

Лекция № 2.2

**Эксплуатационные
характеристики и режимы
работы тракторных двигателей**

В О П Р О С Ы

1

Эксплуатационные показатели и характерные режимы работы тракторных двигателей

2

Обоснование нагрузочных режимов тракторных двигателей . Оценочные показатели нагрузочных режимов

3

Текущие значения эксплуатационных показателей тракторных двигателей.

4

Построение внешней скоростной характеристики по паспортным данным двигателя

5

Использование внешней скоростной характеристики двигателя в эксплуатационных расчетах

1

Эксплуатационные показатели тракторных двигателей

M_e

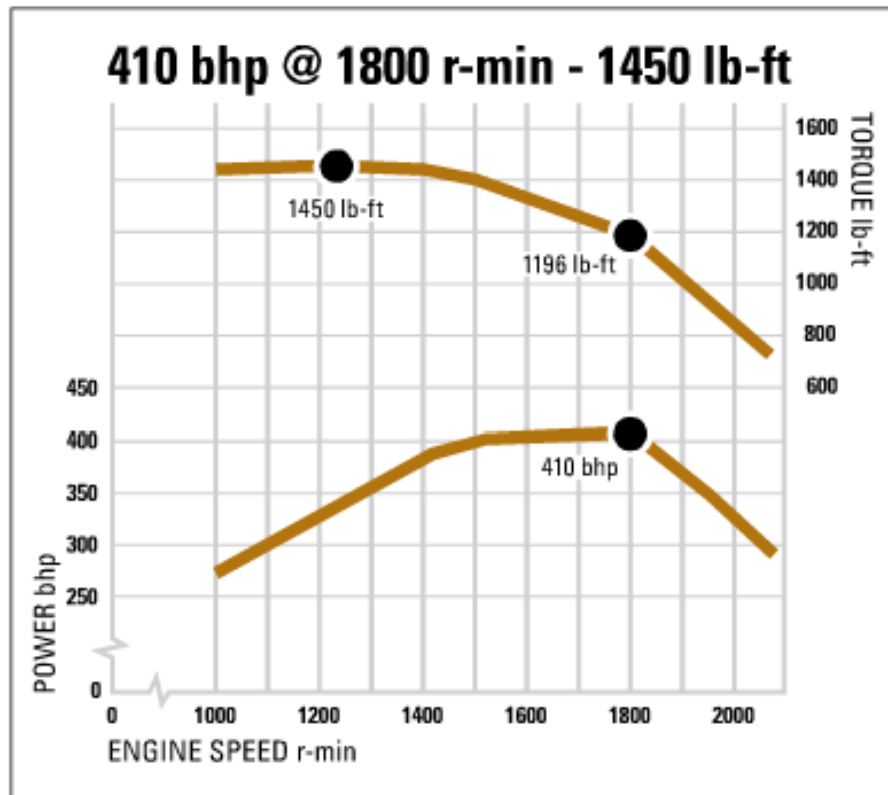
g_e

N_e

G_m

n

Horsepower and Torque Curve



Power Ratings

DD13 Engine Power Ratings	
370 HP @ 1800 RPM	1250 lb-ft @ 1100 RPM
350 HP @ 1800 RPM	1350 lb-ft @ 1100 RPM
380 HP @ 1800 RPM	1350 lb-ft @ 1100 RPM
380 HP @ 1800 RPM	1450 lb-ft @ 1100 RPM
410 HP @ 1800 RPM	1450 lb-ft @ 1100 RPM
410 - @ 1800 RPM	1550 lb-ft @ 1100 RPM
435 HP @ 1800 RPM	1550 lb-ft @ 1100 RPM
450 HP @ 1800 RPM	1550 lb-ft @ 1100 RPM
410 HP @ 1800 RPM	1650 lb-ft @ 1100 RPM
450 HP @ 1800 RPM	1650 lb-ft @ 1100 RPM
470 HP @ 1800 RPM	1650 lb-ft @ 1100 RPM

DD13 Engine Multi-Torque Power Ratings	
380 HP @ 1800 RPM	1350/1550 lb-ft @ 1100 RPM
410 HP @ 1800 RPM	1450/1650 lb-ft @ 1100 RPM

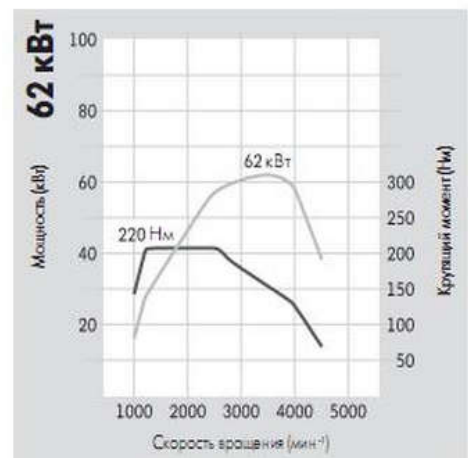
Дизельные двигатели VW

Дизельный TDI® 2.0л, 62 кВт

Прямой впрыск Common-rail
4
1968
62 при 3500 1/мин
220 при 1250 – 2500 1/мин
98/69 EG III; A, Euro-4

●
—
—

●
—
—

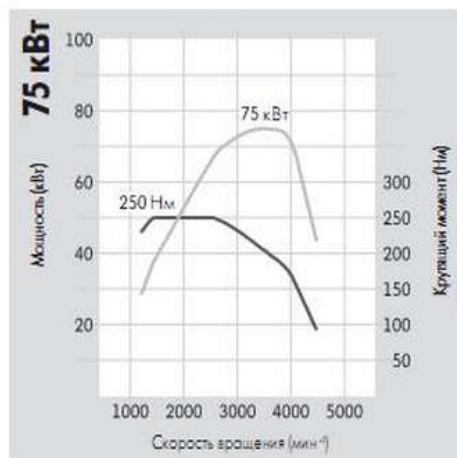


Дизельный TDI® 2.0л, 75 кВт

Прямой впрыск Common-rail
4
1968
75 при 3500 1/мин
250 при 1500 – 2500 1/мин
98/69 EG III; A, Euro-4

●
—
—

●
—
—

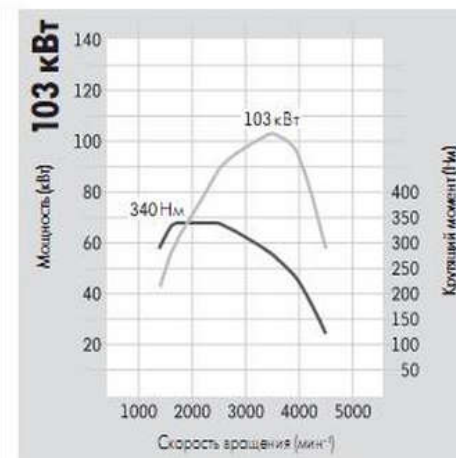


Дизельный TDI® 2.0л, 103 кВт

Прямой впрыск Common-rail
4
1968
103 при 3500 1/мин
340 при 1750 – 2500 1/мин
98/69 EG III; A, Euro-4

—
●
○

●
○
—

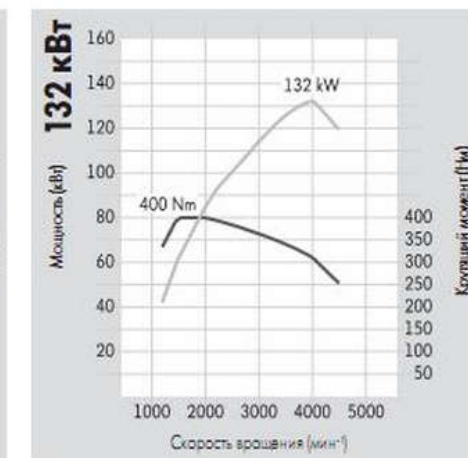


Дизельный bitDI® 2.0л, 132 кВт

Прямой впрыск Common-rail
4
1968
132 при 4000 1/мин
400 при 1500 – 2000 1/мин
98/69 EG III; A, Euro-4

