

Ниже приведены: для me (Мурабиб, Фандахар, Амеликун, Маркеев - новые версии)

Равновесные механические системы



Система называется равновесной в физическом смысле тогда и только тогда, когда

$$\Leftrightarrow \nabla \vec{r} \rightarrow \vec{r} = \vec{r}_0 = \text{const}$$

Где \vec{r}_0 - радиус-вектор центра масс системы

(уп-т. сила не зависит от времени) \Rightarrow Эквивалентность

блеска стационарного параметрического, и $\vec{r} = \vec{r}(q)$ тоже \Rightarrow однознач. коор-т.



Y не синг. система тоже может быть равновесной в
сущ. смысле (координаты эквивалентны с координатами)

$$(L_{,i})^i - L_{,k} = Q_k(q, \dot{q}, t)$$

\Updownarrow \Rightarrow разрешимость синг. стационарных уравн.

$$\begin{cases} \dot{q} = u \\ \dot{u} = F(q, u, t) \end{cases} \Leftrightarrow \dot{x} = x(x, t), \quad x = \begin{pmatrix} q \\ u \end{pmatrix}$$

Теорема

Причины равновесия механических систем в общем виде

$$x_0 = \begin{pmatrix} q_0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

\square \Leftarrow Пусть $x = x_0 \Rightarrow \vec{r} = \vec{r}(q_0) = \vec{r}_0 = \text{const}$

$\Rightarrow \vec{r} = \vec{r}_0, \dot{q}^k \equiv 0$, однако однознач. коор-т. в общем виде так, что

$$\vec{r}_0 \cdot \delta q^k \not\equiv 0 \quad \forall \delta q: \delta q^1 + \dots + \delta q^n \neq 0.$$

Таким образом (1) $\Rightarrow \dot{q} = 0$



Критерий новых равновесий синг. систем

Синг. система называется новой равновесной $\Leftrightarrow Q(q_0, 0, t) = 0$.

$$\square (T_{ik})' - T_{ik} = Q_k(q, \dot{q}, t)$$

$$T = \frac{1}{2} q_{ij}(q) \dot{q}^i \dot{q}^j$$

$T_{ik} = a_{kj} \dot{q}^j$ — т.к. a_{ij} — симметрическая матрица!

$$(T_{ik})' = a_{kj} \ddot{q}^j + a_{kji} \cdot \dot{q}^i \dot{q}^j$$

$$T_{ik} = \frac{1}{2} a_{ij,k} \dot{q}^i \dot{q}^j \Rightarrow a_{kj} \dot{q}^j + (a_{kji} - \frac{1}{2} a_{ij,k}) \dot{q}^i \dot{q}^j = Q_k(q, \dot{q}, t) \quad (2)$$

Для нач. полож. $q = q_0, \dot{q} = 0 \Rightarrow$

$$0 = Q_k(q_0, \dot{q}_0, t)$$

(где q_0 — нач. полож., $\dot{q}_0 = 0$, т.к. (2) имеет решение $q = q_0, \dot{q} = 0$ — н.о. т. Комн. одно изу. в. в. в. еднозначно.)



Однако если имеется буг, не убирая т. Комн. ($Q(\dots)$ не убирая), то кинетич. & однозначн. строго не гарантированы для $n > 1$ (см. Марковича).

Следствие

Если $Q = -\nabla \Pi(q, t)$, то нач. полож. состояния т. назыв. энерг. $\nabla \Pi(q, t) = 0$.

Пример:



т. G — центр масс (также скажем так буги).

$$\Pi = mg h = mg (l \sin \varphi - a \cos \varphi)$$

$$\Pi_{, \varphi}: l \cos \varphi - \frac{a}{\cos^2 \varphi} = 0$$

$$\cos \varphi_0 = \sqrt[3]{\frac{a}{l}} \quad - \text{н.о. полож.}$$

Теорема — принцип виртуальных перемещений

Нач. $\vec{r} = \vec{r}_0$ — нач. конф. — в. нач. полож. \Leftrightarrow \forall буг. перемены.

$$\delta \vec{r} \text{ из } \exists \text{ нач. } \delta A = \int f \delta \vec{r} dm = 0$$

(из симметрии)

$$\delta \vec{r} = \vec{r}_{ik} \delta q^k \Rightarrow \delta A = \int \vec{F}_{ik} \cdot \vec{F} dm \cdot \delta q^k = Q_k \delta q^k = 0 \Rightarrow \delta A = 0 \Leftrightarrow Q = 0 -$$

- кинетич. закон. побоб.



Занятие 1 (динамическое)

Видимо, что тело имеет один - и одновременно в гравитации. сим-и, в огн. состояниях - то элементарно, но в противном случае.

