



**МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)**

**ВЫБОР СИСТЕМЫ НАДДУВА ДЛЯ  
ФОРСИРОВАННОГО ТЕПЛОВОЗНОГО  
ГАЗОДИЗЕЛЯ**

Синявский В.В., Потапов В.А.

Москва 2017 г.



## Цель работы

Прогнозирование показателей высокофорсированного тепловозного газодизеля 6ЧН 20/28 с одноступенчатой и двухступенчатой системами наддува

## Задачи

1. Обоснование необходимости разработки форсированных газодизелей
2. Анализ особенностей одно-и двухступенчатых систем высокого наддува
3. Выбор турбокомпрессоров для двухступенчатой системы наддува дизеля 6ЧН20/28
4. Проведение сравнительного расчетного анализа показателей газодизеля 6ЧН20/28, форсированного до  $p_e=2,7$  МПа, с одно- и двухступенчатой системами наддува



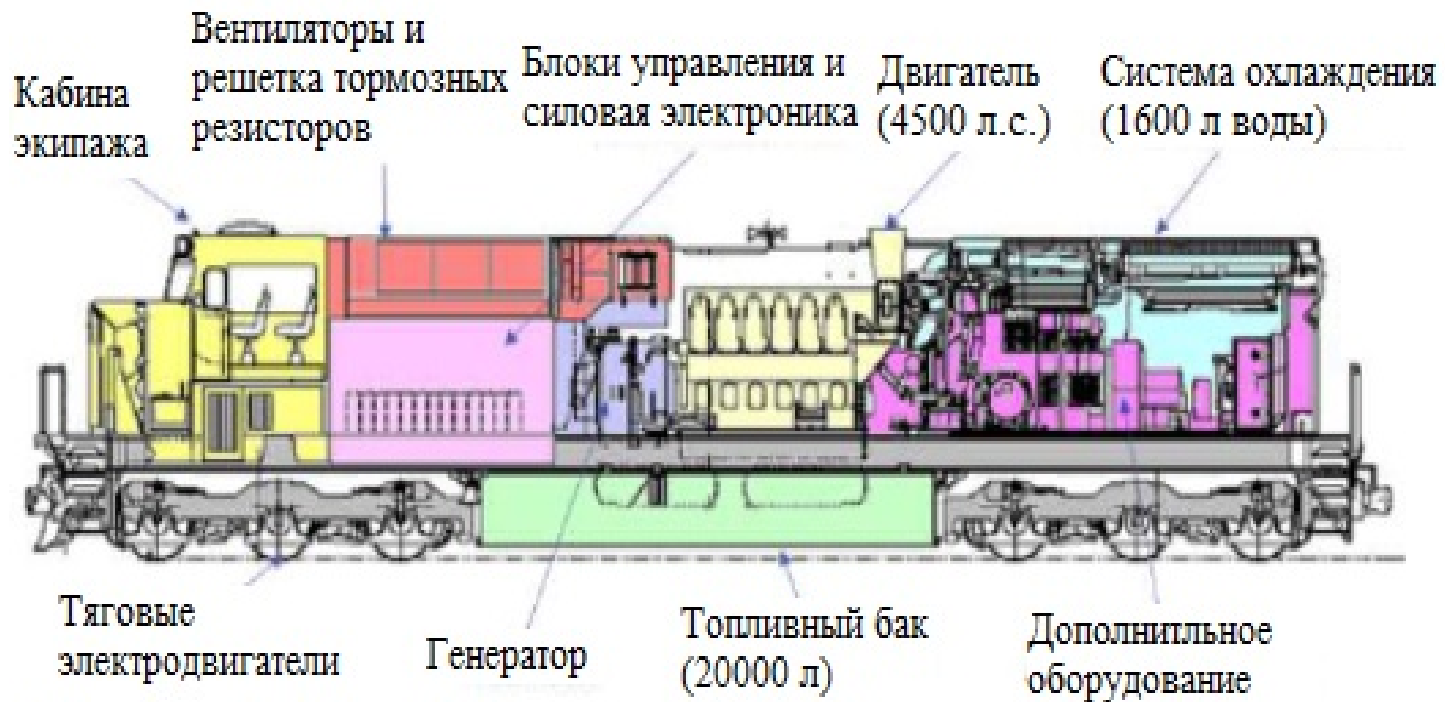
**Конвертация дизелей для работы на природном газе по  
газодизельному циклу с минимизированной порцией  
запального дизельного топлива, подаваемого системой CR**

