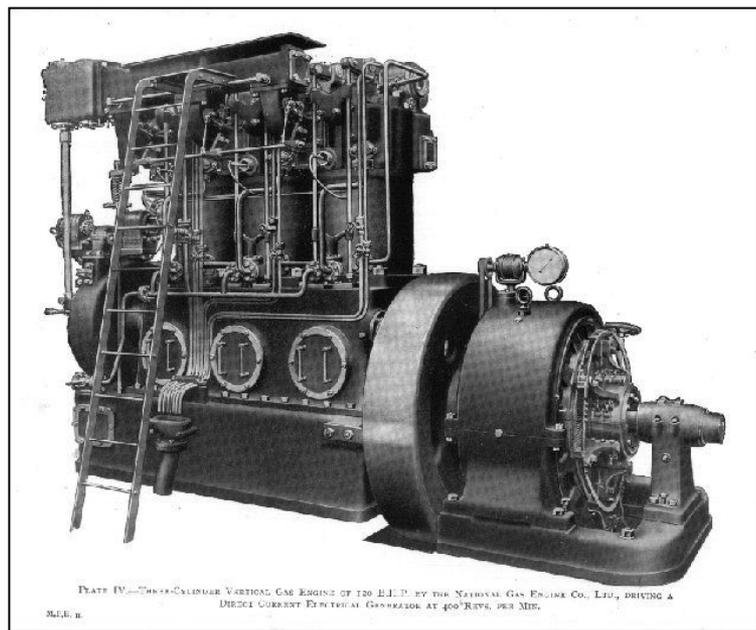


**Энергетические установки с
газопоршневым двигателем в
качестве привода
электрогенератора**

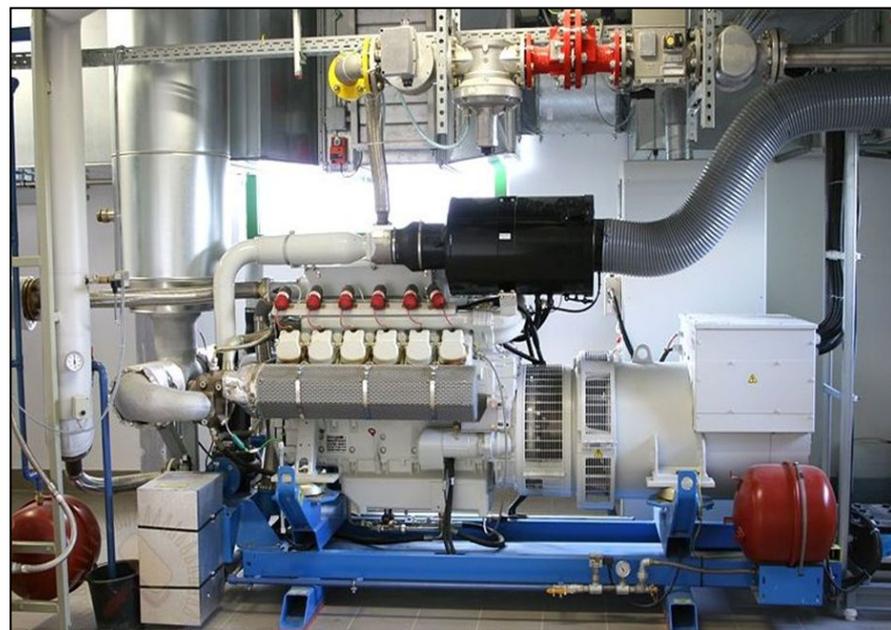
Цыплаков Александр Иванович

Часть первая

Газопоршневая электростанция — это система генерации электричества, созданная на основе поршневого двигателя внутреннего сгорания, работающего на природном или другом горючем газе.



Электроагрегат с газовым двигателем National 120 э.л.с. 400 об/мин, на генераторном газе. (Англия, 10-е г.г. 20 в.)



Современный газопоршневой электроагрегат 500 кВт.

Достоинства:

- относительно низкие удельные капитальные (600-1200\$/кВт) и текущие затраты, прежде всего на топливо, имеется возможность применения двутопливных двигателей газодизелей (газ-жидкое топливо),
- короткие сроки монтажа, быстрый запуск,
- простота обслуживания,
- высокий КПД при частичных нагрузках,
- мобильность
- возможность использования в когенерационных установках - максимальное использование энергии топлива (совместная выработка электричества и тепла).

Недостатки:

- затраты на моторное масло-существенная часть эксплуатационных расходов.
- большое количество вредных веществ в отработавших газах (ОГ - окислы азота, углеводороды, зола от угара масла), необходимость высоких дымовых труб, нейтрализаторов ОГ,
- необходимость мероприятий по снижению повышенных уровней шума и вибраций.

Современные направления применения газопоршневых технологий

- использование в автономных системах энерго-теплоснабжения объектов малой распределенной энергетики (50-3000 кВт, иногда более) при централизованном снабжении природным газом, использование нефтяного и попутного газов на нефтегазопромыслах,
- использование в системах энергоснабжения при применении в качестве топлива газообразных продуктов термохимической конверсии биомассы, а также горючих газов – отходов различных производств (доменный, коксовый газы),
- использование в качестве резервного источника энергии в перспективных системах водородного аккумулирования электроэнергии.

Нефтепромысел с газопоршневыми электроагрегатами 5x500 кВт на попутном газе (РФ, Зап. Сибирь.)



Газопоршневые электроагрегаты - миниТЭС на природном газе, эл. мощн. 3x3000 кВт, тепл. мощн. 3x2,6 Гкал/час, (Московская обл.)



Газопоршневой двигатель в составе газогенераторного электроагрегата (Якутия)



Энергокомплекс с газопоршневым электроагрегатом 100 кВт на генераторном газе из древесных отходов.



«RONOX Namaqua Sands», ЮАР – газообразные отходы доменного и титанового производства (8 газовых двигателей JMS620 GS-SL, общая мощность -13,6 МВт)

Газопоршневые двигатели различают по трем основным признакам:

- по числу тактов - двух- и четырехтактные;
- по способу смесеобразования – внешнее (с использованием газового карбюратора или газовой форсунки во впускном коллекторе) и внутреннее (с подачей газа непосредственно в цилиндр);
- по способу воспламенения рабочей смеси – искровое зажигание, зажигание от воспламеняющей дозы жидкого дизельного топлива (газодизель), форкамерно-факельное зажигание (ФФЗ).

Конструктивное исполнение

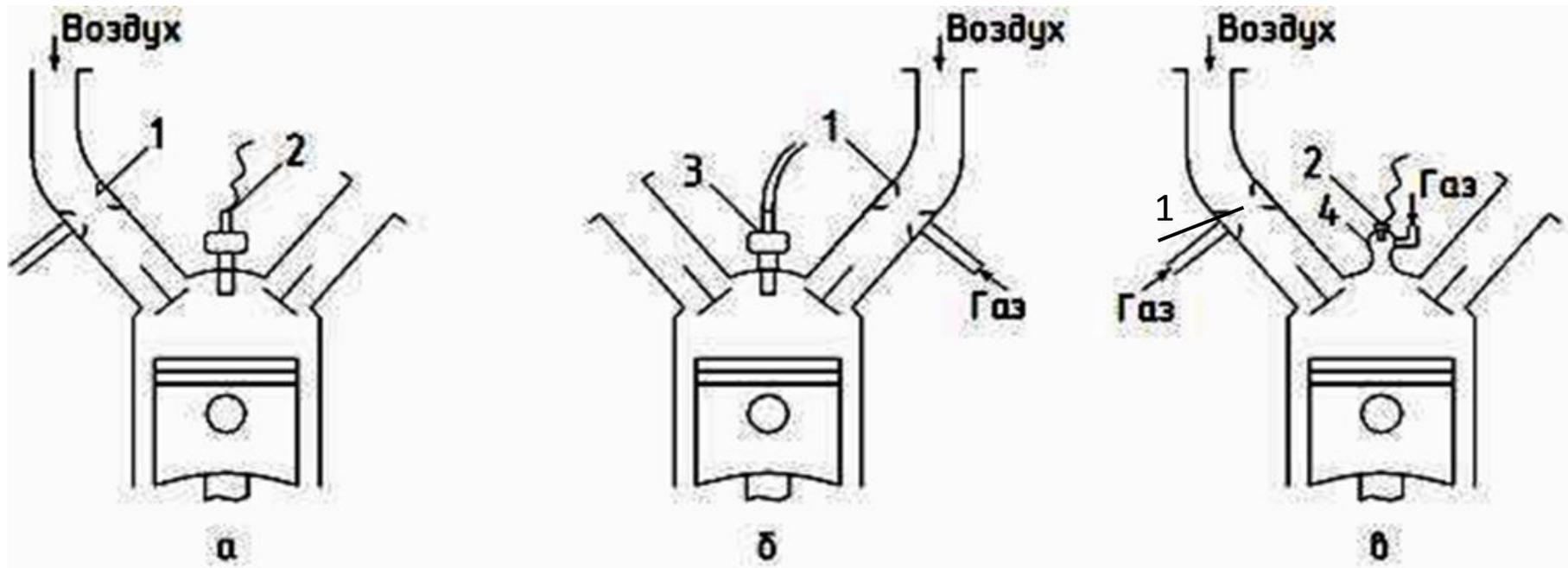
- С рядным расположением цилиндров, $i = 4 - 9$
- С V-образным расположением цилиндров, $i = 6 - 24$

Схемы работы различных типов газопоршневых двигателей

а. с искровым зажиганием

б. с запальной порцией жидкого топлива

в. с форкамерно-факельным зажиганием



1. газоздушный смеситель, 2. свеча зажигания, 3. дизельная форсунка, 4. форкамера.

Общие понятия теории тепловых двигателей.

- **Тепловой двигатель** это механизм, превращающий теплоту в механическую энергию, используя зависимость объёма вещества рабочего тела (РТ) от температуры. Обычно работа совершается за счет изменения объема РТ, но иногда используется изменение формы РТ (в твёрдотельных двигателях).

Действие теплового двигателя подчиняется законам термодинамики. Для работы необходимо создать разность давлений по обе стороны поршня двигателя или лопасти турбины. Для работы двигателя обязательно наличие разницы температур, производится нагревание рабочего тела (газа), который совершает работу за счёт изменения своей внутренней энергии. Изменение температуры РТ осуществляется, соответственно, нагревателем (например, при сжигании топлива) и охладителем, в роли которой используется окружающая среда.

- **Циклом теплового двигателя** называется совокупность процессов, происходящих в определенной последовательности, в результате осуществления которых рабочее тело (РТ) совершив работу, возвращается в первоначальное состояние.
- **Замкнутым называется цикл**, в котором РТ постоянно находится в замкнутом пространстве двигателя и изменяет свой объем при нагревании и охлаждении, а теплота образуется вне этого замкнутого пространства (цикл двигателя Стирлинга)
- **Разомкнутыми называются циклы** в которых охлаждение РТ связано с его заменой (выпуск-всасывание в ДВС). Далее рассматриваются циклы применительно только к ДВС.