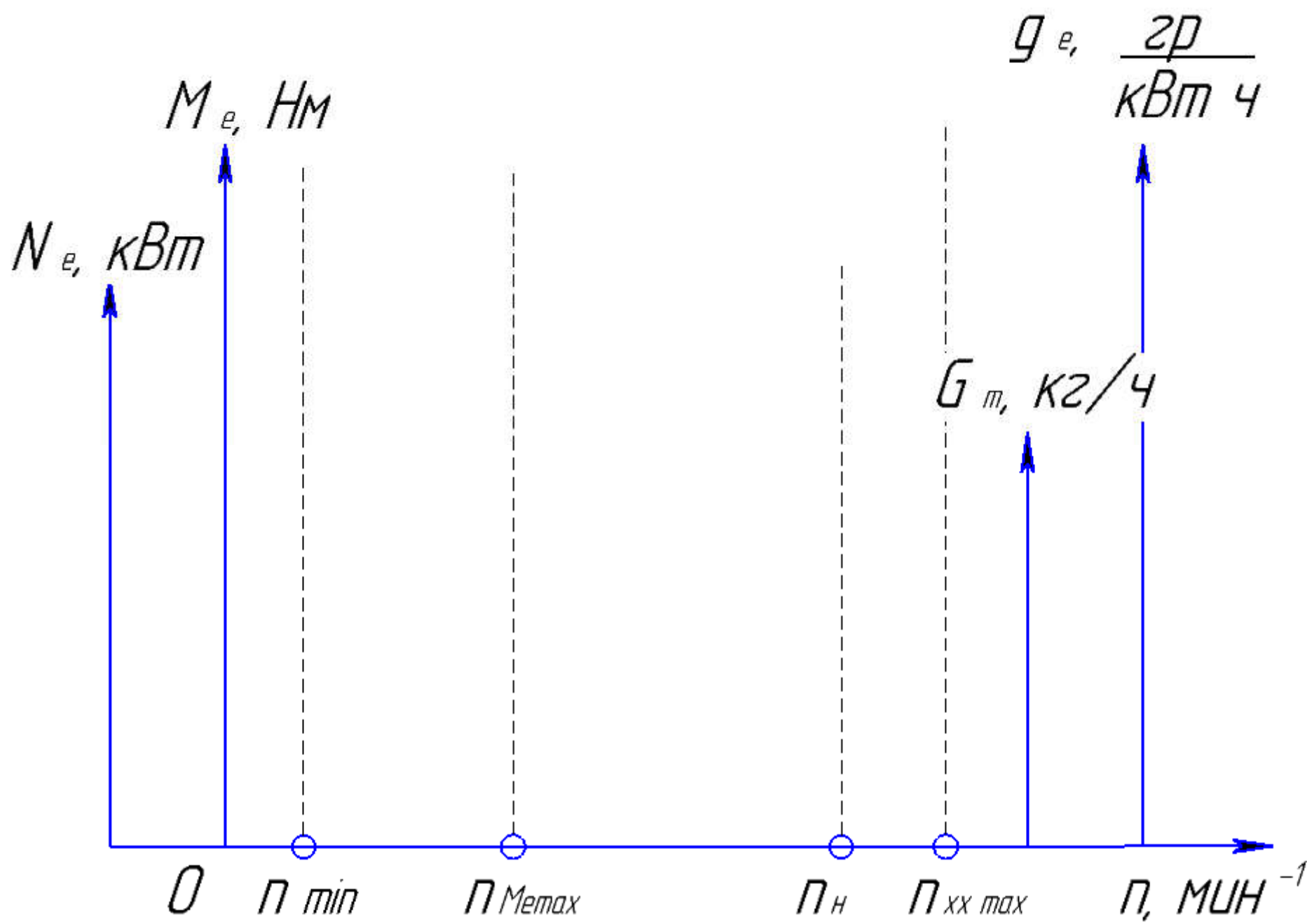
—
●
○

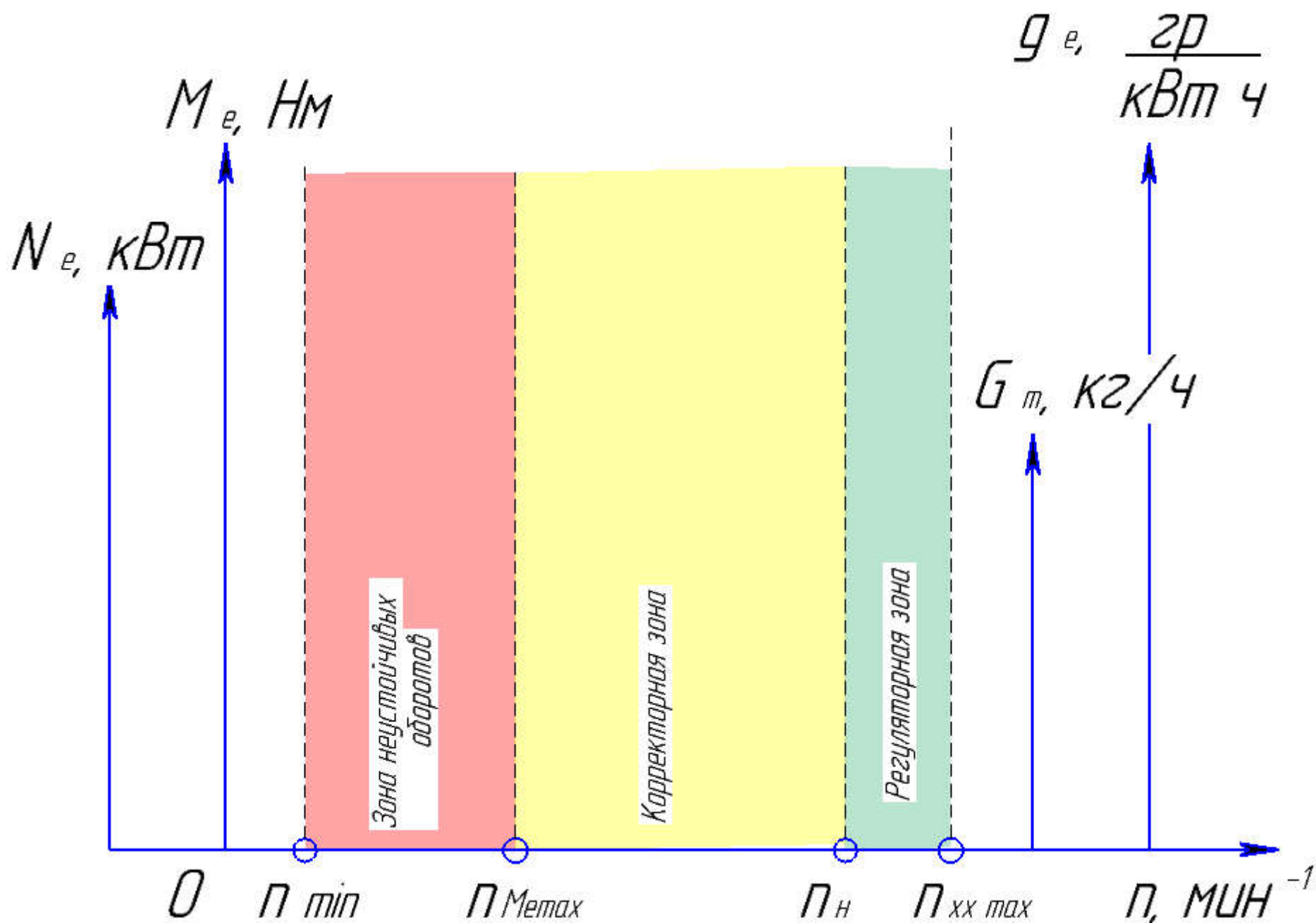
●
○
○

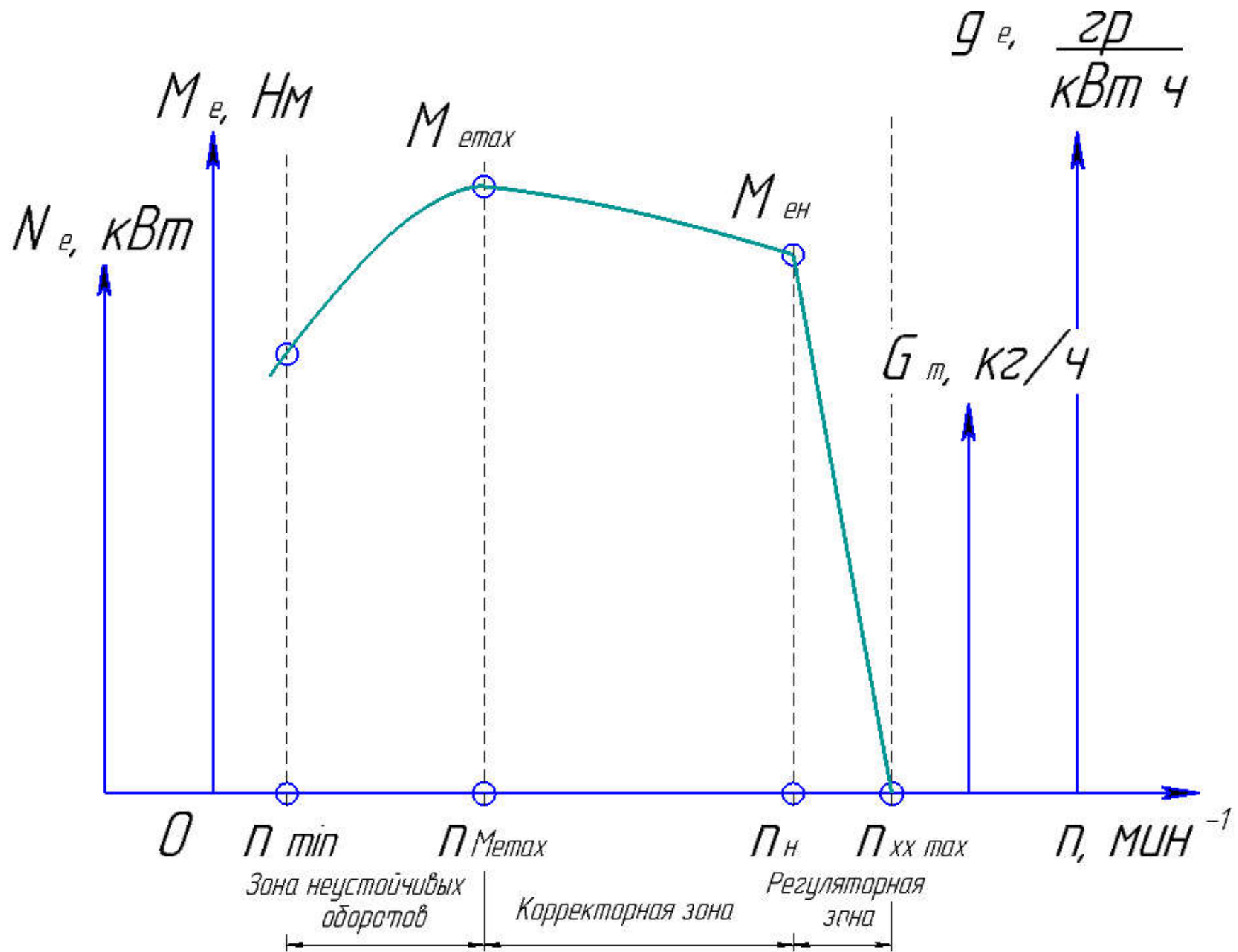


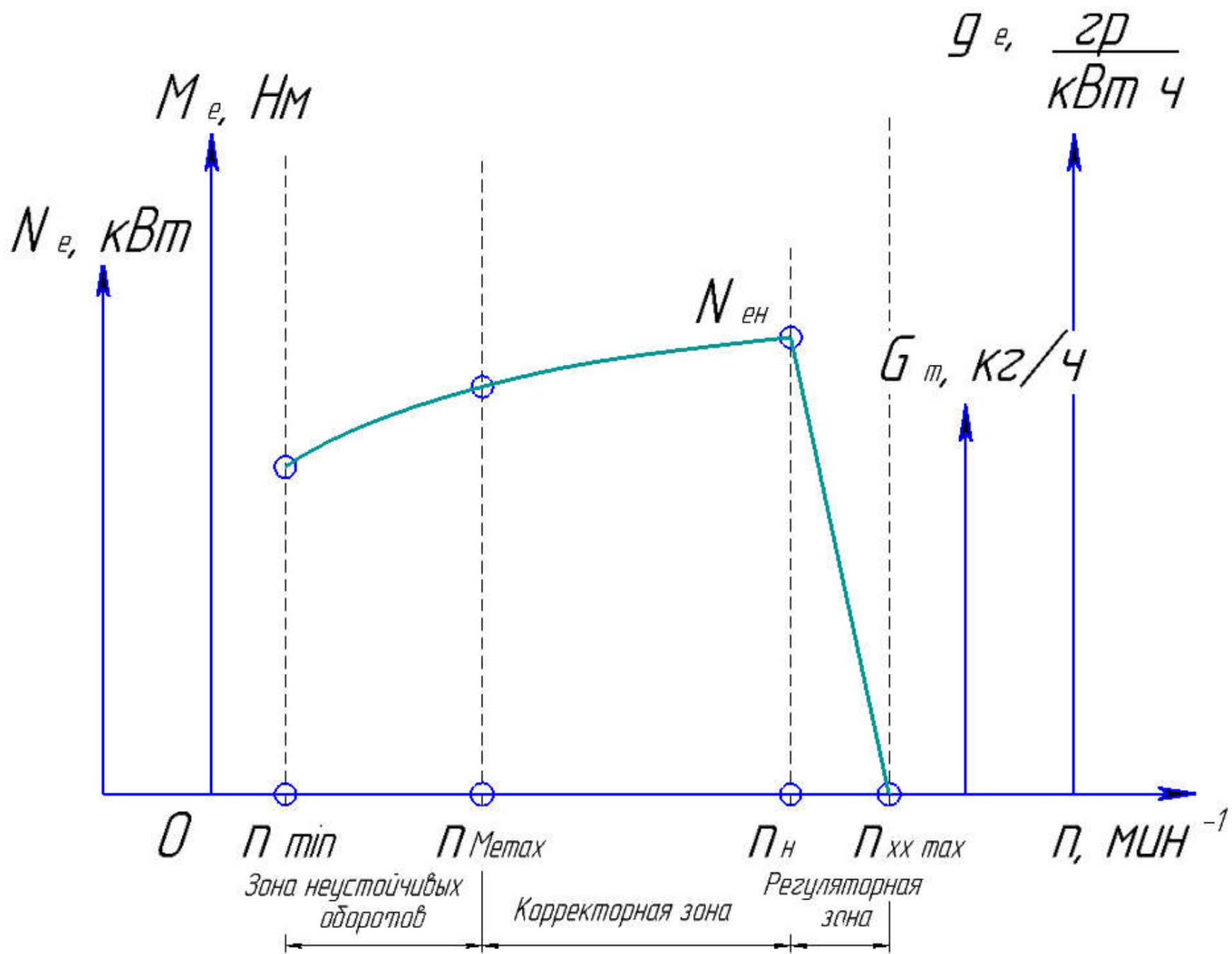
Дизельные двигатели *Deutz*

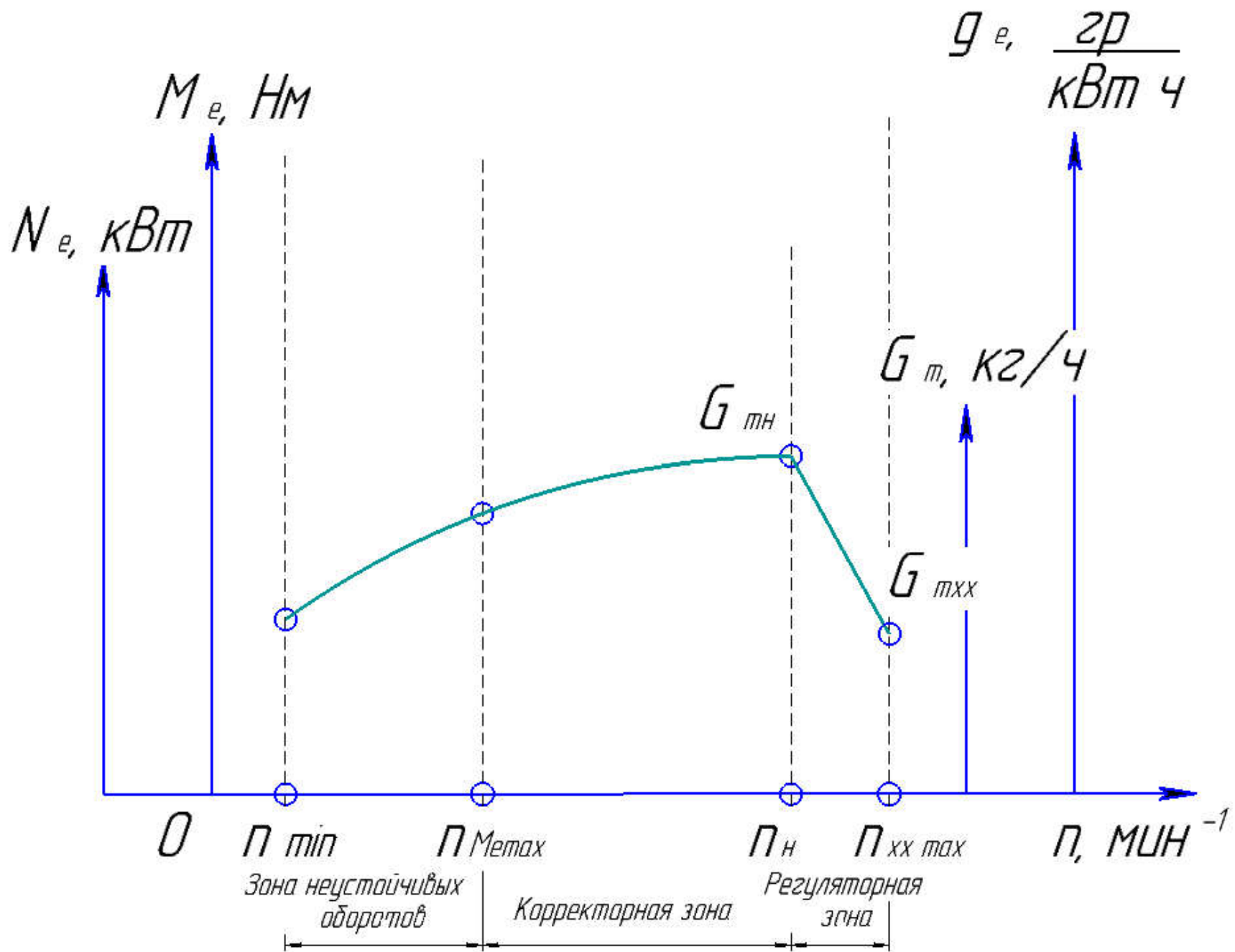
Двигатель	
Марка	Deutz
Модель	BF06M1013FC
Тип	<u>4-х тактный, дизельный с турбонаддувом</u>
Число цилиндров	6
Диаметр цилиндра, мм	108
Ход поршня, мм	130
Рабочий объем, л	7,146
Номинальная частота вращения, об/мин	2300
Мощность номинальная, кВт (л. с.)	222,8(303)
Максимальный крутящий момент, Н.м	1300
Коэффициент запаса крутящего момента, %	30
Удельный расход топлива при эксплуатационной мощности, г/кВт.ч	248

