЦС звена DE (точка P_{DE}) является точка пересечения горизонтали проведенной через точку E и прямой DP_{ABCD} .

Формулы для определения скоростей точек механизма, а также угловых скоростей звеньев механизма приведены в п. 4.2.

3.3. Построение плана ускорений

Определим ускорение точки A . Так как звено OA вращается равномерно, то:

$$a_A = \omega^2 \cdot OA$$

Запишем два уравнения для определения ускорения точки B . Первое - исходя из того, что она принадлежит звену O_1B , совершающему вращательное движение:

$$\vec{a}_B = \vec{a}_B^n + \vec{a}_B^\tau \quad (5)$$

Второе - исходя из того, что точка принадлежит звену AB , которое совершает плоское движение, приняв при этом за полюс точку A :

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{B/A}^n + \vec{a}_{B/A}^\tau \quad (6)$$

Для ускорения точки E запишем уравнение, взяв за полюс точку D :

$$\bar{a}_E = \bar{a}_D + \bar{a}_{C/D}^n + \bar{a}_{C/D}^\tau. \quad (7)$$

Так как ранее были определены угловые скорости всех звеньев, то можно определить все нормальные ускорения, содержащиеся в уравнениях (5-7):

$$a_B^n = \omega_{O_2B}^2 \cdot O_2B;$$

$$a_{B/A}^n = \omega_{ABCD}^2 \cdot AB;$$

$$a_{E/D}^n = \omega_{DE}^2 \cdot DE.$$

Перейдем к построению плана ускорений. Принимаем масштаб чертежа ($1 \text{ см} = 20 \text{ см/с}^2$). Отмечаем произвольно на листе точку o_1 – полюс плана ускорений, от которой начнутся построения. Откладываем от точки отрезок o_1a_1 , соответствующий ускорению точки A (длина отрезка $197,4:20=9,87 \text{ см}$, отрезок откладывается параллельно отрезку OA , в направлении от точки A к точке O).

Определяем ускорение точки B . Согласно уравнениям (5) и (6) откладываем отрезки o_1k_1 и o_1k_2 (точки k_1 и k_2 – промежуточные, их можно обозначить любыми буквами, отсутствующими на схеме механизма), соответствующие нормальным ускорениям \bar{a}_B^n и $\bar{a}_{B/A}^n$. Величины касательных ускорений неизвестны, а их направления перпендикулярны нормальным ускорениям. Таким образом, для определения положения точки b_1 плана ускорений необходимо провести из точек k_1 и k_2 прямые, перпендикулярные o_1k_1 и o_1k_2 и найти точку их пересечения.

Положение точек c_1 и d_1 определяется из подобия фигур плана ускорений и схемы механизма (аналогично определению положения точек c и d плана скоростей).

Отложим отрезок d_1k_3 , соответствующий вектору нормального ускорения точки E относительно точки D , а из точки k_3 прямую, перпендикулярную d_1k_3 . Ускорение точки E направлено верти-

кально, следовательно, точка e_1 является пересечением прямой проведенной из точки k_3 и вертикали проведенной из точки o_1 .

Измеряя в соответствующем масштабе отрезки, соединяющие точку o_1 с другими точками плана ускорений, определим ускорения точек механизма.

4. ВЫПОЛНЕНИЕ ПОСТРОЕНИЙ В КОМПАС 3D.

4.1. Построение механизма

Изображаем отрезок OA (рис. 2). Используем команду «ОТРЕЗОК»: от произвольной точки листа откладываем горизонтальный отрезок (при этом должен быть включен режим «ОРТО»), требуемую длину набираем на клавиатуре. Далее используем команду «ПОВОРОТ»: выделяем точку, вокруг которой необходимо произвести вращение, и набираем значение угла поворота в градусах (если поворот производится по часовой стрелке, то значение угла вводится со знаком минус).

Для определения положения точки O_1 откладываем от точки O два отрезка: горизонтальный и вертикальный, требуемой длины (рис. 3).

Используя команду «ОКРУЖНОСТЬ», строим две окружности с центрами в точках A и O_1 и радиусами равными отрезкам AB и O_1B , соответственно (рис. 4). На пересечении окружностей получаем точку B , после чего проводим отрезки AB и O_1B и удаляем ненужные элементы: горизонтальный и вертикальный отрезки и обе окружности (рис. 5).

Для нахождения точки C откладываем вдоль отрезка AB от точки A отрезок требуемой длины. Для нахождения точки D поворачиваем этот отрезок вокруг точки C на 90 градусов (рис. 6).

Положение точки E определяем как пересечение вертикали проведенной через точку O (при этом кнопка «ОРТО» должна быть нажата) и окружности с центром в точке D и радиусом равным DE (рис. 7). После определения положения точки удаляются ненужные элементы (окружность и вертикаль) (рис.8).

