



# «Рабочая группа «Научно- производственное объединение «Базальт-«СНГ-Композит»»

Дополнительное оборудование для выработки электричества на базе  
установок «АИСТ»

*СВОБОДНОПОРШНЕВЫЕ  
ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ  
КОГЕНЕРАЦИИ, ТРИГЕНЕРАЦИИ И  
ТЕТРАГЕНЕРАЦИИ*

Россия, 2015



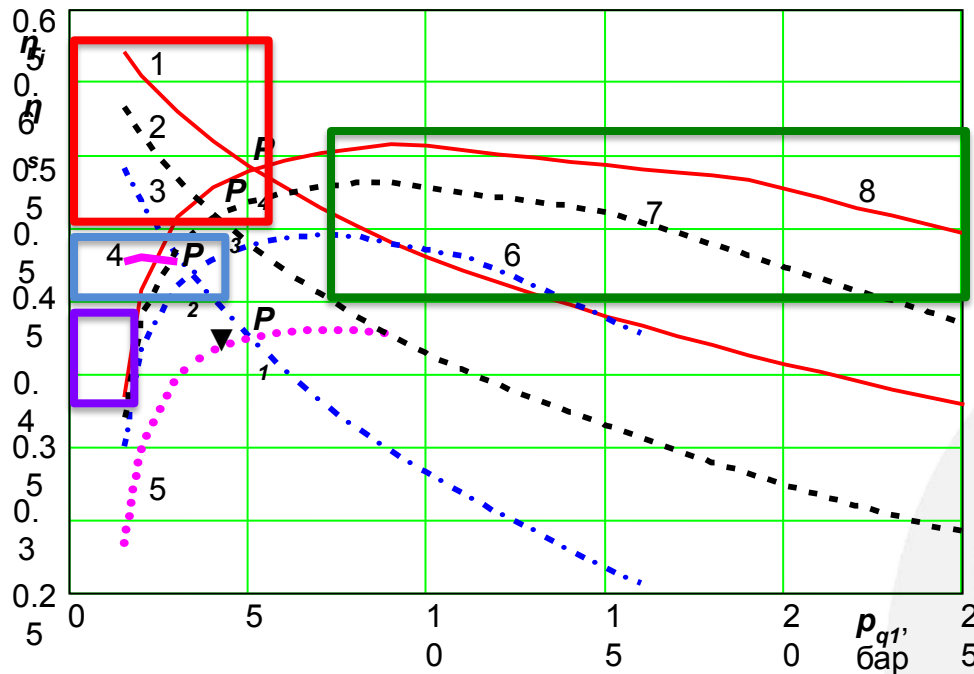
## Преимущества СПД

- ✧ организация и условия протекания рабочего процесса в СПД обеспечивают высокие КПД и динамические показатели при отсутствии дымления (сажи) (преимущества свободного поршня в дизеле заключаются в оптимальном теплоподводе, отсутствии ограничений на жёсткость и максимальное давление цикла, высокий механический КПД, незначительный (до 10%) провал коэффициента избытка воздуха при набросе нагрузки);
- ✧ **МНОГОТОПЛИВНОСТЬ**, возможность применения низкосортных альтернативных топлив и **газов произвольного состава**, включая сбросные и тощие (содержание метана более 10 – 20 % без потери мощности) **с воспламенением от сжатия**;
- ✧ динамическая уравновешенность, отсутствие вибраций и фундамента;
- ✧ низкие затраты при эксплуатации и ремонте;
- ✧ высокие пусковые качества при низких температурах;
- ✧ возможность отключения одного или нескольких СПД без остановки остальных;
- ✧ возможность повышения давления наддува и максимального давления сгорания;
- ✧ простота, надёжность и технологичность конструкции;
- ✧ удобство компоновки в пространстве. Модульный принцип компоновки.

**Удельная массовая и габаритная мощность  
в 4 – 9 раз выше дизелей**



# Диаграмма возможных параметров многотопливной силовой установки в зависимости от давления в газосборнике



▼ - точка номинального режима свободнопоршневого генератора газа (СПГГ) GS-34. P1 , ... , P4 – точки перехода с двигательного режима на генераторный.

- область кривошипных дизелей;
- область двигательных режимов СПД;
- область генераторных режимов СПД;
- область газопоршневых ДВС.