Циклы поршневых ДВС

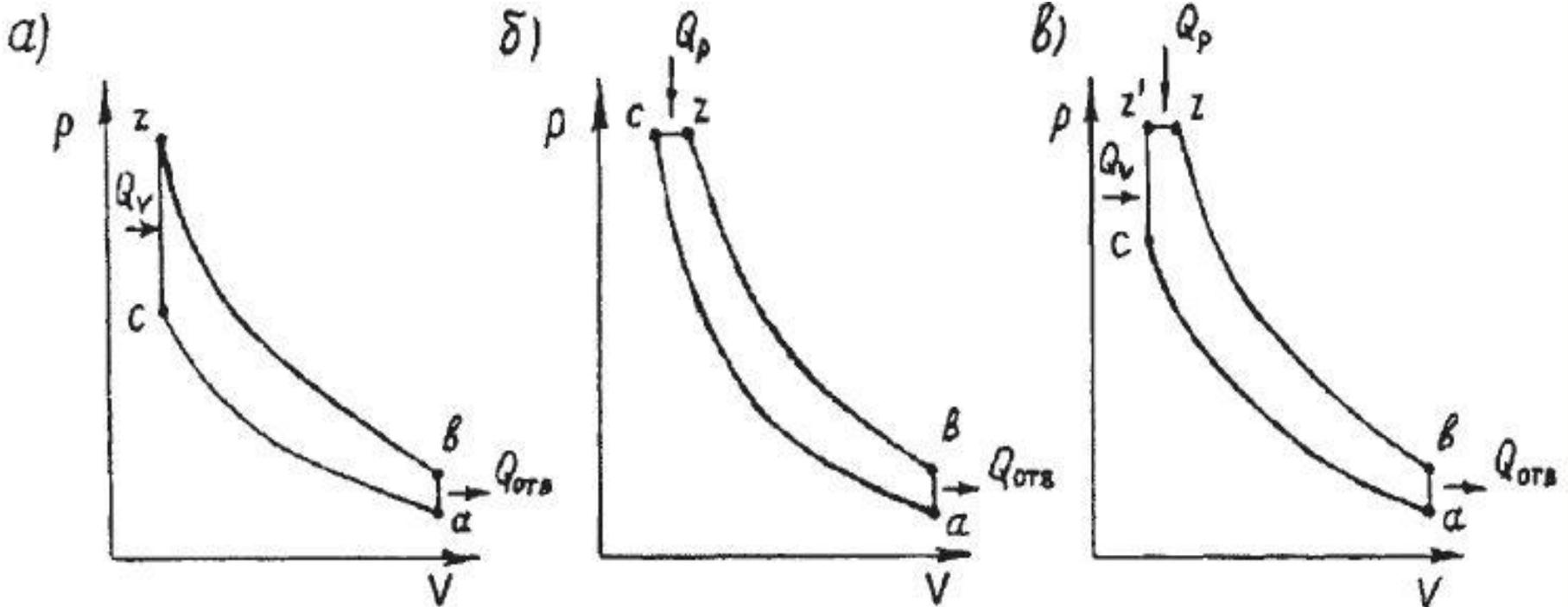
- Для теоретического исследования действительных циклов, происходящих в реальных двигателях, и сравнения по степени использования тепла различных типов двигателей, независимо от их конструктивных особенностей используют понятие идеальные циклы.
- **Идеальным циклом двигателя поршневого ДВС** называется круговой замкнутый обратимый цикл, представляющий собой совокупность последовательных процессов, совершаемых с идеальным газом в цилиндре идеальной машины. При идеальном цикле допускаются следующие отступления от реальных процессов в поршневом ДВС:
 - 1) **РТ - идеальный газ**, т. е. физические свойства, состав и масса газа остаются постоянными и не зависят от давления и температуры;
 - 2) **тепло подводится к РТ (газу) извне**, а не в процессе сгорания топлива в цилиндре;
 - 3) **процессы сжатия и расширения совершаются по адиабатам**, т. е. без теплообмена с внешней средой (стенки цилиндра теплонепроницаемые и трение между поршнем и стенками цилиндра отсутствует);
 - 4) **выпуск отработавших газов в реальном ДВС заменяется их охлаждением**, т.е. передачей некоторого количества тепла холодному источнику.

Идеальные циклы применяют для исследования действительных циклов, происходящих в реальных двигателях, и сравнения по степени использования тепла различных типов двигателей, независимо от их

Идеальные циклы поршневых ДВС

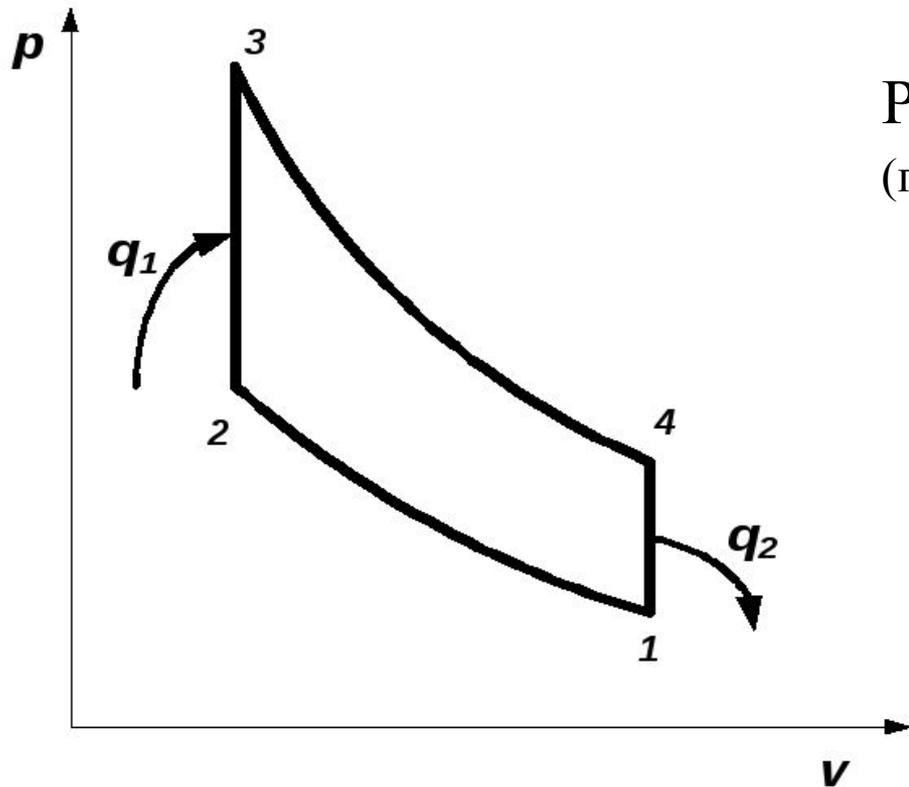
Различают три способа подвода тепла в идеальных циклах поршневых ДВС

- а) подвод тепла при постоянном давлении (**цикл Дизеля**, мощные МОД);
- б) подвод тепла при постоянном объеме (**цикл Отто**, - газопоршневой двигатель с искровым и форкамерным зажиганием, газодизель*)
- в). смешанный цикл (**цикл Тринклера**, четырехтактные высокооборотные дизели, газодизель *)



Идеальные циклы в P-V координатах.

Конструктив двигателя и показатели идеального цикла $V = \text{const}$



Работа цикла — $A_{ц} = \oint p dv$
(площадь диаграммы в p - v координатах).

Термический КПД цикла

$$\eta_t = A_{ц} / q_1, \text{ или -}$$

$$\eta_{t_{V=const}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

$V_2 = V_3$ - объем камеры сгорания, V_c .

k - показатель адиабаты

$V_1 - V_2$ - рабочий объем цилиндра, V_h . q_1 - подведенная теплота

$\varepsilon = V_2 / V_1$ - степень сжатия.

q_2 - отведенная теплота

Действительный цикл 4-т. двигателя на примере двигателя с атмосферным впуском, характерные точки на диаграмме давления в цилиндре.

***a-b** такт впуска, поршень движется к НМТ.*

***b**- окончание впуска, начало такта сжатия.*

***c**- воспламенение смеси электрической искрой в конце такта сжатия вблизи ВМТ/ начало сгорания;*

***d**- максимальное давление P_z / теоретическое окончание сгорания и начало расширения;*

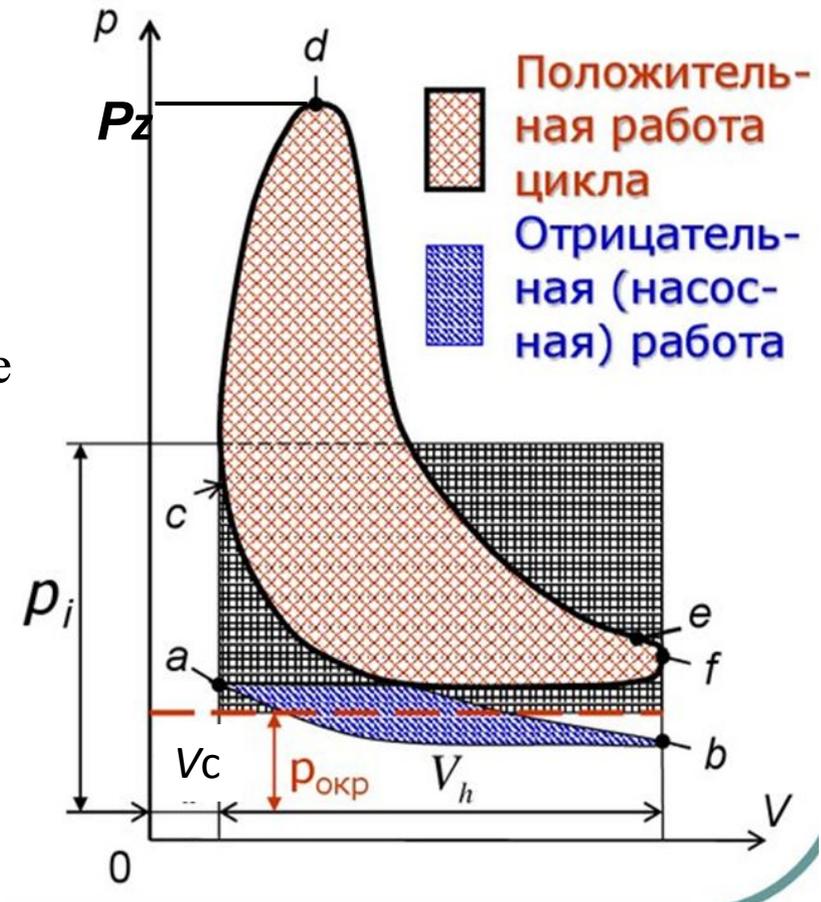
***e** - практическое / **f** - теоретическое (НМТ) окончание расширения / начало такта выпуска ОГ;*

***f-a** - такт выпуска;*

***a**- окончание выпуска ОГ, начало впуска свежей смеси;*

V_c - объем камеры сгорания, V_h - рабочий объем, $p_{окр}$ -атмосферное давление,

p_i - среднее индикаторное давление.



ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЙ ЦИКЛ 4-Т. ДВИГАТЕЛЯ. ПРОЦЕСС СЖАТИЯ, 2-Й ТАКТ.

В действительном цикле процесс сжатия заряда происходит по политропе с показателем политропы $n_1 = 1,33 \dots 1,38$.

