



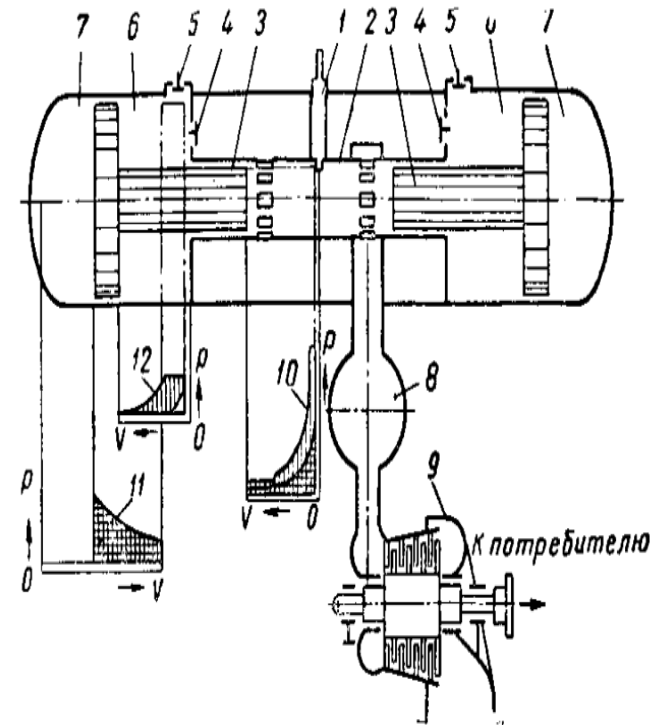
# **Свободнопоршневые двигатели.**

ПГМФ 2023

Свободные поршни (3) приводят в действие поршневой воздушный компрессор (6). Воздух из атмосферы поступает через входные клапаны (5), сжимается и поступает через выходные клапаны (4) в ресивер откуда поступает в цилиндр, где после его сжатия происходит впрыск дизельного топлива. Конечным продуктом работы является сжатый воздух, перемешанный с продуктами сгорания, энергия которого срабатывает в расширительной машине (турбине)

1. Дизельная форсунка
2. Гильза ( рабочий цилиндр )
3. Комбинированный силовой и компрессорный поршень
4. Выпускные клапана
5. Впускные клапана
6. Компрессорная полость
7. Воздушная пружина
8. Выходной коллектор
9. Силовая турбина

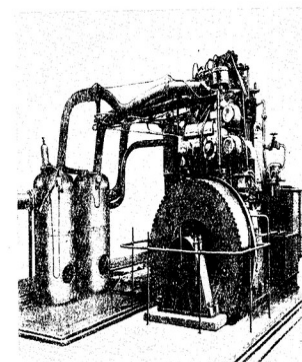
## Свободнопоршневой двигатель: Свободнопоршневой генератор газа (СПГГ) + силовая турбина



Фиг. 3. Схема безвального генератора сжатых газов.

# Научный приоритет СПД и СПГГ - Россия и СССР

- В 1914 году Алексей Нестерович Шелест (1878 — 1954) — советский теплотехник и машиностроитель, Лауреат Сталинской премии предложил разделенный тепловозный двигатель, генерирующий сжатый газ. Поршневая расширительная машина, должна приводить колеса тепловоза. Опытный образец тепловозного двигателя был построен в Англии 1927 году, дальнейшие испытания проходили в России в МВТУ.
- Лоткевич Е.Е развил в своих работах идеи Шелеста А.Н и впервые в мире предложил “генератор сжатых и нагретых газов со свободными поршнями”. Патент на первый в мире СПГГ получен в 1924 году.

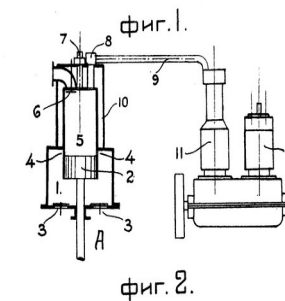


Фиг. 8. Генератор газов системы проф. А. Н. Шелеста на заводском стенде в Англии.



ОПИСАНИЕ  
способа действия двигателей внутреннего горения.  
К патенту Е. Е. Лоткевича, заявленному 21 марта 1924 года  
(заяв. свид. № 78371).  
О выдане патента опубликовано 28 февраля 1927 г. Действие патента  
распространяется на 15 лет от 15 октября 1924 г.

К патенту Е. Е. ЛОТКЕВИЧА № 2322



фиг. 2.