Преимущества для высокофорсированных среднеоборотных ДВС

- Большая доля замещения дизельного топлива
- Высокая топливная экономичность
- Низкие выбросы NOx
- Возможность высокого форсирования наддувом
- Отсутствие детонации

## Требования к компактности силовой установки тепловоза

### Тепловоз серии Эволюшн Tier 3 в разрезе

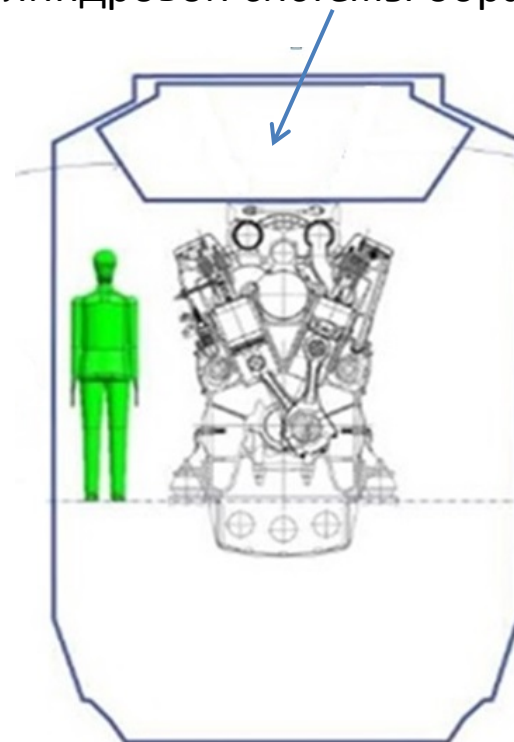


## Требования к компактности силовой установки тепловоза (продолжение)

Ограничения размеров тепловоза  
по ширине и высоте



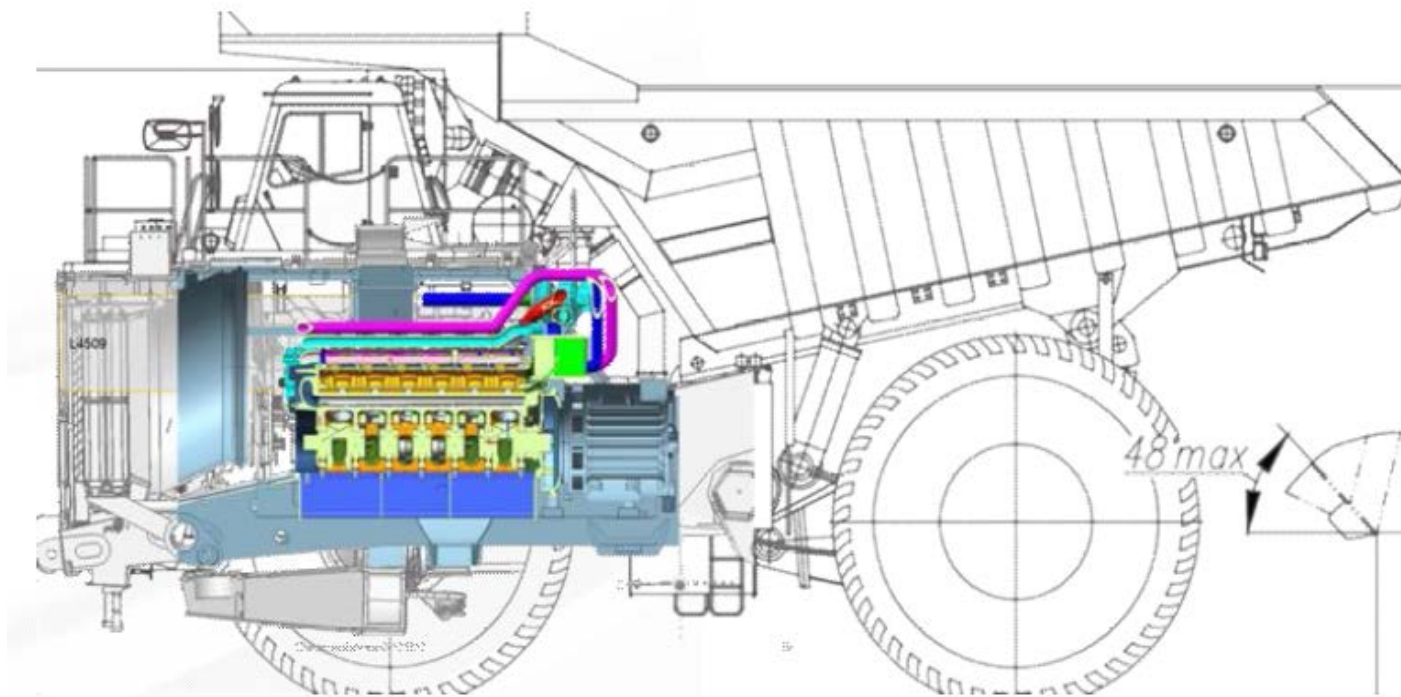
Площадь для размещения вне-цилиндрической системы обработки газов