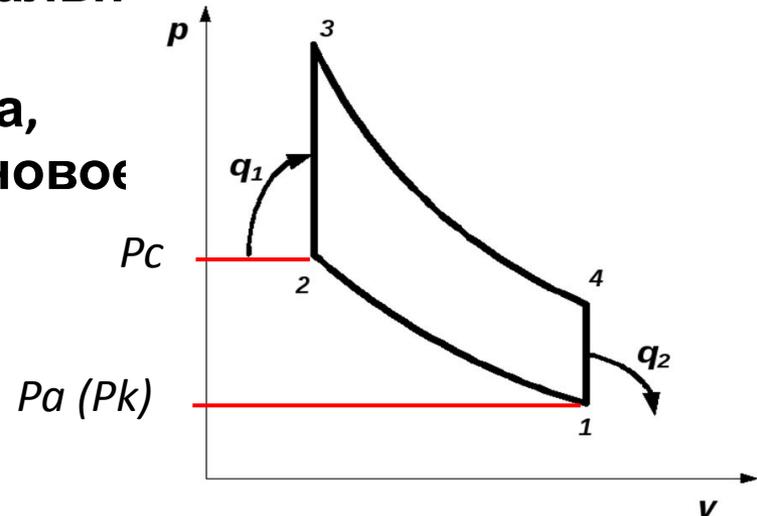
Политропный процесс – такой процесс, при котором изменяются все основные параметры системы, кроме теплоемкости, т.е. $C = \text{const}$.

$$PV^n = \text{const}$$

Факторы влияющие на выбор степени сжатия - ϵ :

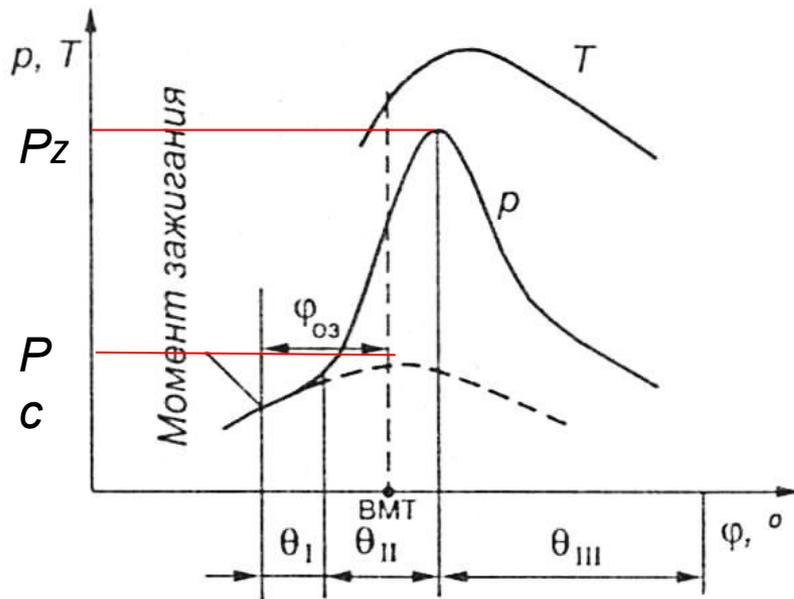
1. Наличие в конструкции ГПД турбонаддува и промежуточного охлаждения газовой смеси.
2. Устойчивое самовоспламенение запального топлива в газодизеле.
3. Вид используемого газового топлива, его антидетонационные свойства (метановое и октановое числа).

$$P_c = P_a (P_k)^* \epsilon^{n_1}$$



ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЙ ЦИКЛ 4-Т. ДВИГАТЕЛЯ. ПРОЦЕСС СГОРАНИЯ И РАСШИРЕНИЯ, 3-Й ТАКТ.

Нормальное сгорание – задержка воспламенения ($\Theta_I = 8-10$ гр. поворота коленчатого вала, сокр. ПКВ) - быстрое повышение давления в результате сгорания за 10-15 гр. ПКВ до в.м.т. и условное окончание сгорания (точка P_z) 12-15 гр. после ВМТ до начала заметного расширения, обусловленного движением поршня – (Θ_{II} на рисунке, видимое сгорание, основная фаза) общей продолжительностью $\Theta_{II} = 20...30$ гр. ПКВ



Третья фаза сгорания – догорание (и одновременно диссоциация-рекомбинация продуктов сгорания) - Θ_{III} происходит на такте расширения, до момента открытия выпускного клапана. В формулах:

P_c – давление конца сжатия,

λ – степень повышения давления при сгорании,

P_z – максимальное давление сгорания.

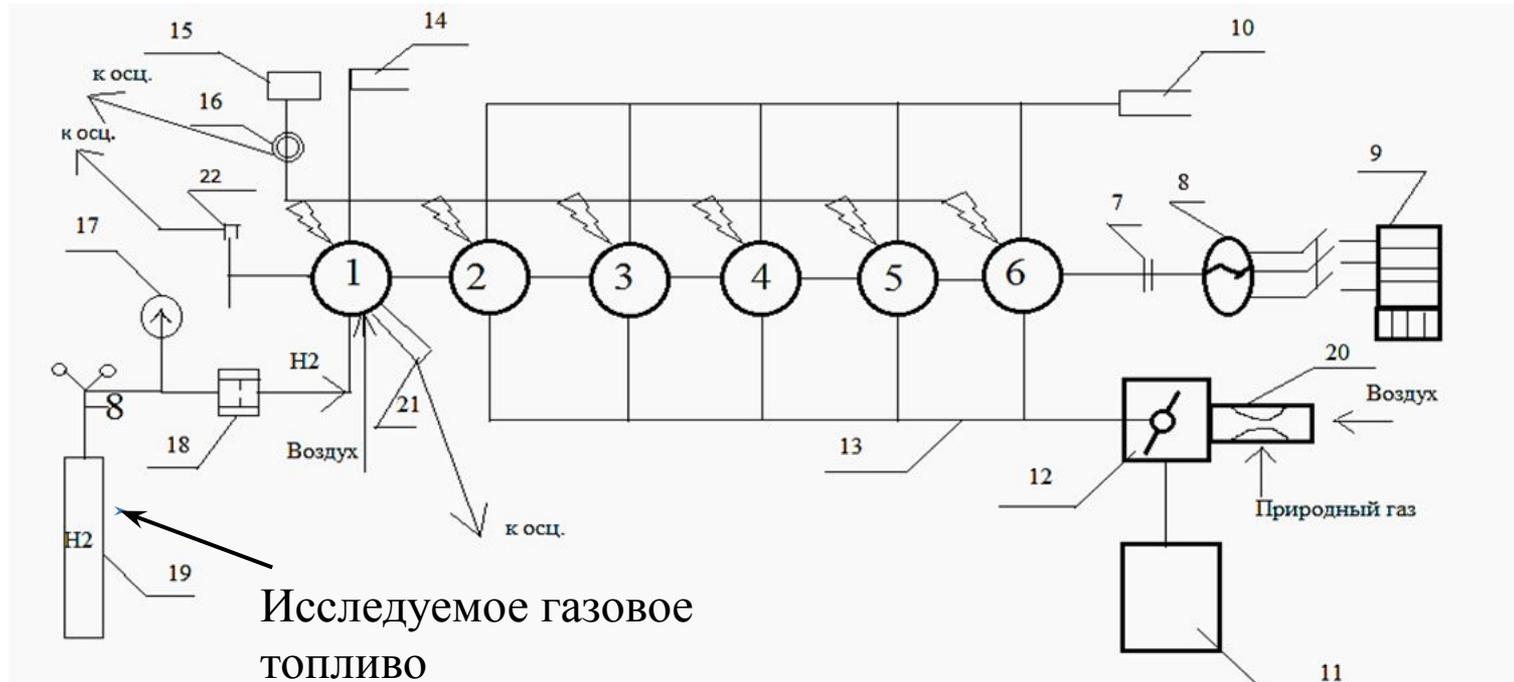
T – температура сгорания на графике, определяется расчетом).

$$\lambda = P_z / P_c$$

$$P_z = 5,5-10 \text{ Мпа}, \lambda = 2,5 - 4$$

Исследование процесса сгорания (общие понятия)*

Экспериментальное исследование процесса сгорания на развернутом двигателе проводится путем индицирования по методу «выделенного цилиндра». Индицирование – это запись изменения давления в цилиндре и других величин по углу ПКВ (диаграмма «давление-угол ПКВ» - индикаторная диаграмма, ИД).



Исследуемое газовое
ТОПЛИВО

1-6) Цилиндры двигателя; 7) Соединительная муфта; 8) Генератор; 9) Нагрузка; 10) и 14) Вывод отработавших газов; 11) Электронный регулятор частоты; 12) Дроссельная заслонка; 13) Трубопровод; 14) Блок зажигания; 16) Датчик момента искрообразования; 17) Манометр; 18) Дроссельная шайба; 19) Балон; 20) Смеситель двигателя; 21) Датчик давления; 22) Лазерный датчик ВМТ

* для ознакомления

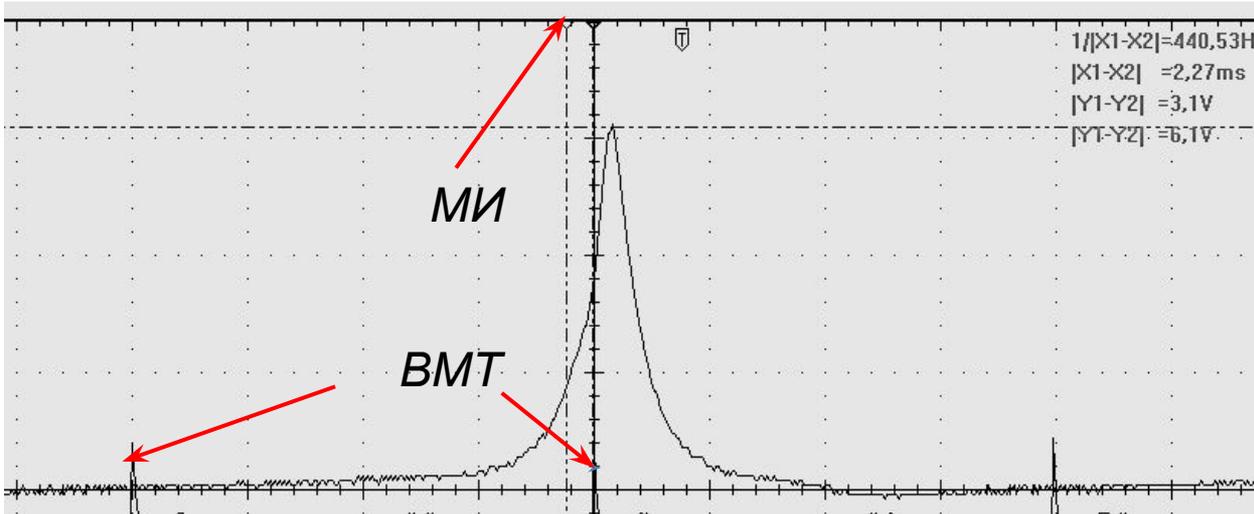
Исследование процесса сгорания (общие понятия)*

Основные первичные датчики при индицировании – датчик давления в цилиндре, датчик отметки ВМТ, датчик момента искрообразования (МИ).