# Инженерный и коммерческий приоритет СПД и СПГГ - Франция

- Рауль Пескара (1890 -1966) был инженером и изобретателем, основавшим легендарную французскую компанию SIGMA, которая добилась коммерческого успеха СПГГ с моделью GS 34 мощностью 1,25 МВт
- GS 34: Прототип 1945 год, производство с 1951 года.
- 1967 год - свыше 500 МВт в работе, география - весь земной шар. Количество сотрудников - 2,000.
- В 1966 году умирает основатель компании Пескара и акционеры продают SIGMA компании BOSCH, которая закрывает SIGMA



Legendary Pescara GS34

# Применение СПД на судах (опыт СССР)

- В СССР в 1961 году был построен пилотный газотурбоход «Павлин Виноградов». Его силовая установка состояла из четырех свободно-поршневых генераторов газа, вырабатывающих рабочий газ для турбины мощностью 3800 л. с. Водоизмещение судна составляло 9080 тонн. Скорость хода - 15,6 узла.
- Всего было построено 6 газотурбоходов с СПГГ. Все они отработали 25 лет.  
Во время перестройки были порезаны на металлолом. СПГГ были сняты и еще работали в наземной электростанции.

Лесовоз «Павлин Виноградов»



Газотурбоходы типа «Павлин Виноградов» пр.580 СССР Ленинград

DWT - 6402т. длина - 121,75м ; ширина - 16,10 м; осадка – 7,07м ; скорость - 14,2/15,2 уз

1. "Павлин Виноградов" 1960-1976 передан атомфлоту, переименован - "LOTTA"
2. "Мезеньлес" 1961-1985
3. "Умбалес" 1962-1985
4. "Теодор Нетте" 1963-1986
5. "Печоралес" 1964-1987
6. "Иоганн Махмасталь" 1965-1988

# Применение СПД на судах ( мир )

Первое  
судно с  
СПД



1954 CANTENAC, Augustin Normand, France



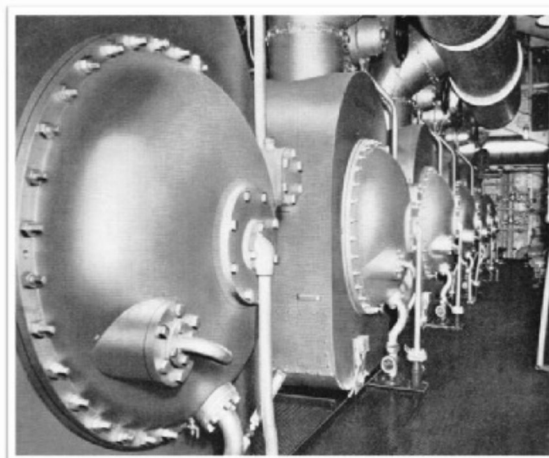
1952-56: French Mine Sweepers

1952 - 1956: French Navy ordered 20 minesweepers that were fitted with a Pescara Free Piston Turbine Propulsion:

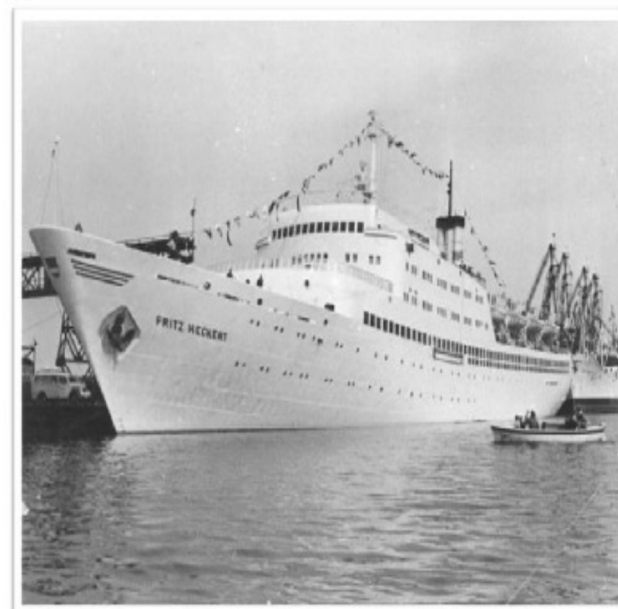
M701 Sirius (1952-1971), M702 Rigel (1953-1974), M703 Antares (1953-1981), M704 Algol (1953-1976), M705 Aldébaran (1953-1970), M706 Régulus (1952-1974), M707 Véga (1953-1981), M708 Castor (1953-1973), M709 Pollux (1953-1970), M740 Cassiopé (1953-1976), M741 Eridan renommé Aldébaran en 1977 (1953-1979), M742 Orion (1953-1970), M743 Sagittaire (1953-1979), M744 Achernar (1953-1970), M745 Procyon (1953-1970), M710 Pégase (1955-1974), M750 Bellatrix (1955-1974), M751 Denébola (1955-1974), M752 Centaure (1955-1970), M753 Fomalhaut (1955-1970).