$\Rightarrow \int (\vec{w} - \vec{F}) \delta \vec{r} dm = 0$ - сим. уп-е гравитации

$$\vec{w} = 0 \text{ в закон. побоб.} \Rightarrow \int \vec{F} \delta \vec{r} dm = 0 \quad \blacksquare$$

В отрасли строительства - ин. Маркес.

Занятие 2 (динамическое)

Видимо отрасли строительства, это же. тело-то гравитации балансиров

$\forall \delta \vec{r}$ в закон. побоб.

Пример

Численное побобение Ибрагимова Теда



$$\vec{F} dm \quad \vec{r} = \vec{R} + \vec{g}$$

$$\delta \vec{r} = \delta \vec{R} + \delta \vec{g} = \delta \vec{R} + \delta \vec{q} \times \vec{g}, \quad \delta \vec{q} - \delta \vec{p} \text{ - малое колебание}$$

$$\delta A = \int \vec{F} dm \cdot \delta \vec{R} + \int \vec{F} \cdot (\delta \vec{q} \times \vec{g}) dm =$$

$$= \vec{F} \cdot \delta \vec{R} + \delta \vec{q} \cdot \underbrace{\int \vec{g} \times \vec{F} dm}_{\vec{M}_0} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \delta A = \vec{F} \cdot \delta \vec{R} + \vec{M}_0 \cdot \delta \vec{q} = 0 \quad \forall \delta \vec{R}, \quad \delta \vec{q} \Rightarrow \vec{F} = \vec{0} \text{ и } \vec{M}_0 = \vec{0}$$

\vec{F} - малое баланс. сим., \vec{M}_0 - малое момент.

(нужно баланс. гравитации)

Основы Теории Устойчивости

Рассмотрим систему дифференциального уравнения в нормальной форме Коши:

$$\dot{x} = F(x, t) \quad (3) \quad \text{Здесь и далее: } x(t) = x(x_0, t)$$

При $x = q = \text{const}$ на \rightarrow независимое производство нет - мы (3).

Норм. производ. $x = a$ берется нами как единица в начале координат, т.е. $x = 0$:
 $x \rightarrow x - a$.

Далее будем считать, что $a = 0$ для определенности обозначения.

x можно рассматривать как отображение от норм. производ.

Определение

При $x = x(t_0)$, где $x_0 = x(t_0)$, наз. \rightarrow локально притягивающим
бифурк., если для $\exists \forall t \in [t_0, \infty)$.

Пример: $\dot{x} = 1 - \sqrt{1 - x^2}$



Определение (устойчивость)

Норм. производ. $x = 0$ из-за (3) наз. \rightarrow уст. н. линейн., если

$\forall \varepsilon > 0 \rightarrow \exists \delta: \forall x_0 = x(t_0), \|x_0\| < \delta \quad \forall t \in [t_0, +\infty) \rightarrow \|x(t)\| < \varepsilon$

$$\|x(t)\| = \sqrt{x^1 x^1}$$

Замечание

1. Оп. уст. \Leftrightarrow производная непрерывна по нач. ус.

2. Из оп. уст. \Rightarrow при $x(t)$ локально притяг. бифурк.

Определение (асимпт. ст.)

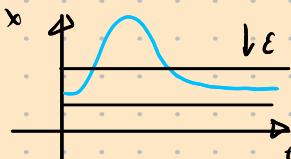
Поном. правилое. $x=0$ сис. (3) - асимптотически устойчиво, если

* 1. $x=0$ - ст. но динам.

2. $\exists \Delta: \forall x_0, \|x_0\| < \Delta \rightarrow x(t) \Big|_{t \rightarrow \infty} \rightarrow 0$

$U_\Delta(0)$ - обласі притяження.

Если задана нрс (1):



Определение (нест.)

Поном. правилое. $x=0$ не-уст. (3) нест., если $\exists \varepsilon: \forall \delta > 0 \exists x_0:$

$\|x_0\| < \delta \quad \exists t^*: \|x(t)\| > \varepsilon$, т.е. при $x(x_0, t)$ не вер. со нрс. правило.

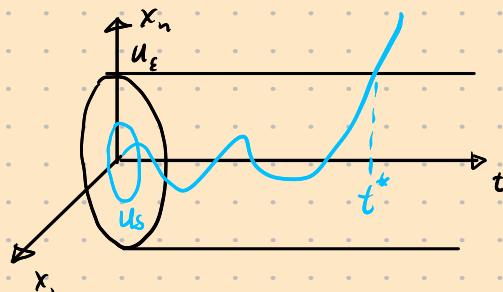
Картиныное представление

① Устойчивое



$\forall \varepsilon > 0 \rightarrow \exists \delta > 0$: независимо, начальное δ - расстояние, останется в пределах ε - расстояния

② Нестаб.



③ Асимпт.



