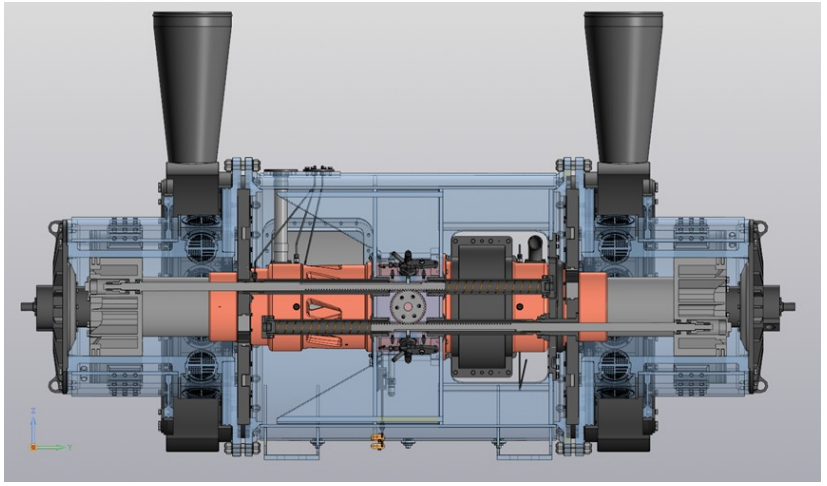
КРИОГАЗ
моторное топливо

Организация российского производства судовых малооборотных двигателей. Проблемы и пути их решения.



Краткий обзор мирового рынка малооборотных судовых двухтактных двигателей.

Только 3 компании в мире производят низкооборотные судовые двигатели.

MAN Energy Solutions - 70% рынка, основной задел получен путем поглощения датской компании Burmeister & Wain, которая имеет опыт производства ДВС с 1890 года. Основной объем двигателей производится в компаниях лицензиарах (15 компаний).

- **WinGD (г. Винтертур, Швейцария)** — 20% рынка, технологический задел получен при поглощении Wärtsilä швейцарской компании Sulzer в 1997 году, которая выпустила первый дизельный двигатель в 1898 году. К 2016 China State Shipbuilding Corporation (CSSC) становится владельцем 100% акций WinGD. Основной объем двигателей производится в компаниях лицензиарах (9 компаний).
- **J-eng (Japan engine)** - 10% рынка, компания создана в 2017 году путем слияния компаний Mitsubishi Heavy Industries Marine Machinery и ее основного лизензиара Kobe Diesel, технологический задел получен от компании Mitsubishi, которая выпустила первый морской дизель в 1928 году по лицензии B&W. Компания не имеет лицензиаров собственной и , напротив, сама является лицензиаром технологий компании WinGD

Обеспечения требований по эмиссии SOx

- Использование топлив с низким содержанием серы, удорожает топливную составляющую на 20-40%
- Использование скрубберов, удорожает проект судна, требует много места для размещения, снижает мореходность, приводит к снижению топливной экономичности примерно на 0.5 г/КВтч, требует дополнительного расхода э/э от бортовых генераторов до 6 КВтч/МВт, требует расхода щелочи до 20 л/МВтч не все порты принимают суда со скрубберами, не везде можно сливать оборотную воду от скрубберов.
- **Использование альтернативных топлив — стандарт «де-факто».** В 2022 году 72% заказанных судов по тоннажу были на альтернативном топливе (СПГ, метанол, ДМЭ, СУГ). Первое полугодие 2024 года — 64%. (Clarkson research).
  - Большая часть двигателей использует газодизельный процесс с использованием впрыска газа под давлением 300 бар непосредственно в цилиндр в близи ВМТ, что обеспечивает самую лучшую топливную экономичность на 1-3%, не требовательность к качеству газа и минимальную эмиссию метана - 0.2 г/КВтч. Использование запального жидкого топлива минимальное, лучшее значение всего 1.5%.
  - Небольшая часть двигателей в основном для газовозов СПГ использует процесс с предварительным смешиванием воздуха и топливного газа. Давление газа не большое — обычно 12-16 бар. Использование запального жидкого топлива хуже, обычно 3-5%. Эмиссия метана значительна. Высокие требование к качеству топливного газа.

Обеспечения требований по эмиссии NOx

- Требования Tier2 выполняются за счёт оптимизации процесса сгорания, уровень эмиссии NOx на HFO 11-12 г/КВтч, в газодизельном режиме меньше на 20-30%.
- Tier3. Используются EGR с промежуточным охлаждением, обеспечивающие 2-3 различных варианта прохождения выхлопных газов через турбокомпрессор(ы). Выхлопные газы охлаждаются и очищаются от сернистых газов с помощью щелочи. Требуется система очистки оборотной воды. В случае работы на HFO размеры и стоимость системы очистки значительна. EGR ухудшает топливную экономичность примерно на 3-5 г/квтч на 100% нагрузке, требует расхода от бортовых генераторов э/э примерно 4-9 КВтч/МВт, расхода щелочи 0.1-10 л/МВтч. Для газодизельного режима операционные затраты на систему EGR существенно меньше, примерно 30-50% от HFO.
- Tier3. Используются системы SCR с впрыском мочевины до или после турбокомпрессора . Отдельную сложность представляет собой задачи поддержания требуемой температуры реакции при малых нагрузках двигателя и термической стабильности двигателя, решение которых требует включение в состав системы SCR горелок и мощных воздуходувок. Система SCR, работающая до турбокомпрессора конструктивно проще, но не позволяет работать на HFO. SCR ухудшает топливную экономичность примерно на 0.5-2 г/квтч на 25-100% нагрузке, требует расхода от бортовых генераторов э/э примерно 5 КВтч/МВт, расхода мочевины 15-20 г/КВтч. Периодически требуется замена катализатора.
- Tier3. Система послойного ввода воды и MDO через одну форсунку. Нет потерь в топливной экономичности и дополнительных затрат. Применяет только J-eng для двигателей до 15 МВт мощности. Можно использовать только одно монотопливо - дорогое MDO.

