

Лекция 10. Установившийся режим движения машины.

Краткое содержание: Установившийся режим движения машины. Неравномерность движения и методы ее регулирования. Коэффициент неравномерности. Маховик и его роль в регулировании неравномерности движения. Маховик и его роль в регулировании неравномерности движения. Решение задачи регулирования хода машины по методу Н.И.Мерцалова. Алгоритм решения прямой задачи динамики при установившемся режиме движения машины. Уточнение метода Н.И.Мерцалова по способу Б.М.Гутьера. Расчет дополнительной маховой массы по методу Виттенбауэра. Статическая характеристика асинхронного электродвигателя и ее влияние на неравномерность движения. Устойчивость движения машины с асинхронным электродвигателем.

10.1 Установившийся режим движения машины.

Установившийся режим движения машины наступает тогда когда работа внешних сил за цикл не изменяет ее энергии, то есть суммарная работа внешних сил за цикл движения равна нулю.

Установившееся движение $A_{\delta}^u = A_c^u, A^u = \Delta T = 0,$

где

$$A_{\delta}^u = \int_{\varphi_{10}}^{\varphi_{10} + \Delta\varphi_u} M^{\text{пр}}_{\delta} \cdot d\varphi_1 \quad \text{и} \quad A_c^u = \int_{\varphi_{10}}^{\varphi_{10} + \Delta\varphi_c} M^{\text{пр}}_c \cdot d\varphi_1$$

-соответственно работа

за цикл движущих сил и сил сопротивления,

φ_{10} - начальное значение обобщенной координаты, $\Delta\varphi_u$ - приращение обобщенной координаты за цикл.

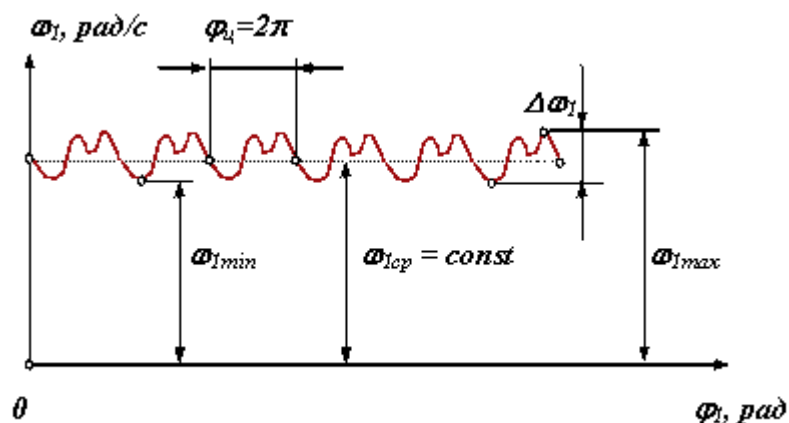


Рис. 10.1

10.2. Неравномерность движения и методы ее регулирования.

В пределах цикла текущее значение суммарной работы не равно нулю. Работа может быть то положительной, то отрицательной. При положительной величине работы машина увеличивает свою кинетическую энергию за счет увеличения скорости, то есть разгоняется. На участках, где суммарная работа отрицательна, кинетическая энергия и скорость машины уменьшается, машина притормаживается. В установившемся режиме величины увеличения скорости на участках разгона и снижения на участках торможения за цикл равны, поэтому средняя скорость движения $\omega_{1cp} = const$ постоянна. В машинах приведенный момент инерции которых зависит от обобщенной координаты, на неравномерность движения оказывает влияние величина изменения приведенного момента инерции. Колебания скорости изменения обобщенной координаты машины не оказывают прямого влияния на фундамент машины. Поэтому эти колебания и вызывающие их причины определяют, так называемую, внутреннюю виброактивность машины.

Величина амплитуды колебаний скорости $\Delta \omega_1$ определяется разностью между максимальной ω_{1max} и минимальной ω_{1min} скоростями. За меру измерения колебаний скорости в установившемся режиме принята относительная величина,

которая называется коэффициентом изменения средней скорости

$$\delta = \Delta \omega_1 / \omega_{1cp} = (\omega_{1max} - \omega_{1min}) / \omega_{1cp},$$

где $\omega_{1cp} = (\omega_{1max} + \omega_{1min}) / 2$ - средняя угловая скорость машины.

Для различных машин в зависимости от требований нормального функционирования (обрыв нитей в прядильных машинах, снижение чистоты поверхности в металлорежущих станках, нагрев обмоток и снижение КПД в

электрогенераторах и т.д.) допускаются различные максимальные значения коэффициента изменения средней скорости. Существующая нормативная документация устанавливает следующие допустимые значения коэффициента неравномерности $[\delta]$:

- дробилки $[\delta] = 0.2 \dots 0.1$;
- прессы, ковочные машины $[\delta] = 0.15 \dots 0.1$;
- насосы $[\delta] = 0.05 \dots 0.03$;
- металлорежущие станки нормальной точности $[\delta] = 0.05 \dots 0.01$;
- металлорежущие станки прецизионные $[\delta] = 0.005 \dots 0.001$;
- двигатели внутреннего сгорания $[\delta] = 0.015 \dots 0.005$;
- электрогенераторы $[\delta] = 0.01 \dots 0.005$;
- прядильные машины $[\delta] = 0.02 \dots 0.01$.

Чтобы снизить внутреннюю виброактивность и неравномерность движения применяются различные методы:

- уменьшение влияния неравномерности внешних сил (например, применение многоцилиндровых ДВС, насосов и компрессоров с рациональным сдвигом рабочих процессов в цилиндрах);
- уменьшение влияния переменности приведенного момента инерции (тоже обеспечивается увеличением числа цилиндров в поршневых машинах, а также уменьшением масс и моментов инерции деталей, приведенный момент инерции которых зависит от обобщенной координаты);
- установка на валах машины центробежных регуляторов или аккумуляторов кинетической энергии - маховиков;
- активное регулирование скорости с использованием систем автоматического управления, включая и компьютерное управление.

Рассмотрим подробно наиболее простой способ регулирования неравномерности вращения - установку дополнительной маховой массы или маховика. Маховик в машине выполняет роль аккумулятора кинетической энергии. При разгоне часть положительной работы внешних сил расходуется на увеличение кинетической энергии маховика и скорость до которой разгоняется система становится меньше, при торможении маховик отдает запасенную энергию обратно в систему и величина снижения скорости машины уменьшается. Сказанное иллюстрируется графиками, изображенными на рис. 8.2. На этом рисунке: $\Delta \omega_1$ - изменение угловой скорости до установки маховика, $\Delta \omega_1^*$ - после установки маховика. Отсюда можно сделать вывод: чем больше дополнительная маховая масса, тем меньше изменение $\Delta \omega_1^*$ и коэффициент неравномерности δ .