## Требования к компактности силовой установки

Компоновка двигателя в моторном отсеке самосвала БелАЗ - 75306





## Одноступенчатые системы наддува с компрессором высокого давления

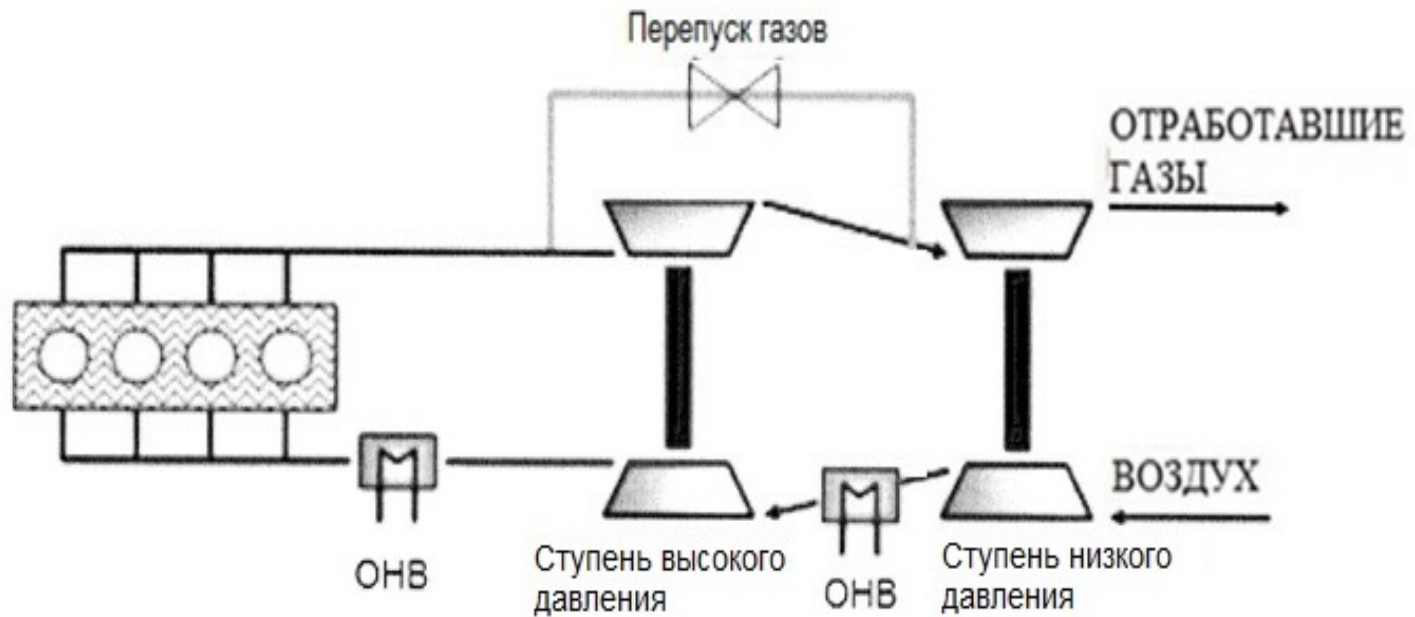
### **Фирма ABB Turbosystems Company**

- Компрессоры высокого давления, имеющие степень повышения давления больше 5,5, применяется дорогое новейшее производственное оборудование, материалы и технологии.
- Имеют высокие механические и тепловые нагрузки, требующие охлаждения колеса компрессора воздухом из охладителя наддувочного воздуха.
- Предъявляют высокие требования к эксплуатации и обслуживанию.