Kooperativnost' novykh chislivikov

Esim n.p. (nachalnoe polnenie) $x=0$ yekvibratsiya gde bsp. t_0 , to ono yek. $\forall t_1 > t_0$.

$$\square \quad x = 0 - yek. \Rightarrow \forall \varepsilon > 0 \rightarrow \exists \delta > 0; \forall x_0 = x(t_0), \|x_0\| < \delta \rightarrow \|x(t)\| < \varepsilon$$



$$G = x(u_s(0), t_0)$$

Розглянутий випадок: G - ум. функція

загалом x_0 нічим залежить від початкових умов, та.

$x(x_0, t)$ - будь-якій експл. в непр. (i. korm) $\Rightarrow \rho(\delta G, 0) > 0$ (последнє означає $x=0$ як δG)

Введемо $\delta_1 = \rho$, $t_0 \mapsto t_1$, $\delta \mapsto \delta_1$ (занурюємо)



Умови стабільності функції

$$\dot{x} = X(x, t) \quad \psi - \text{закон руху (трасекторія)}$$

$$\dot{\psi} = X(\psi, t)$$

Розширення руху $x = \psi + y$ (y -відхилення від трасекторії)

$$\dot{x} = \underbrace{\dot{\psi}}_{X(\psi, t)} + \dot{y} = X(\psi + y, t) \Rightarrow \dot{y} = X(\psi + y, t) - X(\psi, t) \quad (1)$$

$y=0$ - n.p. вик. вид (1)

Припустимо, що $y=0$ - умови стабільності n.p., та іп-ні y мають y як ω yekvibratsiyai.

Если \forall іп-ні y мають y як ω yekvibratsiyai, то вик. вид y мають y як ω yekvibratsiyai.



Все трасекторії, окрім, на δ від ψ , б'як нічим, отходять $< \varepsilon$ від ψ .

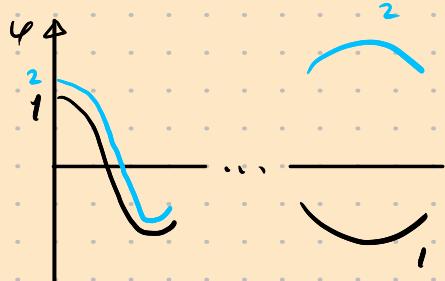
Если $y=0$ - нест., \Rightarrow іп-ні нест., $y=0$ - дестабіл. ніч., \Rightarrow іп-ні дестабіл. ніч.

Задачи

Численные геометрические задачи возникающие
при движении в реальном времени.

Пример

Рас-ши-рение с конечной амплитудой



- патологич. (т.к. амплитуда
период \Rightarrow нечетный период).

Графиком, кроме функции $\kappa \neq 0$, не будет.

0 Быть непрерывных & загорах \Rightarrow уравнения

Переменные не должны иметь особенности в точках n.p.

Пример



$$\forall \theta_0 < 1 \exists \text{ нач. угла } \varphi = \varphi_0 t + \varphi_0 \rightarrow \infty$$

Н.п. на конечной величине, $\varphi \rightarrow \infty$ - неизвестное
с.к.

Пример

$$\dot{x} = \frac{1}{2} \quad x = x_0 + \frac{t}{2}$$

$$x + \delta x = x_0 + \delta x_0 + \frac{1}{2} \Rightarrow |\delta x| = |\delta x_0| \Rightarrow \text{Непр. выс.}$$

$$\text{Задана } y = x^2 \Rightarrow y = (x_0 + \frac{t}{2})^2$$

$$y + \delta y = (x_0 + \delta x_0 + \frac{t}{2})^2 = (x_0 + \frac{t}{2})^2 + t(x_0 + \delta x_0) + \delta x_0^2 \Rightarrow \delta y \rightarrow \infty$$



Дополнение (A3П)

Задана $x = x(y, t)$, $x(0, t) = 0$ наз-ся **дополнением**, если

1. $\det(X_{y,y}) \neq 0$ в нек-хнх оп-хнх наим. пубах (тогда система разрешима)
2. Задана $x = x(y, t)$ и одновременно $y = y(x, t)$ непрек. в 0
однозначно по t . (тогда из 2-х уравн.)

Дополнение задано не uniquely хар-ва устойчивы.

Устойчивость линейных систем

$\dot{x} = A(t)x + f(t)$, $A(t)$ бесконечн. разд. непрек.

$\exists \psi(t)$ - реш-е урв., $x = \psi + y$ - безусловн. уп-е,

$$\dot{\psi} + \dot{y} = Ay + Af + f \Rightarrow$$

\Rightarrow нек-е урв. ноль траектории назыв. κ нек-е урв. н.п. $y=0$

Однозначн. сис-ма $\dot{y} = Ay$. (2)

Теорема

Н.п. $y=0$ - урв. \Leftrightarrow \forall нек-е сис-ма (2) однозначн.