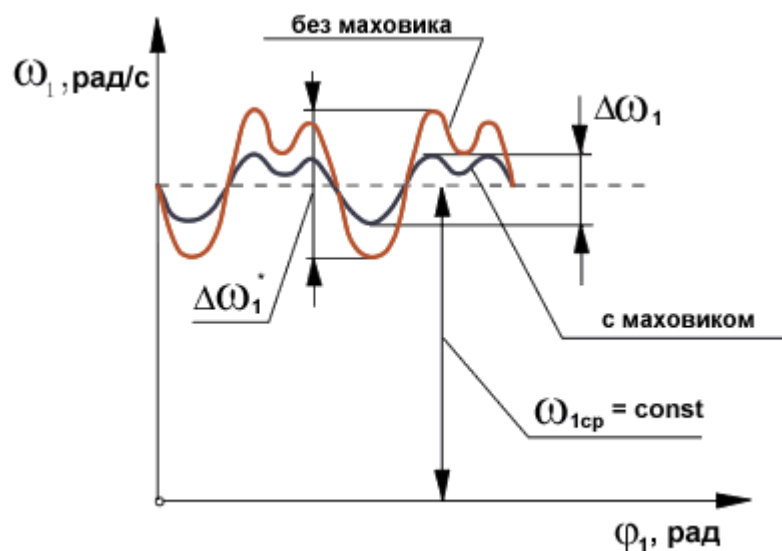


Рис. 10.2

10.3. Определение закона движения $\Delta \omega_1 = f(\varphi_1)$ и приведенного момента инерции I_I^{np} .

Из теоремы об изменении кинетической энергии можно записать

$$\Delta T = T - T_{нач} = A, \text{ где } \Delta T = \Delta T_I + \Delta T_{II} = A \text{ и } T_I = I_I^{np} * \omega_1^2 / 2.$$

Если допустить, что $\Delta T_I \approx dT_I$, то $dT_I = I_I^{np} * \omega_1 * d\omega_1$. Так как при установившемся движении $\Delta \omega_1 \ll \omega_1$, то можно считать что $\omega_1 \approx \omega_{1cp}$. Тогда, переходя к конечным приращениям, получим:

$$\Delta T_I \approx I_I^{np} * \omega_{1cp} * \Delta \omega_1, \text{ откуда } \Delta \omega_1 \approx \Delta T_I / I_I^{np} * \omega_{1cp}.$$

Так как $I_I^{np} * \omega_{1cp} = const$, то можно записать что $\Delta T_{I_{max}} \approx I_I^{np} * \omega_{1cp} * \Delta \omega_{1max}$, где $\Delta T_{I_{max}}$ - изменение кинетической энергии первой группы звеньев за цикл, $\Delta \omega_{1max}$ - изменение угловой скорости за цикл. Подставим в эту формулу выражение для коэффициента неравномерности $\delta = \Delta \omega_{1max} / \omega_{1cp}$ и получим формулу для расчета приведенного момента инерции первой группы, который обеспечивает заданный коэффициент неравномерности

$$I_I^{np} = \Delta T_{I_{max}} / (\delta * \omega_{1cp}^2).$$

Определение момента инерции дополнительной маховой массы (маховика).

Рассмотрим определение маховика для примера рассмотренного в лекции 6 - одноцилиндрового поршневого насоса. В первую группу звеньев в этом

примере входят: ротор электродвигателя $I_{ром}$, детали редуктора $I^{np}_{ред}$, кривошипный вал I_{0I} и маховик $I_{ж}$

$$I^{np}_I = I^{np}_{ром} + I^{np}_{ред} + I_{0I} + I_{ж},$$

откуда момент инерции маховика

$$I_{ж} = I^{np}_I - (I^{np}_{ред} + I_{0I} + I_{ж}).$$

10.4. Решение задачи регулирования хода машины по методу Н.И.Мерцалова.

При расчете маховика (или решении задачи регулирования хода машины) по методу Н.И.Мерцалова задача решается в следующей последовательности:

- Определяются параметры динамической модели, например для ДВС M^{np}_δ - приведенный суммарный момент движущих сил и I^{np}_{II} - приведенный момент инерции второй группы звеньев.
- Определяется работа движущих сил A_δ интегрированием функции $M^{np}_\delta = f(\varphi_I)$ за цикл движения машины (допустим 2π);
- Определяется работа движущих сил за цикл и приравняется к работе сил сопротивления $A_\delta^u = A_c^u$. Из этого равенства определяется среднеинтегральное значение момента сил сопротивления

$$M^{np}_{ср} = A_c^u / (2\pi);$$

и для него строится диаграмма работы $A_c = f(\varphi_I)$. Суммированием этой диаграммы и диаграммы $A_\delta = f(\varphi_I)$ получаем диаграмму $A = f(\varphi_I)$.

- Делается допущение $\omega_I \approx \omega_{1ср}$, при котором $T_{II} \approx I^{np}_{II} * \omega_{1ср}^2 / 2$ (первое допущение метода Мерцалова), и определяется $T_{II} = f(\varphi_I)$.
- Определяется кинетическая энергия первой группы звеньев

$$T_I = A - T_{II} + T_{нач} = A - T_{II} + T_{Iнач} + T_{IIнач}$$

Так как начальные значения кинетической энергии неизвестны, то если учесть, что $T_{нач} = T_{Iнач} + T_{IIнач}$, $\Delta T_I = T_I - T_{Iнач}$, $\Delta T_{II} = T_{II} - T_{IIнач}$, получим

$$\Delta T_I = A - \Delta T_{II},$$

то есть, вычитая из суммарной работы приращение кинетической энергии второй группы, получим приращение кинетической энергии первой группы.

По функции $\Delta T_I = f(\varphi_I)$ определяется максимальное изменение кинетической энергии за цикл $\Delta T_{I_{max}}$. Второй раз делаем допущение $\omega_I \approx \omega_{Icp}$ на основании которого, как показано выше, можно записать

$$I^{np}_I = \Delta T_{I_{max}} / (\delta \cdot \omega_{Icp}^2).$$

Из этого выражения, определив предварительно $\Delta T_{I_{max}}$, можно решить две задачи:

- задачу синтеза - при заданном $[\delta]$ определить необходимый для его обеспечения приведенный момент инерции I^{np}_{Inb} ,
- задачу анализа - при заданном I^{np}_I определить обеспечиваемый им коэффициент неравномерности δ .

