

СӘТБАЕВ
УНИВЕРСИТЕТИ



SATBAYEV
UNIVERSITY

10-лекция. Внешние силовые воздействия, массы и моменты инерции нагрузки, приведение к степеням подвижности механизмов

Исабеков Жәнібек
Назарбекұлы

План занятия

- **Типы сил в механизмах** Движущие, сопротивления, реакции, инерции — их роль в работе системы.
- **Движущие силы** Источники энергии: давление, тяжесть, момент двигателя.
- **Силы сопротивления** Полезные (резание, подъём) и вредные (трение, потери).
- **Силы реакции в кинематических парах** Внутренние связи между звеньями, обеспечивающие передачу движения.
- **Силы инерции** Возникают при ускорении, учитываются через принцип Даламбера.
- **Принцип Даламбера** Приведение механизма к равновесию с учётом инерционных сил.
- **Звено приведения** Упрощение анализа — замена всей системы одним эквивалентным звеном.
- **Уравнение движения машины** Связь между работой сил и изменением кинетической энергии.
- **Дифференциальная форма уравнения** Мгновенное описание динамики механизма.
- **Метод Жуковского** Графоаналитический способ определения приведённой силы.
- **Жесткий рычаг Жуковского** План скоростей, поворот, нанесение сил, суммирование моментов.
- **Контрольные вопросы** Тест на понимание ключевых понятий и формул.

Среди сил, действующих на механизм, различают:

- а) движущие силы F_d или моменты M_d
- б) силы сопротивления F_c или моменты M_c
- в) силы реакции в кинематических парах F_{ij}
- г) силы инерции F_i или моменты сил инерции M_i

Движущие силы

Это силы или моменты, которые **создают движение механизма**, ускоряют его звенья и совершают **положительную работу**, то есть передают энергию системе.

Примеры:

Сила давления газов на поршень в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) — именно она заставляет поршень двигаться вниз.

Сила тяжести при **опускании** груза в грузоподъёмном механизме — когда груз опускается, он может вращать барабан лебёдки, выполняя положительную работу.

Момент, создаваемый электродвигателем на валу - приводит в движение остальные элементы механизма.

Силы сопротивления

Это силы, которые **противодействуют движению**, тормозят звенья и совершают **отрицательную работу**, то есть отбирают энергию у системы.

Разновидности сил сопротивления:

1. **Полезные силы сопротивления** - те, которые создают **производственный эффект**, то есть работа против этих сил полезна.

Примеры:

Сила тяжести при **подъёме груза** - мы совершаем работу против этой силы, но результат (поднятый груз) полезен.

Сопротивление резанию при обработке металла — двигатель совершает работу против силы резания, и это приводит к нужному результату (изменение формы детали).

2. **Вредные силы сопротивления** - силы, которые **не дают полезного эффекта**, а только снижают эффективность механизма.

Силы реакции в кинематических парах

Это силы, которые возникают в местах соединения звеньев (в опорах, шарнирах, направляющих и т.п.). Они обеспечивают связь между звеньями и передачу движения от одного элемента к другому.

Для всего механизма эти силы считаются внутренними, потому что они действуют между звеньями одной системы.

Но для каждого отдельного звена — они являются внешними, так как оказывают на него воздействие со стороны других звеньев.

Примеры:

Сила давления пальца на шатун в кривошипно-шатунном механизме.

Реакция опоры на вал в подшипнике.

Сила в шарнире, соединяющем два звена рычажного механизма.

Силы инерции

силы инерции $F_{\text{и}}$ или моменты сил инерции $M_{\text{и}}$

возникают при переменном движении звеньев механизма и могут быть как движущими, так и силами сопротивления (в зависимости от их направления относительно направления движения звеньев).