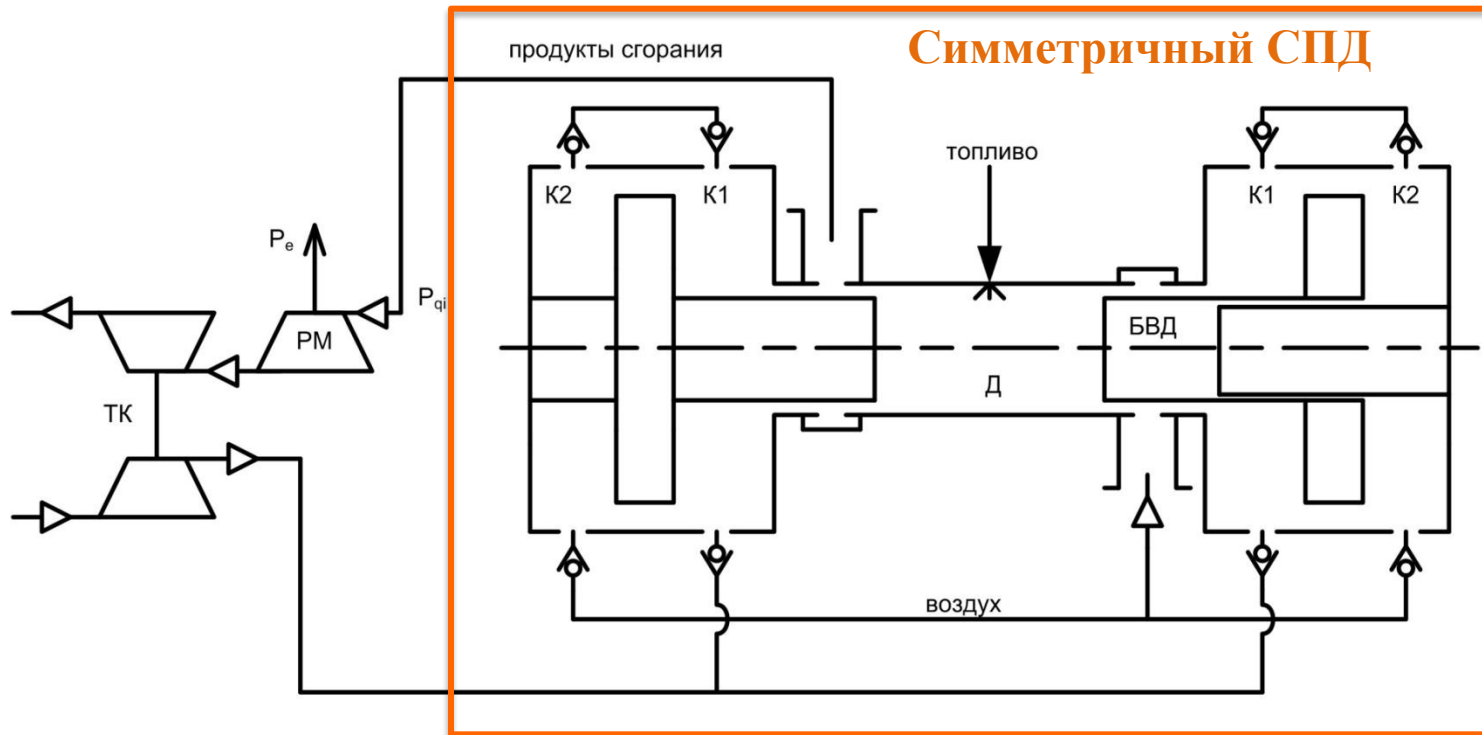
## Зависимости индикаторного КПД ( $\eta_i$ ):

1 – дизеля с переменной степенью сжатия при  $r_{max} = 45$  МПа, 2 -  $r_{max} = 25$  МПа, 3 -  $r_{max} = 14$  МПа; 4 – дизеля с фиксированной степенью сжатия при  $r_{max} = 14$  МПа.

Зависимости адиабатного КПД ( $\eta_s$ ) СУ, работающей в генераторном режиме (определяется как отношение работы адиабатного расширения продуктов сгорания к теплоте, внесённой с топливом): 5 – СПГГ типа ОР-95 при  $r_{max} = 14$  МПа; 6,7 и 8 - современных СПД при  $r_{max} = 14$  МПа, 25 МПа и 45 МПа соответственно.



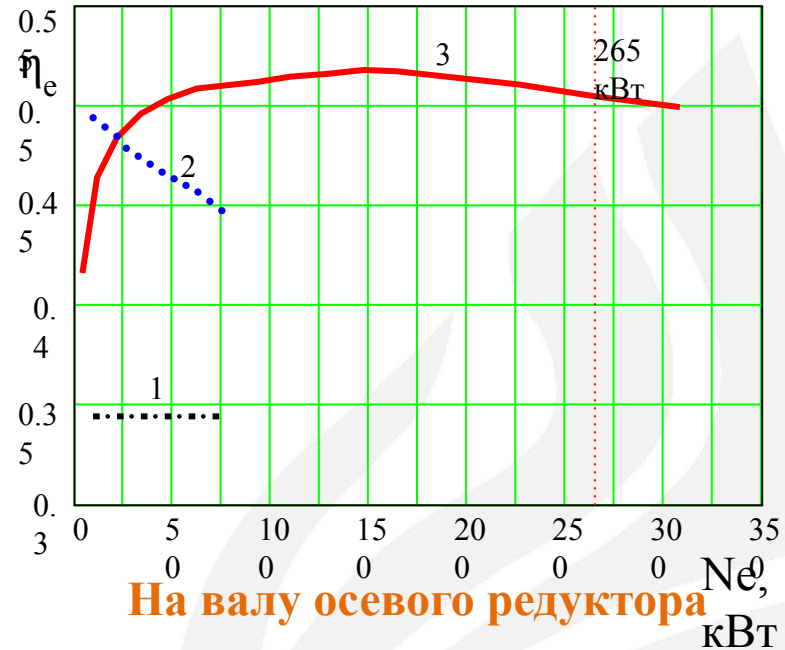
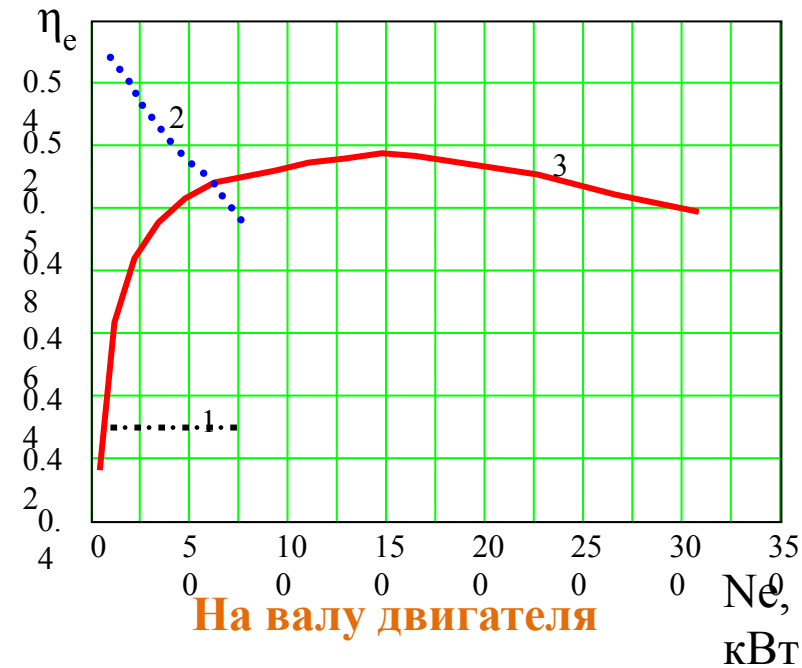
# Схема комбинированной энергетической установки (КЭУ) с СПД в генераторном режиме