10.5. Алгоритм решения прямой задачи динамики при установившемся режиме движения машины.

Решение этой задачи рассмотрим на конкретном примере машинного агрегата привода буровой установки.

Дано: Кинематическая схема машины - $l_{AB} = 0.12\text{м}$, $l_{BC} = 0.528\text{м}$, $l_{BS2} = 0.169\text{м}$, средняя частота вращения кривошипа - $\omega_{Icp} = 47.124 \text{ рад/с}^2$, массы звеньев -

$m_2 = 24.2 \text{ кг}$, $m_3 = 36.2 \text{ кг}$, момент инерции - $I_{2S} = 1.21 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $I_{10} = 2.72 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, максимальное давление в цилиндре - $p_{max} = 4.4 \text{ МПа}$, коэффициент неравномерности вращения $[\delta] = 1/80$, индикаторная диаграмма (приведена на рис. 10.3).

Определить: закон движения машины $\omega_I = f(\varphi_I)$ и $\varepsilon_I = f(\varphi_I)$, момент инерции маховика $I_{дон}$, обеспечивающий заданную неравномерность вращения $[\delta]$.

1. Определение параметров динамической модели: M^{np}_δ - приведенного суммарного момента движущих сил и I^{np}_{II} - приведенного момента инерции второй группы звеньев.
2. Определение первых кинематических передаточных функций. Определение кинематических передаточных функций для звеньев механизма $u_{21} = u_{31}$, центров масс V_{qS1} , V_{qS2} и V_{qS3} и точки приложения движущей силы V_{qD} . Для определения этих функций воспользуемся методом проекций векторного контура механизма.

Рассмотрим следующие векторные контуры, изображенные на рис. 10.4 рядом со схемой механизма:

$$l_{AB} + l_{CB} = l_{AC}; l_{AS2} = l_{AB} + l_{BS2}.$$

Для первого векторного контура $l_{AB} + l_{CB} = l_{AC}$ проекции на оси координат

$$l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + l_{CB} \cdot \cos \varphi_2 = x_C = \theta,$$

$$l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 + l_{CB} \cdot \sin \varphi_2 = y_C = s_C,$$

$$\varphi_2 = \arccos(-l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 / l_{BC}).$$

Индикаторная диаграмма.

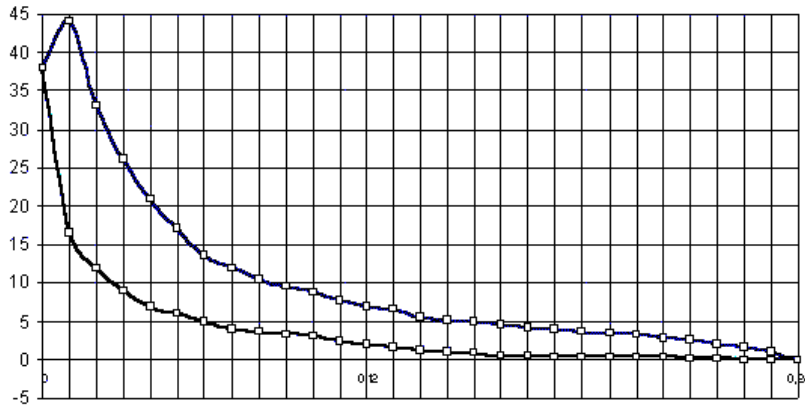


Рис. 10.3

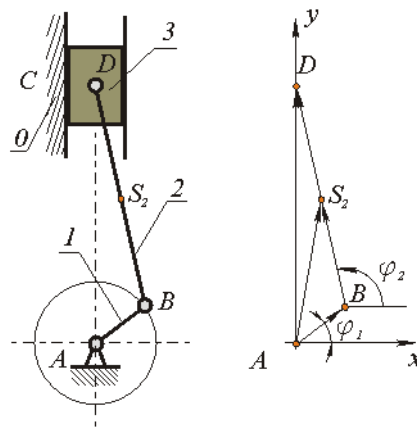


Рис. 10.4

Производные от этих выражений

$$-l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 - l_{CB} \cdot u_{21} \cdot \sin \varphi_2 = \theta,$$

$$l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + l_{CB} \cdot u_{21} \cdot \cos \varphi_2 = V_{qC},$$

позволяют определить первые передаточные функции

$$u_{21} = -l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 / (l_{CB} \cdot \sin \varphi_2),$$

$$V_{qC} = l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + l_{CB} \cdot u_{21} \cdot \cos \varphi_2.$$

Для третьего векторного контура $l_{AS2} = l_{AB} + l_{BS2}$ проекции на оси координат

$$x_{S2} = l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + l_{BS2} \cdot \cos \varphi_2,$$

$$y_{S2} = l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 + l_{BS2} \cdot \sin \varphi_2.$$

Производные от этих выражений

$$V_{qS2x} = -l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 - l_{BS2} \cdot u_{21} \cdot \sin \varphi_2,$$

$$V_{qS2y} = l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + l_{BS2} \cdot u_{21} \cdot \cos \varphi_2,$$

позволяют определить первую передаточную функцию

Диаграммы передаточных функций

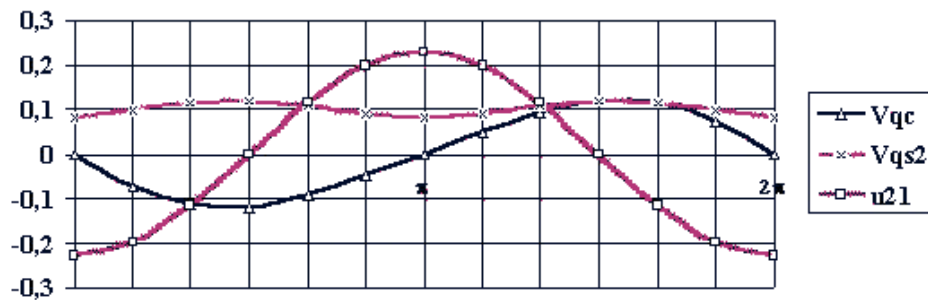


Рис. 10.5

10.6. Определение приведенного момента движущих сил M^{mp}_d .

Индикаторную диаграмму (рис.8.3) строим по заданным значениям давления в цилиндре двигателя. Отрезок хода поршня $H_C^* \mu_i$ делим на 10 интервалов. В каждой точке деления строим ординату диаграммы, задавшись (при $p_i/p_{max} = 1$) максимальной ординатой y_{pmax} . Тогда текущее значение ординаты

$$y_{pi} = y_{pmax} \cdot \frac{p_i}{p_{max}},$$

где $p_{max} = 4.4 \text{ МПа}$.

