

# ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПГ-ТАНКЕРОВ

Голубев Р.О. Email: Golubev1146@scientifictext.ru

Голубев Роман Олегович – бакалавр, магистрант,  
кафедра судовых энергетических установок систем и оборудования,  
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, г. Санкт-Петербург

**Аннотация:** в работе исследуются наиболее перспективные направления развития энергетических установок СПГ-танкеров. На примере больших стандартных газозовов оценивается эффект от использования следующих типов энергетических установок: одновальной и двухвальной с единой электроэнергетической системой, с малооборотными главными двухтопливными двигателями. Устанавливается ряд технических характеристик газозова, наиболее чувствительных к изменению типа энергетической установки. По полученным значениям этих характеристик делаются выводы о приоритетном направлении развития главной энергетики газозовов.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания (ДВС), единая электроэнергетическая система (ЕЭЭС), сжиженный природный газ (СПГ), судовая электростанция (СЭС), энергетическая установка (ЭУ).

## THE SURVEY OF LNG CARRIER'S ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT WAYS Golubev R.O.

Golubev Roman Olegovich – Bachelor of Science, Undergraduate,  
DEPARTMENT OF MARINE POWER PLANTS SYSTEMS AND EQUIPMENT,  
SAINT PETERSBURG STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY,  
SAINT PETERSBURG

**Abstract:** the survey of the most promising types of power plants for LNG carriers was carried out. The energy efficiency of large conventional LNG carrier's (170000 CBM) integrated electric propulsion system and power plant with low speed dual fuel engines was estimated for single-screw and twin-screw propulsion schemes. Several LNG carrier's technical characteristics considerably dependent on the change of the propulsion system were defined. The most progressive way of propulsion development for this ship type was chosen according to the calculated value of explored characteristics.

**Keywords:** internal combustion engine, integrated electric propulsion system, liquefied natural gas (LNG), auxiliary electrical plant, power plant.

УДК 629.5.016.7

### Описание объекта и методики исследования

На сегодняшний день, большинство спускаемых на воду СПГ-танкеров – это большие стандартные газозовы (large conventional). Их средняя грузоподъемность (по геометрическому объёму грузовых танков) составляет 170 тыс. м<sup>3</sup>, а скорость хода – порядка 19 уз. Ниже в табл. 1 приведены технические характеристики некоторых из них.

Таблица 1. Краткие технические характеристики газозовов класса

Название	Год постройки	Грузоподъемность, м <sup>3</sup>	Номинальная мощность ЕЭЭС, кВт	Валы
CASTILLO de SANTISTEBAN [2, с. 24]	2010	173887	30800	1
VELIKIY NOVGOROD [3, с. 104]	2014	170200	30958	2
MARAN GAS ACHILLES [4, с. 58]	2015	174078	26460	2

Об энергетической эффективности проекта, для газозовов с электродвижением, в первую очередь, говорит мощность ЕЭЭС, а именно, её часть, используемая на пропульсивные нужды. Эта величина

наиболее чувствительна к изменениям вальности пропульсивной установки, типа главных и вспомогательных двигателей (ГД и ВД). Именно результатам исследования влияния этих факторов посвящён материал статьи.

В качестве условий анализа принимаются интенсивность грузоперевозки (объём газа, условно, транспортируемый за час), для выше приведённых судов, составляющая порядка 600 м<sup>3</sup>/ч, на плече рейса в 2500 морских миль и полная грузоподъемность в 170 тыс. м<sup>3</sup>. Характеристики газозовозов с различными типами ЭУ были получены путём статистического анализа данных по проектам судов, например, по аналитическим сведениям, опубликованным фирмой MAN D&T [1, с. 17]. Принимаемая стоимость типов топлива: СПГ – 316,54 \$/тыс. нм<sup>3</sup>, дизельное топливо – 505,75 \$/т.

#### **Одновальная ЭУ с ЕЭЭС**

Этот тип ЭУ стал классическим для стандартных газозовозов грузоподъемностью до 150 тыс. м<sup>3</sup>, а также достаточно часто используется и для больших стандартных газозовозов. Преимущества такой ЭУ – это конструктивная простота одновальной установки и отсутствие жёсткой связи между главными электрогенераторами и движителем. Чаще всего, в качестве приводов электрогенераторов используются двухтопливные среднеоборотные ДВС (например, фирмы Wärtsilä). Характеристики такого проекта для условий, установленных в предыдущем разделе, приведены в табл. 2.