1956 Liberty Ship "William Patterson"



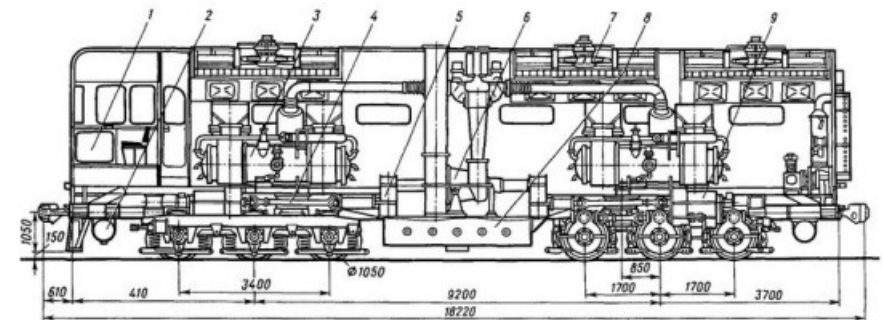
1956 Liberty Ship "William Patterson", engine room



1959 Fritz Heckert with Demag Power Plant

# Применение СПД на железной дороге в мире и СССР

Газотурбовоз ГТ101 1960 год постройки, 4 СПГГ ОР95 по 870 ЛС, силовая турбина 3.000 ЛС. Сила тяги газотурбовоза составляла 23000 кгс при скорости 22 км/ч, что является хорошим показателем и сегодня. Максимальная скорость — 100 км/ч. В 1965 году начал совершать поездки с составами. В 1970 году работы по газотурбовозам были закрыты



1952 Regie Nationale Renault

1952 Regie Nationale Renault



The FG9 - EMD's part in the free-piston adventure

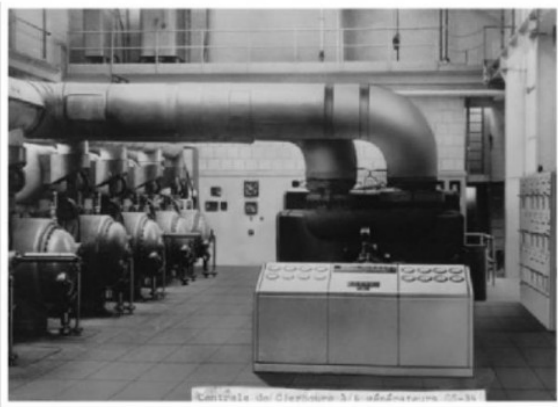


1959 + 1961 Regie Nationale Renault

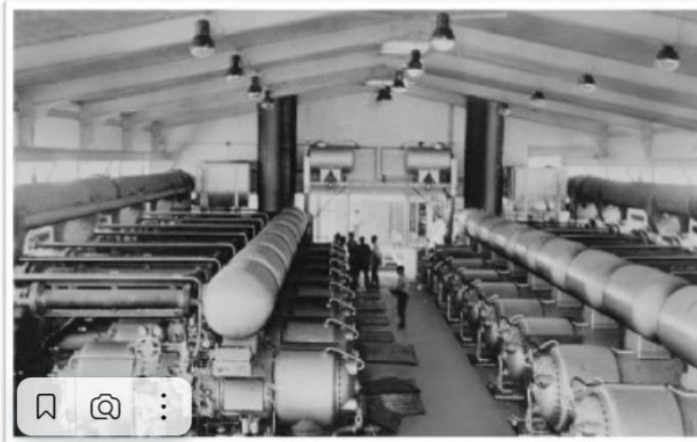
First locomotive 040-GA-1 "La Pescara" with a free-piston gas turbine system Pescara. 1959-61 followed by two other Renault engines. In

1959

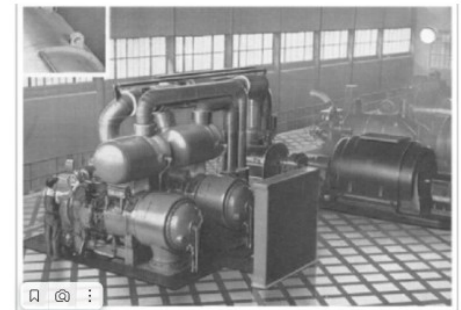
# Применение СПД для генерации электроэнергии