Масштаб индикаторной диаграммы

$$\mu_p = \frac{y_{pmax}}{p_{max}}.$$

Площадь поршня $S_n = \frac{\pi \cdot d_n^2}{4}$.

При построении графика силы, действующей на поршень, ординаты этого графика принимаем равными ординатам индикаторной диаграммы. Тогда масштаб силы

$$\mu_F = \mu_p / S_n.$$

Для исследуемого механизма приведенный суммарный момент состоит из двух составляющих: движущей силы и момента сил сопротивления

$$M^{np} = M^{np}_d + M^{np}_c.$$

Приведенный момент движущей силы определяется в текущем положении механизма по формуле

$$M^{np}_d = F_{di} \cdot V_{qCi} \cdot \cos(\overset{\wedge}{F_{di}, V_{qCi}}),$$

где F_{di} - значение движущей силы,

$$F_{di} = y_{Fdi} / \mu_F,$$

где y_{Fdi} - ордината силы сопротивления,

μ_F - масштаб диаграммы сил.

V_{qCi} - значение передаточной функции в рассматриваемом положении механизма,

$$\overset{\wedge}{(F_{di}, V_{qCi})}$$

- угол между вектором силы и вектором скорости точки ее приложения. Масштаб диаграммы по оси абсцисс определяется по формуле

$$\mu_p = b / 2\pi$$

где b - база диаграммы (отрезок оси абсцисс, который изображает цикл изменения обобщенной координаты).

Диаграмма приведенного движущего момента .

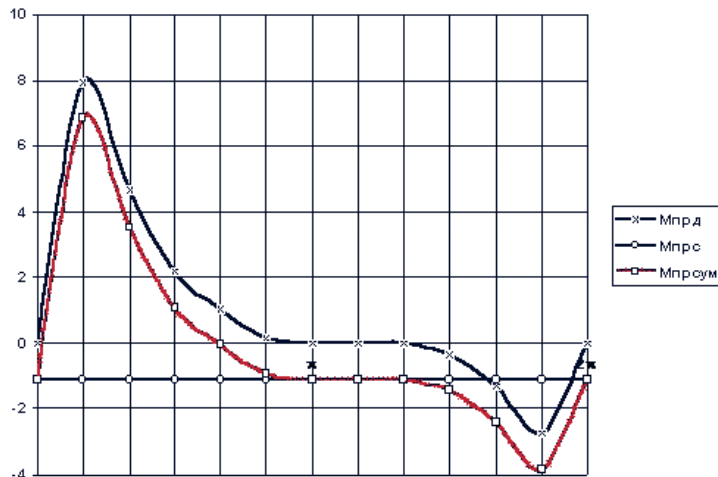


Рис. 10.6

1.3. Построение диаграммы приведенных моментов инерции $I_v^{np} = I_{II}^{np}$.

Инерционные характеристики звеньев механизма в его динамической модели представлены суммарным приведенным моментом инерции. При расчете эту характеристику динамической модели представляется в виде суммы двух составляющих переменной $I_v^{np} = I_{II}^{np}$ и постоянной $I_c^{np} = I_I^{np}$. Первая определяется массами и моментами инерции звеньев, передаточные функции которых постоянны, вторые - массами и моментами инерции звеньев передаточные функции которых переменны.

Проведем расчет переменной части приведенного момента инерции $I_v^{np} = I_{II}^{np}$. Для рассматриваемого механизма во вторую группу звеньев входят звенья 2 и 3. Звено 3 совершает поступательное движение, звено 2 - плоское. Расчет переменной части приведенного момента проводится по следующим зависимостям:

$$I_v^{np} = I_{II}^{np} = I_{2B}^{np} + I_{2II}^{np} + I_3^{np},$$

где

$$I_{2II}^{np} = m_2 \cdot V_{qS2}^2, I_{2B}^{np} = I_{S2} \cdot \omega_{2I}^2, I_3^{np} = m_3 \cdot V_{qC}^2,$$

Диаграммы приведенных моментов инерции

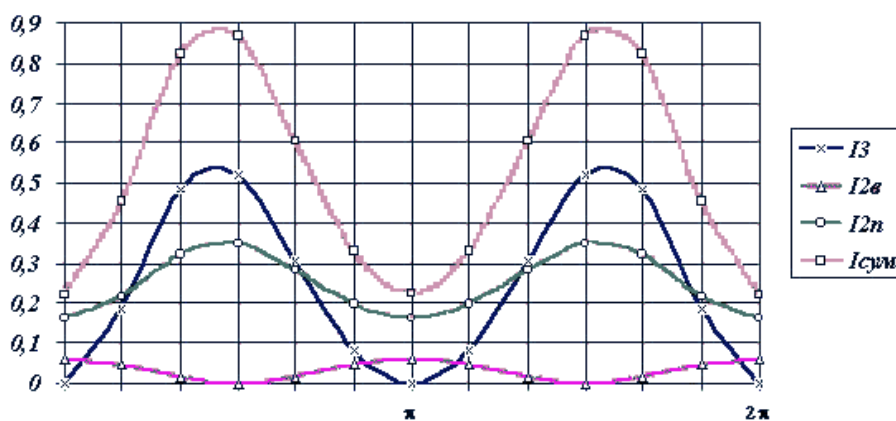


Рис. 10.7

2. Построение диаграмм работы движущей силы, сил сопротивления и суммарной работы.

Диаграмму работы движущей силы получим интегрируя диаграмму ее приведенного момента

$$A_{\partial} = \int_{\phi}^{2\pi} M^{\text{пр}}_{\partial} \cdot d\phi_1$$

Интегрирование проведем графическим методом (рис.8.8), приняв при этом отрезок интегрирования равным k_I . Тогда масштаб полученной диаграммы работы движущей силы будет равен