Обеспечения требований по эмиссии парниковых газов, топливная эффективность

- IMO не выдвигает прямых требований к уровню эмиссии CO2. Они определяются через Конструктивный коэффициент энергоэффективности (Energy Efficiency Design Index, EEDI). EEDI представляет собой соотношение эмиссии CO2 к полезной транспортной работе. С течением времени требования по EEDI ужесточаются.
- Эмиссия CO2 находится в прямой зависимости от количества использованного топлива и от количества содержащегося в нем углерода, поэтому удельный расход топлива важен для EEDI. Газодизельные и газовые двигатели дают примерно на 20% меньшую эмиссию CO2 при той же работе.
- На EEDI влияет не только экономичность двигателя, но и правильно выбранная скорость, обводы корпуса и т. д. Важным элементом повышения EEDI является использование валогенераторов, когда к задней части коленвала двигателя подключается генератор специальной конструкции, что позволяет существенно уменьшить использование менее эффективных вспомогательных двигателей.
- Лучший удельный расход топлива при 100% нагрузке 156-165 г/КВтч имеют малооборотные двигателей J-eng. WinGD имеют худшие показатели по экономичности в среднем 170-180 г/КВтч. Двигатели MAN B&W по экономичности находятся по средине между J-eng и WinGD с показателями 161-176 г/КВтч.
- Важными характеристиками двигателя является его экономичность на 50 и 75% мощности. Обычно удельный расход на 75% мощности меньше на 3-5 г/КВтч.

Ключевые технические решения для обеспечения топливной эффективности

- Высокое соотношение диаметра цилиндра к его ходу до 4.65. Такая супер длинноходность обеспечивает хорошие условия формирования топливного факела и как следствие хорошее сгорание.
- Высокоэффективные системы наддува высокого давления со степенью повышения давления в одну ступень 4,7. КПД одно ступенчатого наддува 67%, двух ступенчатого 80% (MAN B&W).
- Полностью электронное управление двигателем стало стандартом «де факто». В 2024 году в производственной программе MAN B&W остался всего один двигатель с распредвалом.
- Электронно управляемый гидропривод выпускным клапаном позволяет реализовать гибкое управление степенью сжатия, сохраняя высокое значение среднего эффективного давления (MEP) при ограничении максимального давления цикла (Pz). Например последняя серия 10 двигателей MAN B&W имеет MEP 21 бар при Pz 186 бар. Так же управление клапаном используется для достижения требуемых экологических характеристик и режимов работы турбокомпрессора.
- Электронно управляемый гидропривод ТНВД обеспечивает режим «восходящего впрыска», который обеспечивает рост давления по мере осуществления впрыска. В обычной топливной системе с топливным аккумулятором давление падает по мере осуществления впрыска.

Создание «с нуля» классического низкооборотного судового двигателя, удовлетворяющего требованиям IMO в конечные сроки в России маловероятно. Необходимо искать обходные пути.

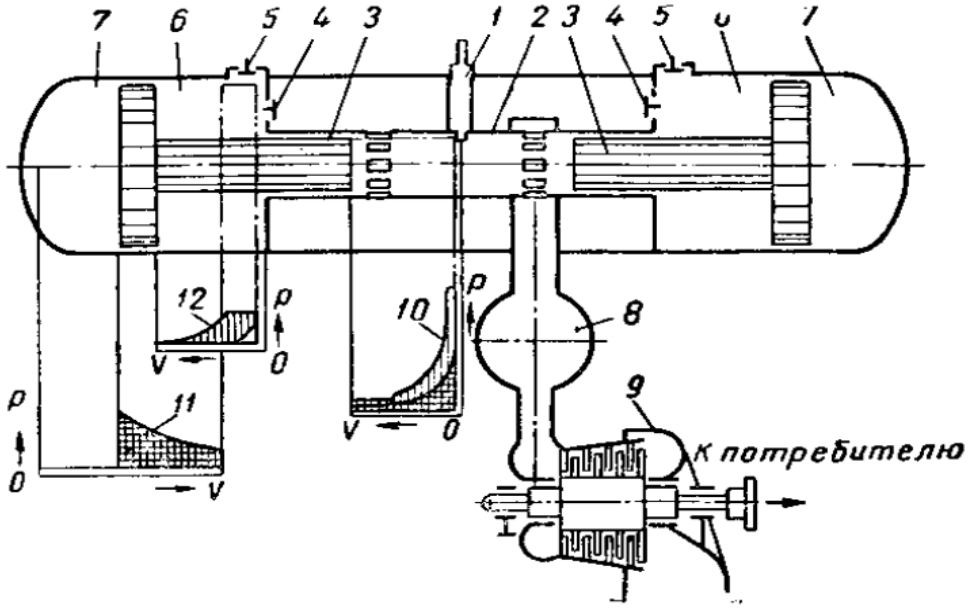
Свободно поршневой двигатель является уникальной возможностью получить за 3-5 лет полную линейку судовых двигателей отвечающих не только современным, но и перспективным требованиям IMO.