- Д – дизель,
- БВД – буфер,
- К1, К2 – первая и вторая ступени поршневого компрессора,
- РМ – расширительная машина,
- ТК – турбокомпрессор,
- $P_e$  – эффективная мощность,
- $P_{q1}$  – давление в газосборнике.



# Нагрузочные характеристики гибридных энергоустановок

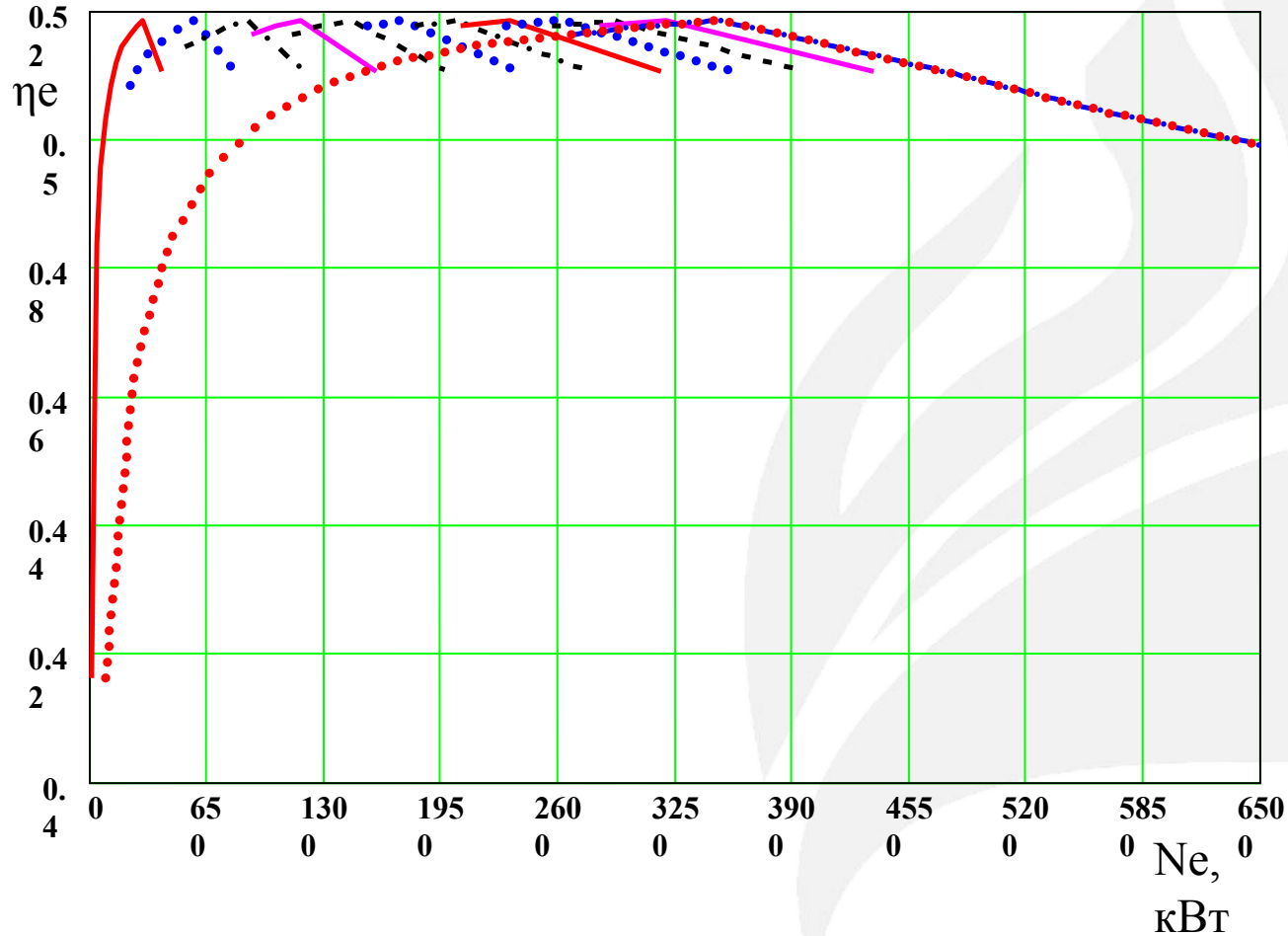


**Зависимости эффективного КПД для различных типов ДВС при одинаковых: полезном объёме и частоте циклов**

- 1 – газовый ДВС с КШМ (электропередача с КПД = 0,8);
- 2 – СПД в двигательном режиме (гидропередача с КПД = 0,9);
- 3 – КЭУ с СПД «П95» в генераторном режиме.



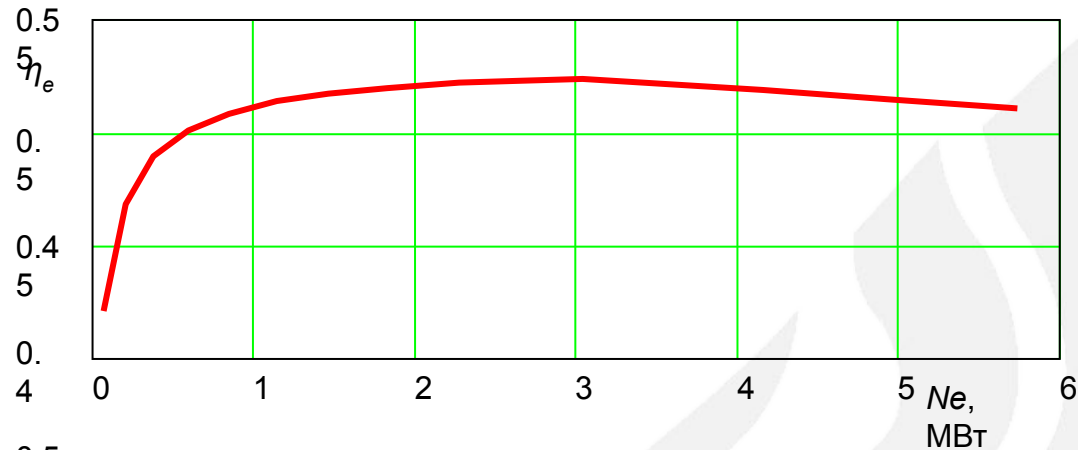
# Нагрузочные характеристики КЭУ на природном газе при последовательной работе модулей СПД 1МП120