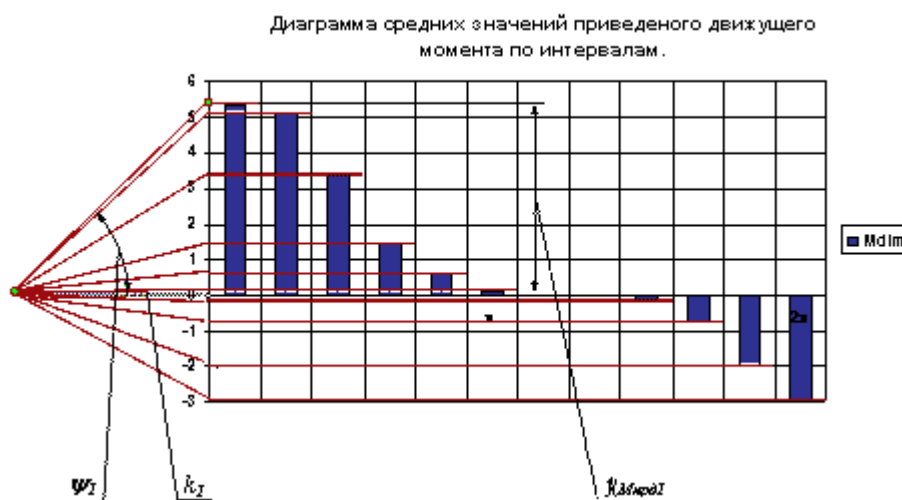


Рис. 10.8

$$tg \psi_1 = y \Delta A_{\partial} / x \Delta \varphi_1 = y_{Mnp \partial I} / k_1 \Delta A_{\partial} \cdot \mu_A / (\Delta \varphi_1 \cdot \mu_{\varphi}) = M^{np}_{\partial I} \cdot \mu_M / k_1$$

так как $\Delta A_{\partial} / \Delta \varphi_1 = M^{np}_{\partial I}$, то $\mu_A / \mu_{\varphi} = \mu_M / k_1$, откуда

$$\mu_A = \mu_M \cdot \mu_{\varphi} / k_1.$$

Величина среднеинтегрального момента сил сопротивления определяется по формуле

$$M^{np}_{ср} = A_c^4 / (2\pi).$$

3. Построение диаграмм кинетических энергий.

Диаграммы кинетических энергий для первой и второй групп звеньев получает на основании теоремы об изменении кинетической энергии системы

$$\Delta T = T - T_{нач}, A = \Delta T_I + \Delta T_{II}$$

График кинетической энергии второй группы звеньев получим из зависимости

$$T_{II} = I_{II}^{np} \cdot \omega_{1cp}^2 / 2,$$

принимая, что $\omega_I \approx \omega_{1cp}$. Тогда диаграмма приведенного момента инерции второй группы звеньев в масштабе рассчитанном по формуле

$$y_I = y_T I_{II}^{np} \cdot \mu_I = (I_{II}^{np} \cdot \omega_{1cp}^2 / 2) \cdot \mu_T, \text{ откуда}$$

$$\mu_T = 2 \cdot \mu_I / \omega_{1cp}^2,$$

соответствует диаграмме кинетической энергии T_{II} .

График кинетической энергии первой группы звеньев приближенно строим по уравнению

$$T_I = T - T_{II}.$$

В каждом положении механизма из ординат кривой $A = f(\varphi_I)$ вычитаем ординаты y_{TII} и получаем ординаты искомой диаграммы $T_I = f(\varphi_I)$. Для этого необходимо ординаты диаграммы $T_{II} = f(\varphi_I)$ из масштаба μ_T перевести в масштаб μ_A^* по формуле

$$y_{TII}^* = y_{TII} \cdot \mu_A^* / \mu_T.$$

Диаграмма кинетической энергии первой группы звеньев представлена на рис. 8.10.

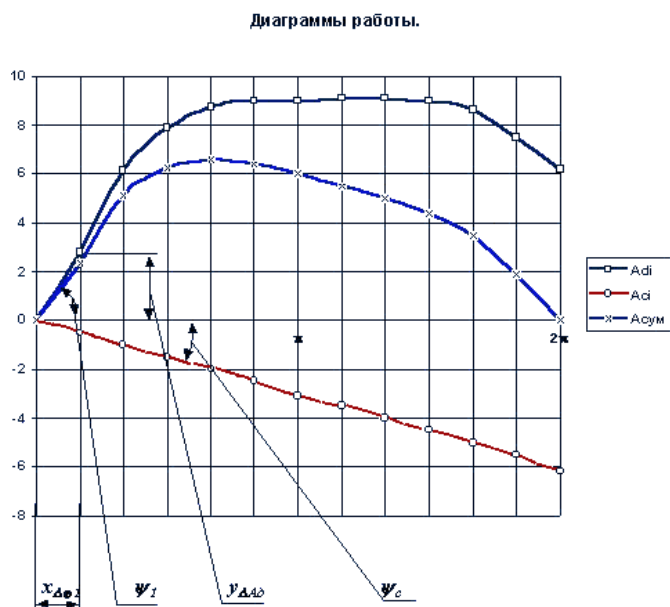


Рис. 10.9

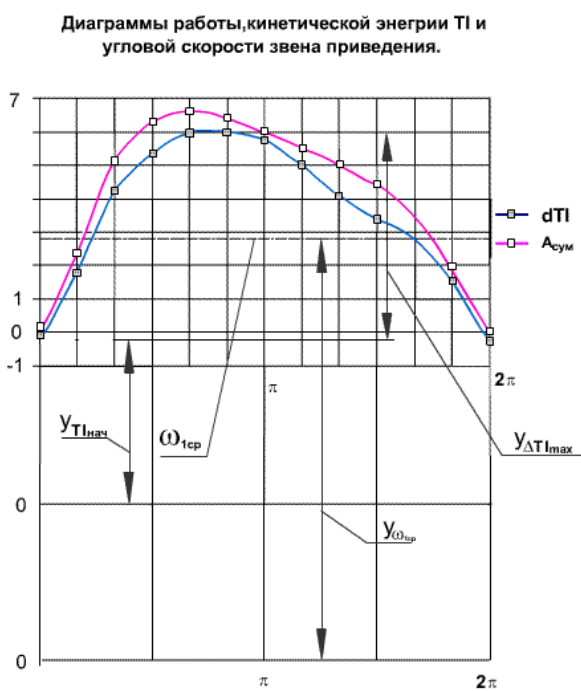


Рис. 10.10

4. Определение необходимого момента инерции маховых масс первой группы

Максимальное изменение кинетической энергии звеньев первой группы за цикл определяем по диаграмме

$$\Delta T_{I_{max}} = y_{\Delta T_{I_{max}}} / \mu_A.$$

Тогда необходимый момент инерции маховых масс первой группы звеньев, обеспечивающий заданный коэффициент неравномерности, равен

$$I_I^{np} = \Delta T_{I_{max}} / (\omega_{1cp}^2 \cdot [\delta]).$$

4.1. Определение момента инерции дополнительной маховой массы.

В нашем случае момент инерции дополнительной маховой массы рассчитывается по следующей зависимости

$$I_{дон} = I_I^{np} - I_{I0},$$

где I_{I0} - момент инерции коленчатого вала .