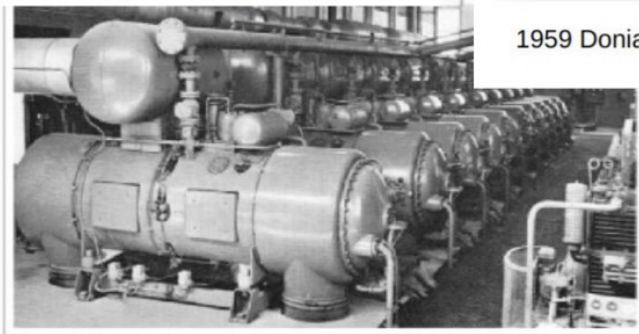
1953 Cherbourg France: 6 MW Pescara power plant



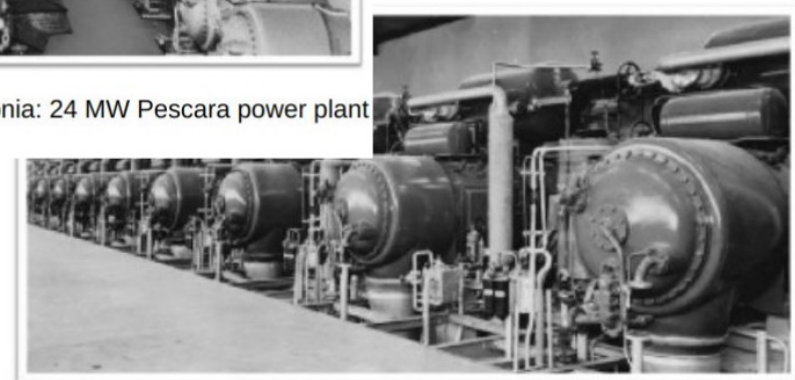
1959 Doniambo, New Caledonia: 24 MW Pescara power plant



1951 Electricité de France: First commercial Pescara power plant (1400 kW)



1959 Augusta, Sicilia: 7,2 MW Pescara Power Plant



1959 ICI, England: 12 MW Pescara power plant

# Преимущества СПД ( СПГГ + турбина )

- 1) СПД обладают гиперболической тяговой характеристикой и поэтому могут использоваться для прямого привода ( винт, колесо ) без коробки передач. Легкое реверсирование.
- 2) Изменяемая степень сжатия позволяет оптимально сжигать любое топливо (мазут, нефть, СПГ, СУГ, ДМЭ, метанол)
- 3) Абсолютная сбалансированность, вибраций нет совсем.
- 4) Отсутствие коленвала - позволяет использовать экстремально высокие степени сжатия, достаточные для воспламенения от сжатия аммиака.
- 5) В СПД может быть реализован любой термодинамический цикл ( искровой, от сжатия, газо-дизельный ), а также НССІ с выдающимися экологическими характеристиками.
- 6) Производство СПД просто и дешево используются только базовые технологии металлообработки.

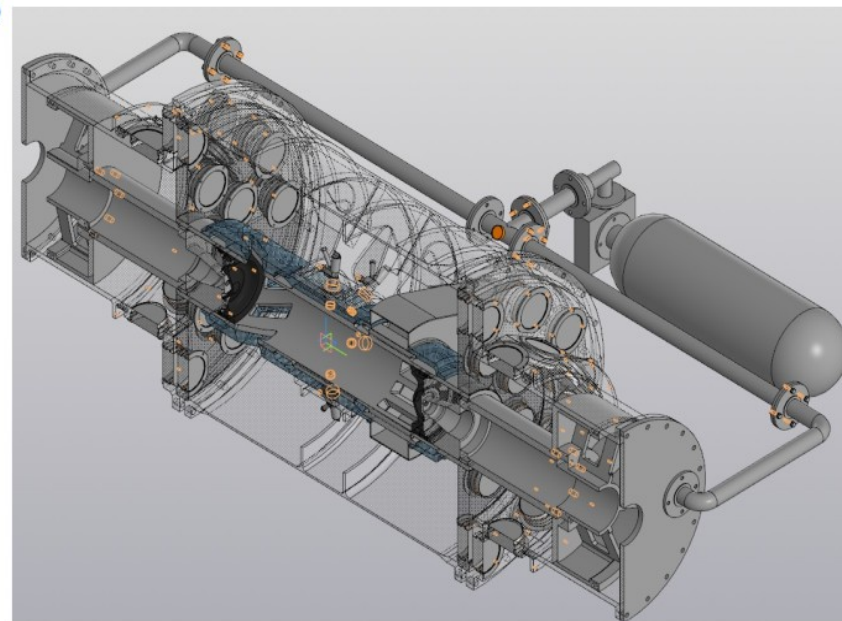
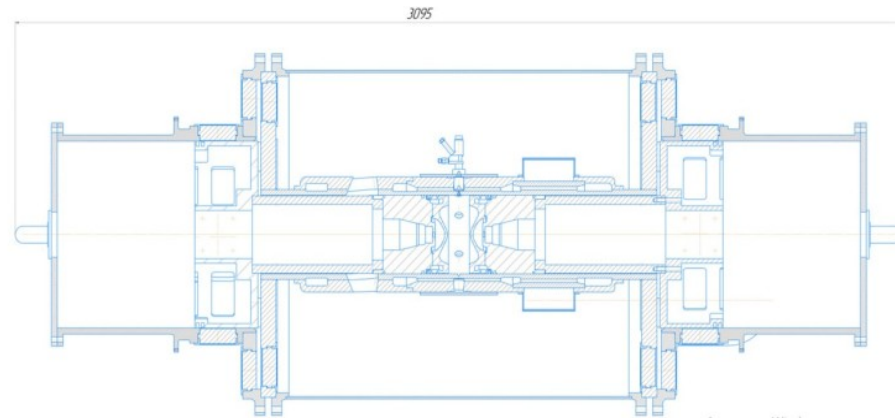
# Свободнопоршневой двигатель 1-20 МВт