### **ОАО ПЕНЗАДИЗЕЛЬМАШ**

- Компрессор высокого давления с последовательно установленным осевым и центробежным колесами.
- Степень повышения давления 5,5, но значительно более простая конструкция и для производства используются уже существующие в нашей стране технологии

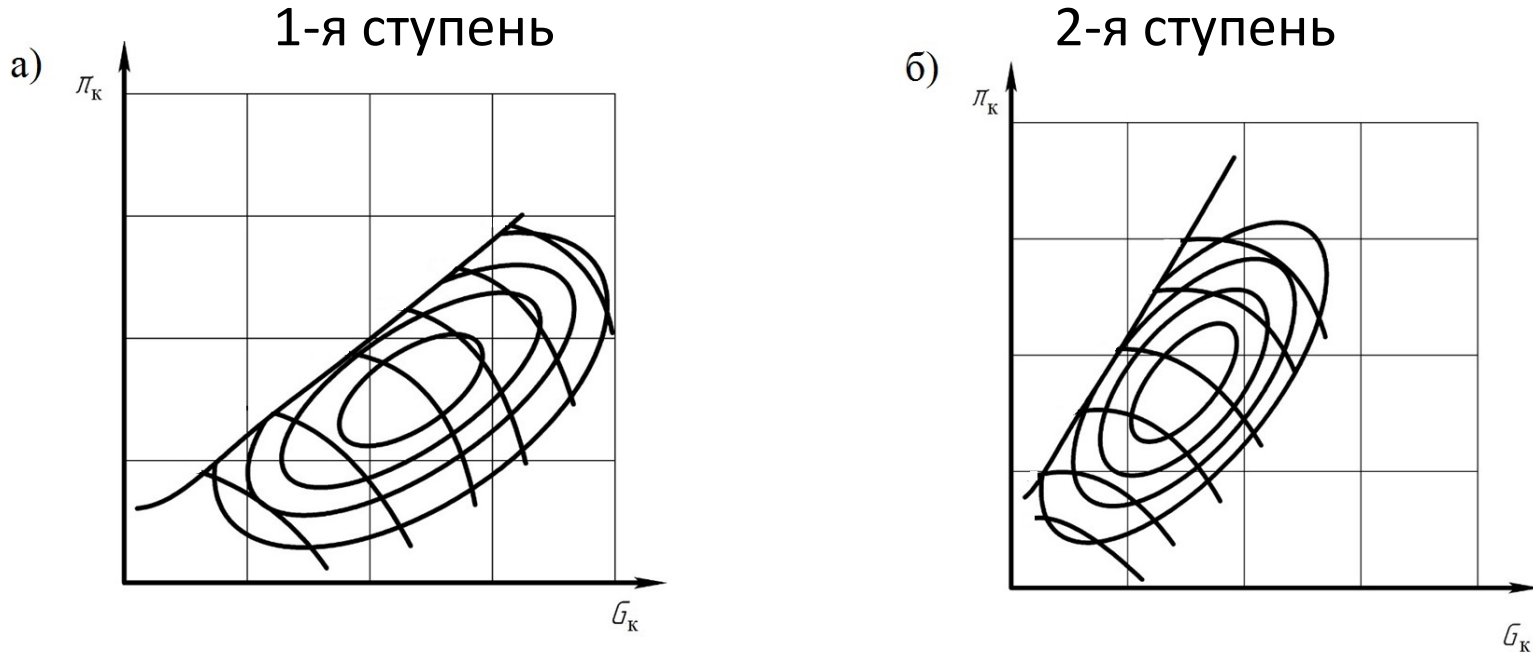
## Схема системы двухступенчатого наддува