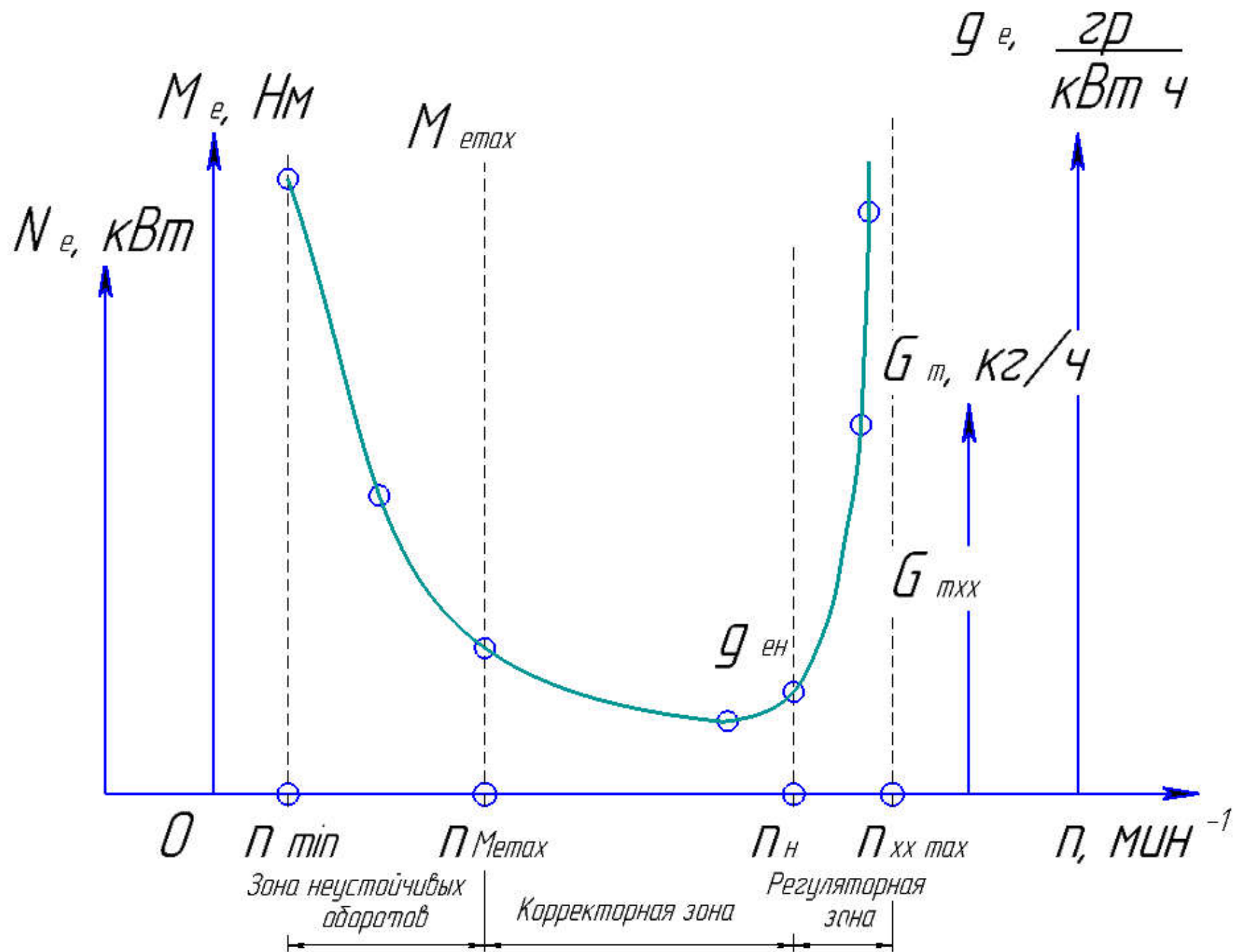


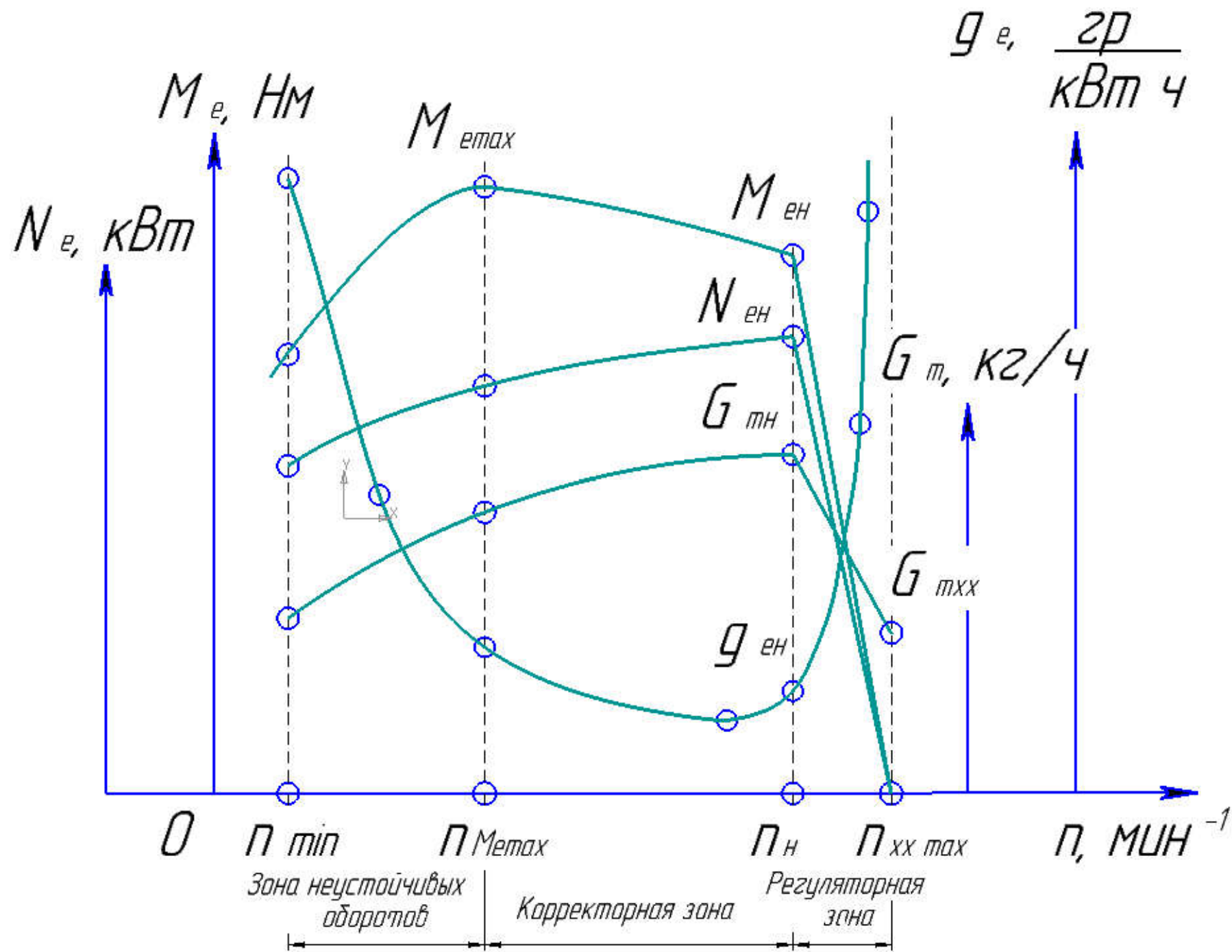












$$M_e = 9550 N_e / n$$

$$g_e = G_m \cdot 1000 / N_e$$

$$G_{mxx} \approx (0,25 \dots 0,30) G_{mH}$$

$$n_{xx. \max} = n_H \frac{2 + \delta_{pH}}{2 - \delta_{pH}}$$

$$k_M = M_{e \max} / M_{en}$$

$$k_n = n_n / n_{M_{e \max}}$$

Для тракторных дизельных двигателей:

$$k_M = 1,1 \dots 1,2; \quad k_n = 1,6 \dots 2.$$

$$\Delta M = \frac{M_{e \max} - M_{en}}{M_{en}} \cdot 100\%$$

Характерные режимы работы тракторных двигателей

Регуляторная зона – режим работы определяется действием всережимного регулятора

Корректорная зона – режим работы определяется действием корректора

В условиях эксплуатации режим работы агрегата должен быть выбран таким образом, чтобы большую часть времени двигатель работал в регуляторной зоне, причем при частоте вращения близкой к *номинальной*.

На регуляторной характеристике представляются показатели, характерных режимов работы двигателя:

Режим холостого хода

эффективная мощность и крутящий момент равны нулю, т.е. внешняя нагрузка отсутствует,

частота вращения коленвала равна максимальной частоте холостого хода $n_{xx.макс}$,

часовой расход топлива равен часовому расходу на холостом ходу $G_{тхх}$;

удельный расход топлива стремится к $+\infty$

Номинальный режим

эффективная мощность принимает максимальное из возможных значений и называется номинальной эффективной мощностью двигателя $N_{ен}$

крутящий момент носит название номинальный крутящий момент и обозначается $M_{ен}$;

частота вращения коленчатого вала принимает значение равное номинальной частоте вращения n_n ;

удельный расход топлива носит название номинальный удельный расход топлива и обозначается $g_{ен}$.

Эксплуатационные показатели именно этого режима работы представляются в технических характеристиках двигателей и являются границей начала работы корректора.

Режим максимального крутящего момента

Показатели алогичны номинальному режиму, но при их определении добавляются слова (индексы) «при максимальном крутящем моменте», например

частота вращения коленчатого вала двигателя при максимальном крутящем моменте –

$n_{Мемакс}$

Значения показателей на этом режиме определяют конец зоны работы корректора.

Обоснование нагрузочных режимов тракторных двигателей . Оценочные показатели нагрузочных режимов

Характер нагружения двигателя при выполнении различных сельскохозяйственных работ, особенно полевых, существенно отличается от характера нагружения его на стенде при снятии регуляторной характеристики. Реальные силы сопротивления рабочих машин имеют вероятностный характер изменения (рис.3).

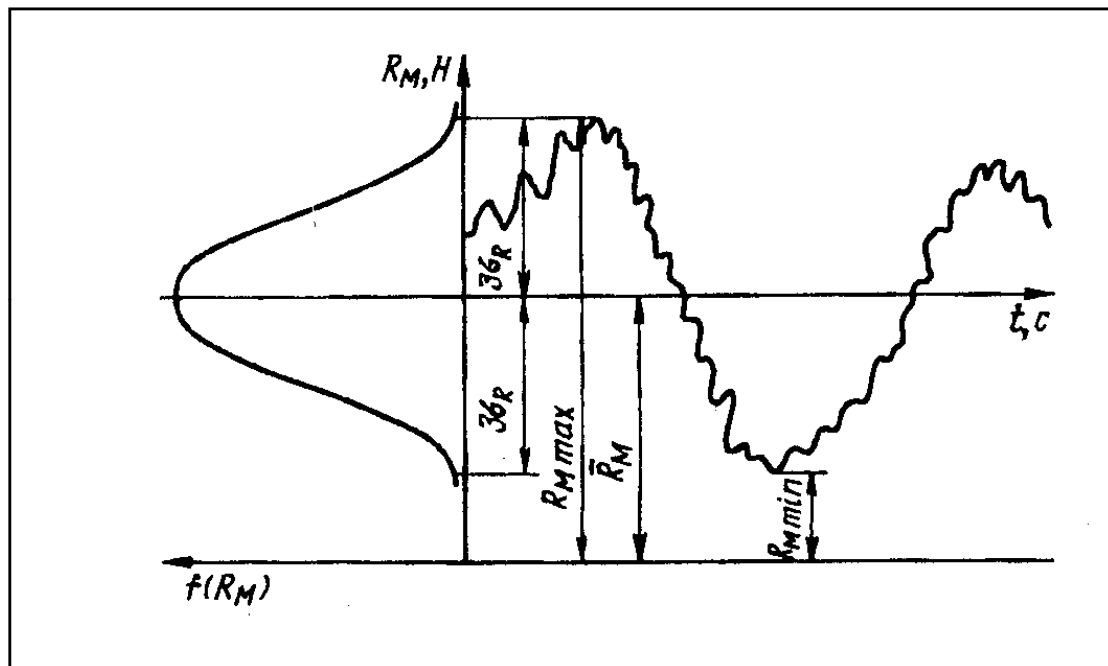


Рис.3. График изменения рабочего сопротивления сельскохозяйственной машины во времени (примерный)

Аналогично изменяется и момент сил сопротивления на валу двигателя – по закону распределения, близкому к нормальному. В связи с этим важно определить основные числовые характеристики момента сопротивления как случайной величины. В качестве упрощенной числовой характеристики случайной величины момента сопротивления при эксплуатационных расчетах может применяться степень его неравномерности δ_M .

$$\delta_M \approx \frac{M_{c.max} - M_{c.min}}{M_{c.sp}}.$$

В общем случае значение степени неравномерности момента сопротивления зависит от вида сельскохозяйственных работ, ширины захвата и состояния рабочих органов машины, типа и состояния обрабатываемого материала.

Возможные значения момента сопротивления находятся между $M_{c.min}$ и $M_{c.max}$, которые определяются по следующим зависимостям:

$$M_{c.max} = M_{c.sp}(1 + \delta_M/2); \quad M_{c.min} = M_{c.sp}(1 - \delta_M/2).$$

При обосновании нагрузочного режима двигателя трактора, который зависит от величины сил сопротивления сельскохозяйственных машин и соответствующих им приведенных моментов M_c , необходимо установить соотношение между крутящим моментом двигателя M_e и моментом сил сопротивления M_c .

Для этого используют условия **безостановочной работы (двигатель не глохнет под нагрузкой)**

$$M_{c.max} \leq 0,97M_{e.max}$$

и рациональной загрузки (оптимальный режим работы двигателя)

$$M_{c.max} \leq 1,05M_{ен}$$

Допустимый средний момент сопротивления на валу двигателя из условия **безостановочной работы** равен