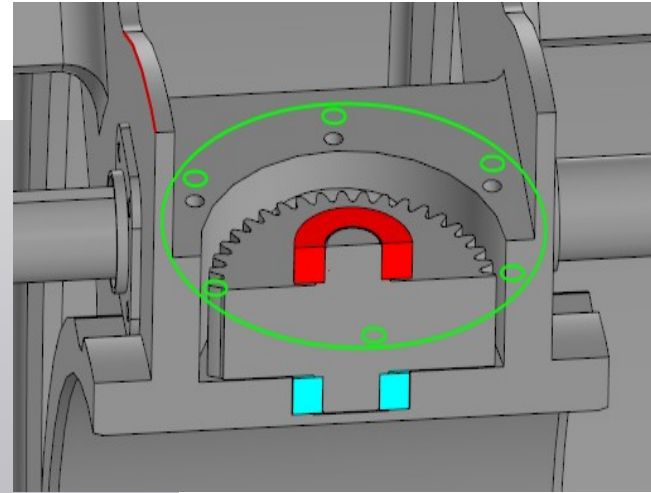
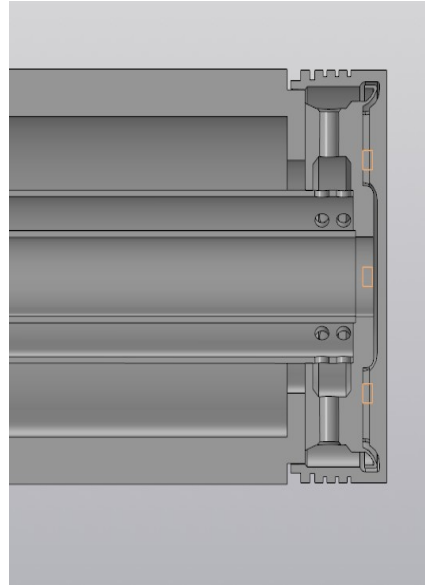
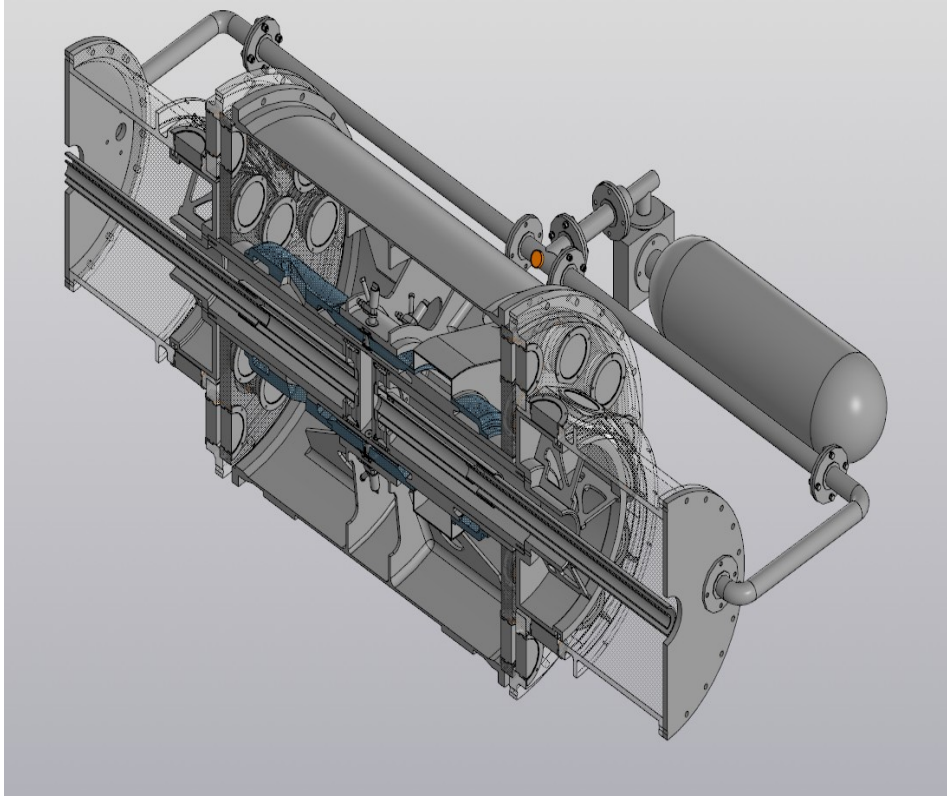