*Таблица 2. Характеристики одновальной ЭУ с ЕЭЭС*

Полезная грузоподъемность, м <sup>3</sup>	Эксплуатационная пропульсивная мощность, кВт	Эксплуатационная мощность ЕЭЭС, кВт	Скорость хода, уз	Часовые затраты по топливу, \$/ч
164769	28577	29945	19,05	1934,16

Главный недостаток ЭУ с приведёнными характеристиками в одновальном исполнении – это необходимость увеличения частоты вращения гребного винта, для достижения необходимого упора. С повышением частоты вращения винта снижается эффективность его работы и, как следствие, возрастают затраты ЭУ по топливу. В условиях, когда топливо – это перевозимый газ, одновременно снижается полезная грузоподъемность.

#### **Двухвальная ЭУ с ЕЭЭС**

В последние годы, для больших стандартных газозовозов наблюдается тенденция к переходу от одновальной схемы к двухвальной. Таким образом, при имеющейся осадке (порядка 11,5 м), удастся понизить оборотность каждого из винтов и, тем самым увеличить энергетическую эффективность проекта, хотя и в ущерб постройной стоимости. Характеристики такого варианта проекта приведены в табл. 3.

*Таблица 3. Характеристики двухвальной ЭУ с ЕЭЭС*

Полезная грузоподъемность, м <sup>3</sup>	Эксплуатационная пропульсивная мощность, кВт	Эксплуатационная мощность ЕЭЭС, кВт	Скорость хода, уз	Часовые затраты по топливу, \$/ч
164908	27037	28378	19,04	1833,30

Полученные характеристики показывают значительный прирост энергетической эффективности ЭУ, а именно сокращение на полтора МВт пропульсивной мощности, необходимой для обеспечения, практически, той же скорости хода, с соответствующим сокращением часовых расходов на топливо и увеличением полезной грузоподъемности проекта.

При этом сохраняется общий недостаток схем ЭУ с ЕЭЭС – значительные потери мощности при её передаче на гребные винты. В систему главной передачи мощности ЕЭЭС входят такие элементы как: силовые кабельные трассы – канализируют электроэнергию от генераторов к главным потребителям; блок статического преобразования частоты – преобразует параметры генерируемой электроэнергии в потребные гребным электродвигателям; гребной электродвигатель – преобразует электрическую энергию в механическую; главный редуктор – преобразует параметры механической энергии под необходимые на гребном винте. Включение в состав ЭУ всех этих элементов, в среднем, снижает эффективность пропульсивной установки на 7%. Также сама электроэнергия генерируется за счёт механической работы, совершаемой среднеоборотными ДВС, которые, в силу внутренних конструктивных особенностей, менее экономичны, чем малооборотные.

#### **ЭУ с прямой передачей мощности и дизельными ВД**

Использование малооборотных двухтопливных ДВС с прямой передачей мощности на винты – это новое направление в энергетике газозовозов. Флот СПГ-танкеров с таким типом ЭУ достаточно

малочисленен. Тем не менее, этот тип ЭУ имеет ряд очевидных преимуществ. Во-первых, малооборотные ГД (например, фирмы Winterthur G&D) – самый экономичный тип двигателей на флоте. Во-вторых, прямая передача мощности на винты исключает энергетические потери в элементах, описанных в предыдущем разделе. В-третьих, если ВД – дизельные, то они не потребляют перевозимый судном газ. ВД необходимы этому типу ЭУ для привода электрогенераторов, обеспечивающих электроэнергией вспомогательную ЭУ и общесудовых потребителей. Установки этого типа всегда двухвальные. Потому что, при прямой передаче мощности на винт, только в этом случае обеспечивается надёжность ЭУ газозова на должном уровне. Характеристики варианта проекта приведены в табл. 4.

Таблица 4. Характеристики ЭУ с прямой передачей и дизельными ВД

Полезная грузовместимость, м <sup>3</sup>	Эксплуатационная пропульсивная мощность, кВт	Эксплуатационная мощность СЭС, кВт	Скорость хода, уз	Часовые затраты по топливу, \$/ч
165861	24592	2450	18,92	1300,19

Использование этого типа ЭУ позволяет дополнительно сократить пропульсивную мощность, примерно, на полтора МВт. Высокая экономичность двигателей Winterthur позволяет повысить полезную грузовместимость проекта, почти, на 1 тыс. м<sup>3</sup> СПГ. Значительно сокращаются затраты на топливо, в том числе, потому что двигатели фирмы Winterthur отличаются минимальным потреблением запального дизельного топлива на единицу газового топлива.

С другой стороны, повышенная экономичность главной ЭУ приводит к избыточности, испаряющегося в танках газозова, груза, который необходимо повторно сжигать и возвращать в танки. Осуществление этого процесса значительно повышает мощность СЭС. К тому же, при работе СЭС на дорогостоящем дизельном топливе, страдает экономичность ЭУ.