## Характеристика компрессоров двухступенчатой системы наддува



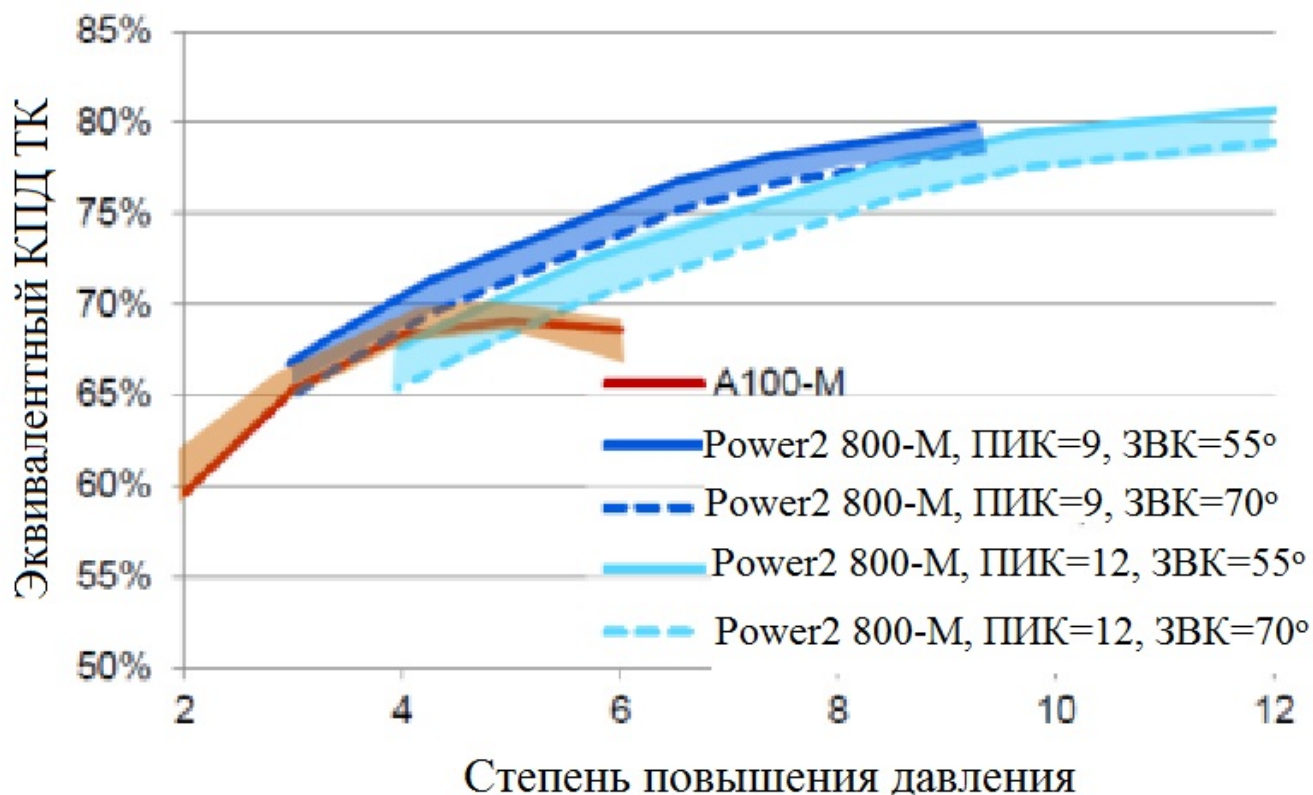
### Приведенный расход воздуха системы наддува

$$G_{\text{к.пр}} = G_{\text{к}} \times \sqrt{\frac{T_0^*}{T_1^*}} \times \frac{p_0^*}{p_1^*}$$

$n_p$  – частота вращения ротора,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $G_{\text{к}}$  – расход воздуха компрессора,  $\text{кг/с}$ ;  
 $T_0^*=288$  – температура приведения компрессора,  $\text{К}$ ;  $p_0^*=0,1$  – давление  
приведения характеристики компрессора,  $\text{МПа}$ ;  $T_1^*$  – температура на входе в  
компрессор,  $\text{К}$ ;  $p_1^*$  – давление на входе в компрессор,  $\text{МПа}$ .

