

data with the calculation results for the case $L_n = 1270$ mm, $b=215$ mm, $\mu=0,3$.

The dependence of the maximum deflection h_0 on the parameter v is close to linear, as can be seen from Fig. 2.

Table 1 – Comparison of results calculations with experiment

parameter	calculations	experiment
h_0	147,6	146,0
ρ_0	1252	1300
N	9,4 kG	10 kG
Δh_{max}	0,122 mm	0,125 mm

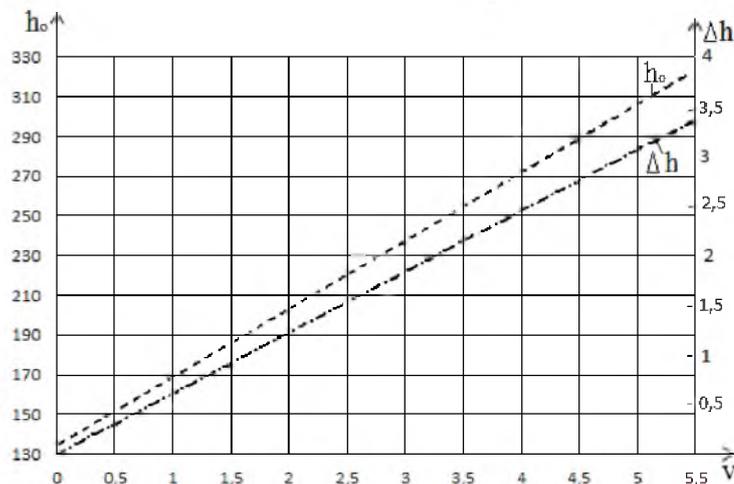


Figure2 – The dependence of the transverse deflection on parameter v

Conclusion

Based on the data presented, it can be concluded that the accuracy of the calculations using the formulas obtained is sufficient for practice, subject to the permissible values of the parameters.

Литература

1. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластины и оболочки. – М.: Наука, 1966.
2. Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. – М.: Наука, 1971..
3. Канторович Л.В., Крылов В.И. Приближенные методы высшего анализа, 5-е изд.– М.: Физматлит, 1962,
4. Агеев В.Н., Овсянникова Н.И. Метод расчета деформации упругой пластины под действием

сжимающих усилий // LIИМеждународные чтения (памяти В.К. Зворыкина): сборник статей.– М.– 2019.– 26-30 с.

References

1. Timoshenko, S.P., Voinovscy-KrigerS. Plastinyiobolochki. M.: Nauka,1966.
2. TimoshenkoS.P. Ustoichivost' sterzhnei, plastiniobolochek. M.: Nauka, 1971.
3. Kantorovich L.V., Krylov V.I. Priblizhennyye metody vysshego analiza.M., 1962.
4. Ageyev V.N., Ovsyannikova N.I. “Metod rascheta deformatsii uprugoi plastiny pod deistviem szhimayushchikh usilii.” // LIИ International readings in memory of.V.K. Zvorykin: Digest of articles, M., 2019: 26-30.

УДК 621.431.74

DOI: 10.34046/aumsuomt94/18

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗА В КАЧЕСТВЕ СУДОВОГО ТОПЛИВА

*С.А. Худяков, доктор технических наук, профессор
В.А. Башкатов*

Статья посвящена двум системам подвода газа к судовым малооборотным дизелям типа SME-GI, одна из которых предусматривает забор газа из отдельного танка, а другая из паровой линии грузовой системы поршневым компрессором. Анализируется структура систем, преимущества каждой из них и суда, на которых они используются.

Ключевые слова: дизель, газ, топливная система, эмиссионный контроль, безопасность.

The article is devoted to two systems for supplying gas to low-speed marine diesel engines of the SME-GI type, one of which provides for gas intake from a separate tank, and the other from the steam line of the cargo system with a piston compressor. The structure of the systems, the advantages of each of them and the vessels on which they are used are analyzed.

Key words: diesel, gas, fuel system, emission control, safety.

С 1 января 2015 года вступило в силу Приложение VI MARPOL 73/78 по вопросу ограничения выбросов продуктов сгорания в атмосферу, которое определяет предел содержания серы в судовом топливе на уровне 0,1% (ранее было 1,0%, т. е. снижение в 10 раз).

Ограничения действуют в так называемых районах контроля выбросов (EmissionControlAreas, ECA), которые расположены в Северной Европе (акватория Северного и Балтийского морей, в том числе пролив Ла-Манш) и Северной Америке (Западное и Восточное побережья, а также Мексиканский залив и Карибский бассейн, относящиеся к США). Позднее Китай также обозначил районы контроля выбросов в своих территориальных водах (ECZ – EmissionControlZone), как указано ниже[1]:

– Бохайский залив (в северо-западной части Жёлтого моря) с тремя портовыми комплексами: Тяньжин, Циньхуандао, Таншань, Хуанхуа, обслуживаемыми Пекинский экономический район;

– Дельта реки Янцзы: Нинбо-Чжоушань, Сучжоу, Наньтун, обслуживаемыми Шанхайский район;

– Дельта Жемчужной реки: Шэньчжэнь, Чжухай, Гуанчжоу.

Отдельно будет рассматриваться вопрос о портовых комплексах Гонконга и Макао.

Правительство Китая установило следующий график понижения содержания серы в судовом топливе:

– с 1 января 2017 года доля серы в топливе судов в базовых портах зон с регулируемыми выбросами, не должно превышать 0,5%;

– с 1 января 2018 года требование использовать низко сернистое топливо распространится на все порты ECZ;

– с 1 января 2019 году ограничение распространится на всю глубину территориальных вод (12 миль) в границах ECZ.