Краткая история применения свободнопоршневых двигателей на флоте.

Свободнопоршневой двигатель (СПД):

Свободнопоршневой генератор газа (СПГГ) + силовая турбина

СПД – хорошо известная и широко распостраненная в середине прошлого века технология двигателей внутреннего сгорания, успешно конкурировавшая с традиционными ДВС.



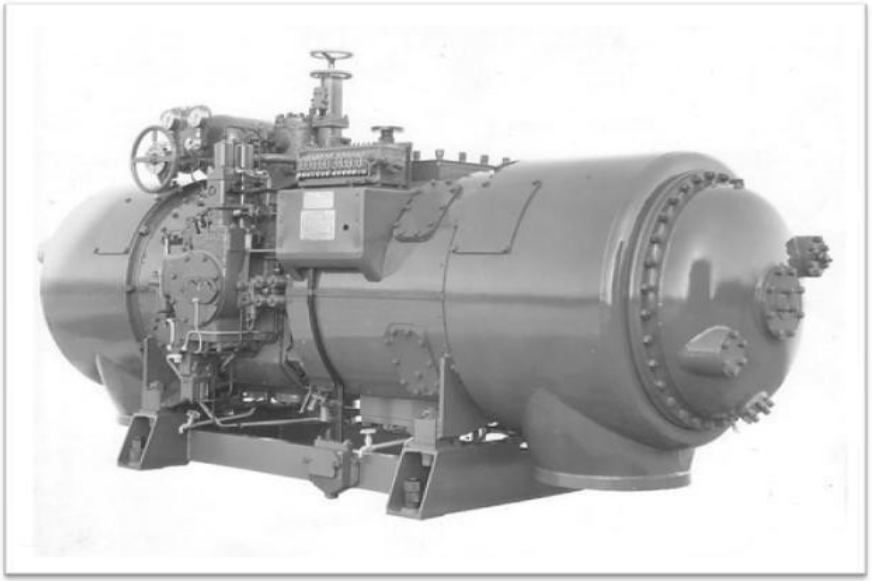
Фиг. 3. Схема безвального генератора сжатых газов.

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

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 срабатывается в расширительной машине (турбине).

Откуда появились свободнопоршневые двигатели. История GS 34 SIGMA.

- 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.
- 1945 г - создание прототипа GS 34
- 1951 г. - начало производства GS 34
- 1967 г. - свыше 500 МВт в работе, кол-во сотрудников - 2,000 ч.
- 1966 г. - после смерти основателя компании акционеры продают SIGMA компании BOSCH, которая закрывает SIGMA.



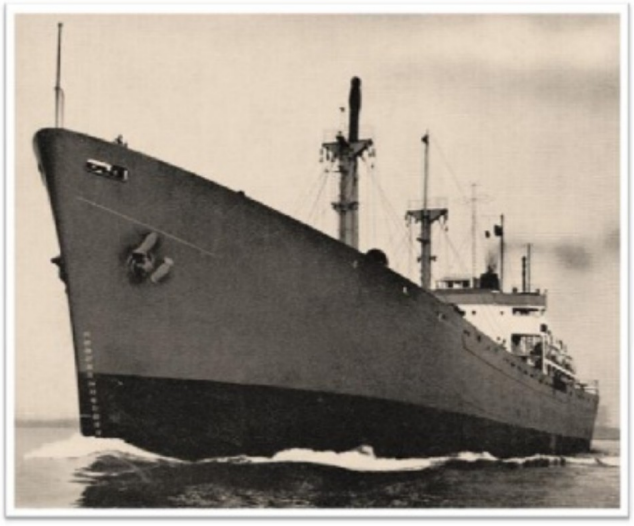
Применение СПД на судах.

1954 CANTENAC, Augustin Normand, France

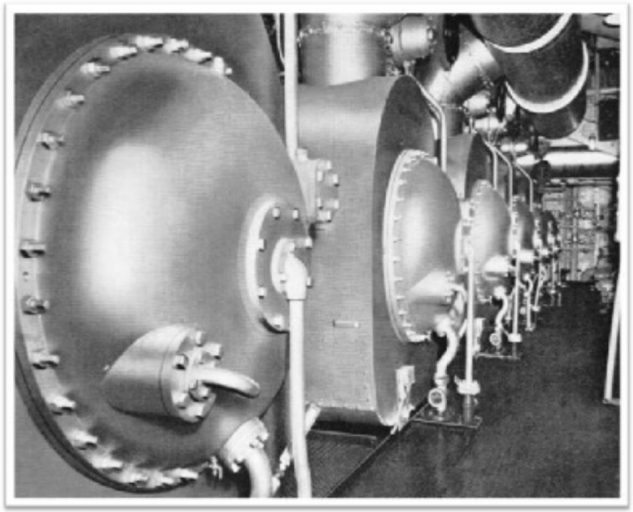
1952-56: French Mine Sweepers

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 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»