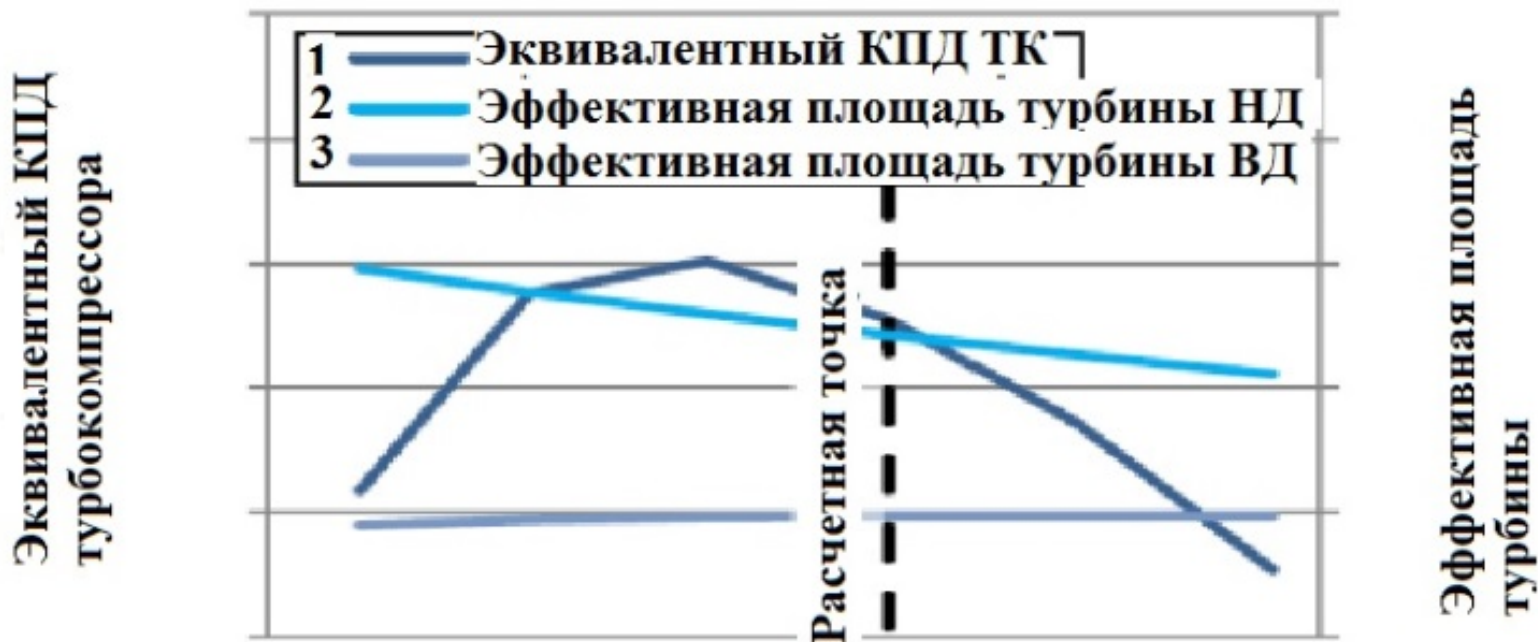


Зависимости эквивалентного КПД системы двухступенчатого наддува от степени повышения давления воздуха





Зависимость эквивалентного КПД турбокомпрессора (1) от эффективных проходных сечений турбин низкого (2) и высокого (3) давления





**Методика расчета показателей дизеля с наддувом  
Расчет сжатия-сгорания-расширения**

На основе 1-го закона термодинамики в дифференциальной форме:

$$G_{\text{ТЦ}} H_u \left( \frac{dx}{d\varphi} \right) - C_p T \frac{dG_{\text{YT}}}{d\varphi} - h \frac{dG_{\text{ТЦ}}}{d\varphi} = C_v G \frac{dT}{d\varphi} + \frac{dQ_w}{d\varphi} + p \frac{dV}{d\varphi}$$

- Скорость тепловыделения – по эмпирической формуле И.Вибе
- Теплообмен между зарядом и стенками – по эмпирической формуле Г. Вошни
- Эмпир. формулы: средн. температуры поверхностей в цилиндре и мех. потери.

**Расчет газообмена**

- Истечение газа через клапаны принимается квазистационарным
- Учитывается возможность продувки, заброса газов, обратного выброса
- Экспериментальные эпюры эффективных проходных сечений клапанов

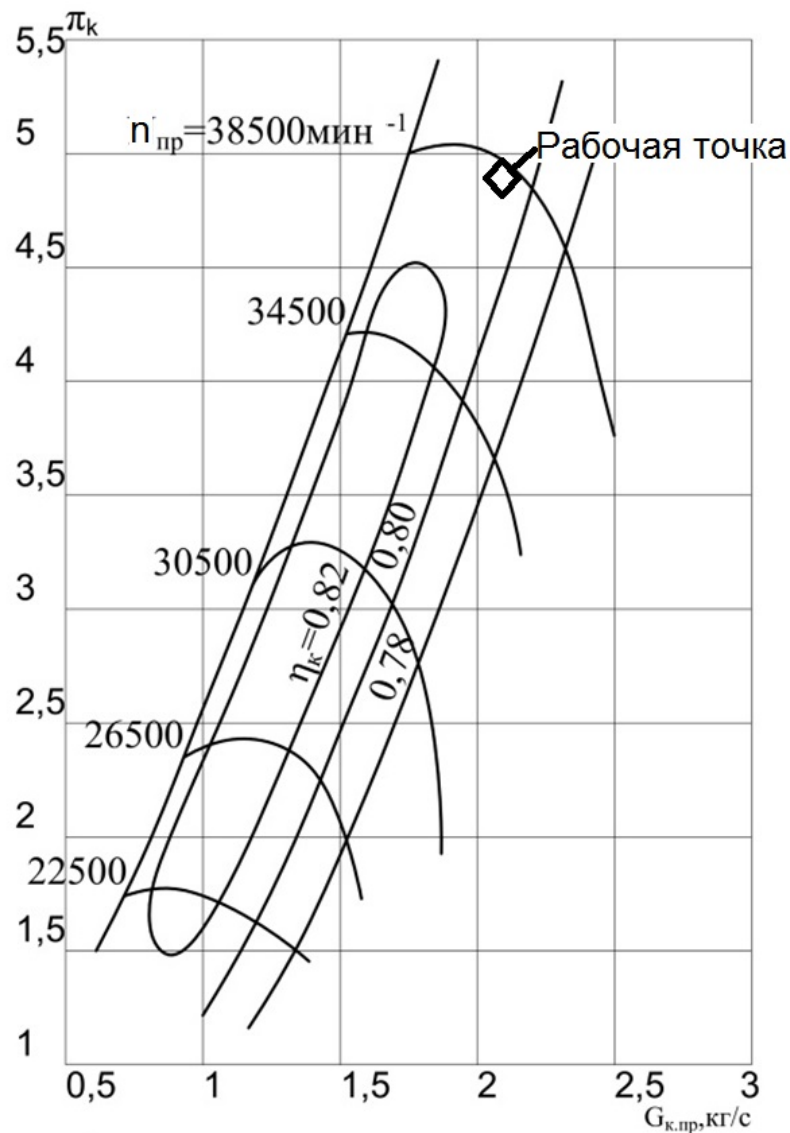
**Расчет совместной работы дизеля с ТК**