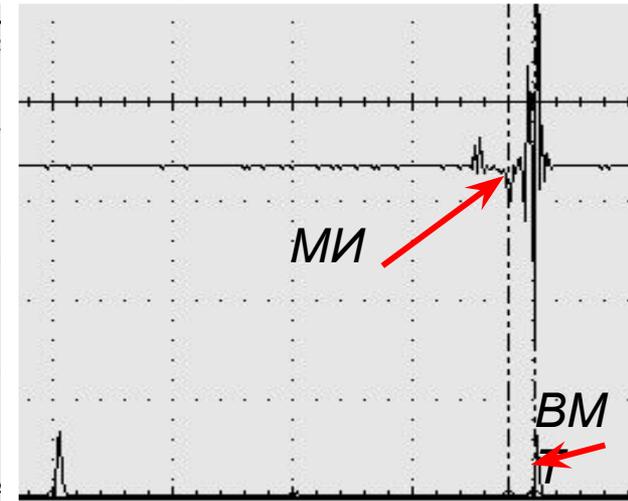
Определение по ИД показателей процесса сгорания - P_i , η_i , P_z , $P_{мп}$ позволяет определить показатели двигателя (и в целом газопоршневого электроагрегата), как создаваемого вновь, так и при адаптации существующего к специфике различных видов альтернативных газовых топлив, а так же определить различные нарушения нормального протекания процесса сгорания.



Датчик давления в цилиндре



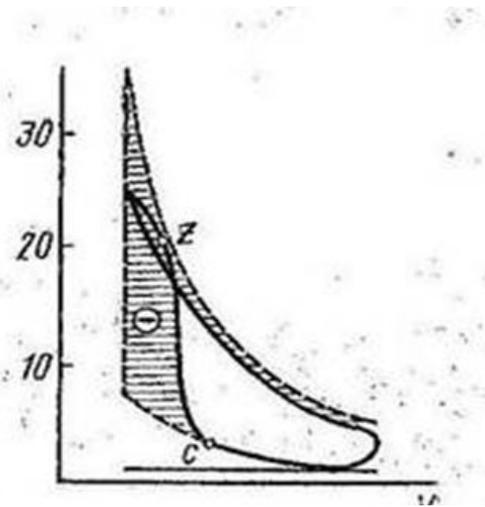
Индикаторная диаграмма процесса сгорания при оптимальных регулировках двигателя Г-266



Отметки ВМТ и МИ (УОЗ)* для ознакомления

Возможные нарушения процесса сгорания

- пропуски воспламенения в цилиндрах,
- вспышки во впускной системе;
- преждевременное самовоспламенение смеси в цилиндре – калильное зажигание (рис.1),
- позднее воспламенение – снижение КПД.



в. Детонационная эрозия поршня газового двигателя при длительной работе на попутном газе с низким МЧ (ОЧМ).

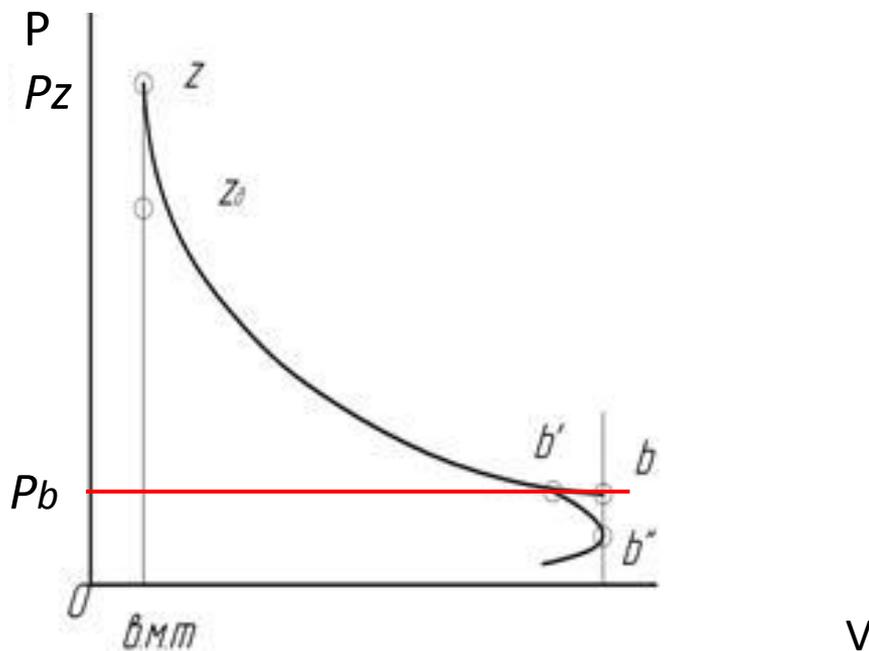
б. ИД при детонационном сгорании (2), при позднем зажигании (3).

а. ИД при преждевременном самовоспламенении

-детонационное сгорание – сгорание топливо-воздушной смеси с образованием ударных волн в КС. На рисунке 2 - характер изменения давления в цилиндре при детонации.

ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЙ ЦИКЛ 4-Т. ДВИГАТЕЛЯ. ПРОЦЕСС РАСШИРЕНИЯ, 3-Й ТАКТ.

Процесс расширения протекает политропно, с показателем политропы расширения n_2 , изменяющимся в пределах $1,2 \dots 1,35$.
Здесь, в отличие от процесса сжатия, в течение всего процесса происходит отдача тепла газом стенкам цилиндра, так как температура газов выше температуры стенок.



$$n_2 = \frac{\ln (P_z/P_b)}{\ln \epsilon}$$

$$n_2 = 1,2 \dots 1,35$$

$$p_b = 0,35 \dots 0,60 \text{ МПа}$$

$$T_b = 1200 \dots 1700 \text{ К}$$

Изменение давления в процессе
расширения

$$P_b = P_z / (\epsilon^{n_2})$$

Действительный цикл. Процесс выпуска, 4-й такт.

без наддува

с

турбонаддувом

+ отрицательная работа насосных тактов
положительная работа насосных тактов



Линия на индикаторной диаграмме	Периоды газообмена
$b'-b$	Свободный выпуск
$b-r$	Принудительный выпуск
$a'-a$	Наполнение
$a-a''$	Дозарядка
$a'-b''$	Продувка

Индикаторный КПД и экономичность газового двигателя с циклом $Vconst$.

Термический КПД - η_t отношение работы, совершенной в прямом обратимом термодинамическом цикле, к теплоте, сообщенной рабочему телу от внешних источников.

Термический КПД - η_t цикла $Vconst$ зависит только от степени сжатия ε и вида рабочего тела (показатель адиабаты k):

$$\eta_t = 1 - 1 / \varepsilon^{k-1}$$

η_i — доля тепла, содержащегося в топливе, превращенная в работу в реальном цикле, оценивается индикаторным КПД;

Разница $\eta_t - \eta_i$ характеризует величину потерь вследствие неполноты и несвоевременности сгорания и оценивается через

$$\text{относительный КПД } - \eta_{отн.} = \eta_i / \eta_t$$

который характеризует совершенство рабочего цикла, где

$$\eta_{отн.} = \eta_{сг.*} \cdot \eta_{от. дейст.}$$

Индикаторный КПД и экономичность газового двигателя с циклом V_{const} (продолжение)

$\eta_{сг.}$ - характеризует потери тепла за период выгорания всего топлива, и равен коэффициенту активного тепловыделения

$\eta_{от. действ.}$ - показывает степень приближения действительного термодинамического цикла с конечным временем подвода тепла (сгорания топлива) к теоретическому V_{const} .

Характеризует совершенство использования в нем выделившегося не всего, а именно активного тепла по сравнению с теоретическим циклом V_{const} .

Учитывая, что индикаторный (действительный) КПД

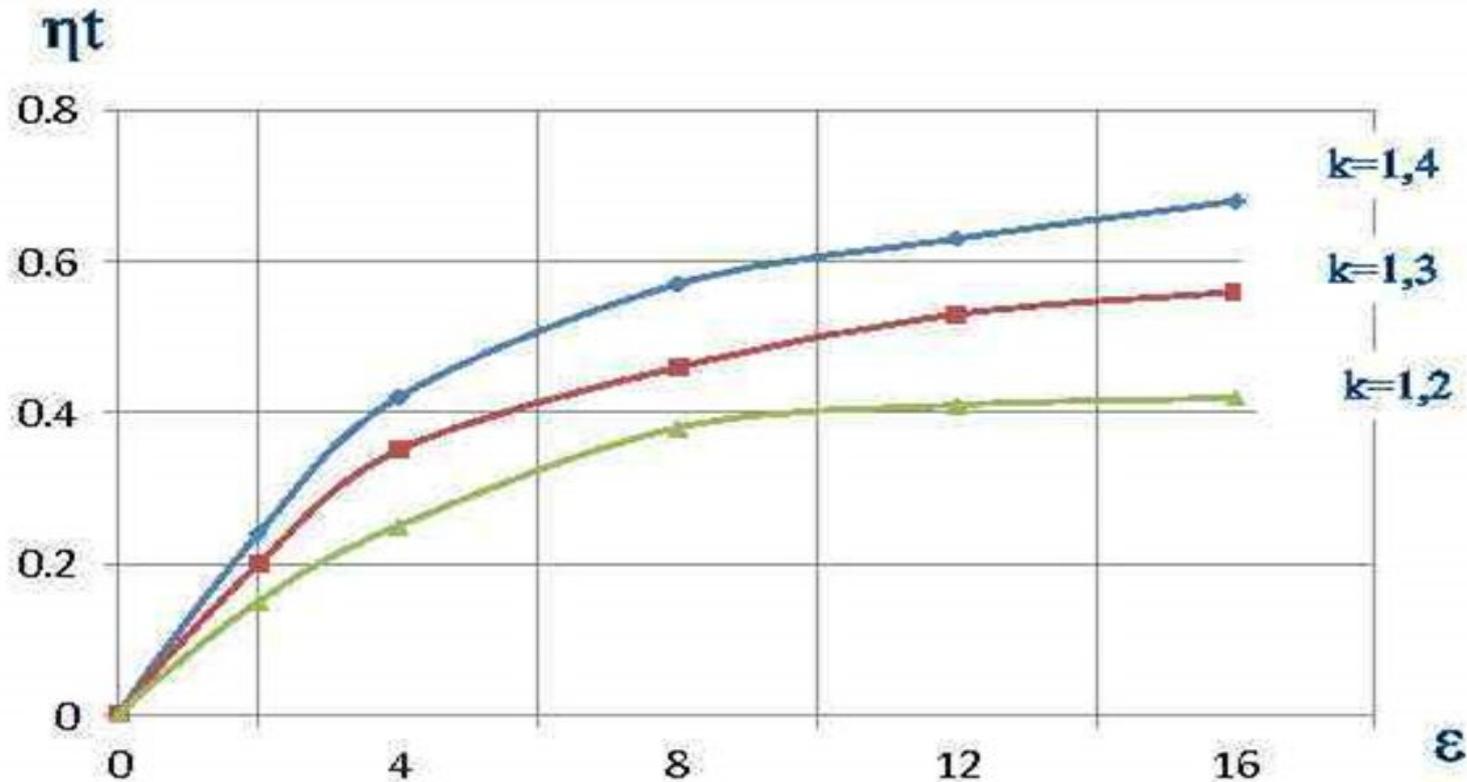
$$\eta_i = \eta_t * \eta_{отн}$$

получаем

$$\eta_i = \eta_t * \eta_{от. действ.} * \eta_{сг.}$$

Факторы, влияющие на индикаторные показатели в действительном цикле V_{const}

$\eta_i = \eta_t * \eta_{отн.}$ величина η_t зависит от показателя адиабаты и степени сжатия