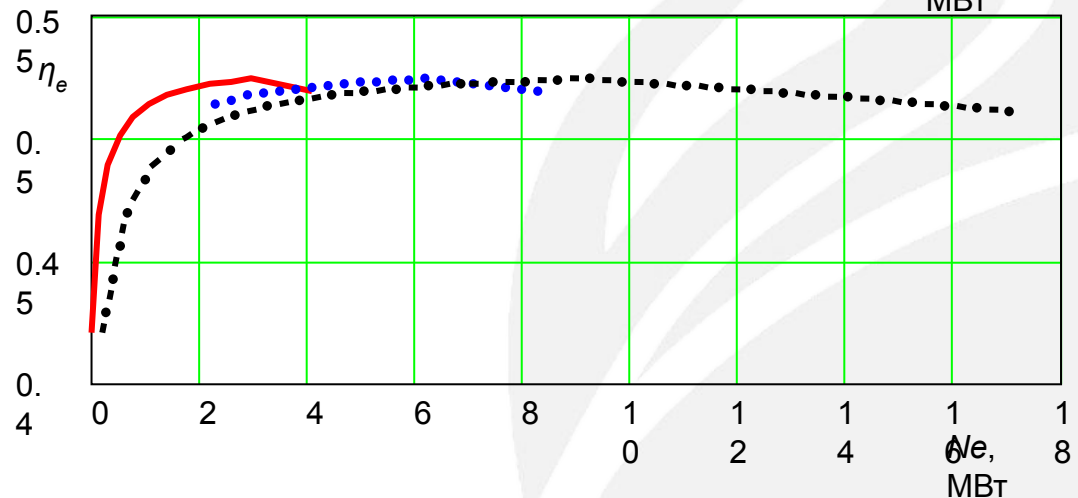


## Нагрузочные характеристики КЭУ

С одним СПД  
П320



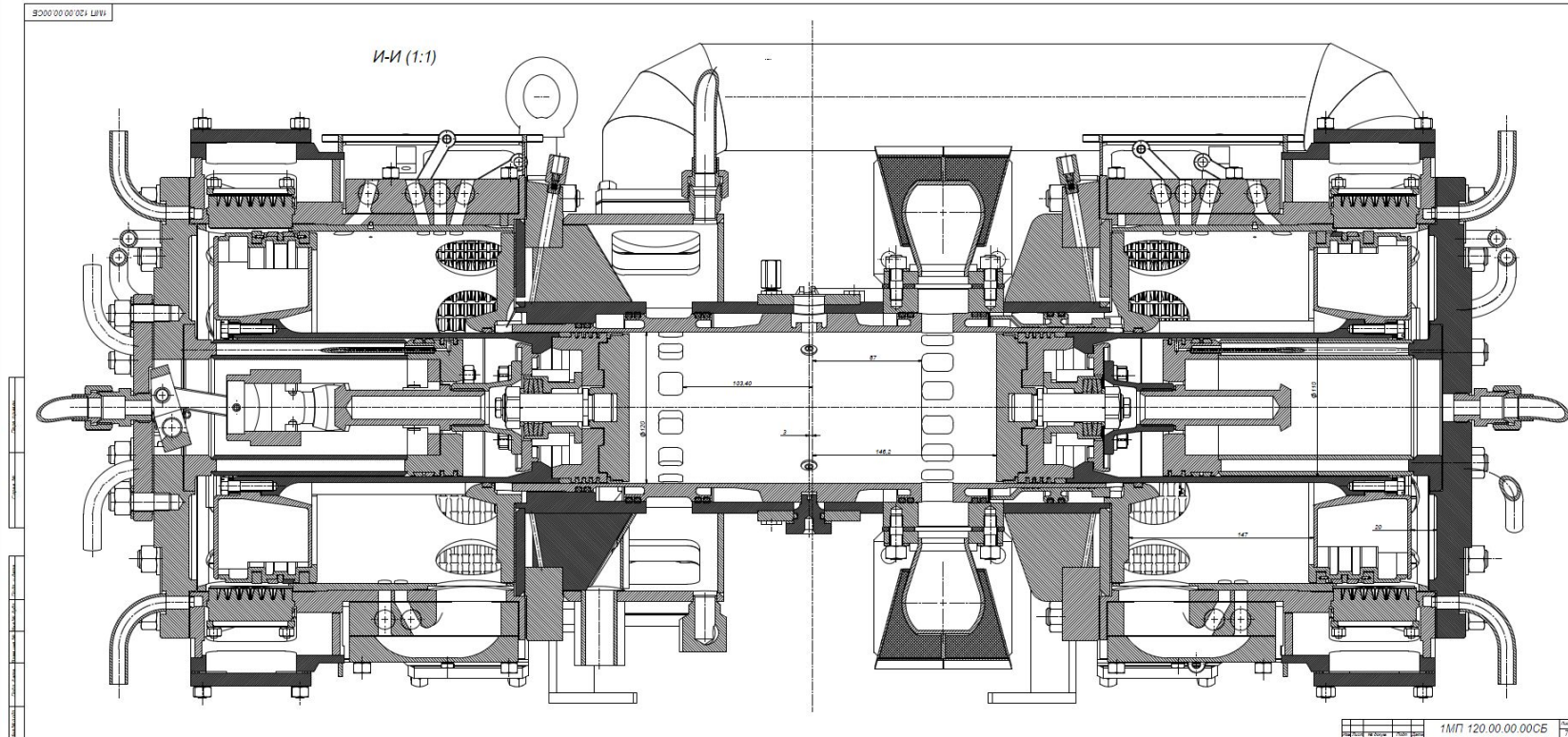
С тремя СПД  
П320



Зависимости эффективного КПД на валу силовой турбины при параллельной и последовательной работе модулей СПД. КПД привода