$$M_{c.ср} = \frac{0,97M_{ен} K_M}{1 + \frac{\delta_M}{2}},$$

а из условия **рациональной загрузки**

$$M_{c.ср} = \frac{1,05M_{ен}}{1 + \frac{\delta_M}{2}}.$$

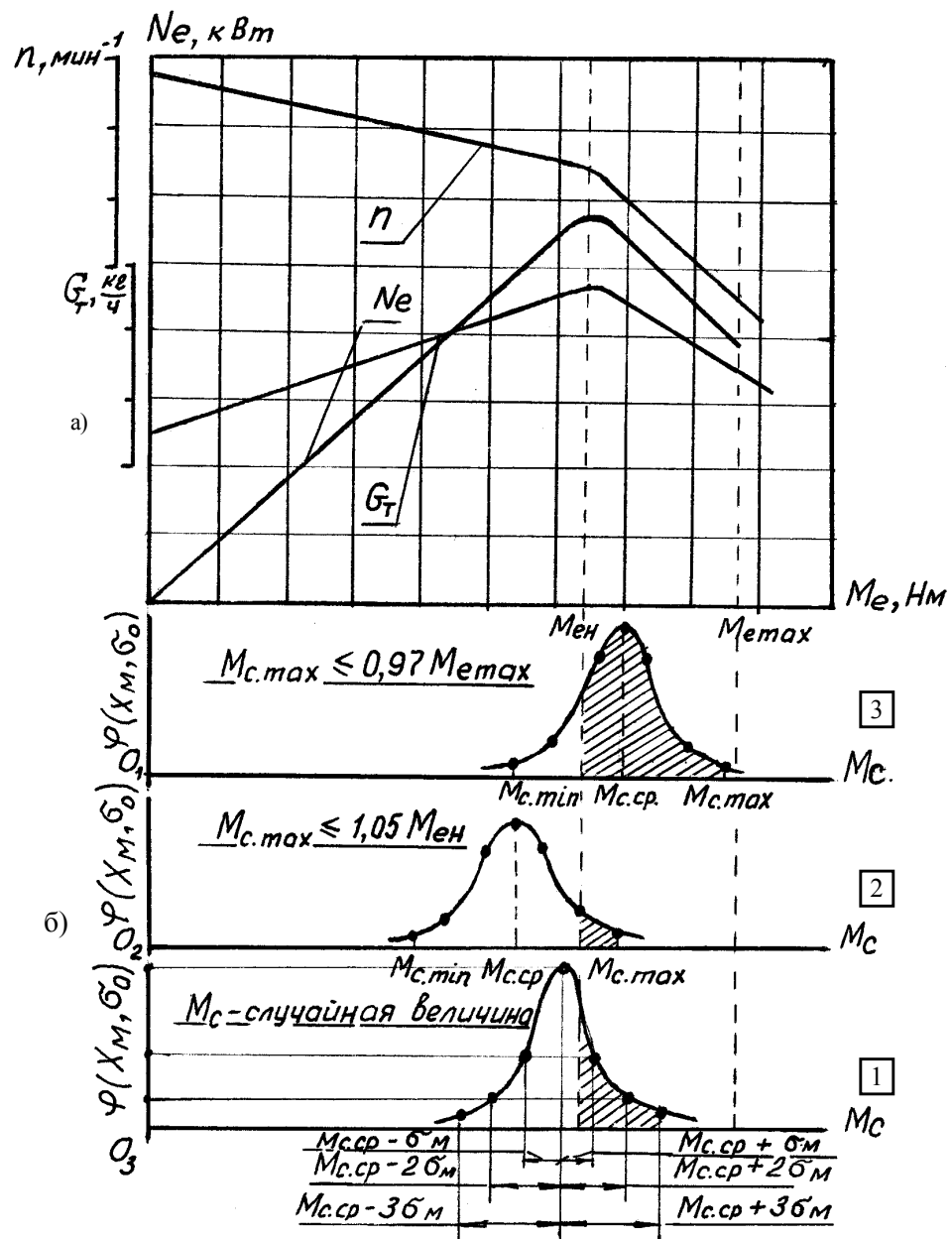


Рис.4. Внешняя скоростная характеристика двигателя в функции крутящего момента (а) и вид законов распределения приведенного момента сил сопротивления (б).

Важнейшей оценочной характеристикой полноты реализации энергетических возможностей двигателя при работе машинно-тракторного агрегата в конкретных условиях эксплуатации является коэффициент загрузки по мощности (коэффициент использования номинальной эффективной мощности)

$$\eta_N = \frac{N_{ei}}{N_{en}}$$

где N_{ei} — мощность, соответствующая нагрузке в конкретных условиях.

При эксплуатационных расчетах часто используется также коэффициент использования номинального крутящего момента

$$\eta_M = \frac{M_{ei}}{M_{en}}$$

где M_{ei} , — крутящий момент при той же нагрузке.

Установим взаимосвязь между указанными выше коэффициентами.

$$M_{ei} = 9550 N_{ei} / n_i, \quad (1)$$

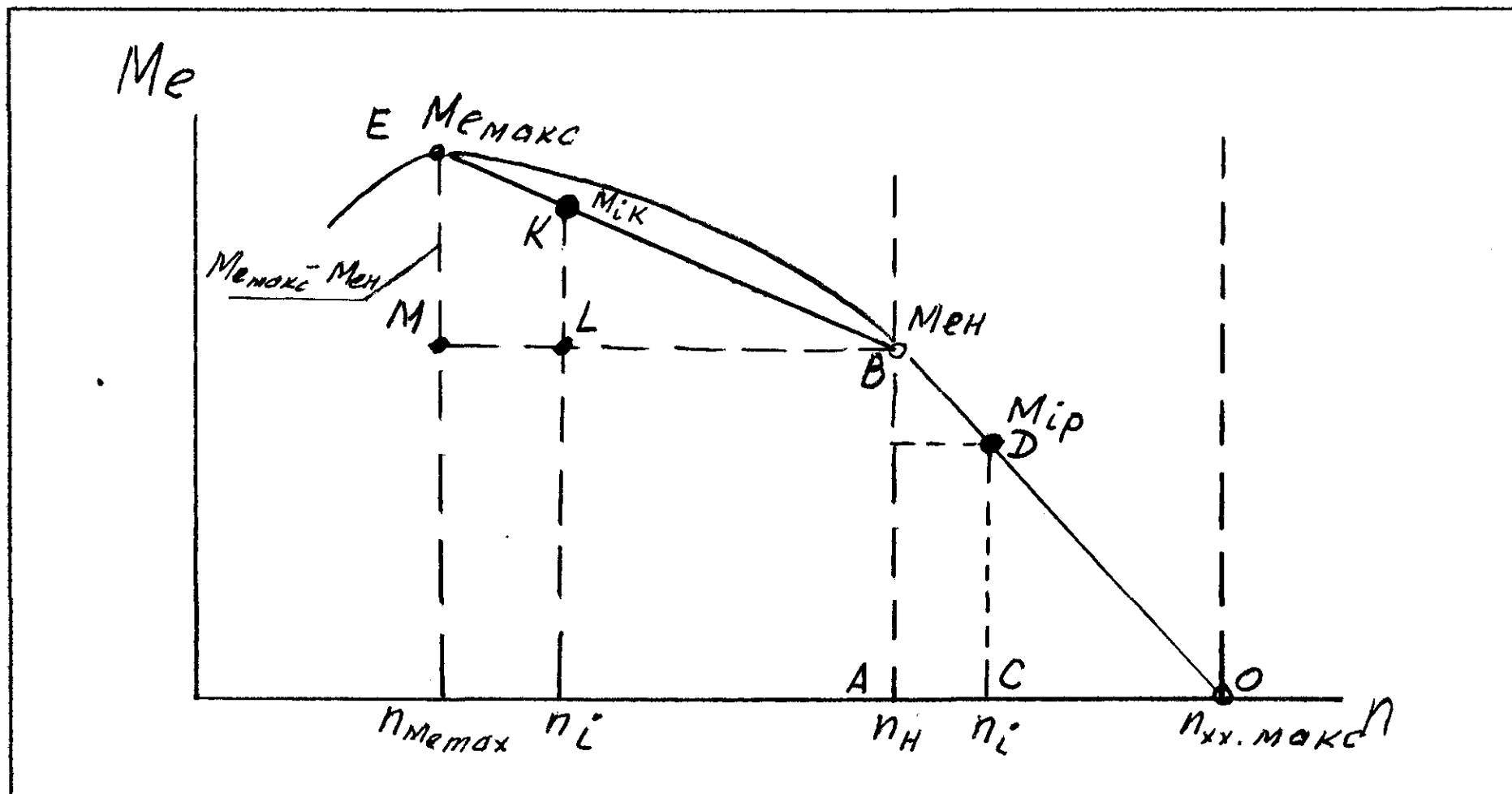
$$M_{eH} = 9550 N_{eH} / n_H, \quad (2).$$

Разделив (1) на (2), получим

$$\eta_N = \eta_M \frac{n_i}{n_H}$$

из которого следует, что равенство $\eta_N = \eta_M$ выполняется только при $n_i = n_H$, т. е. при номинальной нагрузке двигателя.

Текущие значения эксплуатационных показателей тракторных двигателей. Построение внешней скоростной характеристики по паспортным данным двигателя



В пределах регуляторной ветви от $n_{xx.макс}$ до n_n крутящий момент M_i любой i -й точке с достаточной точностью определяют по линейной зависимости

$$M_{ip} = M_{ен} \left(\frac{n_{xx.макс} - n_i}{n_{xx.макс} - n_n} \right) \quad (1)$$

Аналогичной линейной зависимостью приближенно аппроксимируется также корректорная ветвь

$$M_{ik} = M_n + (M_{емакс} - M_n) \left(\frac{n_n - n_i}{n_n - n_{M_{емакс}}} \right) \quad (2)$$

Соответствующие мощности на указанных участках характеристики определяют из равенств