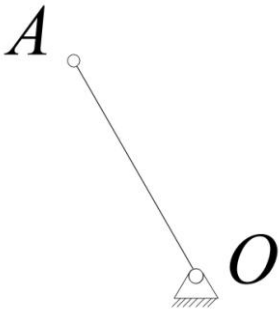


Рис. 2. Построение механизма: точка A

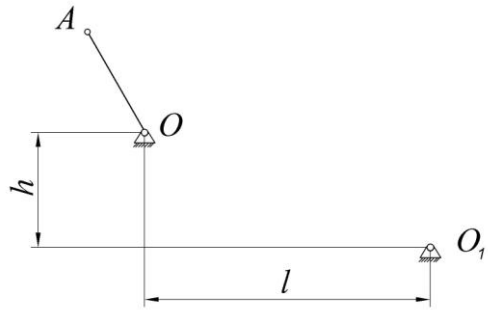


Рис. 3. Построение механизма: точка O_1

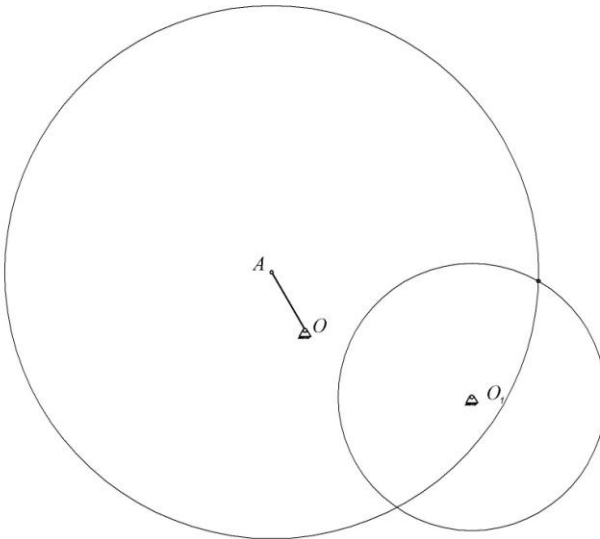


Рис. 4. Построение механизма: точка B

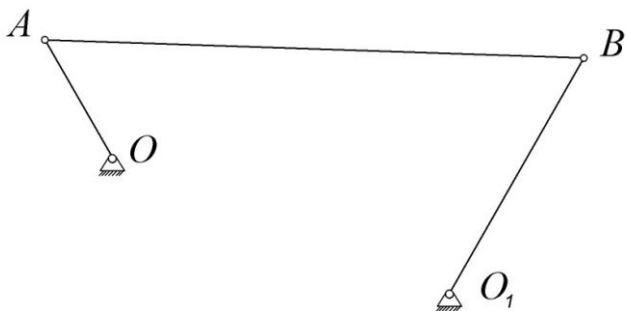


Рис. 5. Построение механизма: отрезки AB и O_1B

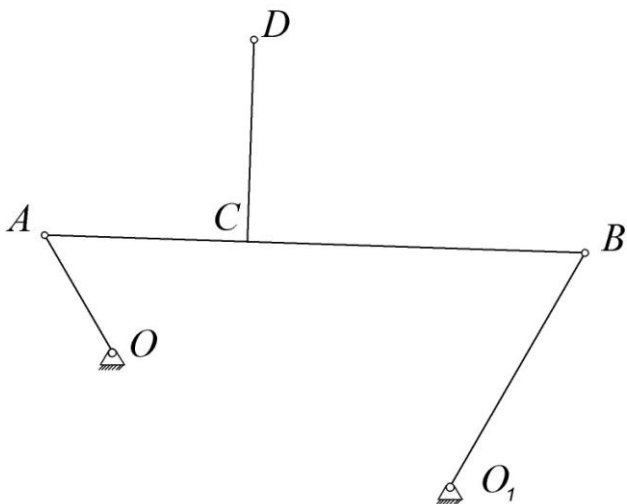


Рис. 6. Построение механизма: точки C и D

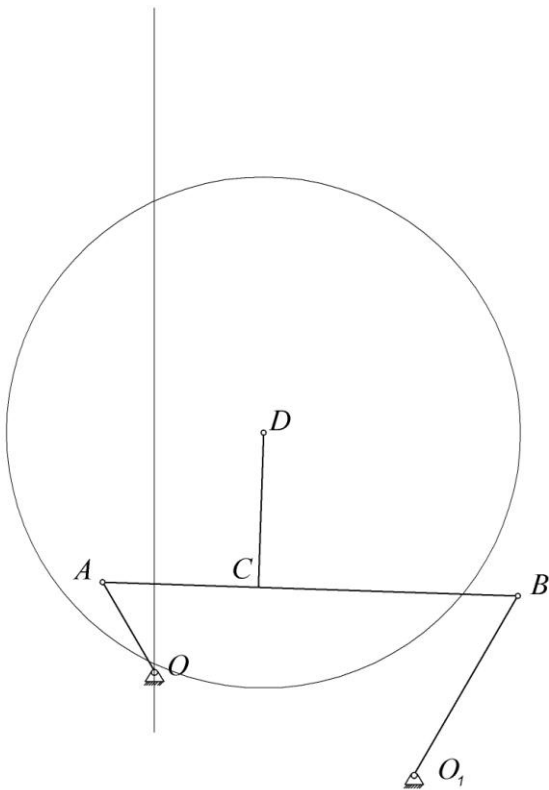


Рис. 7. Построение механизма: точка E

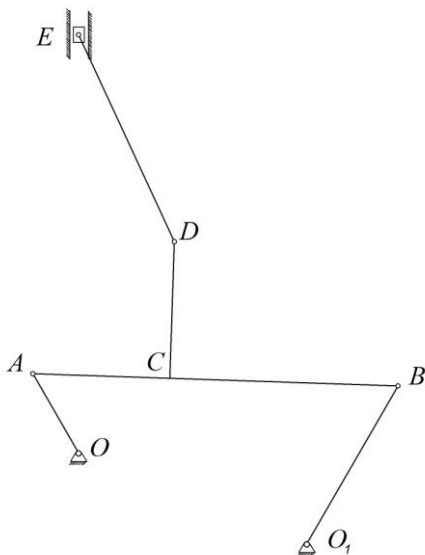


Рис. 8. Построение механизма

4.2. Построение плана скоростей.

Построение начинаем с изображения отрезка oa , перпендикулярного OA . Копируем отрезок OA и используем команду «ПОВОРОТ»: выделяем одну из точек скопированного отрезка и набираем значение угла (90°). Для того чтобы длина отрезка соответствовала в масштабе скорости точки A , необходимо использовать команду «ОТРЕЗОК», отметив в качестве его начала точку o и записав значение его длины (рис. 9).