5. Построение приближенной диаграммы угловой скорости

Если считать, что $\omega_I \approx \omega_{1cp}$, то

$$\Delta T_I = I_I^{np} \cdot \omega_{1cp} \cdot \Delta \omega_I,$$

то есть диаграмма изменения кинетической энергии первой группы звеньев $\Delta T_I = f(\varphi_I)$ в другом масштабе соответствует диаграмме изменения угловой скорости $\Delta \omega_I = f(\varphi_I)$. Если считать что ординаты диаграмм равны, то

$$y_{\Delta \omega_I} = y_{\Delta T_I} \mu_A \cdot \Delta T_I = \mu_{\omega} \cdot \Delta \omega_I \mu_A \cdot I_I^{np} \cdot \omega_{1cp} \cdot \Delta \omega_I = \mu_{\omega} \cdot \Delta \omega_I,$$

откуда

$$\mu_{\omega} = \mu_A \cdot I_I^{np} \cdot \omega_{1cp}.$$

Ордината средней угловой скорости (для определения положения начала координат на диаграмме угловой скорости)

$$y_{\omega_{cp}} = \omega_{1cp} \cdot \mu_{\omega}$$

После определения положения оси абсцисс на диаграмме угловой скорости можно определить начальное значение угловой скорости

$$\omega_{I0} = y_{\omega_{cp}} / \mu_{\omega},$$

а по ней кинетическую энергию механизма в начальном положении

$$T_{\text{нач}} = I_I^{\text{нп}} \cdot \omega_{\text{иср}}^2 / 2.$$

6. Определение размеров маховика.

Принимаем конструктивное исполнение маховика - диск. Тогда его основные размеры и масса определяются по следующим зависимостям:

наружный диаметр

$$D = 0.366 \cdot \sqrt[5]{I_{\text{диск}}},$$

ширина $b = \psi_b \cdot D$,

масса $m = 1230 \cdot D^3$,

где $\rho = 7.8 \text{ кг/дм}^3$ - плотность материала маховика,

ψ_b - коэффициент ширины.

7. Определение углового ускорения звена приведения.

Как отмечено ранее для расчета углового ускорения звена приведения $\varepsilon_1 = f(\varphi_1)$ лучше пользоваться формулой:

$$\varepsilon_1 = \frac{d\omega_1}{dt} = \frac{M^{\text{нп}}}{I^{\text{нп}}} - \frac{\omega_1^2}{2 \cdot I^{\text{нп}}} \cdot \frac{dI^{\text{нп}}}{d\varphi_1}.$$

Необходимые для расчета значения величин определяем по ранее построенным диаграммам. Диаграмма функции $\varepsilon_1 = f(\varphi_1)$ приведена на рис. 8.11.

Диаграмма углового ускорения звена приведения.

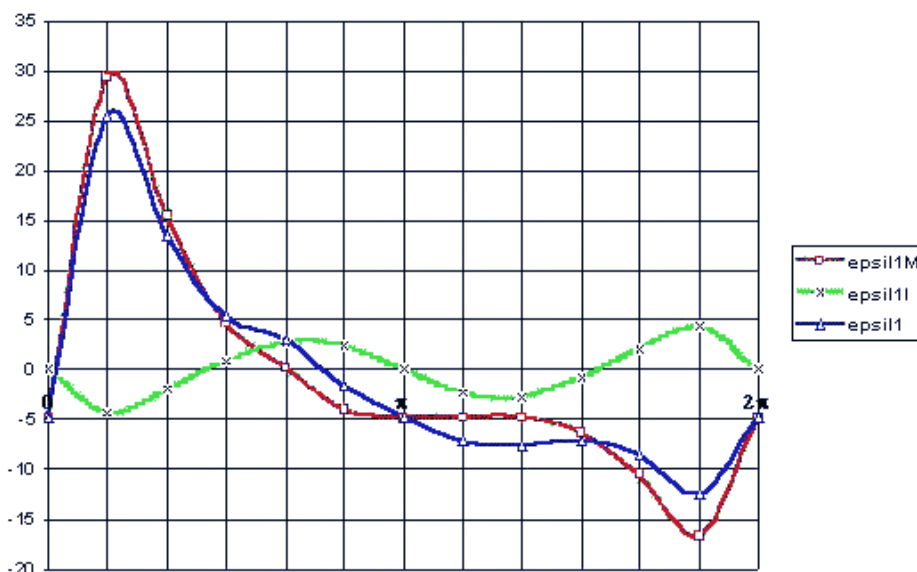


Рис. 10.11

10.7. Уточнение метода Н.И. Мерцалова по способу Б.М. Гутьяра.

В методе Мерцалова при определении кинетической энергии второй группы звеньев угловую скорость принимают постоянной и равной среднему арифметическому значению ω_{1cp} . Однако, так как известно не только ω_{1cp} , а и коэффициент неравномерности δ , то можно определить минимальное и максимальное значения угловой скорости

$$\delta = \Delta \omega_1 / \omega_{1cp} = (\omega_{1max} - \omega_{1min}) / \omega_{1cp}, \quad \omega_{1cp} = (\omega_{1max} + \omega_{1min}) / 2,$$

откуда

$$\omega_{1max} = (1 + 0.5 \delta) * \omega_{1cp},$$

$$\omega_{1min} = (1 - 0.5 \delta) * \omega_{1cp}$$

По способу предложенному Б.М. Гутьяром из графика кинетической энергии

$\Delta T = A S = f(\varphi_1)$ вычитается кинетическая энергия ΔT_{II} , определенная по максимальному ω_{1max} и минимальному ω_{1min} значениям угловой скорости (Рис.8.5). В области максимума ΔT вычитается значение рассчитанное по ω_{1max} , а в области минимума - по ω_{1min} . Таким образом устраняется ошибка вносимая в определение необходимой маховой массы использованием при расчете ΔT_{II} средней угловой скорости ω_{1cp} .