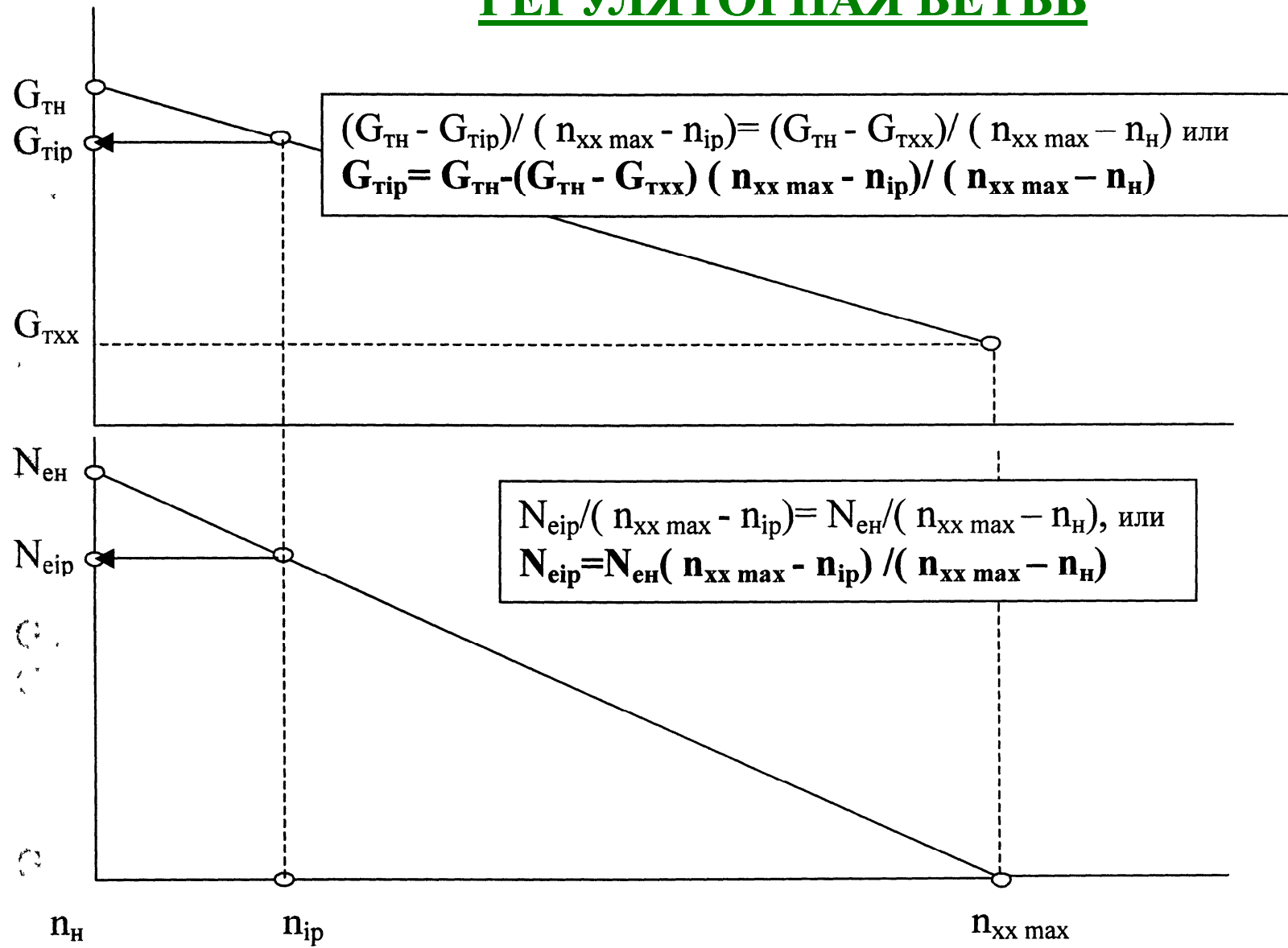
$$N_{ip} = 9550 M_{ip} / n_i$$

$$N_{ik} = 9550 M_{ik} / n_i$$

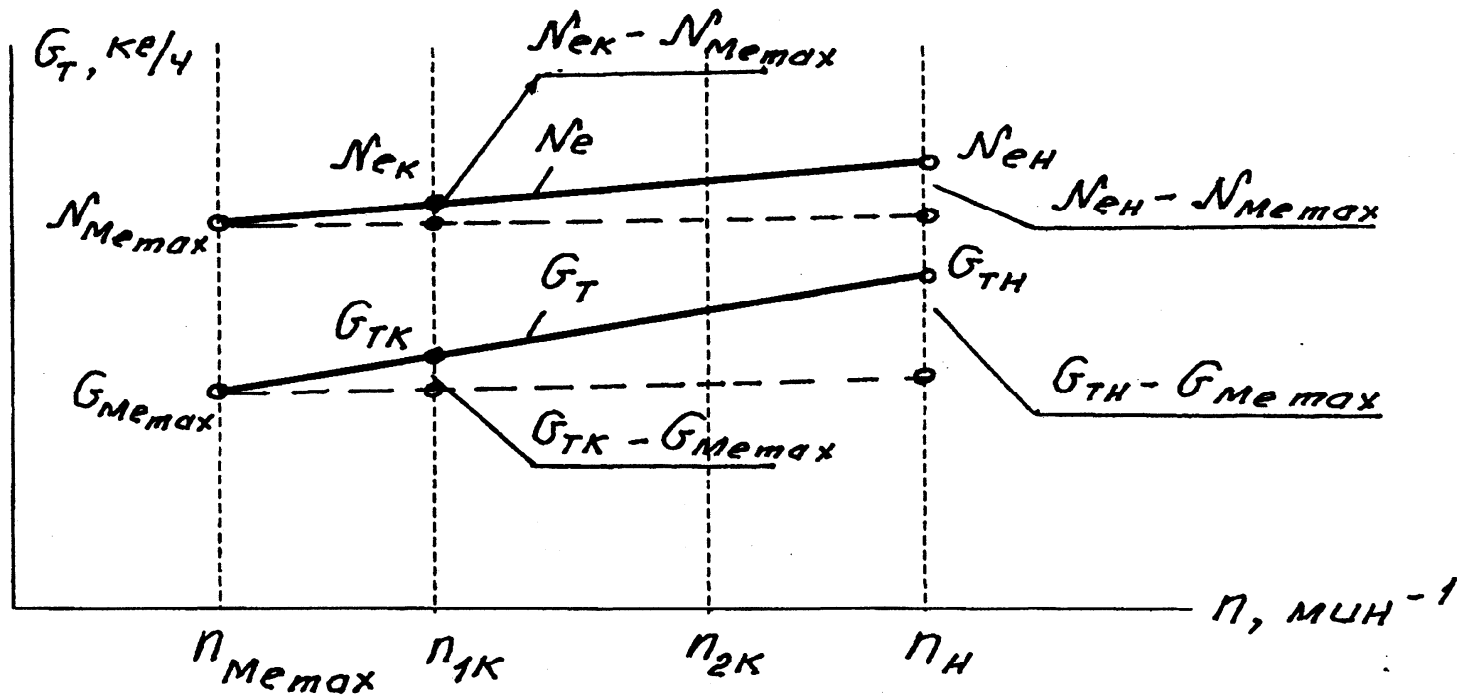
Коэффициент использования номинального крутящего момента η_M можно представить в виде

$$\eta_M = \frac{M_{ip}}{M_{ен}} = \left(\frac{n_{xx.макс} - n_i}{n_{xx.макс} - n_n} \right)$$

РЕГУЛЯТОРНАЯ ВЕТВЬ



КОРРЕКТОРНАЯ ВЕТВЬ



$$\frac{N_k - N_{\text{max}}}{\omega_k - \omega_{\text{max}}} = \frac{N_n - N_{\text{max}}}{\omega_n - \omega_{\text{max}}}, \text{ откуда}$$

$$N_k = N_{\text{max}} + (N_n - N_{\text{max}}) \left(\frac{\omega_k - \omega_{\text{max}}}{\omega_n - \omega_{\text{max}}} \right)$$

$$G_k = G_{\text{max}} + (G_n - G_{\text{max}}) \left(\frac{\omega_k - \omega_{\text{max}}}{\omega_n - \omega_{\text{max}}} \right)$$

$$g_k = \frac{G_k \cdot 1000}{N_k}$$

Построение внешней скоростной характеристики по паспортным данным двигателя

Как правило, для ДВС указывают следующие показатели:

номинальная эффективная мощность, $N_{ен}$, кВт;

номинальная частота вращения коленчатого вала n_n , мин^{-1} ;

максимальный крутящий момент $M_{е\text{ макс}}$, кНм (не всегда)

запас (%) крутящего момента K_3 (чаще всего) либо коэффициент приспособляемости по крутящему моменту K_M ;

частота вращения коленчатого вала при максимальном крутящем моменте $n_{M_{е\text{ макс}}}$, мин^{-1}

номинальный удельный расход топлива, $g_{ен}$, гр/кВтч

Регуляторная ветвь внешней скоростной характеристики:

- **номинальный режим**

$N_{ен}$ и $g_{ен}$ — из исходных данных

$$M_{ен} = 9550 N_{ен} / n_n,$$

$$G_{тн} = g_{ен} \cdot N_{ен} / 1000.$$

- **режим максимальных оборотов холостого хода**

$$N_e = 0; g_e = + \infty;$$

$$G_{ТХХ} \approx (0,25 \dots 0,30) G_{ТН};$$

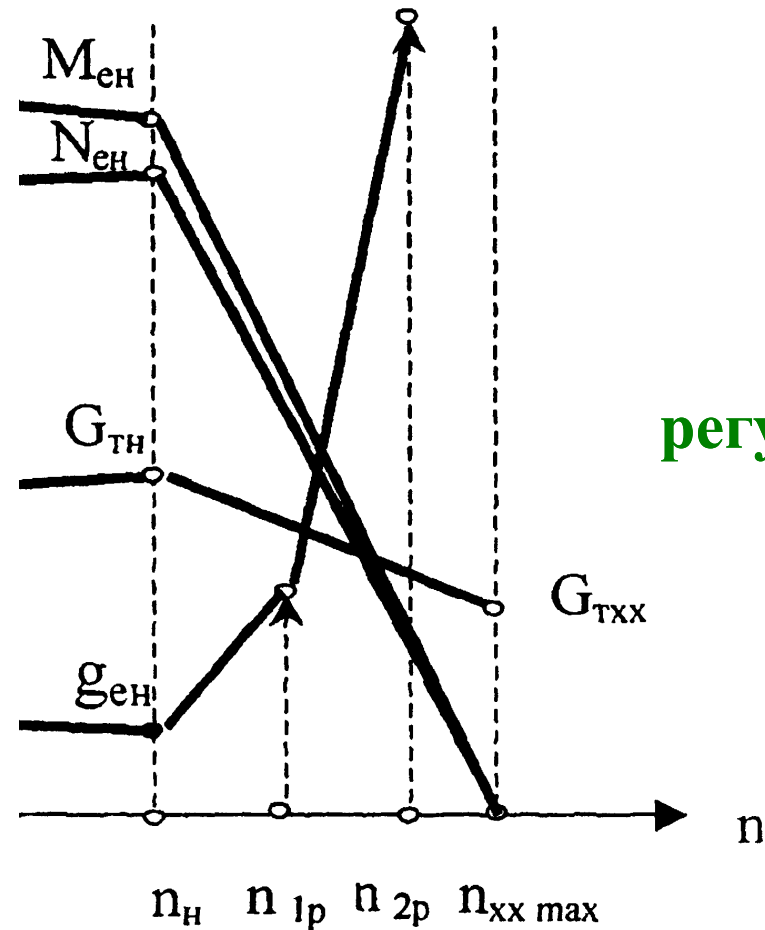
$$n_{\text{хх. max}} = n_{\text{н}} \frac{2 + \delta_{\text{рн}}}{2 - \delta_{\text{рн}}},$$

$$\delta_{\text{рн}} = 0,07 \dots 0,08.$$

Кривая удельного расхода топлива на регуляторной ветви строится по зависимости

$$g_{ep} = G_{itp} \cdot 1000 / N_{iep},$$

где G_{itp} и N_{iep} – текущие значения часового расхода топлива и эффективной мощности двигателя, соответствующие выбранным значениям частоты вращения n_{ip} на регуляторной ветви. Достаточно принять 2 значения, т.е. $i=1,2$.



Построение регуляторной ветви

Корректорная ветвь внешней скоростной характеристики:

Режим максимального крутящего момента

$M_{e.max}$ - из исходных данных, либо

$M_{e.max} = K_M M_{ен}$, либо $M_{e.max} = (1 + K_3/100) M_{ен}$;

$N_{Me max} = M_{e.max} n_{Me max} / 9550$.