Для определения положения точки b проведем перпендикуляры к отрезкам O_1B и AB . Копируем отрезок O_1B , совмещая точку O_1 с точкой o плана скоростей, и поворачиваем на 90° вокруг этой точки. Повторяем то же самое с отрезком AB (рис.10). Если про-

веденные перпендикуляры не пересеклись, то необходимо продлить один или оба отрезка «растянув» их. Это удобно сделать, используя команду «УДЛИНИТЬ ДО БЛИЖАЙШЕГО ОБЪЕКТА». Выступающие за точку пересечения части отрезков необходимо удалить. Для этого можно использовать команду «УСЕЧЬ КРИВУЮ» (рис. 11).

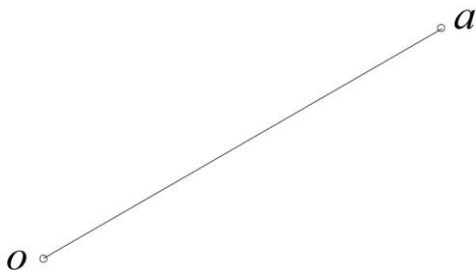


Рис. 9. Построение плана скоростей: точка *a*

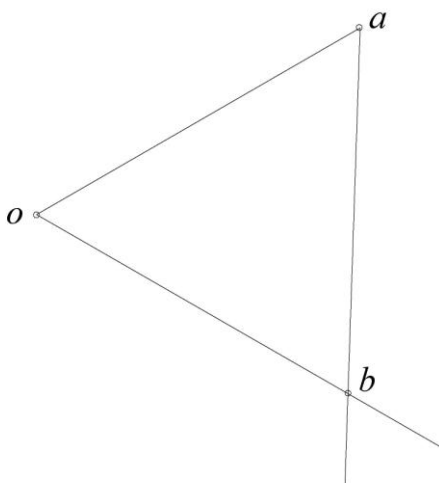


Рис. 10. Построение плана скоростей: точка *b*

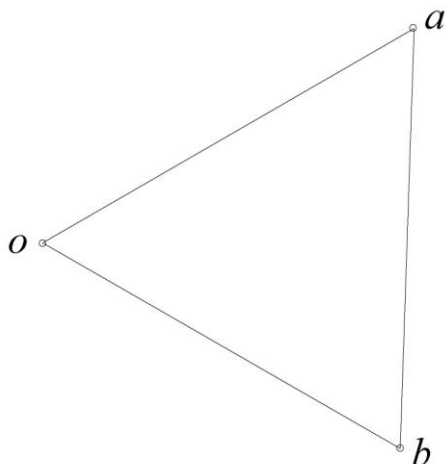


Рис. 11. Построение плана скоростей: после удаления выступающих частей отрезка

Используя команду «ЛИНЕЙНЫЙ РАЗМЕР» определяем размер отрезка ab . Из пропорции находим длину отрезка ac и откладываем его по отрезку ab .