$\square \quad \Rightarrow$ \exists ψ - неоп. пуб., нач-е $y = \frac{\delta}{2} \frac{\psi(t)}{\|\psi(t_0)\|}$
 $\|y(t_0)\| < \delta$, $|y(t)| \xrightarrow[t \rightarrow \infty]{} \infty \Rightarrow y=0$ - неурв.

\Leftarrow Есл. \forall нек. оп. \Rightarrow оп. $\Phi(t, t_0)$ - однозначн. сис-ма,

\forall нек. (2) нек-е быг $y = \Phi(t, t_0)y(t_0) \Rightarrow$

$$\begin{cases} \dot{\Phi} = A\Phi \\ \Phi(t_0, t_0) = E \end{cases}$$

$$\Rightarrow \|y(t)\| \leq \|\Phi\| \cdot \|y(t_0)\| \leq M \cdot \|y(t_0)\|$$

□

Замечание: норма матрицы: $\|\Phi\| = \max_{\|x\|=1} \|\Phi x\|$ - "максимальное расстояние"

С единичной нормой норма матрицы - max. сумма элем.
нек-е матрицы (одн. нек-е матрицы $\Phi \Phi^T$)

Устойчивость решения с несогласованной матрицей

$$\dot{y} = Ay, \quad A = \text{const} \quad (3)$$

Следовательно уравнение имеет решение вида $y(t) = e^{At}y_0$. Для $y(t) \rightarrow 0$ необходимо и достаточно, чтобы все собственные значения A имели отрицательные реальные части.

Многие физические процессы, связанные с теплообменом, стационарны и устойчивы.

Однако это не всегда так.

Рассмотрим (3): $y = h e^{\lambda t} \Rightarrow P(\lambda) = \det(\lambda t - A) = a_n \lambda^n + \dots + a_1 \lambda + a_0 = 0$

$\lambda_1, \dots, \lambda_n$ — корни

Лемма

Пусть $P(\lambda) = 0$ имеет (3) действительные корни. Тогда $\operatorname{Re} \lambda_k < 0 \quad \forall k = 1, \dots, n$

□ $y(t) \sim P_{\alpha_{k+1}}(t) e^{\lambda_{k+1} t}$ Если $\exists \lambda_k: \operatorname{Re} \lambda_k > 0 \Rightarrow y(t) \rightarrow \infty \Rightarrow$ неустойчивое.

Если $\operatorname{Re} \lambda_k < 0 \Rightarrow$ для каждого k имеется соответствующий коэффициент $a_k \neq 0$, то $y(t) \rightarrow 0$.

$y(t) \underset{t \rightarrow \infty}{\rightarrow} 0 \Rightarrow$ н.п. $y=0$ — аттрактор.



(α_k — коэффициенты корней λ_k)

Продолжение

Если $P(\lambda) = 0$ имеет действительные корни λ_k с $\operatorname{Re} \lambda_k < 0 \quad \forall k = 1, \dots, n$

(действительные собственные значения A наименее n -раз согласованы)

Лемма (наиб. уст. крит. решения)

Если $P(\lambda) = 0$, то знаки его корней определяются следующим образом.

□ $\lambda_j = -\alpha_j + i\beta_j, \quad \alpha_j > 0 \quad \bar{\lambda}_j$ — комплексный корень

$\lambda_n = -\gamma_n, \quad \gamma_n > 0$

$$P(\lambda) = a_n \prod [(1 + \alpha_j - i\beta_j)(1 + \alpha_j + i\beta_j)]^{\alpha_j} \prod (1 + \gamma_n)^{\alpha_n} = \\ = a_n \prod (\lambda^2 + 2\alpha_j \lambda + \alpha_j^2 + \beta_j^2)^{\alpha_j} \prod (1 + \gamma_n)^{\alpha_n}$$

Последние слагаемые дают корни с положительными реальными частями.



Задернел

Иногда это ум. доказательство в бухг.: $a_i > 0 \quad \forall i = \overline{0, n}$. Это подразумевает пред. утверждение именем $\alpha_n > 0 \Leftrightarrow a_0 > 0$.

Критерий ус. пас-ма для дес. пол-а (ав. Мурабиба ии Денизбекова)

Критерий Раяса - Гурвица

$$P(\lambda) = a_n \lambda^n + \dots + a_1 \lambda + a_0, \quad a_0 > 0$$

Симметрическая матрица Гурвица

$$\Gamma = \begin{pmatrix} a_1 & a_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_0 & a_1 & a_2 & a_1 & \dots & 0 \\ \vdots & & & & & \\ 0 & \dots & & 0 & & a_n \end{pmatrix}^{\Delta_1 \Delta_2 \dots \Delta_n}$$

По диагонали каск-ри a_1, a_2, \dots
себя каск-ри по бокам, симметрическое условие.

$$P_\lambda - \text{ус.} \Leftrightarrow \Delta_i > 0 \quad \forall i = \overline{1, n}$$

! Есть реальное значение замен Γ !