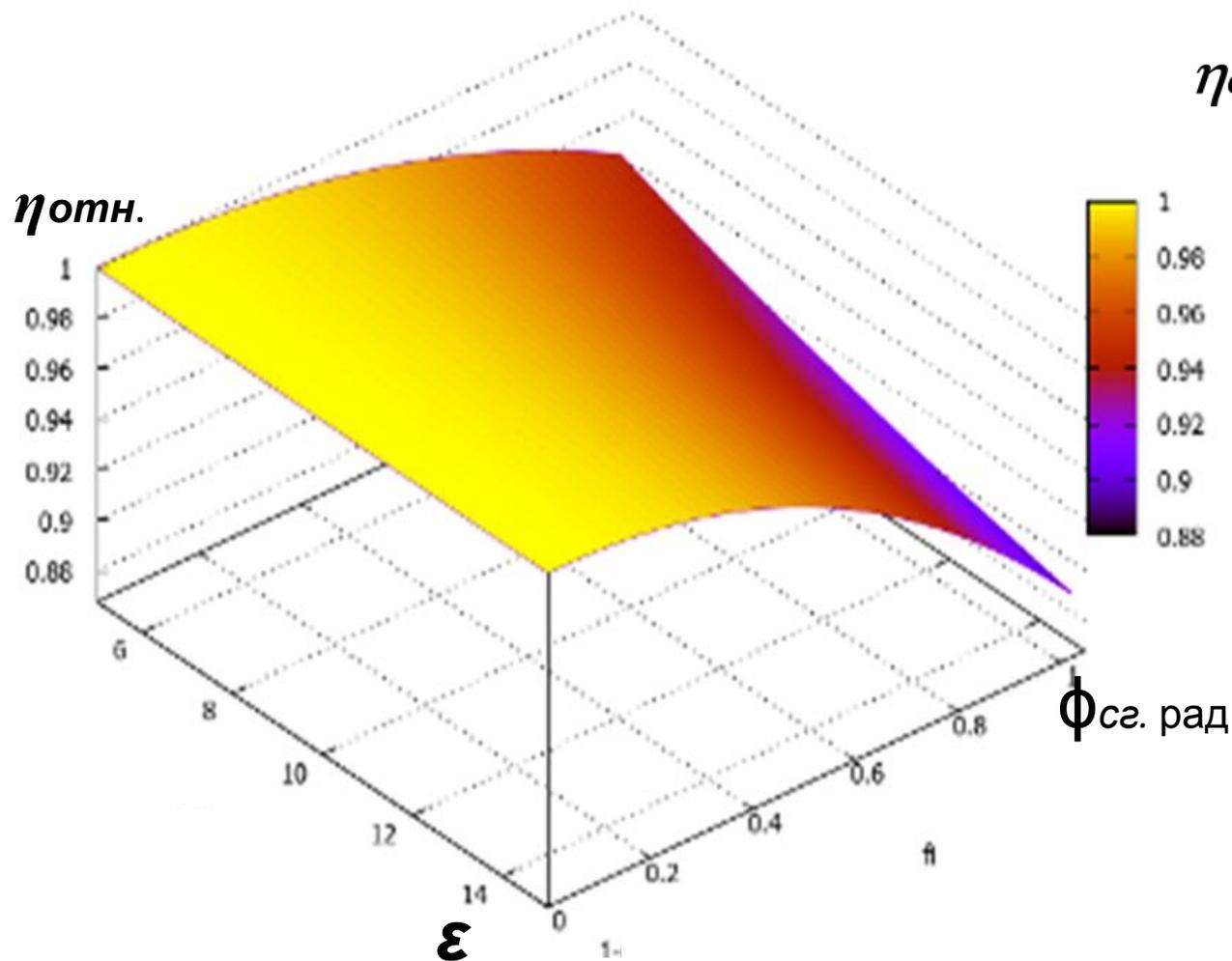


Влияние степени сжатия и показателя адиабаты на η_t

Факторы, влияющие на индикаторные показатели в действительном цикле V_{const}

$$\eta_i = \eta_t * \eta_{отн}$$

$$\eta_{отн.} = 1 - \frac{0,294(k-1)(\varepsilon-1)\varphi}{3(\varepsilon^{k-1} - 1)}$$



Из анализа формулы Б.С. Стечкина следует:
 - в действительном цикле рост продолжительности сгорания $\varphi_{сг}$, а так же увеличение степени сжатия ε приводит к снижению величины $\eta_{отн.}$ и к снижению η_i

Эффективные показатели двигателя и электроагрегата.

Эффективный КПД двигателя η_e показывает степень совершенства преобразования внесенной с топливом теплоты в механическую работу и зависит от механического КПД η_m :

$$\eta_e = \eta_i \eta_m.$$

Электрический КПД электроагрегата показывает степень совершенства преобразования внесенной с топливом теплоты в электроэнергию и зависит от степени совершенства электрогенератора (электромеханический КПД генератора $\eta_{эмг}$):

$$\eta_{эл} = \eta_e \eta_{эмг}$$

ИЛИ

$$\eta_{эл} = \eta_t * \eta_{от. \text{ действ.}} * \eta_{сз.} * \eta_m * \eta_{эмг}$$

О направлениях работ по повышению топливной эффективности газопоршневых электроагрегатов

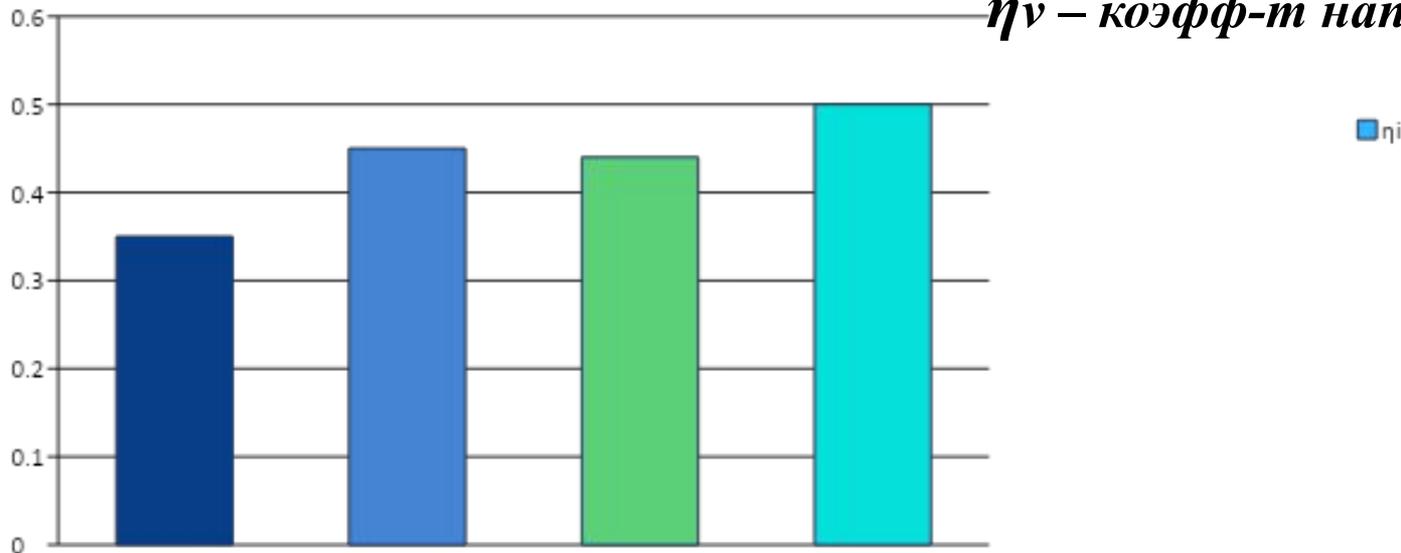
$$\eta_{эл} = \eta_t * \eta_{от. действ.} * \eta_{сж.} * \eta_M * \eta_{ЭМГ}$$

- совершенствование рабочего процесса двигателя, включающее выбор максимально возможной степени сжатия, оптимизация формы камеры сгорания, повышение скорости и полноты сгорания, использование наддува обедненной газовой смеси и интенсификация процесса ее воспламенения (ФФЗ).
- снижение доли механических потерь самого двигателя, прежде всего, путем уменьшения рабочего объема двигателя с одновременным использованием повышенного давления наддува, с обязательным предварительным охлаждением газовой смеси;
- совершенствование конструкции электрического генератора, путем снижения механических и электрических потерь.

Факторы влияющие на энергетические показатели газопоршневого двигателя.

$$p_i(p_e) = (N_V / (L_V)) * (\eta_i / \alpha) * \rho_K * \eta_V (*\eta_M)$$

где: α – коэфф-т. избытка воздуха, ρ_K – плотность смеси на впуске,
 η_V – коэфф-т наполнения цилиндра.



Эффективная механическая мощность
 $N_e = 2P_e * iV_h * n / (1000 * \tau)$ (кВт, $\tau=4$, 4-х тактн.)

Экспериментальная оценка
 эффективности

$$\eta = 3600 N_e / (H \times Q) \text{ кВт}$$

Требования к газомоторному топливу

- высокие антидетонационные свойства, МЧ>35 (по ГОСТ ОЧМ>90);
- стойкость к калильному воспламенению (КЗП и КЗН);
- отсутствие воды и смол, концентрация твердых частиц < 1мг/м³, ГОСТ 27577-2000 ;
- температура на входе в двигатель < +50С.

Окта́новое число́ (ОЧ) - показатель, который характеризует детонационную стойкость топлива, применяемого в двигателях внутреннего сгорания с искровым зажиганием. ОЧ определяется путем сравнения на специальном одноцилиндровом двигателе антидетонационных свойств исследуемого топлива с эталонной смесью (изооктан и н-гептан). ОЧ исследуемого топлива соответствует содержанию (в процентах по объёму) изооктана в эталонной смеси. Для природного газа используемого в качестве газомоторного топлива детонационная стойкость согласно ГОСТ 27577—2000 определяется ОЧ по моторному методу — ОЧМ.

Метановое число (МЧ)-метановое число 100 соответствует чистому метану (детонационно стойкий). Метановое число 0 соответствует водороду (нестойкий). По ГОСТ в РФ не используется и при необходимости определяется расчетом.

Природный газ и альтернативные газомоторные топлива. Характеристики.

H_v , МДж/м³ – объемная удельная теплота сгорания газа

L_v , м³/м³ воздуха – стехеометрическое соотношение

$H_{см.}$, МДж/м³ смеси – объемная удельная теплота сгорания смеси газ-воздух

Природный Газ..... $H_v = 35,8$ МДж/м³, $L_v = 9,53$ м³/м³,
 $H_{см} = 3,23$ МДж/м, ОЧМ = 110;

Генераторный газ.... $H_v = 5,7$ МДж/м³, $L_v = 1,24$ м³/м³,
 $H_{см} = 2,6$ МДж/м³, ОЧМ > 120;

Биогаз (метан 55%)... $H_v = 19,7$ МДж/м³, $L_v = 5,2$ м³/м³,
 $H_{см} = 3,2$ МДж/м³, ОЧМ > 120.

Синтез-газ H_2 – ок. 50%, CO - ок. - 40%, ост. < 10 %.
 $H_v = 11,2$ МДж/м³, $L_v = 2,38$,
 $H_{см} = 3,32$ МДж/м³, ОЧМ=60–100;

Водород $H_v = 10,2$ МДж/м³, $L_v = 2,38$ м³/м³,
 $H_{см} = 3,04$ МДж/м³ ОЧМ = 45–85.