Для определения положения точки d проведем отрезок bc и повернем его вокруг точки c (рис. 12). После определения положения указанных точек соединяем их с полюсом.

Для определения положения точки e копируем отрезок DE и совместив точку D с точкой d поворачиваем его на 90° . Включив режим «ОРТО» проводим вертикальную линию через точку o . Находим пересечение данной линии и перпендикуляра к отрезку DE) (рис 14).

После завершения построения плана скоростей определяем значения скоростей точек механизма. Для этого необходимо измерить отрезки плана скоростей исходящие из точки o (ob , oc , od и oe), которые в выбранном масштабе равны скоростям точек механизма (это можно сделать при помощи команды «выровненный»). В приведенном примере (рис.15):

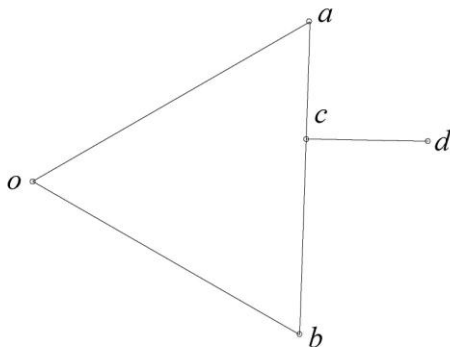


Рис. 12. Построение плана скоростей: точки c и d

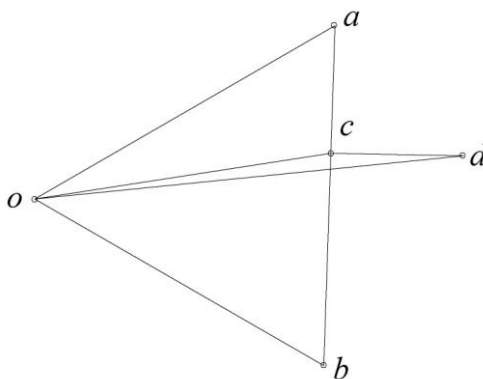


Рис. 13. Построение плана скоростей: соединяем точки с полюсом

$$V_B = 60,43 \text{ см/с};$$

$$V_C = 54,86 \text{ см/с};$$

$$V_D = 78,07 \text{ см/с};$$

$$V_E = 28,54 \text{ см/с}.$$

Определим угловые скорости звеньев:

$$\omega_{ABCD} = ab/AB = 61,6/80 = 0,77 \text{ с}^{-1}$$

$$\omega_{O_1B} = ob/O_2B = 60,43/40 = 1,51 \text{ с}^{-1}$$

$$\omega_{DE} = de/DE = 85,56/50 = 1,71 \text{ с}^{-1}.$$

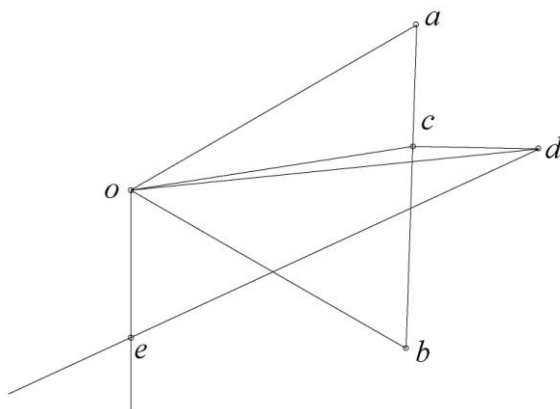


Рис. 14. Построение плана скоростей: точка e

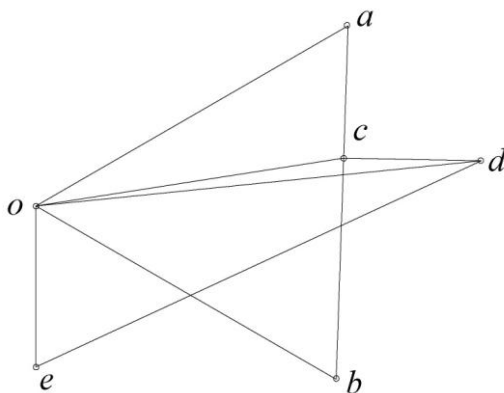


Рис. 15. План скоростей

4.3. Определение положений мгновенных центров скоростей

Для определения положения точки P_1 (МЦС звена $ABCD$) необходимо найти точку пересечения прямых OA и O_1B . Для этого необходимо выделить один из отрезков и перенести курсором одну из его крайних точек несколько дальше предполагаемого места пересечения. Далее используя команду «УДЛИНИТЬ ДО БЛИЖАЙШЕГО ОБЪЕКТА» продляем до пересечения второй отрезок: выбираем команду и «щелкаем» по отрезку, который необходимо продлить (рис. 16). Для удаления лишней части первого отрезка (выходящей за точку пересечения) используем команду «УСЕЧЬ КРИВУЮ»: нажимаем соответствующую кнопку и «щелкаем» по той части отрезка, которую необходимо удалить (рис. 17).