Задернел ож. $a_0 > 0$

Пример

$$P(\lambda) = a_1 \lambda + a_0. \quad \lambda_1 = -\frac{a_0}{a_1} \Rightarrow \text{наимен. ус.} \Leftrightarrow \text{sign } a_0 = \text{sign } a_1$$

$$\Gamma = (a_1) \Rightarrow a_1 > 0 - ?? \quad \text{запрос ус.} ??$$

"Ненулевые" величины от zero, т.к. $P(\lambda)$ не приведен к виду $a_0 > 0$.

Приведение к виду $a_0 > 0$:

$$P(\lambda) \rightarrow \frac{a_1}{a_0} \lambda + 1, \quad 1 \text{ забегено} \Rightarrow$$

(если $a_0 = 0$ то $P(\lambda)$ прозу неяв.: есть корень $\lambda = 0$)

$$\Gamma = \left(\frac{a_1}{a_0} \right) - \text{теперь всё верно.}$$

Вторые критерии - Минара

$$P(\lambda) - \text{ус.} \Leftrightarrow \left[\begin{array}{l} \Delta_{2k} > 0 \\ \Delta_{2k+1} > 0 \end{array} \right] \quad (\text{недо/недо})$$

Пример

$$P(\lambda) = \alpha_2 \lambda^2 + \alpha_1 \lambda + \alpha_0, \quad \alpha_0 > 0$$

1. $\alpha_2 > 0, \alpha_1 > 0$

$$2. P = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_0 \\ 0 & \alpha_2 \end{pmatrix} \quad \Delta_1 = \alpha_1 > 0$$

$$\Rightarrow P(\lambda) - \text{pos.} \Leftrightarrow \alpha_i > 0 \quad \forall i = \overline{0, n}$$

Устойчивое линейное уравнение

Первое линейное уравнение \Leftrightarrow уст-ся по линейному приближению

$$\dot{x} = X(x), \quad X(0) = 0$$

X -линейн. зависим. ф. $x=0$, а X_{ijk}^i - в уп-и ф. лин-ой оп-ии н.п. $x=0$ (1)

Тогда:

$$X = Ax + f(x), \quad A = [X_{ij}^i(0)] ; \quad \|f(x)\| \leq a\|x\|^2, \quad a = \text{const}$$

Линейное приближение: $\dot{x} = Ax$

Теорема Ляпунова - "запас стабильности"

1. Рассмотрим лин. ур-е $\dot{x} = X(x)$ лин. уст. (1), тогда для н.п. линейного приближения $\dot{x} = Ax$ - ас. уст. \Rightarrow н.п. $x=0$ ас-ни $\dot{x} = X(x)$ - ас. уст.

2. Есть $\exists \lambda_i$ - корень $\det(\lambda E - A) = 0 : \operatorname{Re} \lambda_i > 0 \Rightarrow$ н.п. $x=0$ неуст. в одних направлениях.

Lemma Frobenius

$$u(t) \leq C + \int_0^t u(t) f(t) dt, \quad u, f, C > 0 \Rightarrow \\ \Rightarrow u(t) \leq C \exp \left[\int_0^t f(t) dt \right]$$

$\square \frac{u(t) f(t)}{C + \int_0^t u(t) f(t) dt} \leq f(t)$ - unbeschränkt: (unr. = unreg. gema.)

$$\ln \left[C + \int_0^t u(t) f(t) dt \right] - \ln C \leq \int_0^t f(t) dt$$

$$u(t) \leq C + \int_0^t u(t) f(t) dt \leq C \exp \left[\int_0^t f(t) dt \right]$$

\square (1. Weynabe): $x = e^{-ht} y(t), \quad z_h = \min_k |\operatorname{Re} \lambda_k|$ - dann

$$e^{-ht} \dot{y} - h e^{-ht} y = A y e^{-ht} + f(y e^{-ht})$$

$$\dot{y} = \underbrace{(A + hE)}_B y + e^{ht} f(y e^{-ht}) \quad (2)$$

$$\dot{y} = B y - \text{ac. ges.}$$

$$\dot{x} = A x - \text{ac. ges.} \Leftrightarrow \operatorname{Re} \lambda_i < 0$$

$$\dot{x} = (A + hE)x \Rightarrow \tilde{\lambda}_i = \lambda_i + h \Rightarrow \operatorname{Re} \tilde{\lambda}_i < 0 \quad \left(h = \frac{\min_k |\operatorname{Re} \lambda_k|}{2} \right)$$

$$(2) \Leftrightarrow y = e^{Bt} y_0 + \int_0^t e^{(Bt-t)} e^{ht} f[y(t) e^{-ht}] dt$$

$$(\text{uz. grundsatz: } \dot{y} = B y + f(t) \Leftrightarrow y = e^{Bt} y_0 + \int_0^t e^{B(t-t)} f(t) dt)$$