существующих ГПА находится вне пределов шкалы.



# Свободнопоршневой двигатель 1МП120



**Учтены последние достижения в области  
рабочего процесса КЭУ**







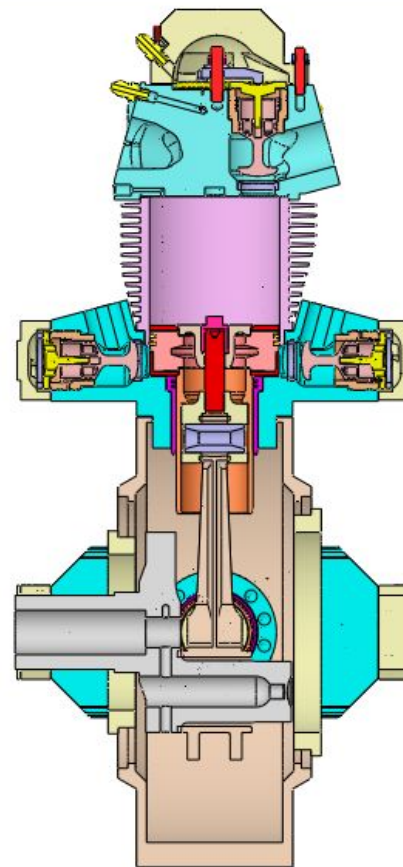
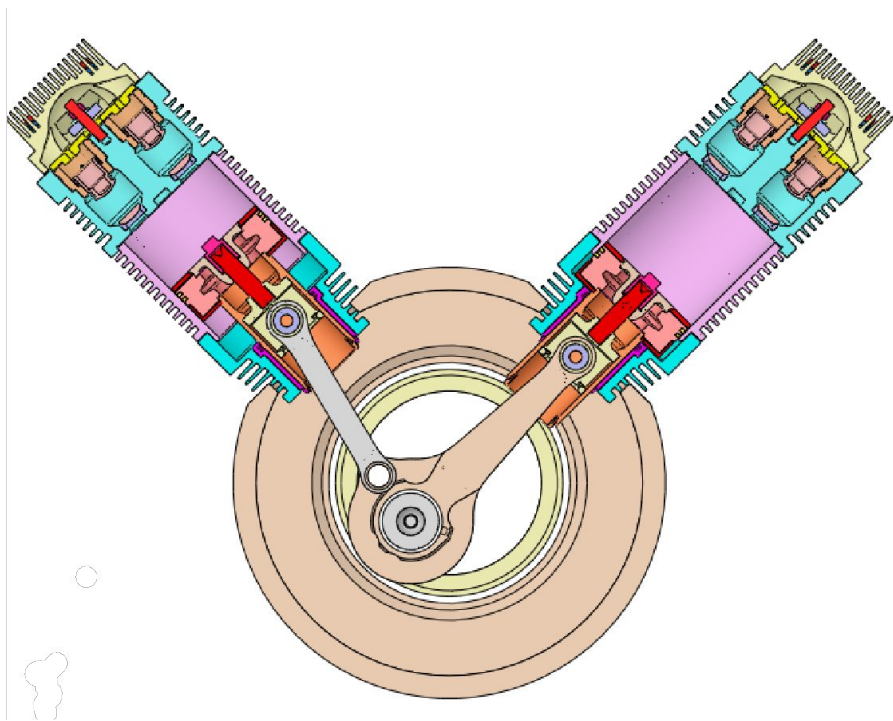
# Характеристики симметричных СПД