Метод Гутьяра, как и метод Мерцалова, является графо-аналитическим. При этом строятся небольшие участки кривых

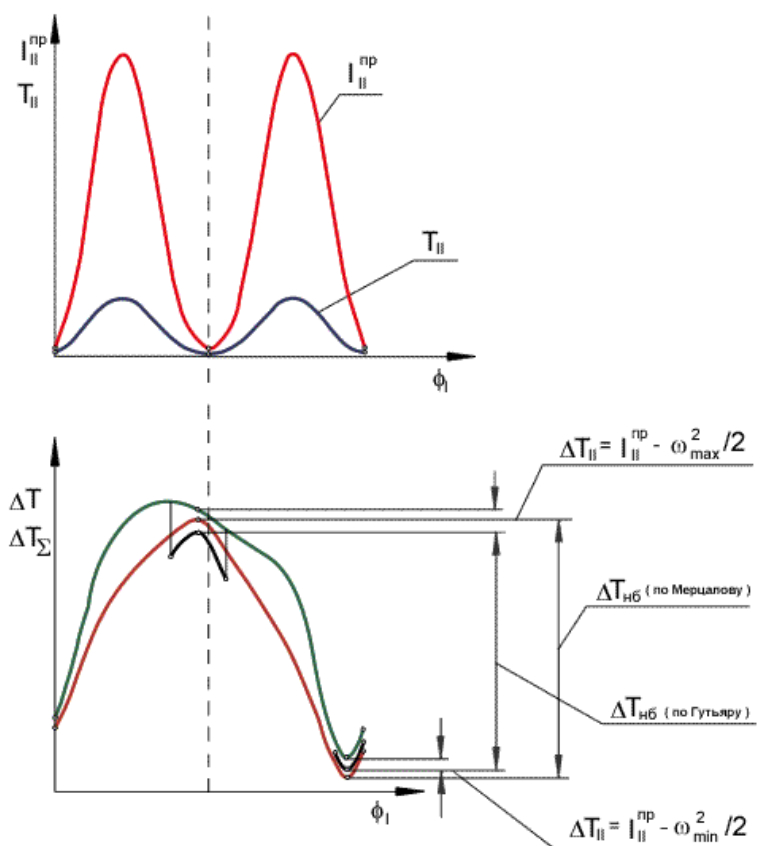


Рис. 10.12

$\Delta T - I_{II}^{np} * \omega_{1max} / 2$ - в зоне максимума кривой $\Delta T = AS = f(\varphi_1)$ и

$\Delta T - I_{II}^{np} * \omega_{1min} / 2$ - в зоне минимума кривой $\Delta T = AS = f(\varphi_1)$.

По этим участкам определяется наибольшее изменение кинетической энергии первой группы звеньев $\Delta T_{нб}$ (Рис. 8.5), по которой рассчитывается необходимая для обеспечения заданной неравномерности маховая масса. Величина $\Delta T_{нб}$, определенная по методу Гутьяра, всегда меньше, чем определенная по методу Мерцалова. То есть маховик определенный по Мерцалову больше, а коэффициент неравномерности меньше, чем заданный.

10.8. Расчет дополнительной маховой массы по методу Виттенбауэра.

Среди графо-аналитических методов расчета маховика теоретически точным считается метод Виттенбауэра. В основе этого метода лежит построение диаграммы кинетическая энергия - приведенный момент инерции (Рис.8.6). После построения этой диаграммы, рассчитываются минимальная ω_{1min} и

максимальная $\omega_{I_{max}}$ угловые скорости, а по ним угловые коэффициенты наклона касательных

$$\operatorname{tg} \psi_{max} = \mu_T * \omega_{I_{max}}^2 / (2 * \mu I),$$

$$\operatorname{tg} \psi_{min} = \mu_T * \omega_{I_{min}}^2 / (2 * \mu I).$$

Затем к диаграмме проводятся касательные, образующие с осью x углы ψ_{max} и ψ_{min} . Точка пересечения этих касательных образует начало новой системы координат, смещенное от исходной по оси y на

$$yI = \mu I * I_I^{np},$$

а по оси x на

$$xI = \mu_T * T_{нач},$$

где I_I^{np} - необходимый момент инерции звеньев первой группы, обеспечивающий заданный коэффициент неравномерности, $T_{нач}$ - начальная кинетическая энергия системы. Так как точка пересечения касательных может при малых δ выйти за пределы чертежа, величину ординаты yI можно рассчитать по отрезку ab , отсекаемому на оси y касательными:

$$yI = ab / (\operatorname{tg} \psi_{max} - \operatorname{tg} \psi_{min}).$$

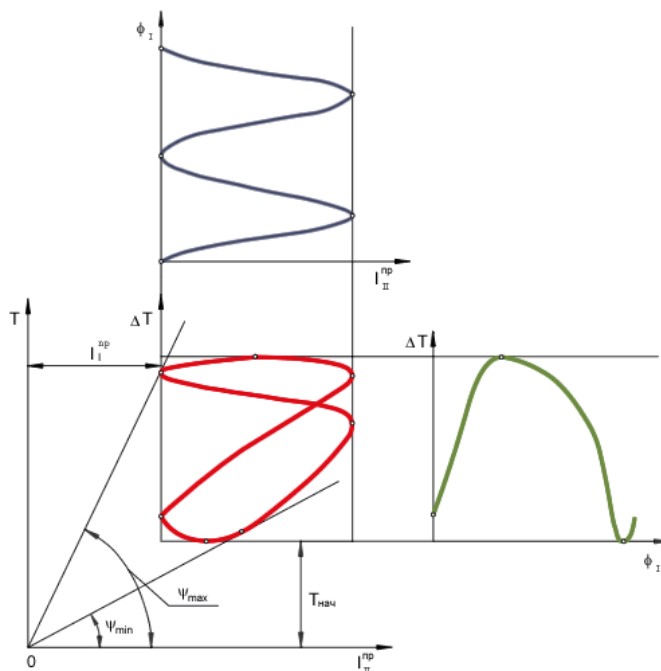


Рис. 10.13

10.9. Приведенная статическая характеристика асинхронного электродвигателя. Понятие о устойчивости работы машины.

Как отмечалось ранее, силы действующие на механизмы зависят не только от положения или обобщенной координаты, а зависят и от времени или от скорости. Эти зависимости обычно определяются экспериментально и называются механическими характеристиками машины. Механическая характеристика приведенная к обобщенной координате или скорости называется приведенной механической характеристикой. В качестве примера рассмотрим приведенную статическую характеристику асинхронного электродвигателя. На диаграмме: $M^{np}_{\partial n}$ - приведенный пусковой момент; $M^{np}_{\partial n}$ - приведенный номинальный крутящий момент; $M^{np}_{\partial k}$ или $M^{np}_{\partial max}$ - приведенный критический или максимальный момент; ω_{1n} - номинальная круговая частота вращения звена приведения; ω_{1xx} или ω_{1c} - частота вращения звена приведения на холостом ходу или синхронная. Уравнение приведенной статической характеристики асинхронного электродвигателя на линеаризованном участке устойчивой части

$$M^{np}_{\partial} = b_1^* + k_1^* \cdot \omega_1,$$

где M^{np}_{∂} - приведенный движущий момент на звене приведения,

ω_1 - круговая частота звена приведения ,

$$b_1^* = M^{np}_{\partial n} \cdot \omega_1 / (\omega_{1c} - \omega_{1n}), k_1^* = -M^{np}_{\partial n} / (\omega_{1c} - \omega_{1n}).$$