Газообразные отходы производств, как альтернативные газомоторные топлива

- **Углеводородные газы:**

Газообразные отходы нефтедобычи (попутные газы) и нефтехимии.

Состав: углеводороды C – C5 (и выше C5, в жидкой фазе).

H_v = от 30 МДж/нм³ и выше.

- **Водородсодержащие газы:**

Газы-отходы химической промышленности, производство Ф-Ф смол,

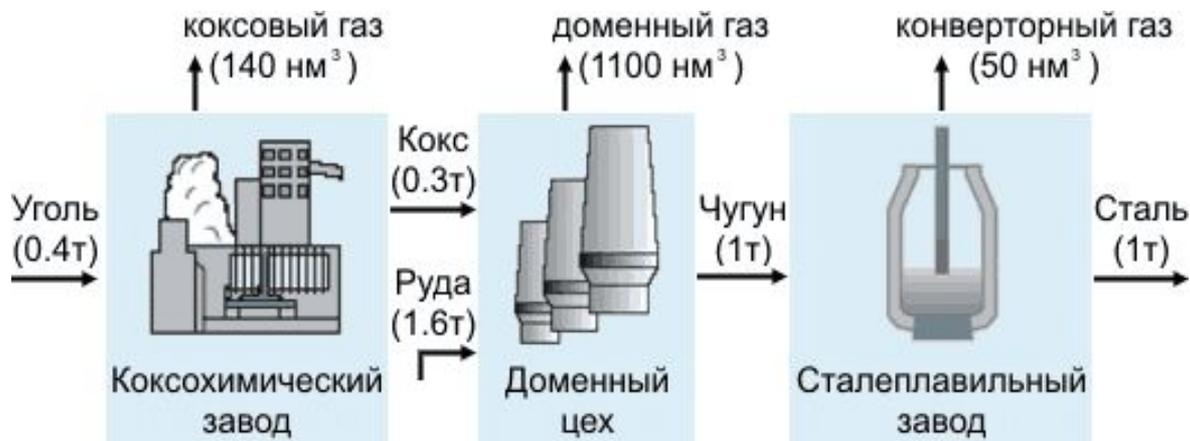
Состав газа: **H₂** -16÷21%, **CH₄** -1.5%, **CO** -1.5%, **CO₂** -5%, **N₂** -71 ÷76% H_v -1,7÷2.2 МДж/нм³.

- **Газ высокотемпературного пиролиза**

опасных промышленных и медицинских, бытовых отходов, ОСВ, ППМ. (пиролиз в среде O₂, плазменная печь).

Состав газа: **H₂** -20÷50%, **CO** -34÷40%, **CO₂** -25÷35%, **N₂** -2÷5%, H_v >7,5МДж/нм³.

Водородосодержащие газы – отходы в металлургии



- **Коксовый газ** - побочный продукт при производстве кокса. Состав газа: **H₂ -55%, CH₄ -30%, CO -5%, CO₂ -5%, N₂ -5%** **H_v =13-17МДж.**
- **Доменный газ** образуется при выплавке чугуна при неполном окислении углерода. Состав газа: **H₂ -1-5%, CH₄ -0-1%, CO -32-25%, CO₂ -9-5%, N₂ -55-59%, H_v =3,6—4,6 МДж/м³.**
- **Конверторный газ** образуется при выплавке стали, состав газа: **H₂ -1% CO -60÷75% CO₂ -14% N₂ -13%** **H_v=2,4МДж/м³.**
- **Ферросплавный газ** , 400-800 м³/т сплава. Состав: **CO 70-90%. H₂ -2-10%, CO₂ -2-20%, CH₄ - 0,5-5%, N₂ -2-4%, SO₂-0,2-0,5 мг/м³, H_v =8,2-8,4 МДж/м³.**

Направления работ по оптимизации конструкции газового двигателя для использования альтернативных газовых топлив

Газопоршневой двигатель с искровым зажиганием является высокоэффективным преобразователем тепловой энергии альтернативных газовых топлив в механическую.

Знание особенностей процессов цикла V_{const} и моторных свойств альтернативных газовых топлив позволяет сформулировать основные принципы адаптации газового двигателя для работы на таких топливах, которые включают -

- увеличение давления наддува газоздушной смеси и с обязательным её охлаждением (использование высоконапорного турбокомпрессора и эффективного охлаждения горючей смеси после компрессора) в случае использования низкоэнергетичных газов;
- оптимизация степени сжатия и давления наддува в зависимости от антидетонационных свойств газового топлива;
- использование специального газосмесителя (для конкретного состава газа);
- использование электронного регулирования состава смеси, давления наддува, частоты вращения (тока) и параметров системы зажигания (для быстрой адаптации электроагрегата к нагрузке и составу газа).
- внедрение мероприятий по увеличению ресурса наиболее ответственных узлов, деталей двигателя и электроагрегата в целом.

Литература к 1 части

1. Теория поршневых и комбинированных двигателей. Под ред. Орлина А. С., Круглова М.Г. М., Машиностроение, 1983 г. Страниц: 372.

http://www.autoscience.ru/load/literatyra/loads/orlin_a_s_dvs_teorija_porshnevykh_i_kombinirovannykh_dvigatlej_1983/1-1-0-96

2. Воинов А.Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях. М., "Машиностроение", 1977 г. <https://www.chipmaker.ru/files/file/5173/>

3. К.И. Генкин Газовые двигатели. М., «Машиностроение», 1977 г.

<https://www.razym.ru/tehnikeskaya/tehnika/278212-genkin-ki-gazovye-dvigateli.html>

Спасибо за внимание

Часть вторая

Экспериментальная оценка эффективности ГПЭА, стенд, средства регистрации.



TM 5103 – давление,
температура



Процессор (ЩУ)
электроагрегата

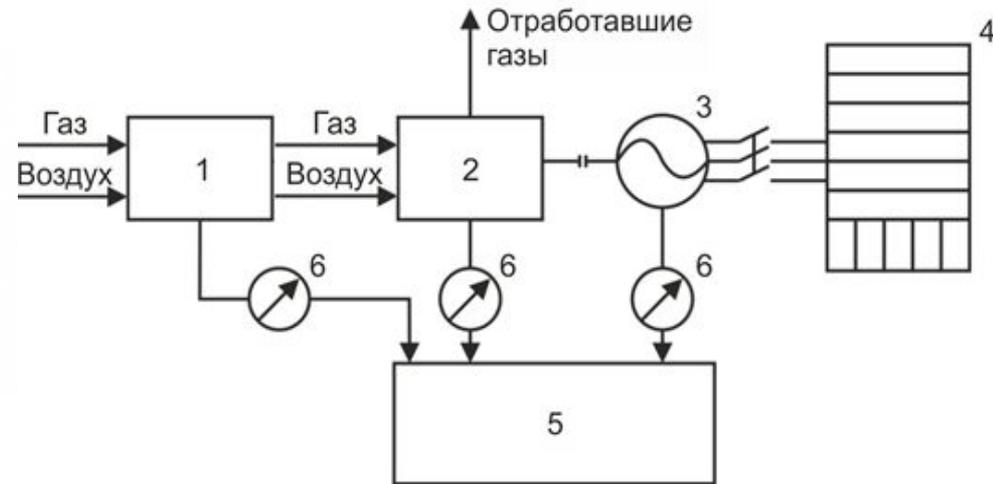


Схема стенда: 1. комплекс подачи и измерения расходов газа и воздуха; 2. газопоршневой двигатель Г-266; 3. электрогенератор; 4. электрическая нагрузка (СФО-99); 5. измерительный комплекс на базе ПК; 6. аналоговые КИП.



RVG – расходомер
газа

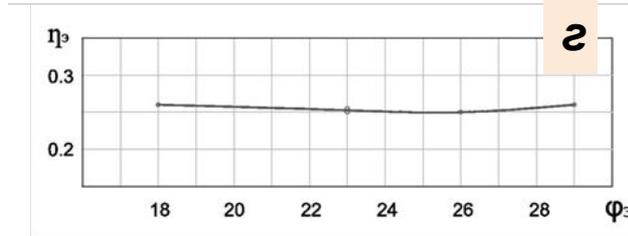
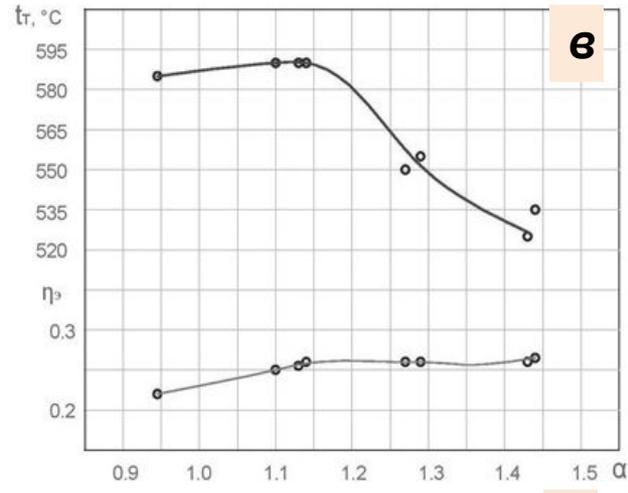
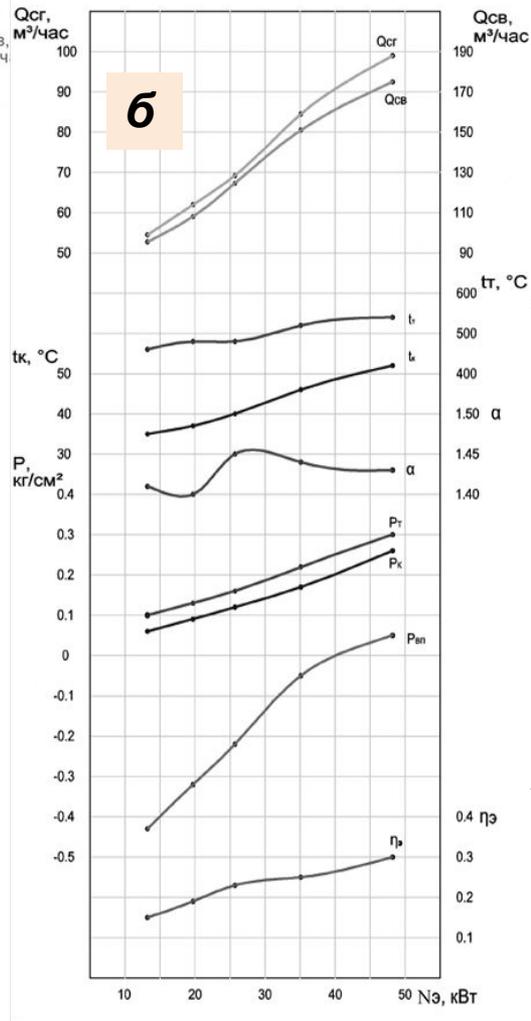
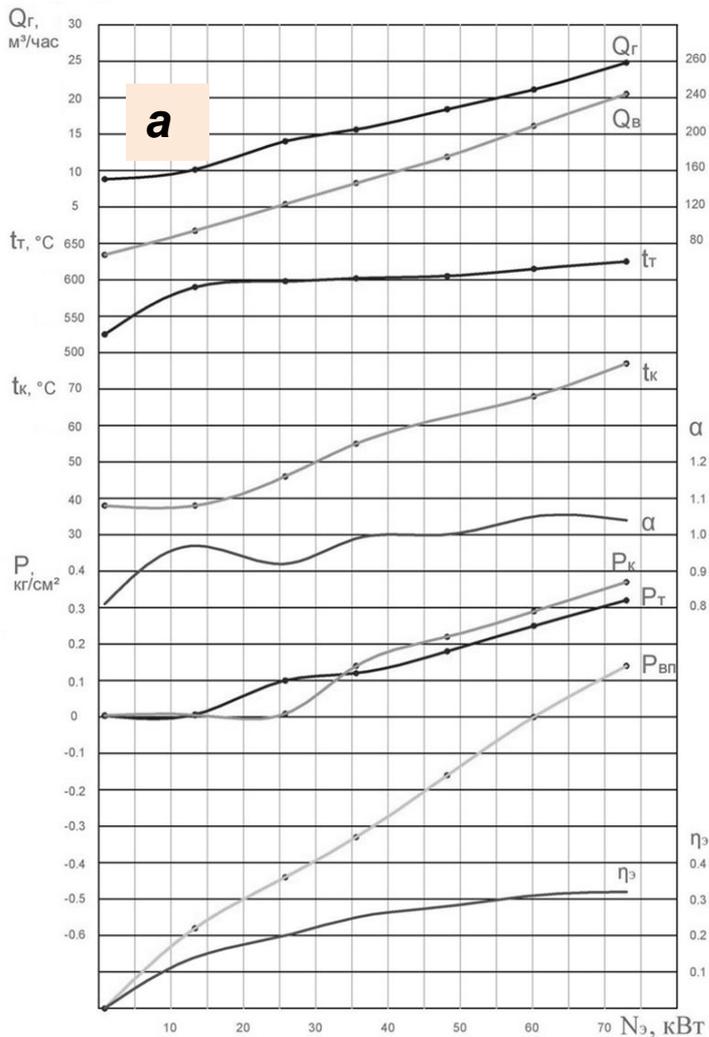