Тип СПД	ОР-95	ХЗТМ	1МП120	П320
Диаметр цилиндра двигателя, мм	280	300	120	320
Диаметр цилиндра компрессора, мм	750	730	280	750
Ход поршня, мм	375	400	129 - 151	395 - 431
Длина, мм	3600	3400	1254	3600
Ширина, мм	1200	1080	573	1200
Высота, мм	1500	1050	524	1200
Масса, кг	5400	4500	420	5500
Давление перед РМ, бар	4,5	4,3	17	19
Максимальное давление цикла, бар	130	165	425	425
Мощность номинального режима, кВт	572	794	427	5740
Частота циклов номинального режима в мин	690	700	2800	1550
Эффективный КПД, %	38	45	50 - 54	52 - 58



# Расширительная машина двойного действия



Удельная масса 0,235 кг/кВт и более в зависимости от запаса момента.  
Для непрерывного момента с нулевых оборотов требуется не менее 3-х рабочих полостей.  
Привод клапанов гидropневматический с электронным управлением фазами.

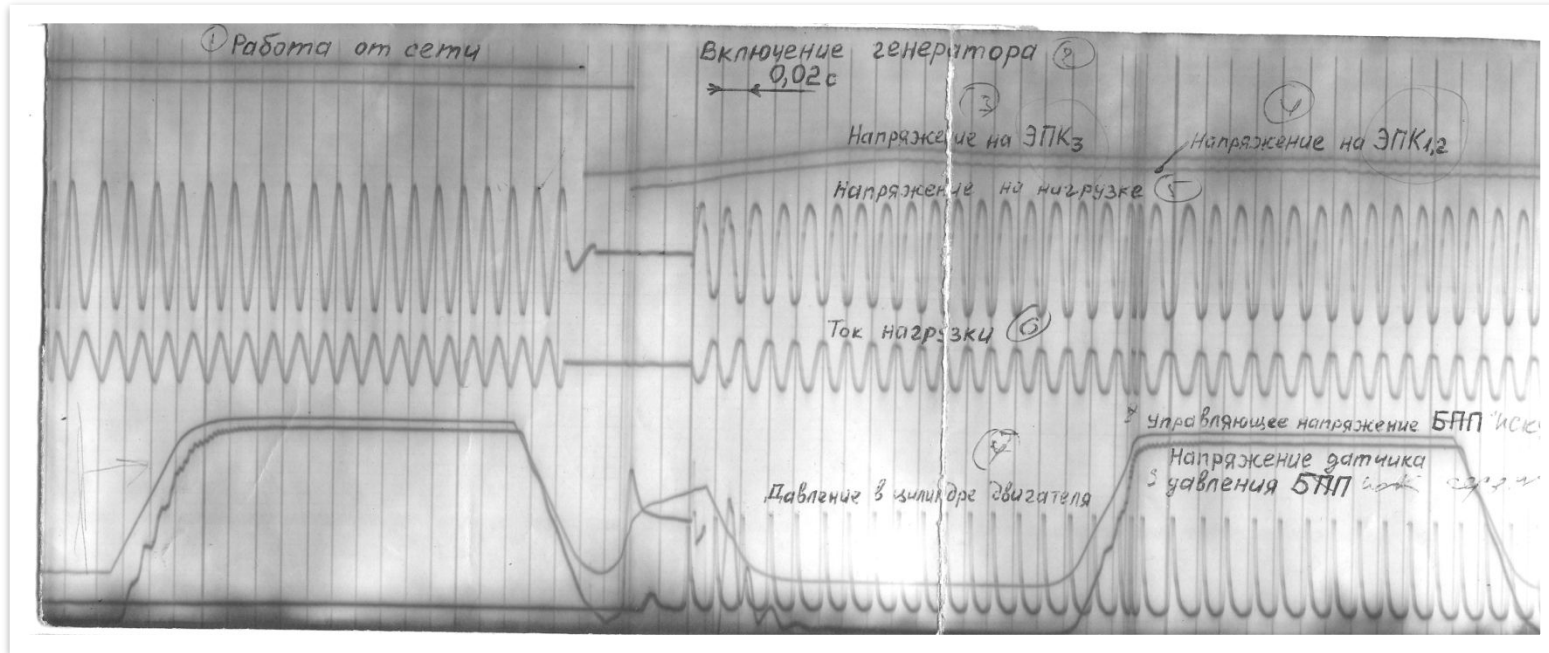


## Характеристики СПДЛГ

Тип СПД	ПЛГ92	ПЛГ92НУ	2ПЛГ92НУ	4ПЛГ92НУ	4ПЛГ92НУН
Диаметр цилиндра двигателя, мм	92	92	92	92	92
Номинальный ход поршня, мм	70	80	80	80	80
Длина, мм	346	848	1620	848	848
Ширина, мм	304	208	208		
Высота, мм	820	250	250		
Масса, кг	85,6	90	180	360	370
Запас прочности	4	2,5	2,5	2,5	2,5
Количество цилиндров дизеля	1	2	4	8	8
Мощность, кВт	11	40	80	160	320
Частота циклов в мин	3720	5080	5080	5080	5080
Уравновешенность	полная	нет	полная	полная	полная
Эффективный КПД, %	50	49	49	49	49