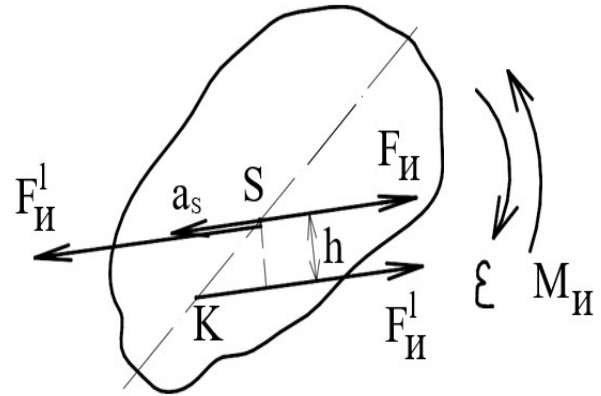
Фактически эти силы действуют на тело, вызывающее ускорение другого тела. Однако, условное приращение сил инерции к ускоряемому телу позволяет рассматривать его в равновесии

принцип Даламбера

Силы инерции относятся к категории распределенных или так называемых массовых сил, которые как и другие аналогичные силы могут быть приведены к главному вектору и главному моменту

$F_{\text{и}} = -ma_s$; $M_{\text{и}} = -J_S \cdot \varepsilon$; где m и J_S – масса и момент инерции звена относительно оси, проходящей через центр масс a_s – ускорение центра масс;

ε – угловое ускорение звена.



исследования закона движения механизма

- Для исследования закона движения механизма его удобно заменить одним условным звеном – звеном приведения, имеющим закон движения аналогичного звена реального механизма.
- Все внешние силы, действующие на звенья при этом заменяются одной
- приведенной силой $F^{пр}$ или моментом $M^{пр}$, мощностям P_i заменяемых сил F_i и моментов сил M_i , т.е.

Пример кривошипно-ползунного механизма

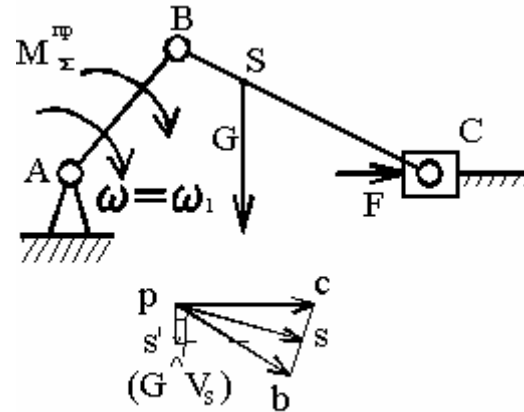


Рис.22

Уравнение движения машины

- Работу машины можно разбить на 3 периода:

- 1) период пуска (разгон);
- 2) период установившегося движения;
- 3) период остановки (выбега);

Уравнение движения показывает, как силы, действующие на звенья механизма, связаны с их движением (скоростями, ускорениями)

$$\Delta T = A_d - A_c$$

$\Delta T = T - T_0$ – изменение кинетической энергии за рассматриваемый промежуток времени

$A_d - A_c$ – суммарная работа действующих сил за рассматриваемый промежуток

Дифференциальная форма

- - показывает **мгновенную зависимость** между силами и движением, то есть что происходит в **каждый момент времени**:

$$M_{\text{пр}} = \frac{dT_{\text{пр}}}{d\varphi}$$

- **Разница между формами:**
 - Интегральная форма — это **общее уравнение энергии** (для периода движения).
 - Дифференциальная форма — это **мгновенное уравнение движения**, которое используется при анализе динамики в каждый момент времени.

Таким образом

- уравнение движения машины приводится к тому или иному конкретному виду и решается графическим и графоаналитическим методами, а учитываемые силы и моменты сил, а также приведенные массы и моменты инерции могут быть как постоянными так и переменными величинами, зависящими от того или иного фактора.

Физический смысл:

- В период пуска $A_d - A_c = \Delta T > 0$, т.е. происходит ускорение движения звеньев, являющегося неустановившемся.
- В период установившегося движения $A_d - A_c = \Delta T = 0$, т.е. скорости звеньев в конечный и начальный моменты цикла равны и вся работа движущихся сил расходуется на преодоление сопротивлений.
- В период остановки $A_d - A_c = \Delta T < 0$, движение продолжается некоторое время за счет накопленной кинетической энергии, поглощаемой за счет сопротивления движению.