Соединяем с найденным МЦС остальные точки механизма: точки C и D (рис. 18).

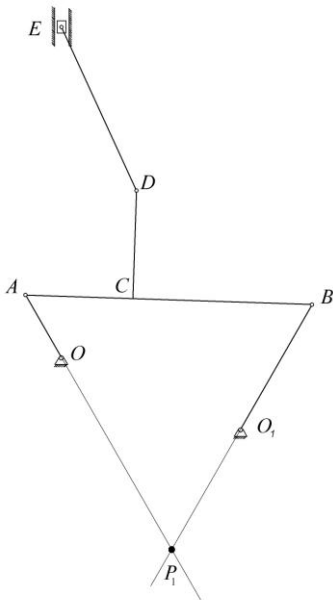


Рис. 16. Определение положения МЦС первого звена

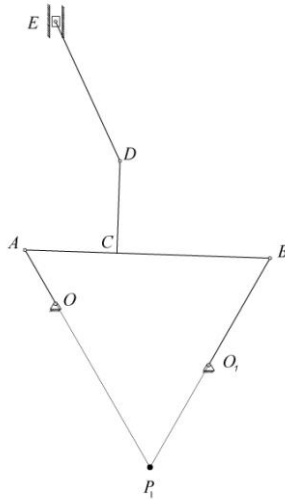


Рис. 17. Определение положения МЦС первого звена: после удаления выступающих частей отрезка

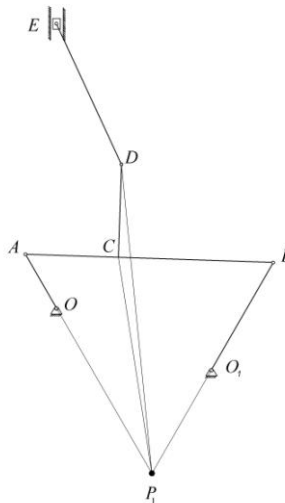


Рис. 18. Определение положения МЦС первого звена: соединяем МЦС с точками механизма

Для определения положения точки P_2 находим пересечение прямой P_1D и горизонтали проведенной через точку E . Для этого сначала, включив режим «ОРТО», проводим горизонтальный отрезок несколько дальше точки предполагаемого пересечения (рис. 19), а потом, используя, как при нахождении точки P_1 , команды «УДЛИНИТЬ ДО БЛИЖАЙШЕГО ОБЪЕКТА» и «УСЕЧЬ КРИВУЮ», завершаем чертеж (рис. 20).

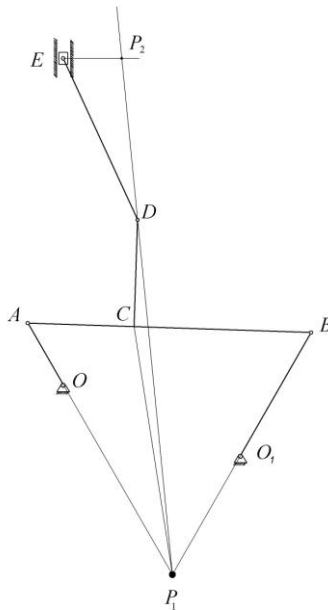


Рис. 19. Определение положения МЦС второго звена

Определим скорости точек и угловые скорости звеньев механизма:

$$\omega_{ABCD} = V_A / AP_1 = 62.8 / 81.32 = 0.772 \text{ с}^{-1};$$

$$V_B = \omega_{ABCD} \cdot BP_1 = 0,772 \cdot 78,1 = 60,31 \text{ см/с};$$

$$\omega_{O_1B} = V_B / O_1B = 60,31 / 40 = 1,508 \text{ с}^{-1};$$

$$V_C = \omega_{ABCD} \cdot CP_1 = 0,772 \cdot 70,41 = 54,37 \text{ см/с};$$

$$V_D = \omega_{ABCD} \cdot DP_1 = 0,772 \cdot 99,26 = 76,65 \text{ см/с};$$

$$\omega_{DE} = V_D / DP_2 = 76,65 / 45,97 = 1,667 \text{ с}^{-1};$$

$$V_E = \omega_{DE} \cdot EP_2 = 1,667 \cdot 17 = 28,34 \text{ см/с}.$$

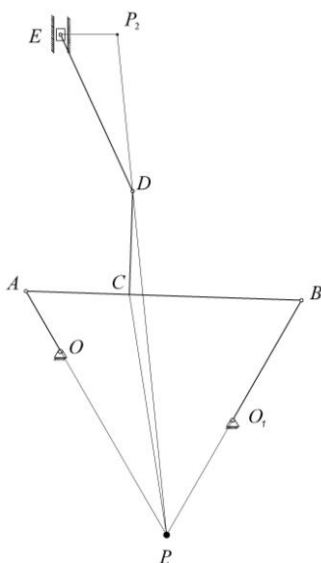


Рис. 20. Положения МЦС звеньев механизма

4.4. Построение плана ускорений

Выделяем отрезок OA и копируем его в любое место листа (желательно так, чтобы линии отдельных чертежей не пересекались, и так, чтобы для удобства черчения они не располагались далеко друг от друга). Скопированная точка A будет полюсом плана ускорений, то есть точкой o_1 .

Для того чтобы определить положение точки a_1 необходимо использовать команду «ОТРЕЗОК». В качестве начала отрезка выбираем точку. Направляем отрезок курсором вдоль скопированного отрезка и набираем на клавиатуре необходимую длину отрезка (в масштабе равную ускорению точки A). Конец данного отрезка будет искомой точкой a_1 (рис. 21). Удалим уже не нужный скопированный отрезок.

Для определения положения точки k_1 повторим все операции. При копировании отрезка O_1B необходимо точку B совместить с точкой o_1 , а длину отрезка задать равной нормальному ускорению точки B (рис.22).

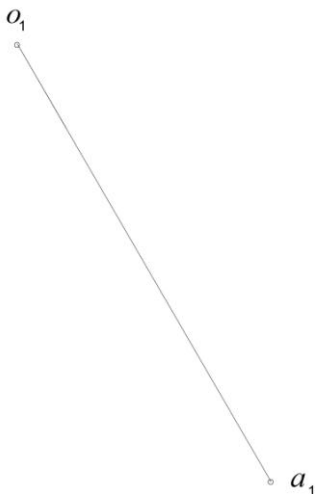


Рис. 21. Построение плана ускорений: точка a_1

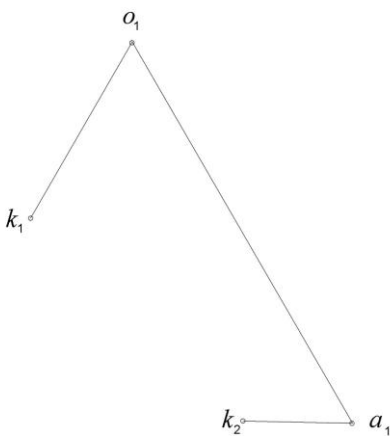


Рис. 22. Построение плана ускорений: точки k_1 и k_2

Для определения положения точки b_1 отобразим на листе соответствующие равенства. Для отображения ускорения $\bar{a}_{B/A}^n$ скопируем отрезок AB , совместив точку B с точкой a_1 . Длину отрезка задаем равную величине ускорения $\bar{a}_{B/A}^n$. Конец отложенного отрезка обозначим k_2 . Далее необходимо провести перпендикуляры к отрезкам a_1k_2 и o_1k_1 . Для того, чтобы провести перпендикуляр к отрезку a_1k_2 проводим через точку, через которую должен пройти перпендикуляр, то есть точку k_2 , отрезок лежащий на отрезке a_1k_2 . Далее выделяем проведенный отрезок и используем команду «вращение». Для этого отмечаем точку k_2 и набираем значение угла 90° или -90° (при повороте против часовой стрелки значение угла положительно). Описанные операции необходимо повторить для восстановления перпендикуляра к отрезку o_1k_1 (рис. 23). Если проведенные перпендикуляры не пересеклись, то необходимо продлить один или оба отрезка «растянув» их при помощи команды «УДЛИНИТЬ ДО БЛИЖАЙШЕГО ОБЪЕКТА». Выступающие за точку пересечения части отрезков необходимо удалить используя команду «УСЕЧЬ КРИВУЮ». Необходимо отметить оба перпендикуляра, а после применения инструмента щелкнуть по части отрезка, которую необходимо обрезать (рис. 24).

Проводим отрезки плана ускорений o_1b_1 и a_1b_1 , соединяя соответствующие точки (рис. 25).

Используя команду «выровненный» определяем размер отрезка a_1b_1 . Из пропорции находим длину отрезка a_1c_1 и откладываем его по отрезку a_1b_1 .