# Осциллограммы работы линейного генератора



Время запуска от провала в сети – 0,1 с.



# Схема комбинированной энергетической установки (КЭУ)



## Расширительная машина (РМ)

- В исполнении до 5 МВт поршневая РМ
- В исполнении более 5 МВт газовая турбина

Крутящий момент

Топливо

Генератор

Электроэнергия  
потребителю

Свободнопоршневой  
двигатель  
(СПД)

Турбокомпрессор

## Основные параметры КЭУ

- КПД КЭУ в зависимости от мощности – от 50% до 52%
- Расчётный ресурс СПД до КР в зависимости от мощности- от 80 до 120 тыс. часов.
- Электрический КПД КЭУ с поршневой РМ - 48%
- Электрический КПД КЭУ с турбинной РМ - 51%
- Примерная удельная масса КЭУ с турбинной РМ – 1,3 кг/кВт
- Примерная удельная масса КЭУ с поршневой РМ – 1,8кг/кВт

Продукты  
сгорания

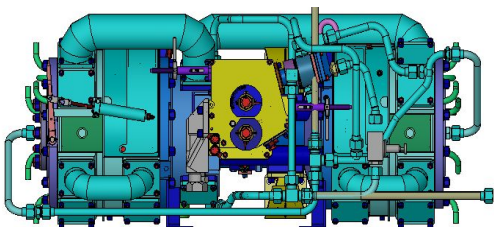
Воздух

Экологический стандарт Евро-5 обеспечиваются автоматически работой СПД на природном газе с воспламенением от сжатия и с регулируемой степенью сжатия.

Соответствие стандарту Евро-6 обеспечивается снижением эксплуатационного расхода природного газа.



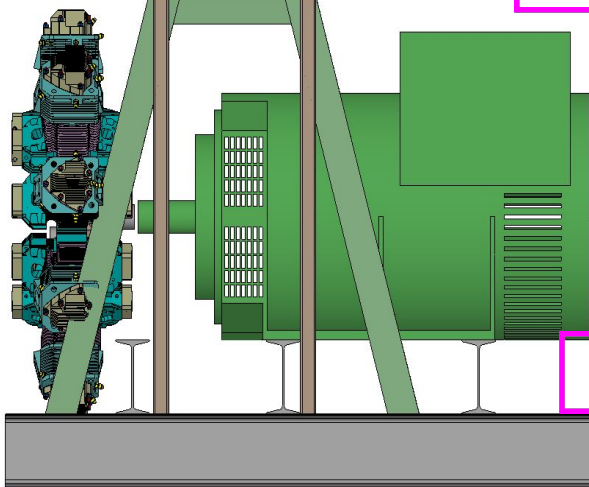
# Пример возможной компоновки КЭУ 630 кВт(э)



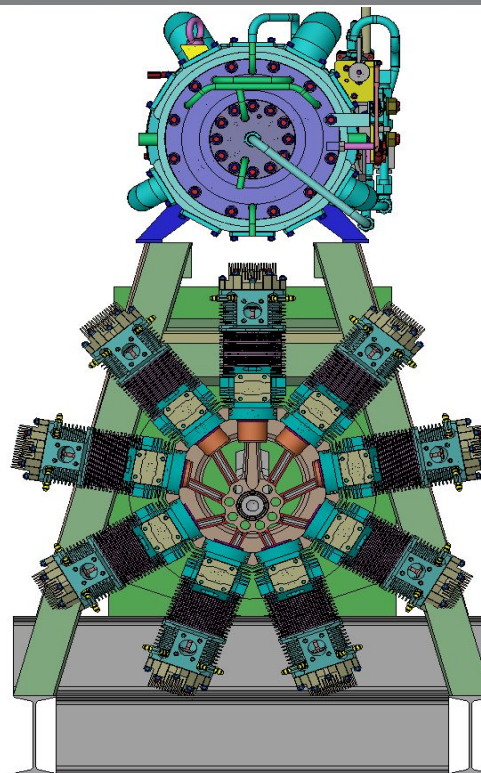
**СПД**

Длина 2000 мм,  
Ширина 1000  
мм,  
Высота 1740 мм.

Объёмная  
поршневая РМ



**Электрогенератор**



Прочие агрегаты (турбокомпрессор, система охлаждения, трубопроводы) не показаны, но место на раме предусмотрено.