#### **ЭУ с прямой передачей мощности и двухтопливными ВД**

Данный тип ЭУ предпочтителен при необходимости обеспечения наиболее полной утилизации испаряющегося груза. В этом случае, дизель-генераторы заменяются генераторами, приводимыми двигателями, работающими на газе. Например, теми же среднеоборотными двухтопливными двигателями фирмы Wärtsilä. Эффект от этого технического решения возможно оценить по данным табл. 5.

Таблица 5. Характеристики ЭУ с прямой передачей мощности и двухтопливными ВД

Полезная грузовместимость, м <sup>3</sup>	Эксплуатационная пропульсивная мощность, кВт	Эксплуатационная мощность СЭС, кВт	Скорость хода, уз	Часовые затраты по топливу, \$/ч
165688	24671	2187	18,94	1259,19

По данным таблицы видно, что, в сравнении с предыдущим вариантом, действительно, удаётся на 263 кВт сократить мощность СЭС. При этом не происходит значительного прироста экономичности ЭУ, поскольку, перевод СЭС на газ приводит к сокращению полезной грузовместимости и, как следствие, к необходимости повышения пропульсивной мощности ЭУ для сохранения на прежнем уровне интенсивности грузоперевозки. К тому же отказ от дизельных ВД в пользу двухтопливных увеличивает постройную стоимость ЭУ.

#### **Анализ полученных результатов**

Для анализа влияния различных типов ЭУ на энергетическую эффективность СПГ-танкеров выбираются следующие характеристики ЭУ: полезная грузовместимость, эксплуатационная пропульсивная мощность, часовые затраты по топливу. На рис. 1, 2 и 3 приведены графики изменения этих характеристик в зависимости от типа ЭУ.