TRZ – расходомер воздуха

$$\eta_{эл} = 3600N_{эл} / (H_V \times Q_G)$$

$N_{эл}$.-кВт, H_V -кДж/м³,
 Q_G .- м³/час

Характеристики ГПЭА (на примере АГП-75)

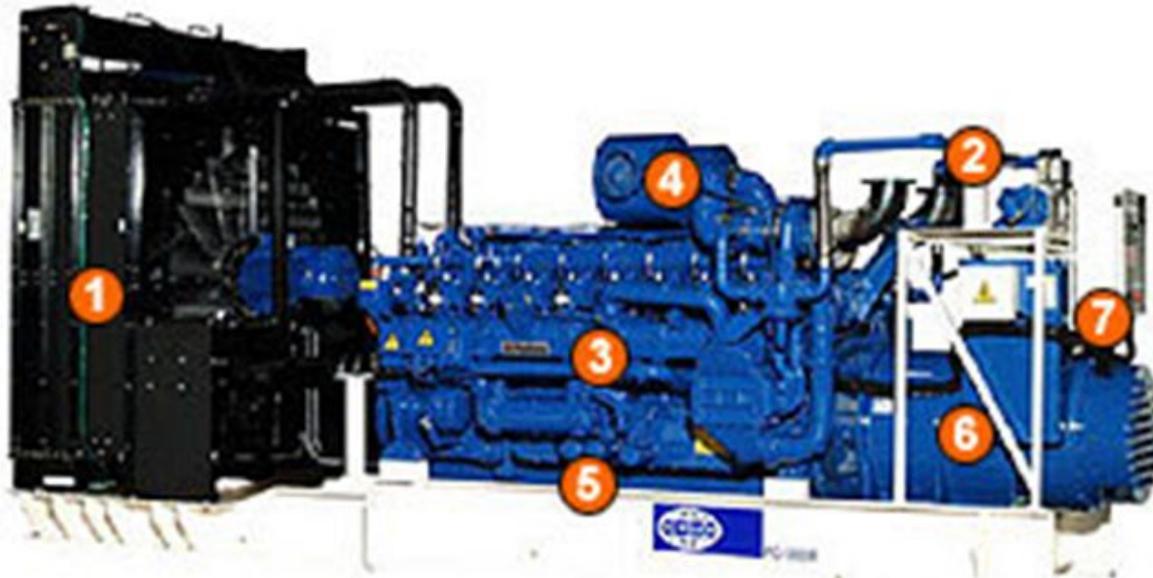


Нагрузочные характеристики
а. природный газ;
б. генераторный газ.

Регулировочные характеристики
в. по составу смеси (ген. газ);
г. по опережению зажигания
 (природный газ).

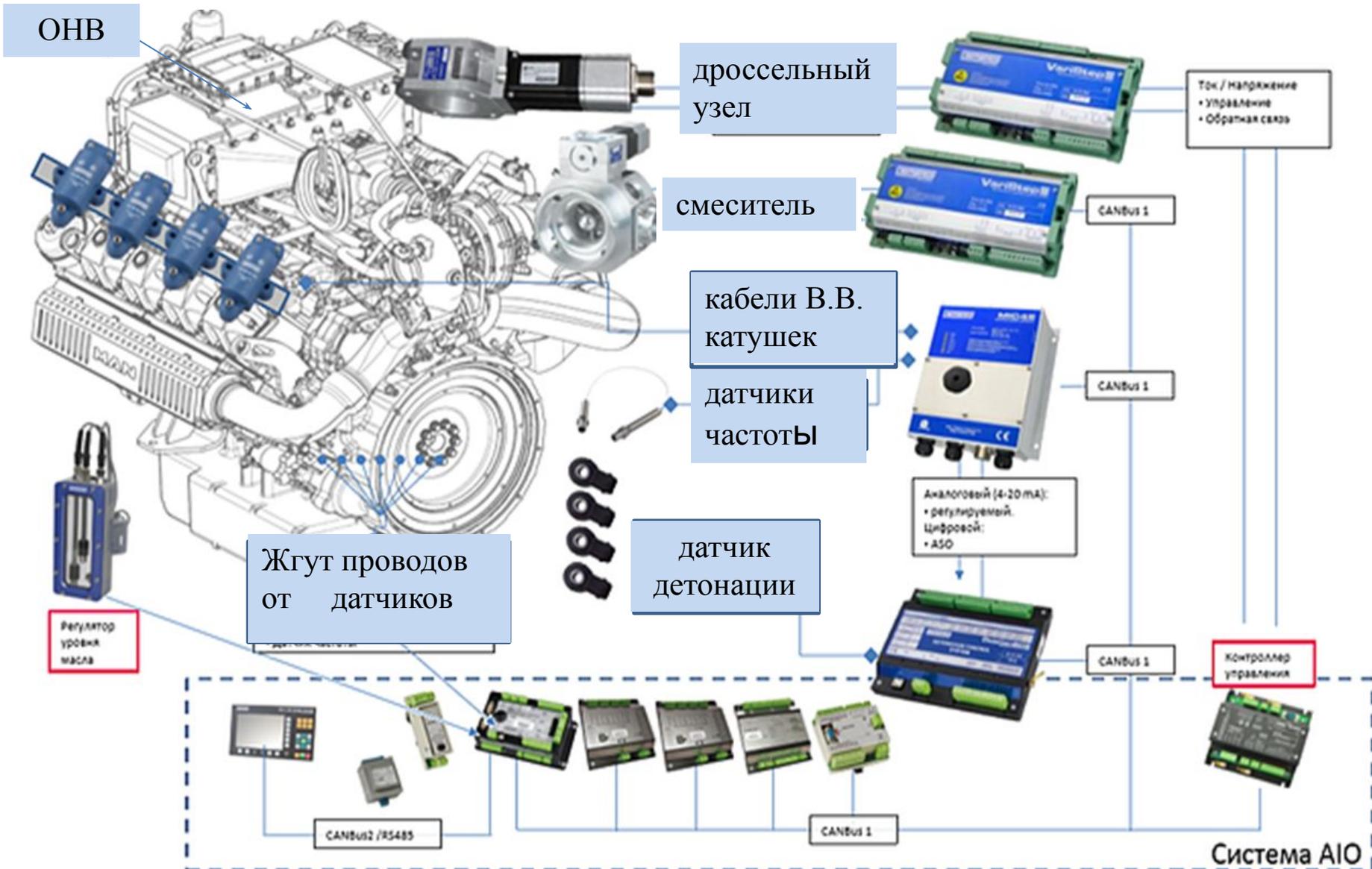
Устройство современного газопоршневого электроагрегата

Достижение высоких мощностных, экономических и массогабаритных показателей газопоршневого электроагрегата (особенно при работе на низкоэнергетических газах) предполагает применение максимально высокой (исходя из свойств топлива) степени сжатия, обязательное использование в конструкции двигателя турбонаддува, промежуточного охлаждения газовой смеси и электронного контроля и управления газопоршневым электроагрегатом и его двигателем.



- 1 Система охлаждения
- 2 Газовый тракт
- 3 Двигатель
- 4 Воздушный фильтр
- 5 Стальная рама
- 6 Генератор
- 7 Панель управления

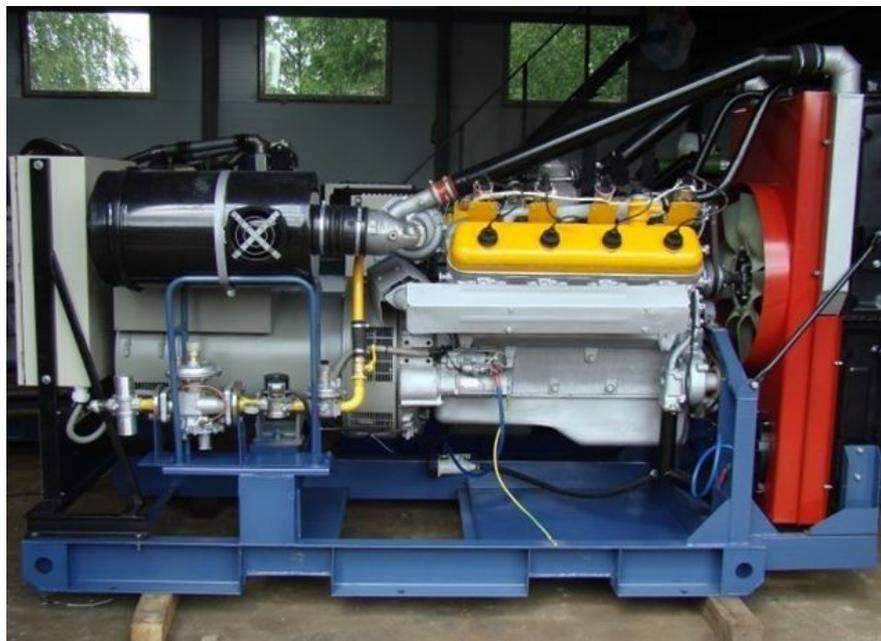
Газопоршневой двигатель. Схема расположения и взаимодействия элементов и систем



Основные компоненты газопоршневого электроагрегата.

Газопоршневой двигатель.

Основные элементы и блоки.