$G_{Me max} = g_{Me max} \cdot N_{Me max} / 1000$

Кривая удельного расхода топлива на корректорной ветви строится по зависимости вида

$$g_{ек} = g_{ен} \left[A - A \frac{n_{ик}}{n_H} + \left(\frac{n_{ик}}{n_H} \right)^2 \right], \text{ т.е. } g_{eM_{e \max}} = g_{ен} \left[A - A \frac{n_{M_{e \max}}}{n_H} + \left(\frac{n_{M_{e \max}}}{n_H} \right)^2 \right]$$

где $n_{ик}$ – текущее значение частоты вращения на корректорной ветви;
 A – коэффициент аппроксимирующей кривой, принимаемый равным:

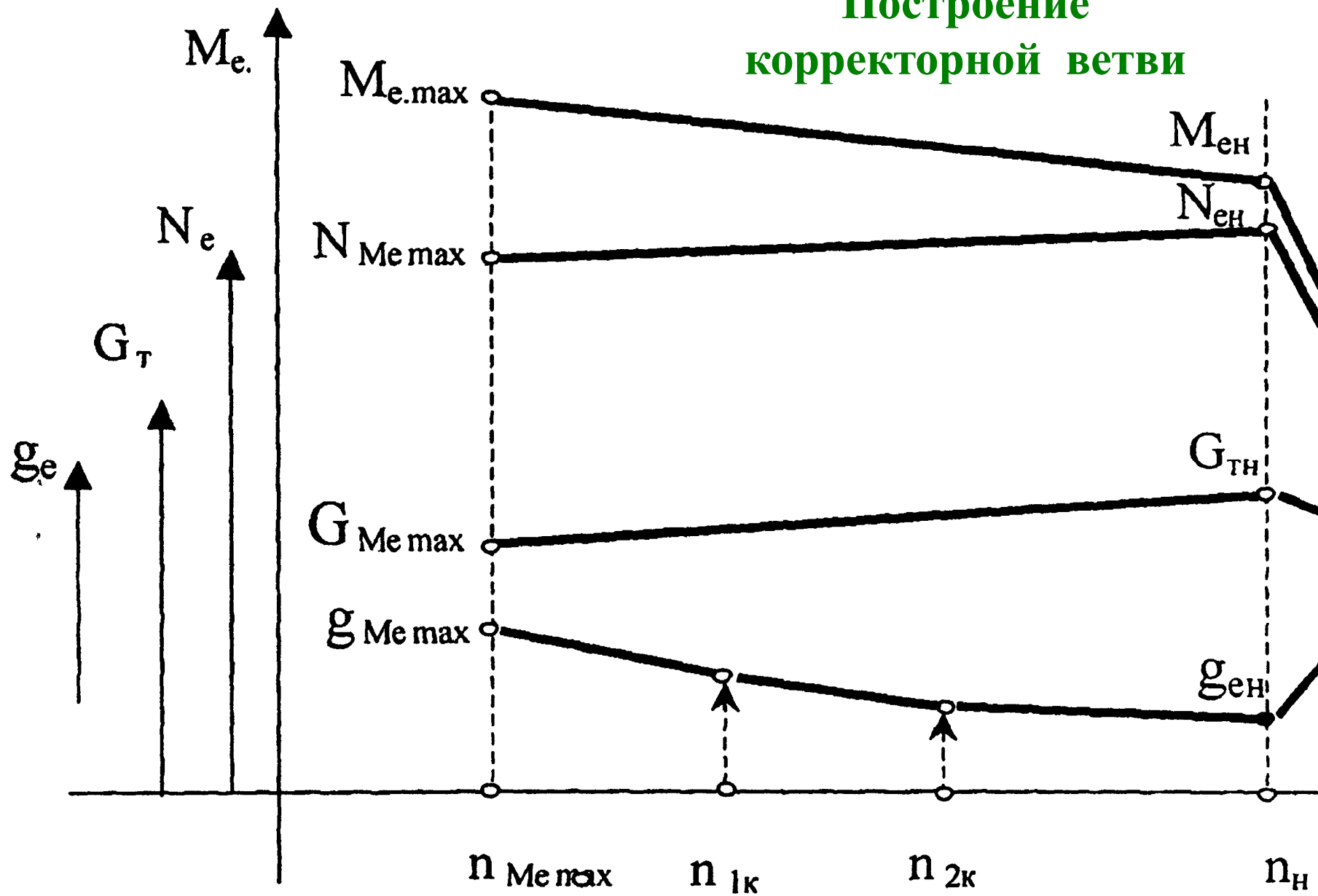
$A=1,2$ – для дизелей с предкамерами;

$A=1,55$ – для дизелей с неразделенными камерами сгорания без турбонаддува;

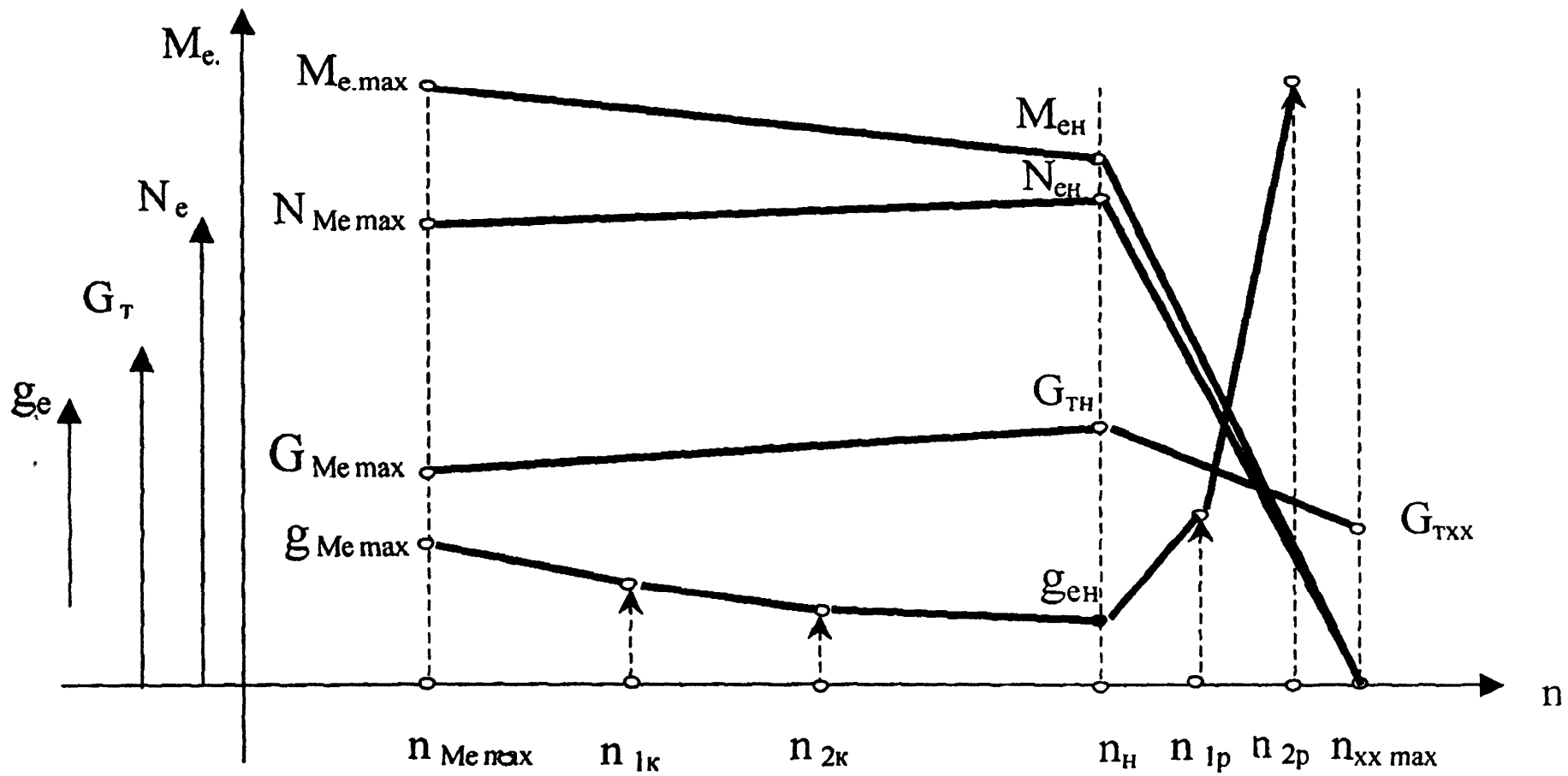
$A=1,35$ – для дизелей с неразделенными камерами сгорания с турбонаддувом.

Количество точек $n_{ик}$ достаточно принять 2 и определить в них значение $g_{ек}$.

Построение корректорной ветви



Итоговая внешняя скоростная характеристика



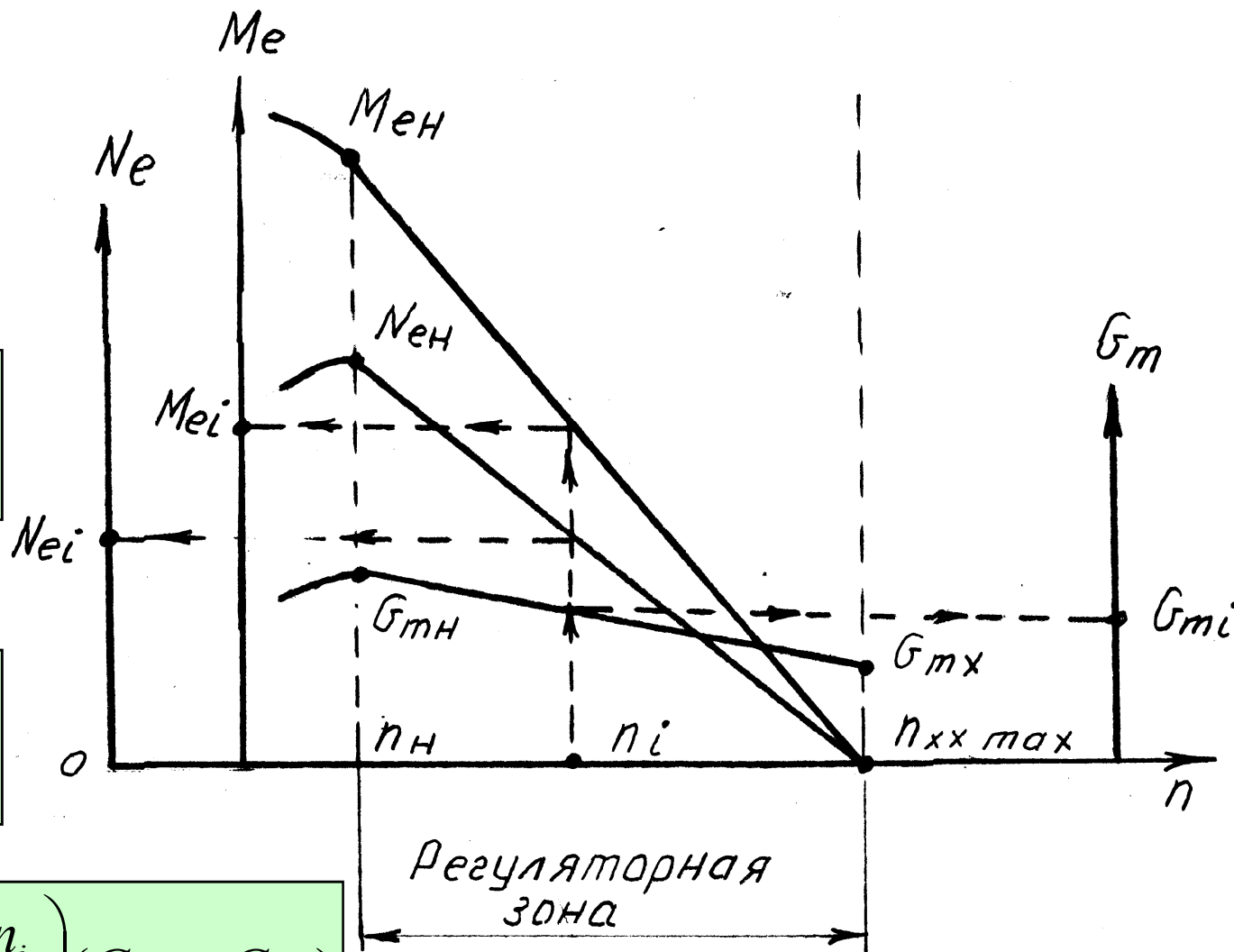
Использование внешней скоростной характеристики двигателя в эксплуатационных расчетах