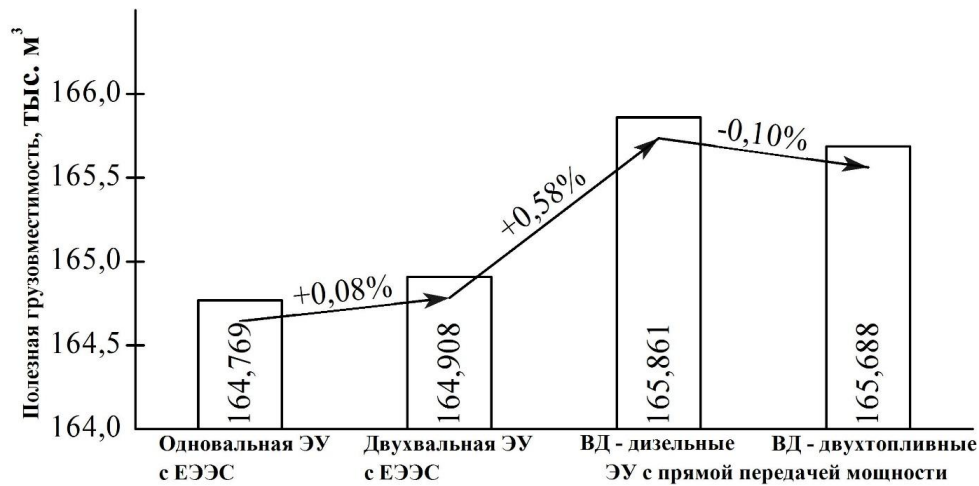


Рис. 1. Полезная грузоподъемность газовозов с различными типами ЭУ

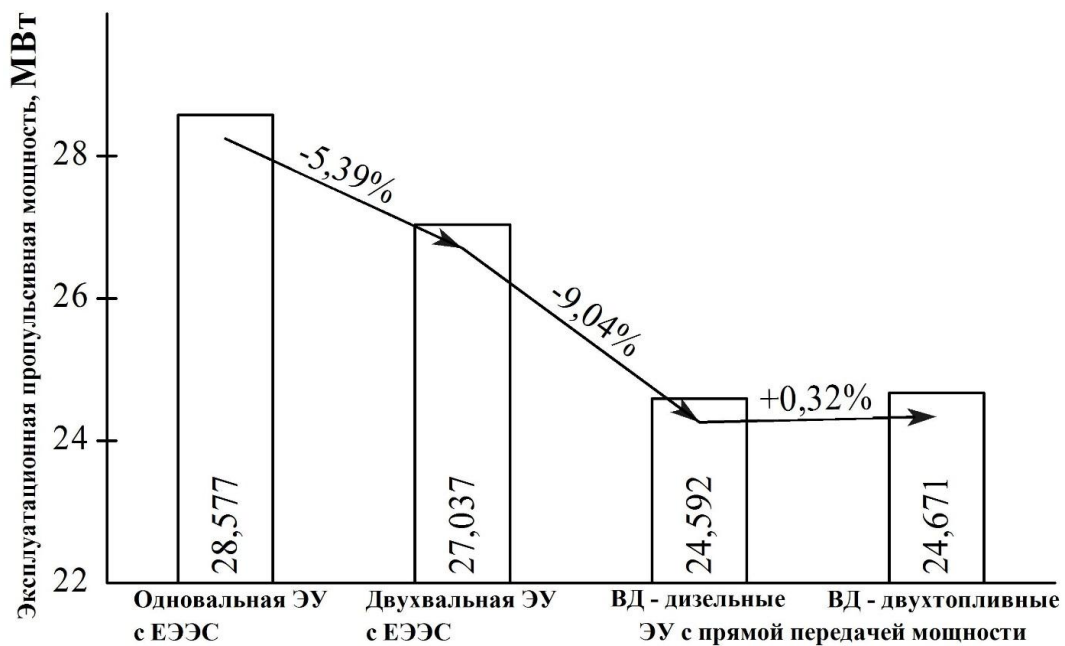


Рис. 2. Эксплуатационная пропульсивная мощность вариантов ЭУ

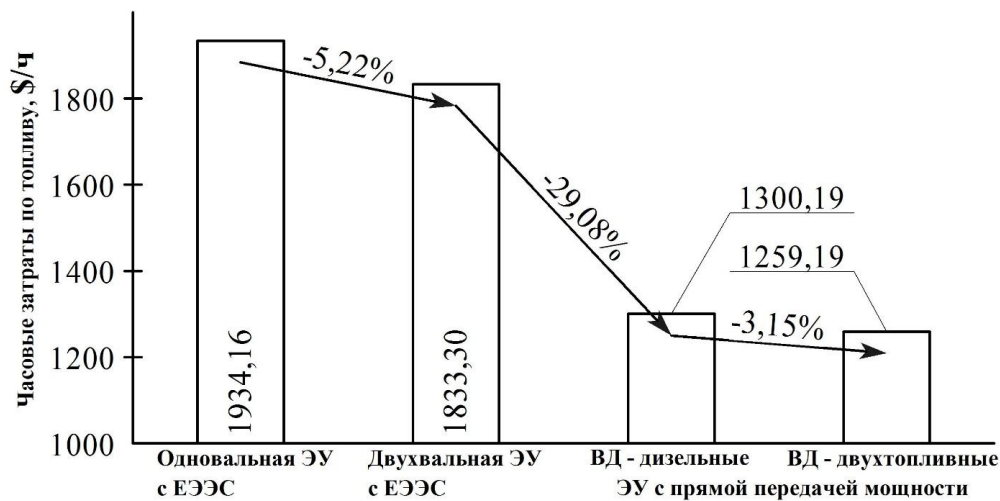


Рис. 3. Часовые затраты типов ЭУ по топливу

Из приведённых данных однозначно следует, что требованию повышения энергетической эффективности (и, как следствие, снижению затрат по топливу) в наибольшей степени соответствует

оснащение проекта двухтопливными малооборотными ГД и двухтопливными электрогенераторными агрегатами.

С другой стороны, с позиции обеспечения максимальной полезной грузовместимости этот вариант ЭУ не является наилучшим и уступает ЭУ с дизельными ВД, не расходуя перевозимый груз. Тем не менее, из сравнения данных по табл. 4 и 5 следует, что дополнительный расход газа ВД успешно компенсируется незначительным повышением скорости хода, позволяющим сохранить интенсивность грузоперевозки на прежнем уровне. Важно, что, даже при увеличении скорости хода и соответствующем увеличении пропульсивной мощности, вариант с двухтопливными ВД показывает большую экономичность, превосходя ближайшего конкурента более чем на 3%.

Также из рис. 2 следует, что переход на ЭУ с малооборотными ГД обеспечивает снижение на 9% пропульсивной мощности, что обеспечивает снижение построечной стоимости энергетической установки.

Перспективными остаются такие способы дальнейшего повышения энергетической эффективности ЭУ с малооборотными ДВС как использование валогенераторов и утилизирующих турбин, но такие технические решения ещё не нашли широкого применения на флоте СПГ-танкеров.

#### *Список литературы / References*

1. Propulsion trends in LNG carriers. Copenhagen: MAN Diesel & Turbo, 2013. 20 с.
2. Significant ships of 2010. London: Royal institution of naval architects, 2011. 115 с.
3. Significant ships of 2014. London: Royal institution of naval architects, 2015. 109 с.
4. Significant ships of 2015. London: Royal institution of naval architects, 2016. 91 с.