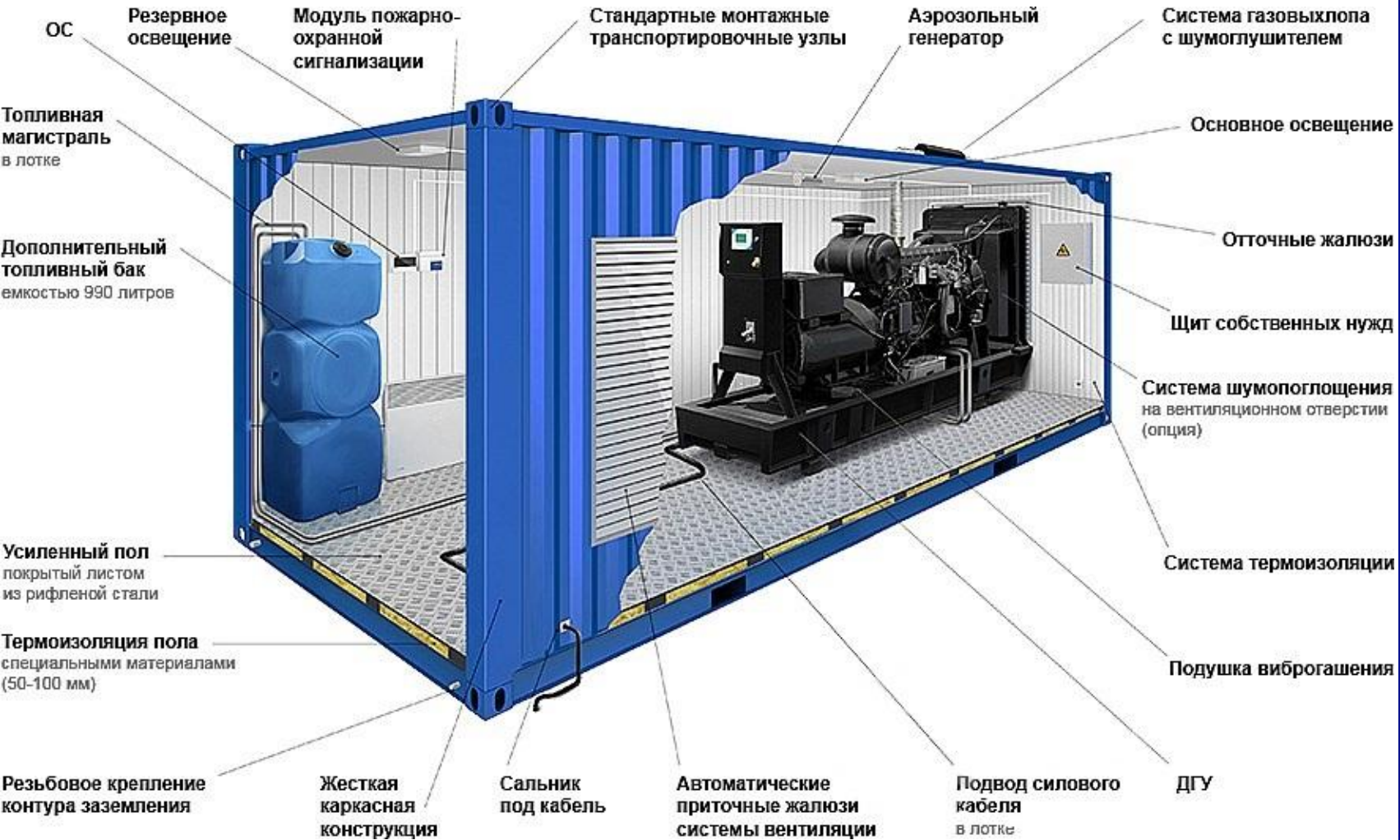
РМ на базе двигателя М14П (9-ти лучевая звезда) диаметр цилиндра 105 мм, ход поршня 90 мм, частота вращения 3000 об/мин.

Совокупный КПД - 48%  
КПД СПД - 59%  
КПД РМ – 86%  
КПД генератора – 95%

Расчётный ресурс КЭУ до КР – 80 000 часов.  
Удельный расход газа на кВт/час – 0,202 нм<sup>3</sup>



# Схема контейнерной электростанции







# Состав оборудования контейнерной электростанции



1. Утеплённый модуль-контейнер с автоматическими системами жизнеобеспечения.
2. Комбинированная энергетическая установка (КЭУ): СПД, РМ, генератор, щит местного управления, штатные системы запуска и работы.
3. Шкаф автоматического включения резервного питания (ШАВР).
4. Шкаф собственных нужд (ШСН).
5. Панель зарядных устройств (ПЗУ) для ДГУ 2-3-ей степени автоматизации.
6. Вспомогательная автоматика (по требованию).
7. Топливный бак (автоматическое пополнение запасов топлива по 3-й степени автоматизации).
8. Дополнительный масляный бак с системой автоматического долива моторного масла (для КЭУ 2-3-ей степени автоматизации).
9. Автоматическая система обеспечения температурного режима внутри контейнера.
10. Система охранно-пожарной сигнализации.
11. Автоматическая система пожаротушения.
12. Система отвода отработанных газов.
13. Система приточно-вытяжной вентиляции.
14. Рабочее и аварийное освещение контейнера.