Метод Жуковского

- Профессор **Н. Е. Жуковский** предложил **графический метод**, который позволяет находить *приведённую силу* — то есть силу, действующую на звено приведения, эквивалентную по работе всем силам, приложенным к механизму.
- Сам метод строится на равенстве мощностей: $F_{\text{пр}} \cdot V_a \cdot \cos(\alpha_{\text{пр}}) = \sum F_i \cdot V_i \cdot \cos(\alpha_i)$
 - F_i — силы, действующие на механизм (например, веса, реакции, инерционные силы);
 - V_i — скорости точек приложения этих сил;
 - α_i — углы между направлением силы и скоростью точки;
 - $F_{\text{пр}}$ — искомая *приведённая сила*, эквивалентная всем остальным по мощности

Как работает метод Жуковского

- **Строят план скоростей** - это чертёж, на котором показано, с какой скоростью движутся точки механизма.

Этот план **поворачивают на 90°** .

После поворота на него наносят все действующие силы (и даже силы инерции).

Этот повернутый план называется **жёсткий рычаг Жуковского**.

Он как будто превращает механизм в **один рычаг**, на который действуют все силы.

- Для каждой силы можно найти, **насколько сильно она «крутит» этот рычаг** - это момент силы.

Суммируя эти моменты, получают общий «крутящий эффект» всех сил.

- Потом ищут такую **одну приведённую силу**, которая даёт тот же самый момент - то есть действует так же, как все силы вместе.

1. Какая из перечисленных сил совершает положительную работу и передает энергию механической системе?

- а) Сила сопротивления резанию
- б) Сила трения в подшипниках
- в) Сила давления газов на поршень в ДВС
- г) Сила тяжести при подъеме груза

2. Силы, которые противодействуют движению и отбирают энергию у системы, называются:

- а) Движущими силами
- б) Силами инерции
- в) Силами сопротивления
- г) Силами реакции

3. Согласно принципу Даламбера, силы инерции условно прикладываются к ускоряемому телу, чтобы:

- а) Увеличить его скорость
- б) Рассматривать его в состоянии равновесия
- в) Превратить его в звено приведения
- г) Учесть только силы сопротивления

4. Главный вектор сил инерции для звена вычисляется по формуле:

- а) $M_{и} = -J_S \cdot \varepsilon$
б) $F_{и} = m \cdot a_S$
в) $F_{и} = -m \cdot a_S$
г) $M_{и} = J_S \cdot \varepsilon$

5. В период установившегося движения машины разность работ движущих сил и сил сопротивления ($A_d - A_c$) равна:

- а) $\Delta T > 0$
б) $\Delta T < 0$
в) $\Delta T = 0$
г) $\Delta T = \text{const} \neq 0$

6. Метод Жуковского используется для определения:

- а) Момент инерции звена
б) Скорости точки механизма
в) Приведенной силы, эквивалентной по работе всем силам механизма
г) Силы реакции в кинематической паре

7. Что такое «жесткий рычаг Жуковского»?

- а) Реальное звено механизма, к которому приложены все силы
б) План скоростей, повернутый на 90 градусов, на который наносятся все силы
в) Звено приведения с постоянной массой
г) График зависимости силы от скорости

8. Силы реакции в кинематических парах для всего механизма являются силами...

- а) Внешними
б) Движущими
в) Внутренними
г) Инерционными

9. Уравнение движения в дифференциальной форме описывает:

- а) Суммарную работу сил за весь период движения
- б) Изменение кинетической энергии за цикл
- в) Мгновенную зависимость между силами и движением
- г) Среднюю скорость звена

10. Приведение механизма к одному звену (звену приведения) осуществляется с условием равенства:

- а) Сил, приложенных к звеньям
б) Масс и моментов инерции
в) Мощностей всех заменяемых сил и приведенной силы
г) Скоростей всех точек механизма