Для определения положения точки d_1 проведем отрезок c_1b_1 и повернем его вокруг точки c_1 (рис. 26). Соединяем точки c_1 и d_1 с полюсом (рис. 27).

Для определения положения точки e_1 сначала откладываем отрезок d_1k_3 , копируя отрезок DE и совместив точку E с точкой d_1 . Длина отрезка равна в масштабе ускорению $\bar{a}_{E/D}^n$. Включив режим «ОРТО» проводим вертикальную линию через точку o_1 . На-

ходим пересечение данной линии и перпендикуляра к отрезку d_1k_3 (рис. 28). В случае необходимости используем команды «УДЛИНИТЬ ДО БЛИЖАЙШЕГО ОБЪЕКТА» и «УСЕЧЬ КРИВУЮ» (рис. 30).

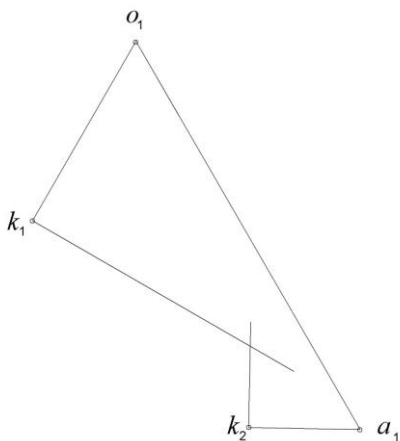


Рис. 23. Построение плана ускорений: определение положения точки b_1

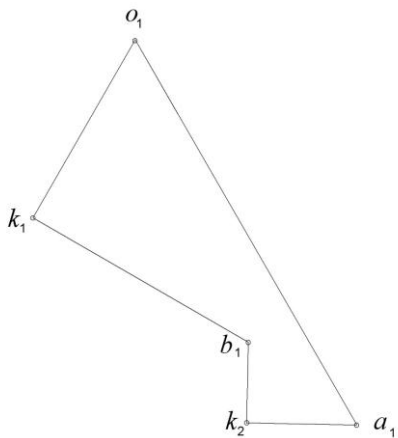


Рис. 24. Построение плана ускорений: точка b_1

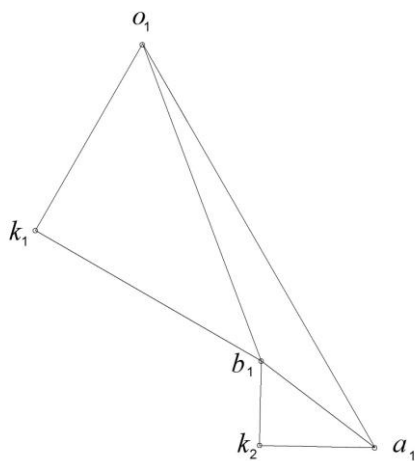


Рис. 25. Построение плана ускорений: отрезки o_1b_1 и a_1b_1

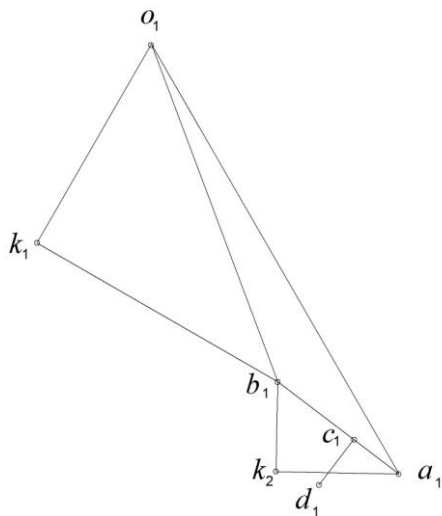


Рис. 26. Построение плана ускорений: точки c_1 и d_1

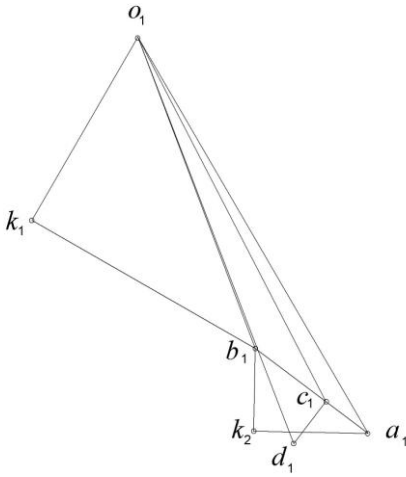


Рис. 27. Построение плана ускорений: отрезки o_1c_1 и o_1d_1

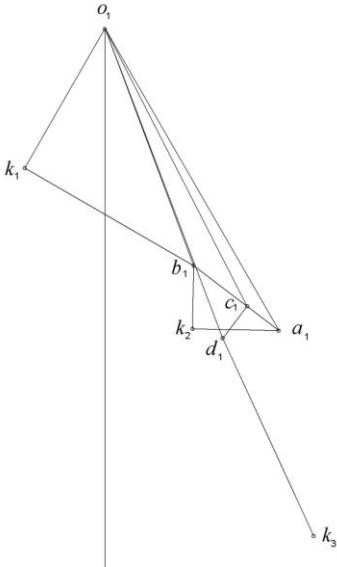


Рис. 28. Построение плана ускорений: точка k_3

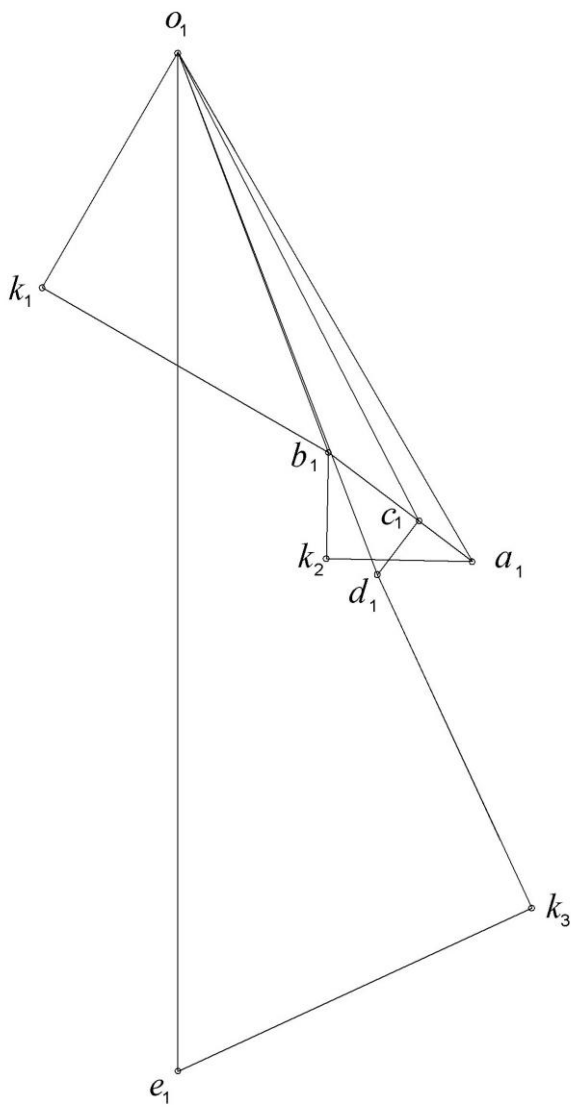


Рис. 29. План ускорений

После завершения построения плана ускорений определяем значения ускорений точек механизма. Для этого необходимо измерить отрезки плана ускорений исходящие из точки o_1 (o_1b_1 , o_1c_1 , o_1d_1 и o_1e_1), которые в выбранном масштабе равны ускорениям точек механизма. В приведенном примере:

$$a_B = 71.68 \text{ см/с}^2;$$

$$a_C = 88.03 \text{ см/с}^2;$$

$$a_D = 93.83 \text{ см/с}^2;$$

$$a_E = 171.00 \text{ см/с}^2.$$

Определим угловые ускорения звеньев:

$$\varepsilon_{ABCD} = a_1b_1/AB = 17,88/80 = 0,22 \text{ с}^{-1};$$

$$\varepsilon_{O_1B} = o_1b_1/O_2B = 55,3/40 = 1,38 \text{ с}^{-1};$$

$$\varepsilon_{DE} = d_1e_1/DE = 65,86/50 = 1,32 \text{ с}^{-1}.$$

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов В.Е. Теоретическая механика учебное пособие для вузов по строит. направлениям / В.Е. Павлов, Ф.А. Доронин. – М.: ТрансЛит, 2010. – 313 с.
2. Бать М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах учебное пособие Т. 1 / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон. – СПб. [и др.]: Лань, 2010 – 668 с.
3. Тарасов, В. Н. Теоретическая механика: учебное пособие для вузов / В.Н. Тарасов, И.В. Бояркина, М.В. Коваленко – М: ТрансЛит, 2010 – 558 с.
4. Волокитин Г.Г., Волокитин О.Г., Луценко А.В. и др. Теория механизмов и механика машин: учебное пособие. [Электронный ресурс]. – Томск, Изд-во ИЗиДО ТГАСУ. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Определение скоростей и ускорений точек механизма	5
Пример выполнения РГР	8
Выполнение построений в <i>COMPAS 3D</i>	12
Список рекомендуемой литературы	32