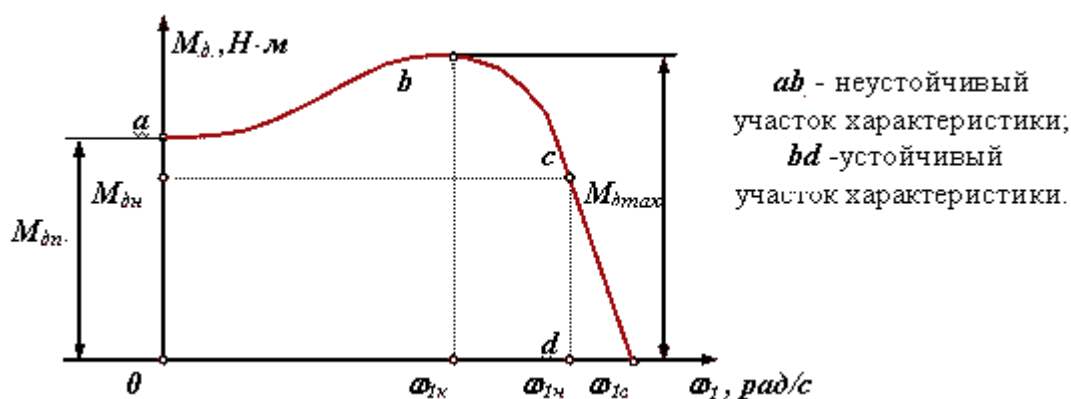


Рис. 10.14

Как на исходной статической характеристике двигателя, так и на приведенной можно выделить два участка: устойчивый - **bd** и неустойчивый - **ab**. На устойчивом участке при увеличении момента сопротивления на валу

двигателя частота вращения уменьшается, обеспечивая сохранение мощности примерно на постоянном уровне, на неустойчивом участке работа двигателя невозможна, так как в любой точке этого участка увеличение момента сопротивления на валу двигателя должно сопровождаться увеличением частоты вращения и увеличением мощности двигателя, при этом моменты сопротивления больше пускового момента двигателя. При увеличении момента сопротивления на валу звена привода до величины большей M^{np}_{dmax} двигатель попадает в зону неустойчивой характеристики и останавливается. Для устойчивой работы машины необходимо, чтобы колебания момента сопротивления на валу звена привода не выходили за пределы линейной части устойчивого участка приведенной статической характеристики.

10.10. Учет приведенной статической характеристики при анализе динамических процессов в машине.

Учет влияния статической характеристики двигателя на закон движения машины можно проводить различными методами:

- совместным решением уравнения движения с уравнением статической характеристики;
- последовательным приближением (на первом этапе решается задача для сил зависящих только от положения, на втором и последующих учитывается статическая характеристика двигателя).

Рассмотрим решение задачи методом последовательных приближений для машинного агрегата с приводом от асинхронного электродвигателя (пример с поршневым насосом в лекции 6). При первом приближении решается задача определения закона движения без учета статической характеристики, по алгоритму описанному в предыдущем разделе. Затем определяется приведенная статическая характеристика и по ней определяются значения движущего момента при каждом значении угловой скорости, рассчитанной на первом этапе (при первом приближении). По этим значениям момента строится диаграмма движущего момента второго приближения $M^{np}_{d(2)}$, затем определяется суммарная работа, кинетическая энергия первой группы звеньев и угловая скорость звена привода при втором приближении. Далее эти действия повторяются пока различия между результатами расчета на последующем этапе будут отличаться от результатов предыдущего на величину меньшую заданной погрешности. На рис. 8.13 показано графическое решение задачи при втором приближении.

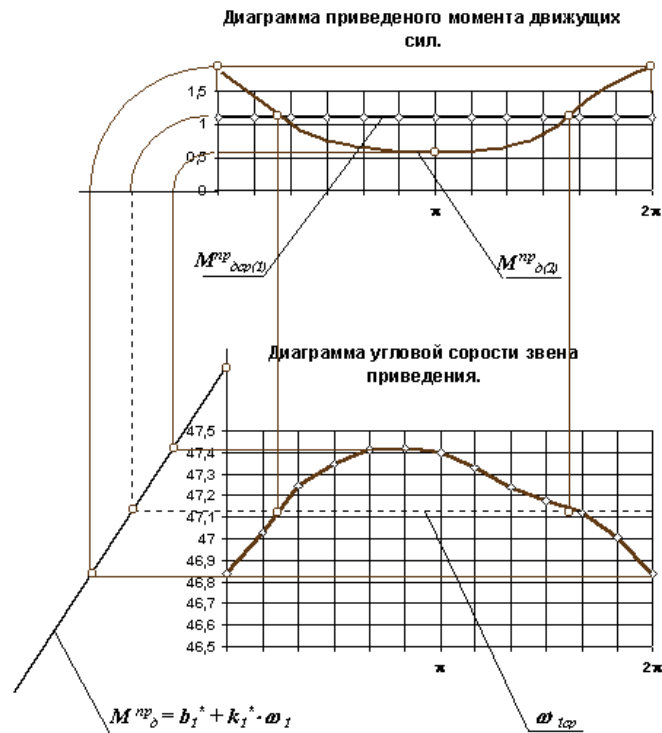


Рис. 10.15

Контрольные вопросы к лекции 10.

1. Какой режим движения машины называется установившимся ?
2. Что называется "коэффициентом неравномерности" и какие величины этого коэффициента установлены для различных машин ?
3. Какими методами регулируется величина "коэффициента неравномерности" ?
4. Как влияет момент инерции маховика на коэффициент неравномерности ?
5. Как по коэффициенту неравномерности определяется необходимая маховая масса первой группы звеньев ?
6. Изложите алгоритм решения задачи регулирования хода машины по методу Н.И. Мерцалова ?
7. По каким зависимостям рассчитываются первые передаточные функции кривошипно-ползунного механизма ?
8. Как определяются параметра динамической модели для двигателя внутреннего сгорания ?
9. Как строится диаграмма кинетической энергии второй группы звеньев ?
10. Как строится диаграмма угловой скорости звена привода ?
11. Как учитывается статическая характеристика асинхронного электродвигателя при анализе динамических процессов ?