Газотурбаходы типа «Павлин Виноградов» пр.580 СССР Ленинград

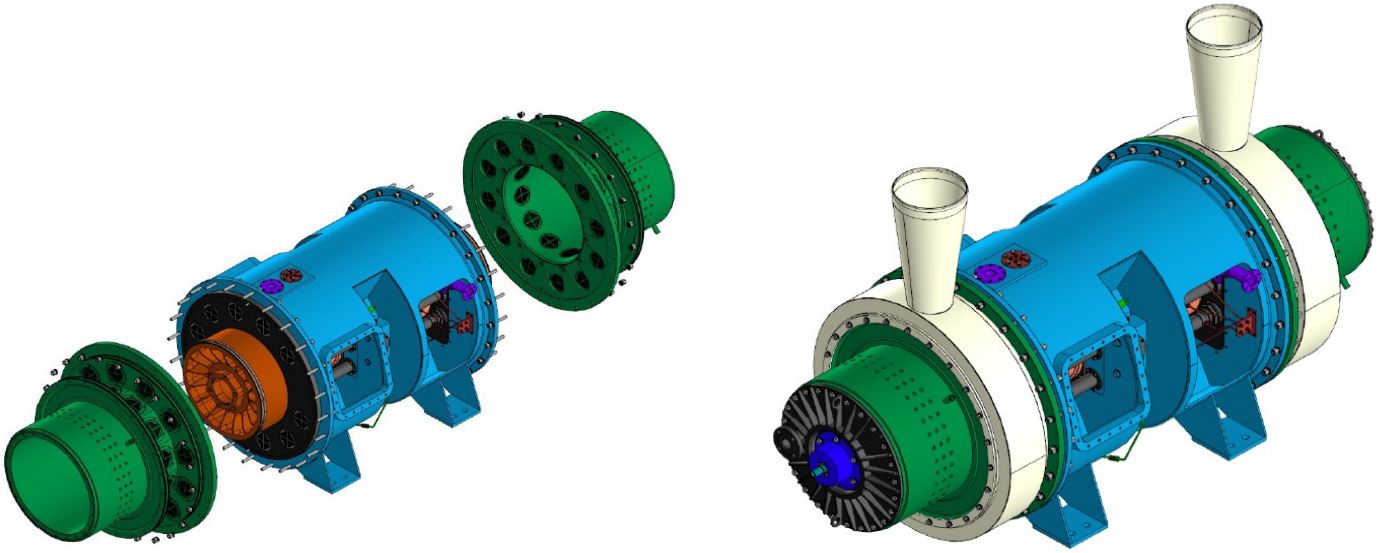
DWT - 6402т. длина - 121,75м ; ширина - 16,10 м; осадка – 7,07м ; скорость - 14,2/15,2 уз