Rekurrenz gruppierungsweise

$$\|y(t)\| \leq \|e^{Bt}\| \cdot \|y_0\| + \int_0^t \|e^{(Bt-t)}\| \cdot e^{ht} \|f(y e^{-ht})\| dt$$

$$\|f(x)\| \leq a \|x\|^2 \Rightarrow \|f(y e^{-ht})\| \leq a \|e^{-2ht}\| \cdot \|y\|^2$$

$$\|y(t)\| \leq M \|y_0\| + \int_0^t M a e^{-ht} \|y(t)\|^2 dt$$

Even $\|y_0\| \ll 1$, so $\exists t: \forall t \in [0, t] \rightarrow \|y(t)\| \leq 1$ (b. a. v. v. - v.)

Tогда $\|y(t)\| \leq \|y(t)\| \quad \forall t \in [0, t] \Rightarrow$ не зиен униспаке!

$\|y(t)\| \leq M \|y_0\| + \int_0^t M a e^{-ht} \|y(t)\| dt$ - b. зиен биге зиена frobenius

Тогда $\|y(t)\| \leq M \|y_0\| \exp \left[\int_0^t M a e^{-ht} dt \right] \leq K \|y_0\| \Rightarrow$

стаб. униспаке ex-cs, i.e.
пек. const при $t \rightarrow \infty$, i.e.
нек. нек. дисп. const

нек. нек. дисп. const
пек. непр.

$\Rightarrow y(t)$ - ортогональна. Данное означает что в окрестности $|y(t)|$ симметрия, и вблизи $\forall t \in [0; \infty)$ (окрестность точки, неподалеку, гипотеза оценки, это то же самое) $x = e^{-kt} \underbrace{y(t)}_{\text{орт.}} \Big|_{t \rightarrow \infty} \rightarrow 0 \Rightarrow$ н.п. $x = 0$ - ас. уст.

Также неподалеку аналогично.

Задача Т. линейная неподалеку, есть $\exists \lambda_j = \pm i\omega$ или $\lambda_j = 0$

неподалеку
треугольник симметрический или

Также неподалеку. Треугольник симметрический склон узкого максимума линейным
затуханием.

Возможные виды линий

$$\dot{x} = X(x), \quad X(0) = 0.$$

Возможные виды линий: $V(x)$, $V(0) = 0$, $V(x) \in \mathbb{R}$ - непр. гладк.

Прямоугольник в окрестности нулевой точки линии: $\dot{V}_x = V_{,i} \cdot X^i = \nabla V \cdot X$

Знакосимметрический вид линии: $V(x) \geq 0$ - максимум, ортогон. $\Leftrightarrow V(x) > 0$ в нек.

$U_\varepsilon(0)$. (в $x=0$ одна ветвь 0), где окрестность нулевой линии аналогично.

Как видят виды линий в окрестности нулевого.

Например: есть в $U_\varepsilon(0)$ $\exists V(x)$: $V(x) > 0$ и $\dot{V}_x \leq 0$ (в окрестности нулевого)

мин на $\partial U_\varepsilon(0)$

\square Рассмотрим $U_\varepsilon(0)$. $V(x)$ -непр. $\Rightarrow \exists V^* = \min_{\|x\|=\varepsilon} V(x)$, $V(0) = 0 \Rightarrow$
 $\Rightarrow \exists \delta > 0: V(x) < V^*$ при $\|x\| < \delta$

Таким образом при x_0 : $\|x_0\| < \delta \quad V[x(x_0, t)] < V^*$, т.к. $V[x(x_0, t)]$ - не линейная (безо приведения координат $V(x)$) ибо не линейна, ибо
затухает, т.к. $\dot{V}_x(x) \leq 0 \Rightarrow \|x(x_0, t)\| < \varepsilon$



Следствие. Т. Лагранжа - Дарси

Если $\Pi(q)$ квадр. мес. ф-ия имеет строгий мин в н.п., то н.п. устойчиво

$$\square V = E = T + \Pi = \frac{1}{2} \dot{q}^T A(q) \dot{q} + \Pi(q) \geq 0 \quad (\Pi(0) = 0)$$

$\geq 0 \quad \geq 0$

$$\dot{V}_2 = 0 \quad (\text{такж. в интегрированном уравнении Лагранжа}) \quad \blacksquare$$

Проверка условия $\Pi(q) \rightarrow \min$

$$\Pi \approx \Pi(0) + \Pi_{,i}(0) q^i + \frac{1}{2} \Pi_{,ij}(0) q^i q^j \quad \begin{array}{l} \text{--- линейная часть} \\ \text{--- квадратичный н.п.} \end{array}$$