- Частоты вращения компрессора/турбины 1-й ступени и компрессора/турбины 2-й ступени равны
- Расход воздуха и газа через двигатель, компрессор/турбину 1-й ступени и компрессор/турбину 2-й ступени равны с учетом возможного перепуска
- Мощности компрессора компрессора/турбины 1-й ступени и компрессора/турбины 2-й ступени равны



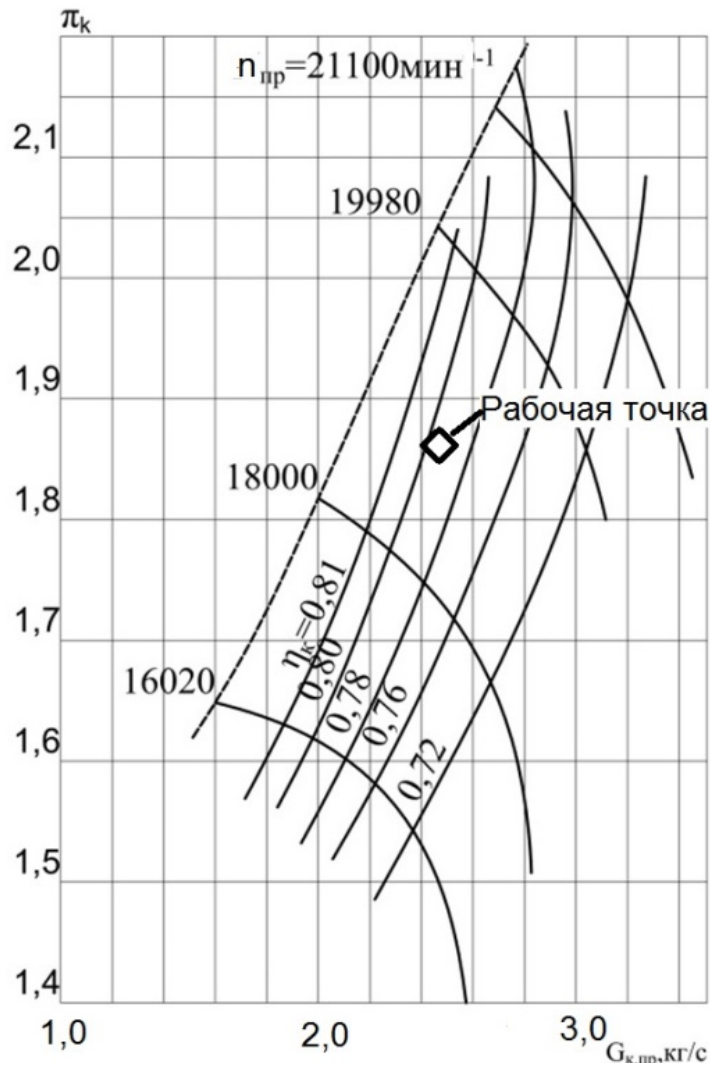
# МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

Характеристика компрессора ТК2202 для газодизеля  
6ЧН20/28 с одноступенчатой системой наддува