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

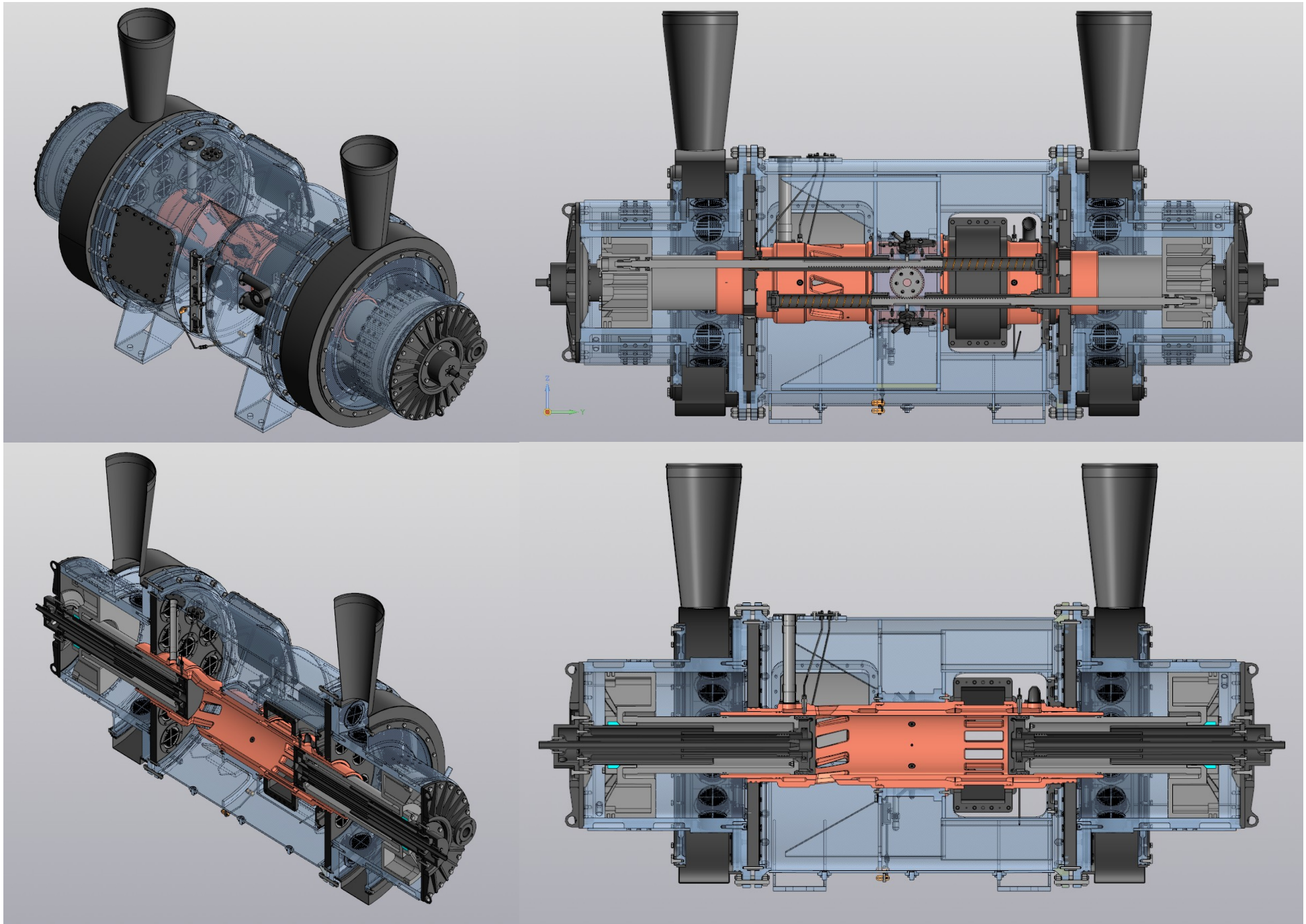
Применение СПД в судостроении

- СПД подходит для морского применения как прямой привод гребного винта или для электродвижения. IMO имеет квалификационные требования на данный класс движителей.
- Морская турбина с редуктором — отлично зарекомендовавшее себя решение. В составе ОСК имеется производитель турбин нужного качества и мощности — Калужский турбинный завод.
- Идеальная (гиперболическая) тяговая характеристика турбины, позволяет выдавать полную мощность практически с 0 оборотов и резко снижает требования к использованию ВРШ
- Отсутствие коленвала и тангенциальных нагрузок в поршневой группе позволяет существенно поднять степень сжатия и выйти на BMEP > 30 МПа и экономичность менее 165 г/кВтч
- Высокая надежность СПГГ, возможность ремонта и обслуживания СПГГ “на ходу” не отключая всю силовую установку. Полное отсутствие вибраций.
- Модульная конструкция, когда несколько СПГГ работают на одну силовую турбину позволяет перекрыть весь класс необходимых мощностей в судовом двигателестроении от 3 до 100 МВт.

Современная перспектива применения свободнопоршневых двигателей в судостроении.
Ход реализации проекта-демонстратора СПГГ-600.



Опытный образец СПГГ. Текущее состояние проекта.



Технические характеристики свободнопоршневого генератора газа СПГГ-600

- Степень сжатия — изменяемая (базовая 8) при давлении наддува 5,6 бар. Pz=160 бар
- Количество циклов в минуту 1000, мощность в сжатом газе 600 КВт, средняя скорость поршня 9 м/с, с учётом потерянного ходя 5,3 м/с.
- Основной режим работы 100% газовый с воспламенением от сжатия гомогенной топливной смеси (HCCI), выбросы NOx 0.068 г/КВтч, CO 0.016 г/КВтч. Tier 3 достигается без SCR и EGR. Удельный расход топлива при 100% нагрузке 184 г/КВтч.
- Первый вспомогательный режим работы — дизельный, выбросы NOx 5.24 г/КВтч, CO 1.41 г/КВтч. Tier 2 достигается без SCR и EGR. Удельный расход топлива при 100% нагрузке 202 г/КВтч.
- Второй вспомогательный режим работы — газодизельный, выбросы NOx 4.4 г/КВтч. Tier 2 достигается без SCR и EGR. Удельный расход топлива при 100% нагрузке 198 г/КВтч.
- При повышении максимального давления цикла до Pz=250 бар топливная экономичность улучшится примерно на 11% (HCCI 163 г/КВтч). В связи с отсутствием тангенциальных нагрузок на поршень СПД переносят повышение максимального давления цикла легче.
- Масса 4,5 тонн/МВт, габариты 3,2 м длинна, диаметр 1,3 метра

Комплекс расчетных исследований СПГГ – Выполнен.

Математическое моделирование и расчетные исследования рабочего процесса СПГГ выполнены силами Расчетно-аналитического центра двигателестроения Криогаз МТ:

Комплекс расчетов рабочего процесса:

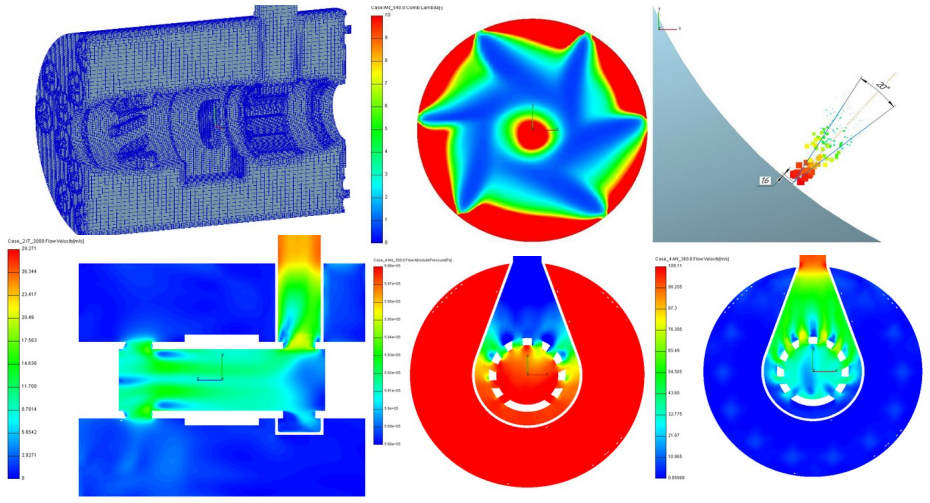
- Дизельный
- Газодизельный
- Газовый с искровым зажиганием и с воспламенением от сжатия HCCI

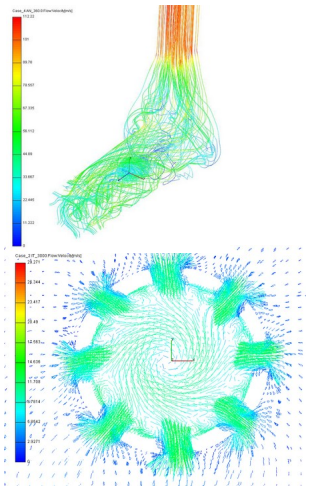
Моделирование рабочего процесса при работе с разным количеством форсунок и углами распыления ДТ.