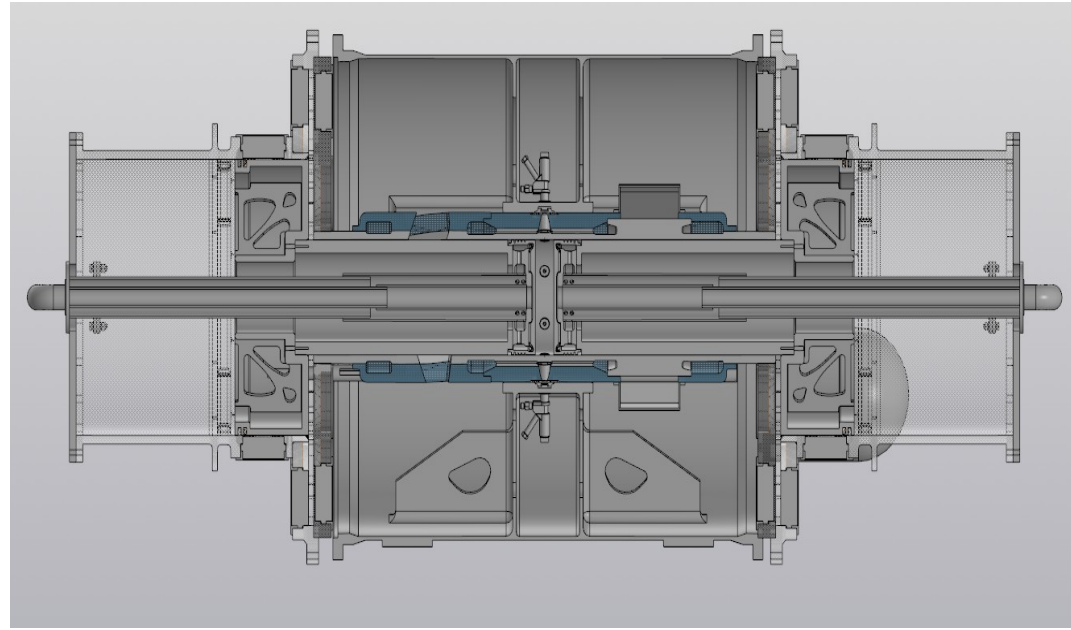
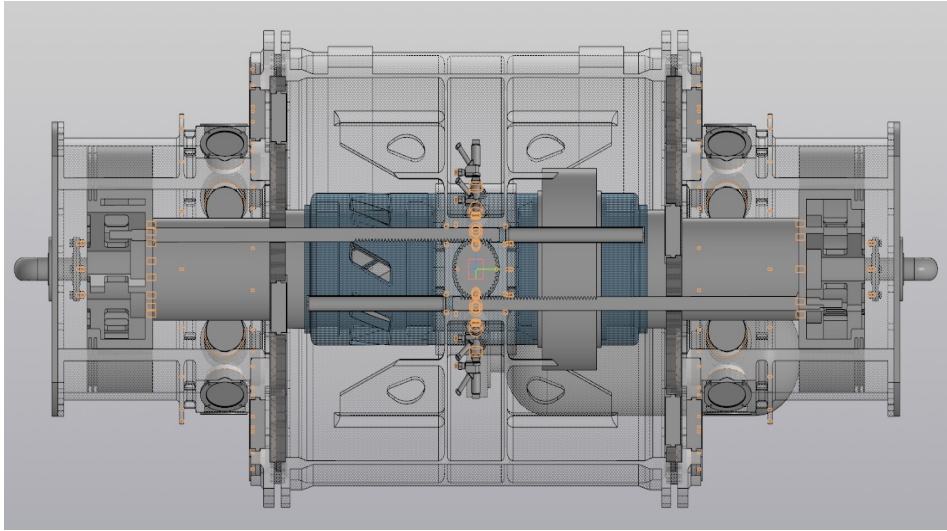
## Разработка Свободнопоршневого генератора газа:

- Цельнолитая гильза
- Диаметр поршня - 260 мм (Д-49)
- Адиабатная мощность - 616 кВт
- Топливо - Дизель/Газодизель/Газ
- Термодинамический цикл - Дизель/Отто
- Кол-во циклов - 1000 об/мин

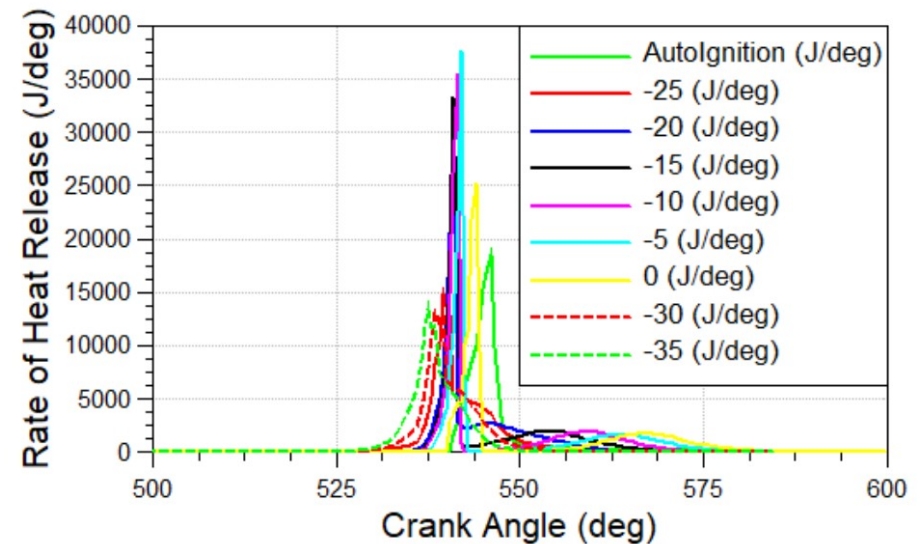
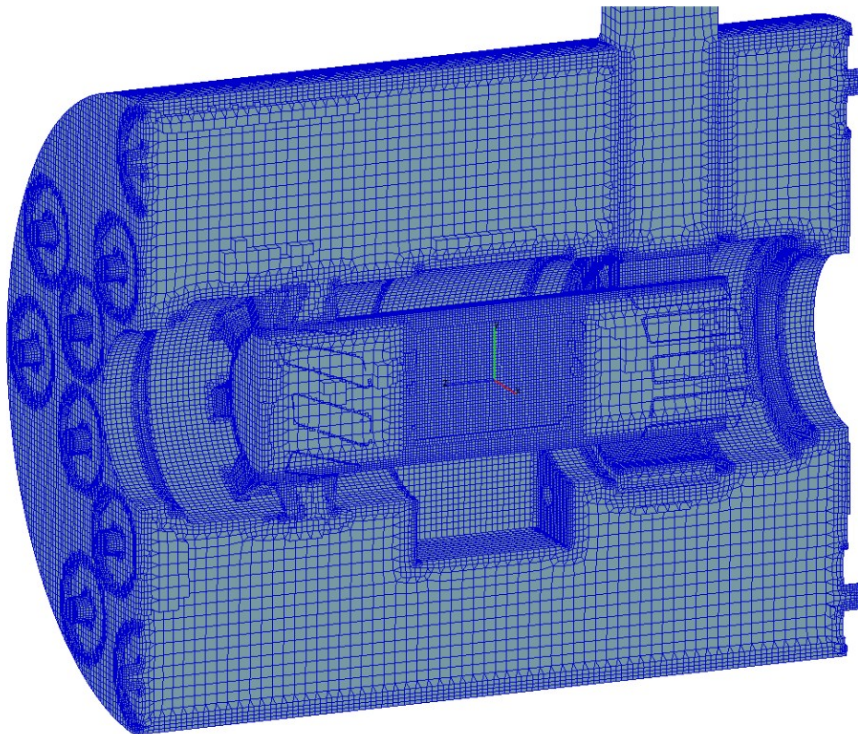
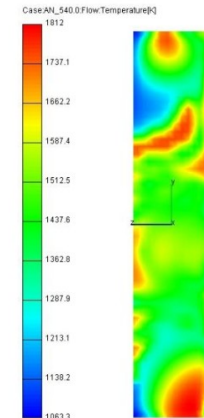
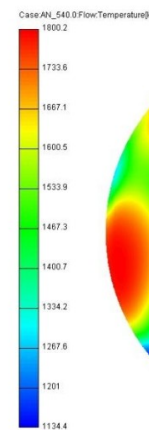
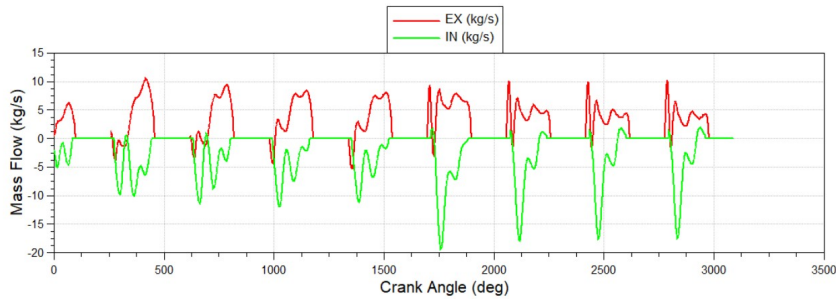
## Текущий статус проекта:

- Конструкторская работа, 3D моделирование - 90%, КД - 90%
- Заключение договоров на литье (Кингисеп) и топливную аппаратуру (АЗПИ).





# Проектируем СПД с использованием цифровых технологий моделирования



# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ И НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ



SIEMEN 2023  
14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTROMECHANICAL AND ENERGY SYSTEMS

## Improving the Ecological Performance of Free-Piston Gas Generator by Air-Gas Mixture Self-Ignition

Alexei Abakumov [alex.abakumov@gmail.com](mailto:alex.abakumov@gmail.com)  
Andrei Zelentsov, PhD [zelentsov.aa@gmail.com](mailto:zelentsov.aa@gmail.com)

JSC "Cryogas", Saint Petersburg, Russia

11 October 2023, Craiova, Romania / 12 – 13 October 2023, Chişinău, Rep. of Moldova

SIEMEN 2023  
14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTROMECHANICAL AND ENERGY SYSTEMS

### Mathematical model

The generalized differential equation of conservation laws (Navier-Stokes, energy conservation, mass conservation, concentration equations):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \text{div}(\rho\vec{u}\Phi) = \text{div}(I_0 \text{grad}\Phi) + S_\Phi \Leftrightarrow \frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( I_0 \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) + S_\Phi$$

**k- $\zeta$ -f turbulence model with Hybrid Wall Function:**

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \rho(P_k + \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right], \quad u^+ = y^+ e^{-T} + \frac{1}{\kappa^2 Y} \ln(Ey^+) e^{-1/Y^+}, \quad \Gamma = \frac{0.01(y^+)^4}{1 + 5y^+}$$

$$\rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \rho \frac{c_\varepsilon^1 P_k - c_\varepsilon^2 \varepsilon}{T} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right], \quad \mu_w = \mu \frac{y^+}{u_p^+}, \quad y_p^+ = \frac{\rho u_p y}{\mu}, \quad u_t = c_\mu^{1/4} k^{1/2} (\zeta / 0.4)^{1/4}, \quad \tau_w = \mu_w \frac{u_p}{y_p^+}$$

$$\rho \frac{Dc_i}{Dt} = \rho f - \rho \frac{c_i}{k} P_k + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{c_i}} \right) \frac{\partial c_i}{\partial x_i} \right], \quad f = -f^* \frac{\partial^2 f}{\partial x_j \partial x_j} = \left( c_1 + c_2 \frac{P_k}{\zeta} \right) \frac{2/3 - \zeta}{T}$$

Here  $f$  – is elliptic relaxation function,  $T$  – turbulence time scale;  $l$  – length scale      Eddy viscosity:  $\nu_t = c_\nu \zeta \frac{k^2}{\varepsilon}$   
Model constant:  $c_{i1} = c_{i1} \left( 1 + 0.045 \sqrt{l|\zeta} \right)$

**Combustion model – Extended Coherent Flame Model (ECFM)**

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\vec{w}_i \Sigma) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\nu_t}{Pr_{t0}} \frac{\partial \Sigma}{\partial x_i} \right) + S_\Sigma, \quad \text{here } \Sigma \text{ is a flame front surface area per volume unit; } Pr_{t0} \text{ is turbulent Prandtl number; } S_\Sigma \text{ is an source term.}$$

Average combustion reaction rate:  $\vec{w}_i = -\rho_p w_i \Sigma$        $\rho_p$  – partial fuel density;  $w_i$  – laminar flame velocity

11 October 2023, Craiova, Romania / 12 – 13 October 2023, Chişinău, Rep. of Moldova

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ !**