- разложение $\Pi(q)$ по q

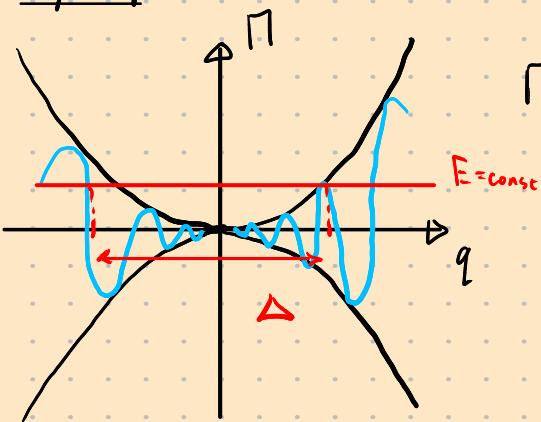
$$\Pi_2 = \frac{1}{2} q^T C q, \quad C - \text{матрица мат. энергии}$$

$$\text{Если } \Pi_2(q) > 0 \Rightarrow \Pi \text{ имеет стр. мин (и } U_e(0)).$$

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & \dots & c_{nn} \end{pmatrix} = C^T \quad \Pi_2(q) > 0 \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \Delta_i > 0 \\ i = 1, n \end{array} \right.$$

Замечание Т. Лагранжа - Дарси не является достаточным условием.

Пример



$$\Pi = \begin{cases} q^2 \sin \frac{1}{q}, & q \neq 0 \\ 0, & q = 0 \end{cases}$$

$$E = \frac{m \dot{q}^2}{2} + \Pi(q)$$

$$\Delta \Big|_{E=0} \rightarrow 0 \Rightarrow \text{n.п.Yes., но неустойчивое.}$$

Теорема Абрамсона 1

Если $\exists q' : \Pi_2(q') < 0 \Rightarrow$ н. п. $q=0$ неустойчиво.

\square Рассмотрим симметричную формулу:

$$T = \frac{1}{2} \dot{q}^T A(q) \cdot \dot{q} \approx \frac{1}{2} \dot{q}^T \underbrace{A(0)}_{A=\text{const}} q$$

$$\Pi = \Pi_2 = \frac{1}{2} q^\top C q$$

$$y_{p-e} \text{ Asymptote: } A\hat{q} + C_q = 0$$

Задача: $q \mapsto U\Theta$ (U - машина, Θ - циркуль)

$$T = \frac{1}{2} \dot{\theta}^T U^T A U \dot{\theta}$$

$$J = \frac{1}{2} \theta^T U^T C U \theta$$

diag

T. Dymokeorum neper graen: $\exists U: U^T A U = E$
 $U^T C U = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$

$\dot{\theta}_i + \gamma_i \theta_i = 0$ - новые ур-я Лагранжа $\exists q: \Pi_i(q) < 0$

$\Rightarrow \exists x_0 \text{ da } \text{ogn } \lambda_k < 0 \Rightarrow \theta_x \sim e^{\sqrt{|\lambda_k|} t} \rightarrow \text{no r. hengneba o}$

neyzenzubin no s.n. q=0 - neyer.

7

Теорема Лапунова 2

Еще одно очень важное представление $\Pi(q) = \Pi_m(q) + \dots$ установлено, что Π имеет $\max \Rightarrow n.p.q = 0$ — нейтр.

Теорема Бирбашева - Красовского (60-е!)

$$\dot{x} = X(x), \quad X(0) = 0 \quad (1)$$

Even if $U_\varepsilon(s) \exists V(x)$:

$$1. \quad V_x \leq 0$$

2. $M\{x \mid V_x(x) = 0\}$ - ne cogeniusi uenex traeviepmi cneibas (1),

Krasne n. p. X=0, Torga

a. Even $V(x) > 0 \Rightarrow x=0$ - ac. yc. yet.

5. Ern $V(x)$ ne unet min, bne. negspurri \Rightarrow n.p. $x = 0$ - negri.

□ Cayratia no s. *Namynoba*, n. p. x=0 - yacimbo. Dokumen al. yrs.

Par-um $x_0 = x(t_0)$: $\|x_0\| < \varepsilon$. Tanya

$\nabla [x(x_0, t)]$ - nondecreasing \Rightarrow n. exp. converg.

$$\Rightarrow \exists V^* = \lim_{t \rightarrow \infty} V[x(x_0, t)]$$

$$\text{Exm } V^* = 0 \Rightarrow x = 0 - \alpha . \text{ yes.}$$

Domyzum spainibene; pacem. nare-in $\{x(x_0, t_i)\}$ - esp.

(b alyg yessinibene n.p. $x=0$) \Rightarrow no 1. Fozionas - Viesepurpresa.

\exists exogenas negn. $\{x_k\} = \{x(x_0, t_{ik})\}$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} x_k = x^*, \quad V^* = V(x^*)$$

Pac-un pemenne (1) $x(x^*, t)$ c nor. ysu. $x(x^*, 0) = x^*$. Tanya, t.k.