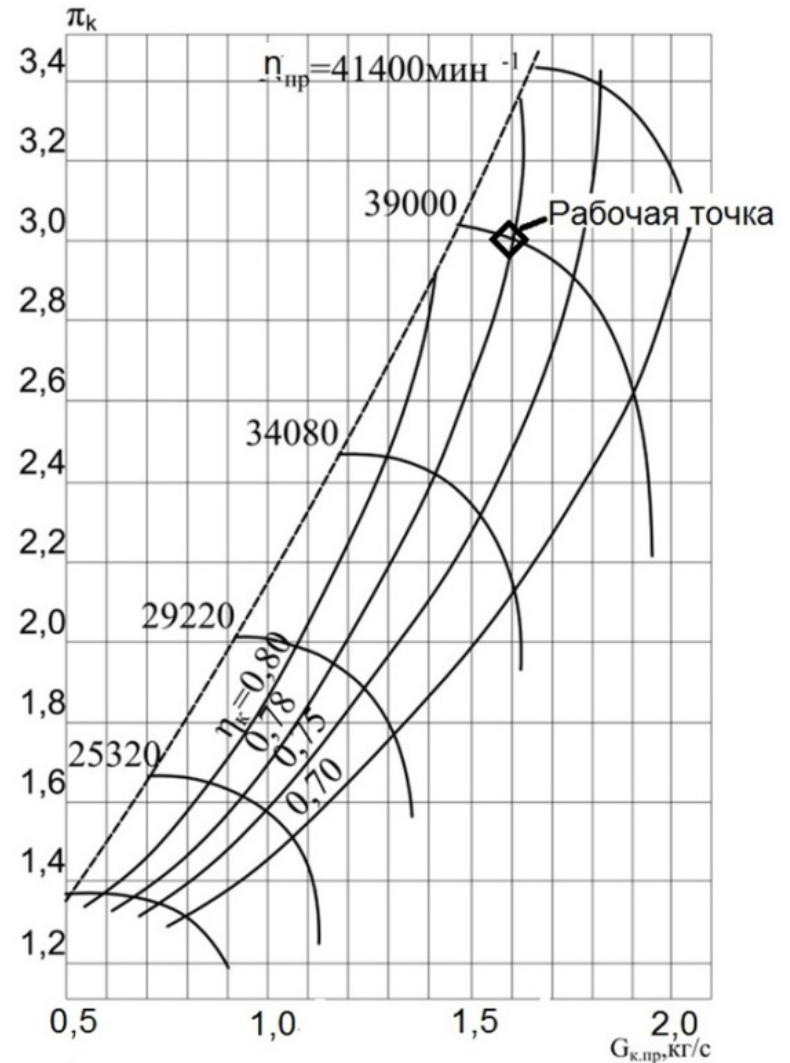




Характеристика компрессоров для газодизеля 6ЧН20/28  
с двухступенчатой системой наддува



Компрессор ТК30-Н17 (1-я ступень)



Компрессор ТК18В-15 (2-я ступень)



Показатели работы газодизеля 6ЧН20/28 с одноступенчатой и двухступенчатой системами наддува при  $p_e=2,7$  МПа и  $n=1000$  мин<sup>-1</sup>

Параметры газодизеля	$p_{к'}$ МПа	$p_{т'}$ МПа	$\eta_i$	$\alpha$	$p_{z'}$ МПа	$g_{e'}$ г/кВт.ч	$T_{к'}$ К	$T_{т}$ К
1-ступенчатая система наддува	0,468	0,431	0,493	2,49	21,9	163	350	784
2-ступенчатая система наддува	0,495	0,405	0,494	2,53	21,8	164	328	800

Параметры системы наддува		$\pi_k$	$\pi_t$	$n_{р.пр'}$ мин <sup>-1</sup>	$G_{в.пр'}$ кг/с	$\eta_k$
1-ступенчатая		4,92	4,10	38060	2,05	0,810
2-ступенчатая	1-я ступень	1,85	1,58	19080	2,44	0,794
	2-я ступень	2,90	2,49	39230	1,57	0,786



## Выводы

1. Для получения высокой степени форсирования тепловозных газодизелей  $p_e$  порядка 2,7 МПа нужна система наддува с компрессором высокого давления или двухступенчатая система наддува.
2. Двухступенчатая система наддува требует применения специального компрессора первой ступени, у которого характеристика наклонена вправо, чтобы обеспечивать высокий КПД в зоне большого расхода воздуха.
3. В газодизеле 6ЧН20/28 с одно- и двухступенчатой системами наддува можно получить требуемую величину  $p_e=2,7$  МПа и близкие значения  $g_e$ . В двухступенчатой системе наддува получается несколько большие величины  $p_k$  и  $\alpha$ . Получены безопасные для прочности двигателя и ТК величины  $p_{z.max}$ ,  $T_t$ ,  $n_p$ , запаса по помпажу.
4. Показатели газодизеля с двухступенчатой системой наддува могут быть улучшены, если использовать для него специально спроектированные ТК, как сделано для газодизеля с одноступенчатой системой.
5. В отличие от одноступенчатой системы наддува двухступенчатая система имеет резервы для дальнейшего форсирования газодизеля.



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**