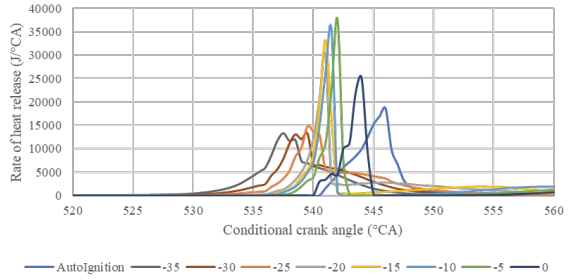
Моделирование влияния УОЗ и положения свечей зажигания на рабочий процесс.

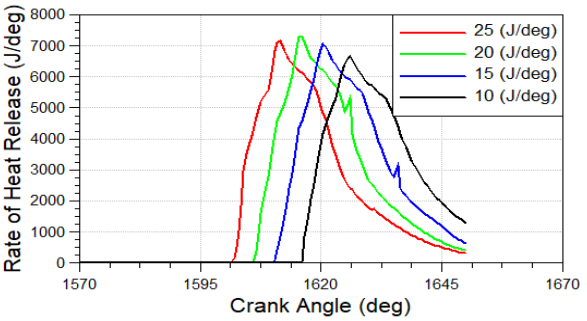
Моделирование последовательных циклов рабочего процесса дизель, газодизель, газ, HCCI.

Комплекс расчетов газообмена двигателя и компрессора.









Изготовление опытного СПГГ – в производстве.

ООО «Криогаз моторное топливо»
Разработка систем: АСУ, топливной, смазки и пр.
Комплектация, интеграция, испытания.

АО «РУМО»
Изготовление Втулки рабочего цилиндра в сборе.

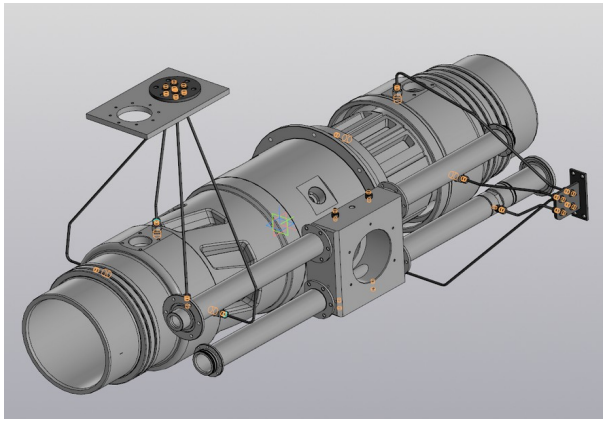
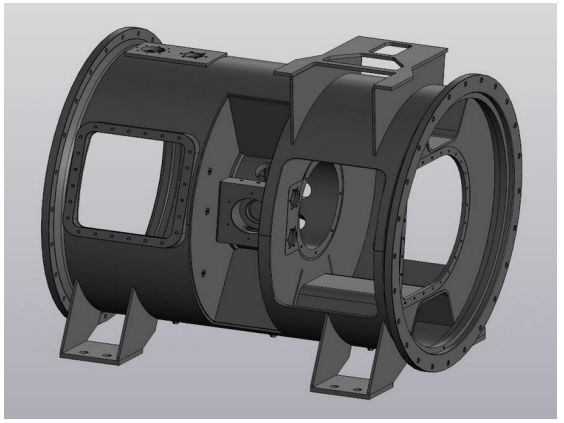
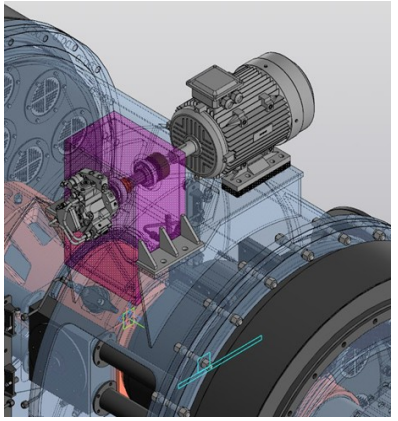
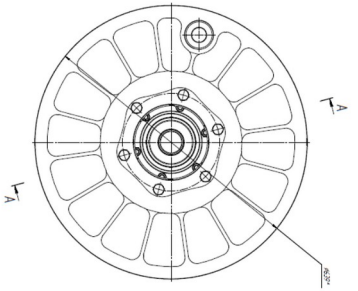
Перспективные технологические партнёры:
АО «Кингисеппский МЗ»
АО «ИЦ Кронштадт»
АО «КБ Химавтоматики»

АО «Алтайский завод прецизионных изделий»
Разработка дизельной топливной аппаратуры, модифицированные форсунки, рейки и ТНВД.