Для определения текущих нагрузочных показателей (крутящего момента или мощности) по установленной частоте вращения коленвала двигателя или часового расхода топлива при заданных значениях эффективной мощности и крутящего момента.

$$M_{ei} = M_{eH} \left(\frac{n_{xx.max} - n_i}{n_{xx.max} - n_H} \right)$$

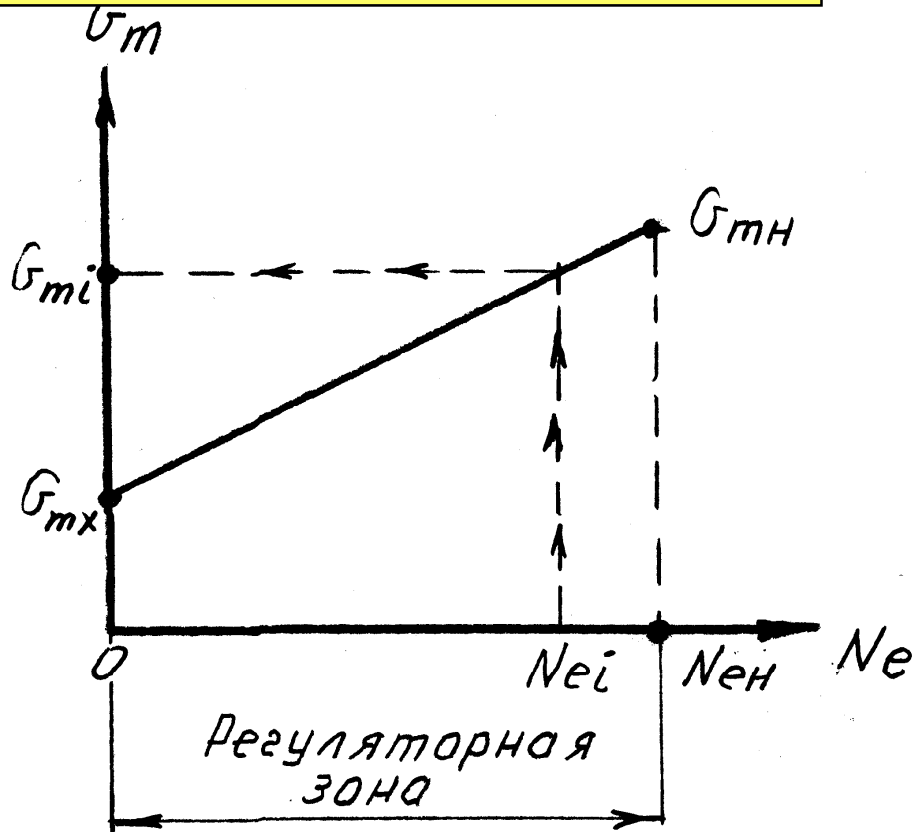
$$N_{ei} = N_{eH} \left(\frac{n_{xx.max} - n_i}{n_{xx.max} - n_H} \right)$$

$$G_{mi} = G_{mH} - \left(\frac{n_{xx.max} - n_i}{n_{xx.max} - n_H} \right) (G_{mH} - G_{mx})$$



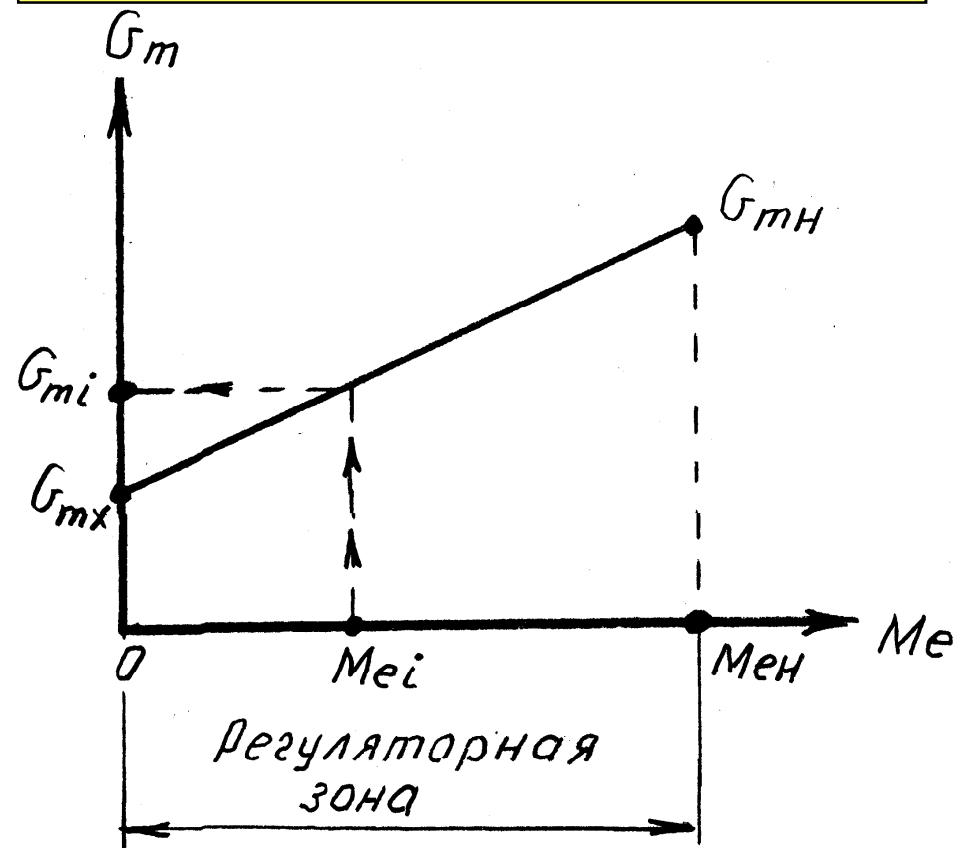
определение текущих значений крутящего момента, эффективной мощности и часового расхода топлива по установленной частоте вращения

$$G_{Ti} = G_{Tx} + \frac{N_{ei}}{N_{en}} (G_{Th} - G_{Tx})$$



Определение текущего значения часового расхода топлива при заданной эффективной мощности

$$G_{Ti} = G_{Tx} + \frac{M_{ei}}{M_{en}} (G_{Th} - G_{Tx})$$



Определение текущего значения часового расхода топлива при заданном крутящем моменте

Применяя приведенные выше формулы, а также, используя подобие треугольников на графике скоростной характеристики, можно решать и другие задачи на определение текущих значений эксплуатационных показателей тракторных двигателей.

С использованием свойств внешней скоростной характеристики подхода возможно получение аналитических зависимостей между текущими эксплуатационными показателями и в корректорной зоне, но только при условии аппроксимации нелинейных участков линейными, что допустимо вследствие малости получающейся расчетной ошибки.

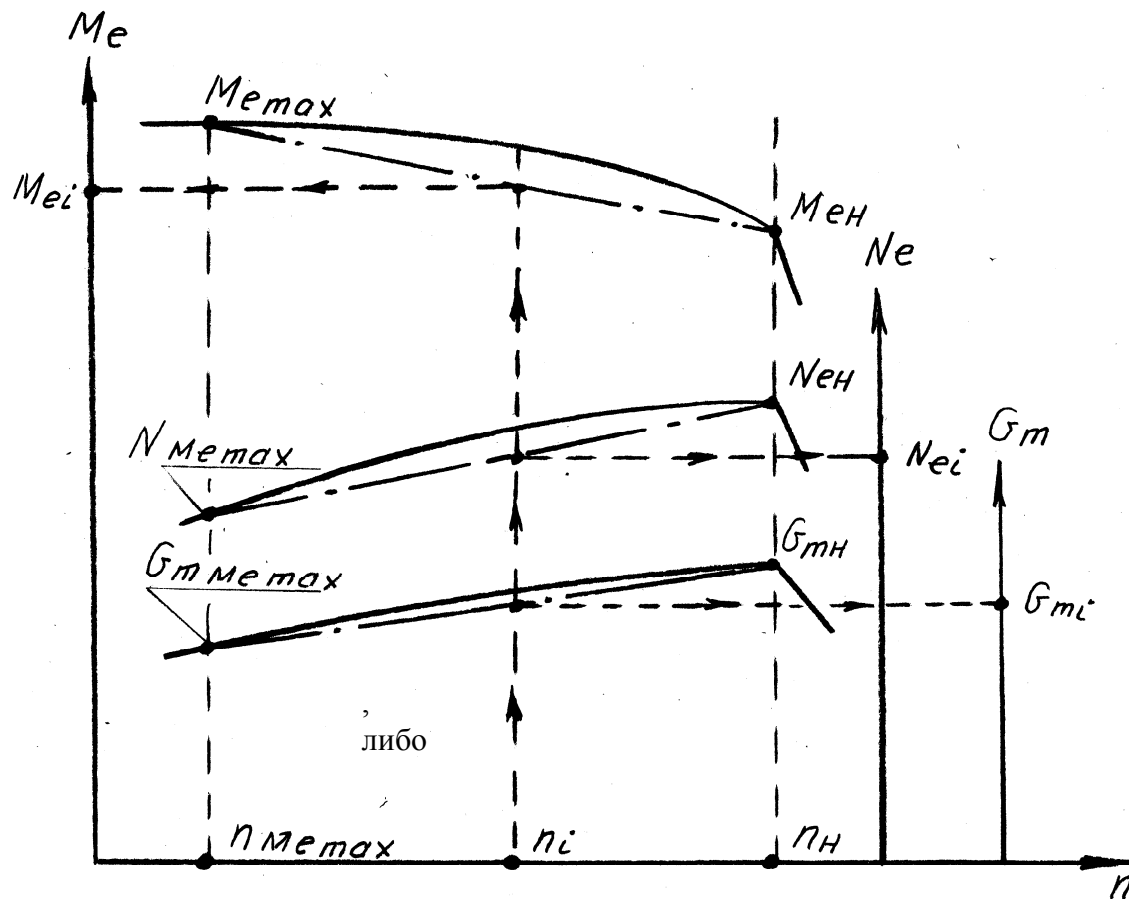


Иллюстрация к использованию скоростной характеристики двигателя для определения текущих эксплуатационных показателей двигателя в корректорной зоне

$$M_{ei} = M_n + (M_{e\max} - M_{en}) \left(\frac{n_n - n_i}{n_n - n_{M_{e\max}}} \right)$$

$$M_{ei} = M_{e\max} - \left(\frac{n_i - n_{M_{e\max}}}{n_n - n_{M_{e\max}}} \right) (M_{e\max} - M_{en})$$