$x^* \neq 0$ (i.e. $V^* \neq 0$, $aV^* = 0$ b $x=0$) u $\dot{V}_x < 0$ na gennai spainigam \Rightarrow

$\Rightarrow \exists t : V[x(x^*, t)] < V^*$ - protivbereme.

Cayrae δ



$$G = \{x \mid V(x) < 0\}$$

Berdelen $x_0 \in U_{\epsilon}(0) \cap G$.

Domyzum, zso $x = x(x_0, t)$ - ysu. \Rightarrow

\Rightarrow nabzopee yessobus neg. pacymg. negyru, zso $\exists \{x_k\} = \{x(x_0, t_k)\}$:

$$V^* = \lim_{k \rightarrow \infty} V[x_k] = V(x^*)$$

Pac-un pem. $x(x^*, t)$ c nor. ysu. $x(0) = x^* \Rightarrow \exists t : V[x(x^*, t)] < V^* \Rightarrow$

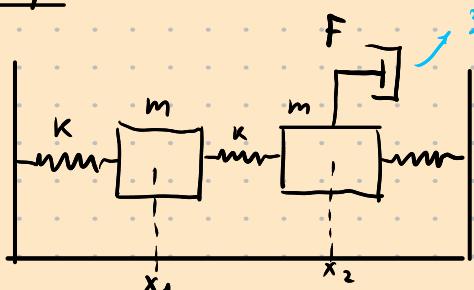
\Rightarrow protivbereme.



Zauverdane

β alyrae δ bun. ysu i u2 gessioras spesobais rausko b odelen G .

Primer



spes gessinobubna atra F

$$F = -\beta \dot{x}_2$$

Ussaygen n.p. na ysu:

$$V = E > 0, \quad \dot{V}_2 = -\beta \dot{x}_2^2$$

$M\{\dot{x}_2 = 0\}$ - ne segernas yessobus spainigam,

zene n.p. (mogni u davis spainigam, zhe bropai yessobus ysu, a nepliui net?

ne mogni) \Rightarrow no 1. F.-K. n.p. ac. ysu.

Следствия из теоремы Бардемана - Красовского

① Теорема Чепурова о) стационар. уст.

$$\dot{x} = X(x), \quad X(0) = 0$$

Если $\forall U_\varepsilon(0) \exists V(x) > 0 : \dot{V}_x < 0$ (т.е. $\dot{U}_\varepsilon(0)$), то $x=0$ - ас.уст.

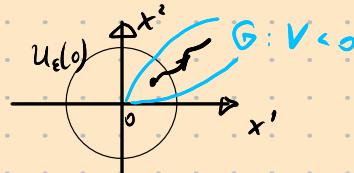
□ $M\{x=0\}$ + Б.К. ■■■

② Теорема Чебаева

$$\dot{x} = X(x), \quad X(0) = 0$$

Если $\forall U_\varepsilon(0) \exists V(x) \in \mathbb{R}$ одн. $G\{x | V(x) < 0\}$, $\dot{V}_x < 0$ при $x \in G \Rightarrow$
 \Rightarrow н.п. $x=0$ - неуст.

□ $M\{x=0\}$ + Б.К. ■■■



③ Осторожность т. Арганова - Рубинштейна

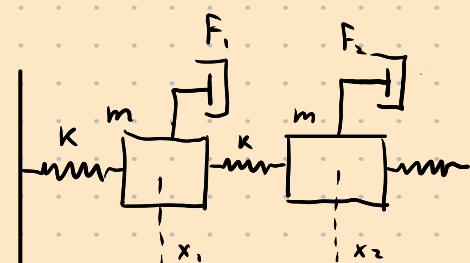
1. Если бал. уст. т. А.-Р. и генерирующие генерируют устойчив. или неуст. сим., то н.п. стабильна устойчивым.
2. Если бал. уст. т. А.-Р. и генерирующие генерируют неуст. сим. с разной амплитудой: $N = Q_i \dot{q}_i < 0$ (причем $\dot{q}_i = 0$), то н.п. стабильна ас.уст.

□ $M\{\dot{q}=0\}$ - паког. по условию - однозначно сим. с н.п. \Rightarrow
 \Rightarrow н.п. симметрии в M неуст. (причем $\begin{pmatrix} \dot{q} \\ \ddot{q} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$) \Rightarrow Б.К. ■■■

Замечание



- застывшая неустойчивость
 $N = -\beta \dot{x}_2^2 \leq 0$
 (как сл. график от \dot{x}_1 и \dot{x}_2 ,
 она симм. неустойч.)



- движущая неустойчивость
 $N = -\beta \dot{x}_1^2 - \beta \dot{x}_2^2 < 0$ ($\forall \dot{x}_1, \dot{x}_2$
 кроме случая $\dot{x}_1 = \dot{x}_2 = 0$)

Основы теории дискурса