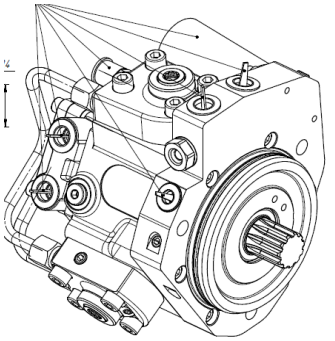
АО «Череповецкий ЛМЗ»
Изготовление заготовки втулки цилиндра.
Технология центробежного литья чугуна ЧНХМД.

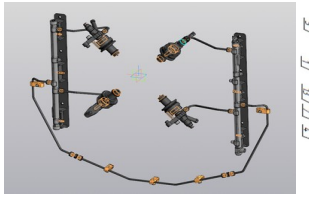
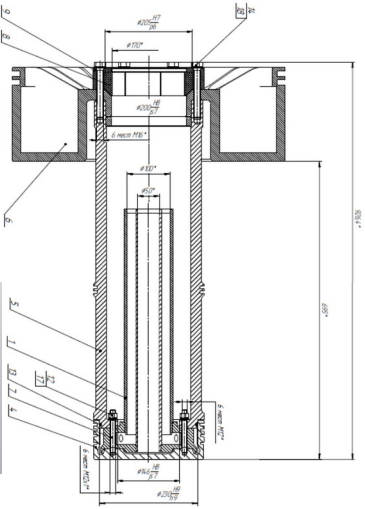
ПАО «Тяжпрессмаш» Изготовление поковок.

ФГУП «Саранский МЗ»
Компрессорные клапаны и кольца, система смазки



Результаты интеллектуальной деятельности по проекту СПГГ.

- Патент 2800197 Свободнопоршневой генератор газа и способ его работы в режиме термодинамического цикла сгорания гомогенной топливно-воздушной смеси с воспламенением от сжатия. (Реализация термодинамического цикла HCCI в СПГГ)
- Патент 2819471 Система наддува двигателя внутреннего сгорания с использованием свободнопоршневого генератора газа. (Система форсирования ДВС в 2-2,5 раза (ГИПЕРБАР))
- Патент 2808331 Устройство форкамерно-факельного воспламенения воздушно-топливной смеси для двигателей внутреннего сгорания. (Форкамера устанавливается на место дизельной форсунки ДВС)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2808331

Устройство форкамерно-факельного воспламенения воздушно-топливной смеси для двигателей внутреннего сгорания

Патентообладатель: *Общество с ограниченной ответственностью "КРИОГАЗ МОТОРНОЕ ТОПЛИВО" (RU)*

Автор(ы): *АБАКУМОВ Алексей Михайлович (RU)*

Заявка № 2023105424
Приоритет изобретения 09 марта 2023 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 28 ноября 2023 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 09 марта 2043 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2819471

Система наддува двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с использованием свободнопоршневого генератора газа (СПГГ)

Патентообладатель: *Общество с ограниченной ответственностью "КРИОГАЗ МОТОРНОЕ ТОПЛИВО" (RU)*

Авторы: *Абакумов Алексей Михайлович (RU), Зеленцов Андрей Александрович (RU)*

Заявка № 2023133420
Приоритет изобретения 15 декабря 2023 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 21 мая 2024 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 15 декабря 2043 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2800197

Свободнопоршневой генератор газа и способ его работы в режиме термодинамического цикла сгорания гомогенной топливно-воздушной смеси с воспламенением от сжатия

Патентообладатель: *Общество с ограниченной ответственностью "КРИОГАЗ МОТОРНОЕ ТОПЛИВО" (RU)*

Автор(ы): *АБАКУМОВ Алексей Михайлович (RU)*

Заявка № 2023114481
Приоритет изобретения 01 июня 2023 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 19 июля 2023 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 01 июня 2043 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Возможные характеристики свободнопоршневого двигателя для судов класса Aframax 13 МВт на базе СПГГ-600 вместо WinGD 7X62DF.

- Количество СПГГ — 24 штуки, компоновка блока СПГГ 2шт x 2шт x 6шт, размеры блока СПГГ 4 x 7 x 10 метров, вес 120 тонн
- Силовая турбина, одно корпусная, реверсивная, КПД силовой турбины 92%, 4х ступенчатая. Размеры и вес ориентировочно 3х2х2 метра, 50 тонн
- Редуктор планетарный, 2-х ступенчатый, размеры 3х2х2 метра, вес 20 тонн, КПД 98%
- Удельный расход топлива при 100% нагрузке в основном топливном режиме (HCCI) 184 г/КВтч при Pz=250 бар (WinGD 7X62DF 178 г/КВтч)
- Регулирование мощности без потери КПД и сохранением ресурса СПГГ через отключение не работающих СПГГ
- Общий вес двигателя 190 тонн, при объёме 304 м3 (WinGD 7X62DF 370 тонн и 585 м3)
- Совместимость с валогенераторами (режим PTO) через вал отбора мощности в редукторе или через отдельную силовую турбину

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Абакумов Алексей Михайлович

Главный инженер проектов
ООО «Криогаз моторное топливо»

+7(925)710-08-78
Alex.Abakumov@gmail.com

КРИОГАЗ

КРИОГАЗ
МОТОРНОЕ ТОПЛИВО

Газодизельные
и газовые двигатели

t.me/dual_fuel

@DUAL_FUEL

Дополнительные материалы

Аммиачная гонка

- IMO декларирует к 2050 году выход на нулевой уровень выбросов парниковых газов. Аммиак (NH_3) кандидат номер 1 на судовое топливо будущего - не имеет в своем составе углерода, в мире уже есть крупнотоннажное производство, хранение хорошо освоено, токсичность умеренная, возможен «зеленый» аммиак из ВИЭ