Контроллер управления
электроагрегатом и регулятор
частоты



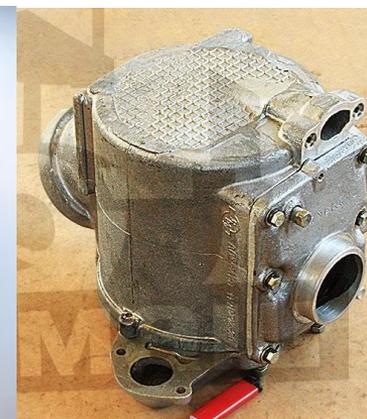
Искровые свечи зажигания



газосмеситель, р-регулятор, дроссельная
заслонка



турбокомпрессор
смеси



охладитель
смеси

Эффективность и надежность работы газопоршневой электростанции напрямую зависит от функционала и качества электронных систем обеспечения и управления работой двигателя:

- **Зажигания и свечей зажигания**
- **Смесеобразования**
- **Контроля соотношения газ/воздух**
- **Системы газоподачи (газовая линия)**
- **Впуска воздуха и турбонаддува**
- **Регулирования частоты вращения**
- **Контроля детонации**
- **Контроля и управления двигателем и электроагрегатом**
- **Поддержания уровня масла**

Основные компоненты газопоршневого электроагрегата

Современный синхронный трехфазный генератор

Особенности конструкции:

- **Одноопорный ротор**, второй конец ротора через дисковую муфту крепится к маховику ДВС.
- **Безщеточная конструкция** - ротор не имеет коллекторно-щёточного узла, ток в обмотке возбуждения (в роторе) индуцируется за счёт переменного магнитного поля, создаваемого основной и/или дополнительной обмоткой статора.
- **Как правило, с независимым возбуждением**, питание автоматического регулятора напряжения независимо от схемы определения напряжения. Такая схема допускает кратковременные 3-4 кратные по току перегрузки силовой обмотки.



Электрический КПД не ниже 0,92 (Leroy Somer LSA)

Автоматизация газопоршневого электроагрегата (ГПА)

Автоматизированным называется ГПА, в котором предусмотрены специальные элементы, обеспечивающие возможность своевременного обслуживания и автоматизированного управления, контроль над стабильной работой генератора, а также обеспечивающие выполнение операций по автоматическому пуску, произвести предварительную настройку генератора на заданный режим работы, и не требующие последующего вмешательства человека во время рабочего цикла установки. *Существуют три степени автоматизации электроустановок с ДВС (ГОСТ Р 50783-95).* Для эффективной работы ГПА совместно с потребителем энергии, а также параллельно с сетью (и/или с другими генерирующими объектами) используется 3-я степень автоматизации.

3-я степень предполагает работу ГПА в автономном режиме, и не требует постоянного контроля со стороны обслуживающего персонала. Управляющий контроллер ГПА данного типа настраиваются на работу по определённой программе.

- автоматический пуск и ввод генератора под нагрузку;
- автоматический ввод в синхронную работу с сетью и/или другими ГПА;
- автоматическую дозаправку дизеля маслом и топливом;
- автоматическую подзарядку аккумуляторных батарей;
- поддержание работы двигателя в постоянном режиме работы;
- иные функции, предусмотренные первой и второй степенью автоматизации.

Резервирование и аккумулярование электроэнергии в системах с альтернативными источниками генерации электроэнергии.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАССМОТРЕННЫХ
НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

№ №	Тип	Мощность или энергия	КПД, %	Удельная энерго- емкость, Дж/м ³	Время, с	
					разряда	хранения
1	ГАЭС	200-400 МВт	65- 75	10 ³	10-10 ⁴	неограниченно
2	ВАЭС	200- 1000 МВт	70	10 ⁶	10-10 ⁵	неограниченно
3	Тепловой	50-200 МВт	65- 75	-	-	ограничено
4	Химический	20-50 МВтч	60- 80	-	-	ограничено
5	Механический – супермаховики	10-50 МВтч	70- 85	10 ⁶	10 ⁻² -10 ⁻¹	ограничено
6	Емкостный - суперконденсаторы	1-1000 МВтч 0,1-1000 МВт	85	10 ⁶	10 ⁻³ -10 ²	ограничено
7	Индуктивный - СПИН	4000 МВтч	75- 90	10 ⁶	10 ⁻⁴ -10 ⁴	ограничено
8	Водородный	20-5000 МВт	20- 40	10 ⁷	10 ⁻⁴ -10 ⁴	неограниченно

О КПД водородного аккумулирования

- Электроэнергия \Rightarrow электролиз $\text{H}_2\text{O} \Rightarrow$ H_2 сжатого $\text{H}_2 \Rightarrow$ КПД - 60 - 65%
- **ГПЭА** – H_2 сжатого $\text{H}_2 \Rightarrow$ Тепло \Rightarrow Механическая энергия \Rightarrow Электрическая энергия – Эл. КПД в среднем 18-30%
- **Топливный элемент** (для сравнения) - Химическая энергия \Rightarrow Электрическая энергия – Эл.КПД в среднем 50%

Сравнение технологий водородного и химического аккумулирования энергии по энергетическим параметрам.

Химический накопитель
Литий ионный
аккумулятор, ИБП
40кВт 400В, «Лиотех», РФ



38кВт*ч, 2.5 млн. р.
Экв. 4 нм3 ПГ, 3,3 кг ДТ

Водородное аккумулирование энергии
- электролиз воды – хранение водорода
- емкости под давлением - 20, 30, до 60 Мпа.
- М-Н -хранение - 1л=0,83кВт*ч



Источник резервного питания на водород –
воздушных топливных элементах (Астра, РФ).
120 нм3 H₂,
360 кВт*ч. Экв. 38м3 ПГ или 25 кг ДТ,

Место газопоршневых электроагрегатов в системах резервирования и аккумулирования электроэнергии ВИЭ

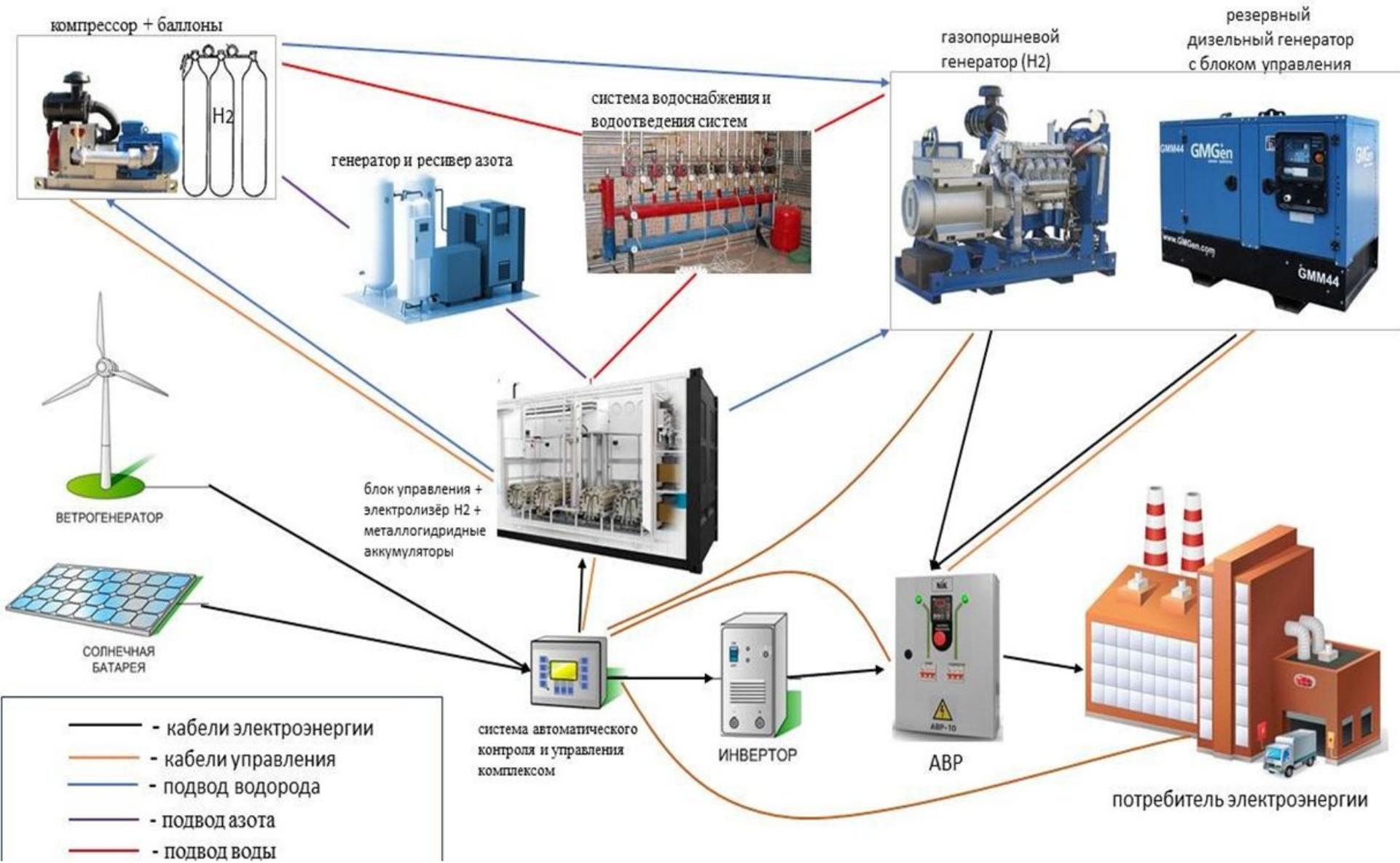
Возможны следующие концепции при совместной работе ГПА и ВИЭ:

1. ГПА на природном газе включен в совместную сеть с СЭС&ВЭС в качестве основного источника электроэнергии. При благоприятных погодных условиях использование СЭС&ВЭС совместно с ГПЭА позволяет экономить газовое топливо.
2. В настоящее время общеприняты технологии крупномасштабного водородного аккумулирования электроэнергии, получаемой из ВИЭ рассматривает как часть следующих концепций:

Концепция Power-to-Gas (PtG) - электроэнергия-в-газ, включающая добавление водорода в существующую инфраструктуру для природного газа (обогащенный водородом природный газ), а также создание синтетического метана из водорода (метанизация) с дальнейшим использованием в ГПЭА.

Концепция Power-to-Power (PtP) - электроэнергия-в-электроэнергию с хранением водорода как в газообразном состоянии (в подземных газохранилищах), так и в связанном состоянии (в гидридах металлов) с дальнейшим использованием водорода в ГПЭА.

Газопоршневой электроагрегат в схеме водородного аккумулирования электроэнергии (Power-to-Power (PtP))



До настоящего времени не созданы газопоршневые двигатели стационарного назначения, длительно использующие чистый водород в качестве газомоторного топлива.

ПРОБЛЕМЫ

...низкая энергия воспламенения и высокая скорость сгорания, склонность к «обратным вспышкам» и детонации, «жесткое» сгорание;

...к - т молекулярного изменения < 1 ; теплота сгорания смеси меньше, чем традиционных моторных топлив;

...особенностями взаимодействия водорода с конструкционными материалами - так называемое «водородное охрупчивание»,

...широкие пределы воспламенения ТВС, повышенная взрыво-пожароопасность.

РЕШЕНИЯ

...внутрицилиндровое смесеобразование, качественное регулирование мощности двигателя; создание электронно управляемой водородной форсунки и системы распределенного фазированного впрыска водорода непосредственно в цилиндр.



**Спасибо
за
ВНИМАНИЕ.**