- WinGD немного вырвалась вперед отгрузив WinGD X52DF-A для Hyundai Hi для танкера 46,000 нм3. Но техническое решения у WinGD хуже, чем у MAN. Аммиак подаётся в газовой фазе под давлением в 85 бар

- Лидером в гонке по производству аммиачных МОД является MAN B&W, который закончил в 2025 году тестирование линейки МОД ME-LGIA. Кроме того, технология впрыска аммиака под давлением 300 бар в жидкой фазе обеспечивает самое лучшее замещение в 95% и топливную эффективность аналогичную дизельному режиму работы.

- J-eng отстала в этой гонке и обещает в течении 2025 года только закончить заводские тесты пилотного образца МОД.

- **Проблемы, связанные с аммиаком для традиционных ДВС:** Только газодизельный цикл, аммиачная коррозия цветных металлов, высокая температура горения и как следствие высокие NOx и дорогая SCR

Сведения о цикле HCCI

- Рабочий цикл ДВС с воспламенением однородной горючей смеси от сжатия (HCCI, Homogeneous charge compression ignition) в котором хорошо смешанное топливо и окислитель (воздух) сжимаются до точки самовоспламенения. Такой рабочий цикл сочетает в себе характеристики обычных бензинового и дизельного двигателей. Бензиновые двигатели используют однородную смесь и искровое зажигание. Современные дизельные двигатели используют стратифицированную смесь и зажигание от сжатия.
- **Преимущества:** из-за низкой температуры сгорания,чрезвычайно низкие выбросы NOx (до 0.05 г/кВтч), работа на ультра бедных смесях и отсутствие потерь на дросселирование позволяют добиться высокого КПД. Возможно использование практически любого топлива в газовой фазе. Чрезвычайно устойчив к детонации.
- **Проблемы:** требует больших давлений цикла, чем может выдержать современный КШМ, большая вариация давления от цикла к циклу, требует большого количества воздуха для создания ультра обедненной смеси
- **СПД** — идеальный двигатель для цикла HCCI (отсутствие КШМ и изменяемая степень сжатия)

Применение СПД в судостроении

- Существенно проще по конструкции традиционного ДВС. Может выпускаться серийно на машиностроительных предприятиях РФ с учетом имеющегося станочного парка. Емкость внутреннего рынка достаточна для организации серийного выпуска.
- Импортозамещение 100% (кроме микросхем в блоке управления)
- СПГГ может работать в газодизельном режиме как на СПГ, так и на перспективных экологических видах топлива (аммиак, метанол, диметилэфир) с учетом требований IMO
- В СПГГ может быть реализован перспективный термодинамический цикл HCCI (в том числе на аммиаке) недоступный для традиционных ДВС с выдающимися экологическими характеристиками по Nox менее 0.1 г/квтч без использования SCR и EGR.
- Может быть выполнен из материалов не подверженных аммиачной коррозии.
- **СПД,** работающий на 100% аммиаке по циклу HCCI будет уникальным прорывом в мировом двигателестроении.

Возможные характеристики СПГ для танкера ледового класса ARC7 33 МВт на базе СПГГ-600 вместо MAN STX 14V32/40 (2шт) и STX 18V32/40 (2шт)

- Количество СПГГ — 60 штук, компоновка блока СПГГ 2шт х 2шт х 15шт, размеры блока СПГГ 4 х 7 х 25 метров, вес 300 тонн
- Силовая турбина с генератором с воздушным охлаждением, одно корпусная, 3000 об/мин, КПД электрический 92%, 4х ступенчатая. Размеры и вес ориентировочно 9х3х2 метра, 90 тонн
- Удельный расход топлива при 100% нагрузке в основном топливном режиме (HCCI) 184 г/КВтч (MAN 198-200 г/КВтч)
- Регулирование мощности без потери КПД и сохранением ресурса СПГГ через отключение не работающих СПГГ
- Общий вес двигателя 390 тонн, при объёме 750 м3 (MAN 570 тонн и 880 м3)
- Топливная гибкость — HFO, MDO, СПГ 100%, СПГ газодизель, в перспективе аммиак
- Возможен отказ от SCR, при условии работы в HCCI режиме

Дополнительные технические решения для обеспечения топливной эффективности

- Электронное управление системой смазки позволяет впрыскивать смазку точно между первым и вторым кольцом, что позволяет добится низкого коэффициента трения и расхода смазки 0,6 г/Квтч на бессернистом топливе.
- Система турбо-компаунд, когда часть избыточных выхлопных газов отводится в силовую турбину, соединённую через редуктор с генератором. Позволяет экономить 3-5% от мощности двигателя, через уменьшение использования вспомогательных двигателей.
- Котлы на отработавших газах и паровые турбины с одним или двумя уровнями давлений. Позволяет экономить 4-7% или 5-8% от мощности двигателя, через уменьшение использования вспомогательных двигателей.
- Возможно комбинирование вышеозначенных способов. Позволяет экономить 8-11% от мощности двигателя, через уменьшение использования вспомогательных двигателей.
- Использование валогенераторов, когда к задней части коленвала двигателя подключается генератор специальной конструкции, что позволяет существенно уменьшить использование менее эффективных вспомогательных двигателей