Стоит отметить, что с 2001 года существует требование по переходу на легкое топливо в Панамском канале, однако это требование игнорировалось. В начале 2017 года власти Панамы пересмотрели правила прохода судов через канал и выпустили циркуляр с требованиями к судам, проходящим через канал. С этого момента контроль за соблюдением перехода на легкое топливо ужесточился. Все суда должны использовать легкое топливо, однако содержание серы в топливе ограничивается значением 3,5%, указанном на тот момент в правиле 14 конвенции MARPOL. Использование тяжелых остаточных топ-

лив запрещено, если судно не оборудовано системой очистки выхлопных газов

В целом, глобальная программа сокращения содержания серы в используемом топливе при морских перевозках в мире имеет последовательный характер. С 1 января 2010 г. во всех портах ЕС разрешено использование топлива с содержанием серы 0,1%.

В мировой практике с 2012 г. содержание оксида серы в используемом топливе сокращено с 4,5% до 3,5%. С 2020 г. содержание оксида серы в топливе по всему миру должно быть снижено до 0,5%. С 5 по 9 февраля 2018 года были проведены дополнительные консультации ИМО по возможности перехода на низко сернистое топливо в 2020 году. Проект поправок направлен на рассмотрение Комитета по защите морской среды (MEPC 72), заседание которого состоялось 9-13 апреля 2018 в апреле 2018 года. В результате рассмотрения была назначена дата 1 января 2020 года, когда ограничение содержания серы в 0,5% вступило в силу. К 1 марта 2020 года никакое топливо, находящееся на борту, не должно содержать серы выше ограничения. Исключением являются суда, оборудованные системой очистки выхлопных газов, одобренной классом.

Таким образом, современный флот и судовладельцы сегодня стоят перед выбором - по какому пути идти в будущем. Использовать системы очистки выхлопных газов и переоборудовать суда, либо использовать более дорогие легкие топлива, как газойль (MGO)

Переход перевозчиков на использование MGO при транспортировке в районах контроля выбросов в определенной степени повлияло на премию за газойль в сторону увеличения. Например, для порта Роттердам средняя стоимость газойля выше на 250-300 долл./т по сравнению с традиционным бункерным мазутом. При этом разница в стоимости топлива при бункеровке мазутом и газойлем в порту Лос-Анджелес составляет 10%, в порту Роттердам – 38%. Повышение затрат на топливо соответственно вызывает рост фрахтовых ставок. Спред на мазут и газойль увеличивается в периоды высоких цен на нефть и уменьшается, когда цены на нефть снижаются (рисунок 1).

Важнейшим фактором адаптации перевозчиков к новым экологическим требованиям является стоимость переоборудования судна для соответствия этим требованиям или изначальная стоимость постройки судна.

На первый взгляд может показаться, что для перевозчиков более целесообразным являет-

ся установка систем очистки выхлопных газов, ориентировочная стоимость которых составляет \$1,3-1,5 млн. Однако дооборудование потребует выделения определенного места в машинном отделении, что непременно повлечет снижение

эргономичности и усложнение эксплуатации пропульсивного комплекса. Положительно остается возможность использовать сравнительно дешевый мазут.



Рисунок 1 – Спред между стоимостью на газойль (MGO) и мазутом (380 сСт), Роттердам (долл./т)(Bloomberg)

Для установки различных систем очистки нужны разовые инвестиции, непрерывное обслуживание и учет потерь, связанных с установкой самого оборудования. Окупаемость опреде-

ляется сроком эксплуатации судна, разницей цен на мазут и газойль. В таблице 1 приведены основные плюсы минусы различных топлив, используемых на борту судна.

Таблица 1 – Сводная таблица преимуществ и ограничений различных топлив

Вид топлива	Двигатель	Преимущества	Ограничения
Газовое топливо	Газовый или двухтопливный двигатель	Снижение выбросов SO _x , NO _x , твердых частиц. Появление спроса на финансирование	Инфраструктура для бункеровки, дополнительное пространство на борту для газовой топливной системы, дополнительные издержки.
Низкосернистое топливо, мазут	Дизельный двигатель и система очистки выхлопных газов	Небольшие затраты. Возможность модернизации имеющегося оборудования, быстрая окупаемость	Простой судов для установки систем очистки выхлопных газов
Газойль (MGO)	Дизельный двигатель	Отсутствие простоев судов	Увеличение издержек, объемы производства и качества газойля

По ситуации на 2018 год компания Bloomberg очень наглядно показала сравнение в экономической целесообразности установки системы очистки газов и переходе на газойль (рисунок 2).

На этом графике любая точка, лежащая выше линии, означает, что инвестиции в систему очистки выхлопных газов экономически более целесообразны по сравнению с переходом на газойль (MGO). В то же время любая точка ниже линии индекса показывает, что переход на газойль (MGO) выгоднее газопоглотителя.

Исходя из графика, можно понять, что именно при переходе на легкое топливо в мировом масштабе в 2020 году выглядит значительно привлекательнее для судовладельцев и операторов.

Эксплуатируемый флот танкеров насчитывает около 2300 судов, что соответствует 378 млн тонн дедвейт а. Переизбыток мощностей повлиял на объемы заказов новых танкеров после 2009 г. Минимальное количество новых заказов было в конце 2012 – начале 2013 г. (10% от эксплуатируемого флота), но затем объемы заказов начали восстанавливаться. Соотношение объема заказанного тоннажа на конец 2014 г. к общему флоту в оперировании составляет 13,2%, что значительно меньше показателей 2008 г. – 45%. При этом средняя скорость судов снизилась, что позволяет перевозчикам минимизировать простои и с максимальной эффективностью использовать топливо.

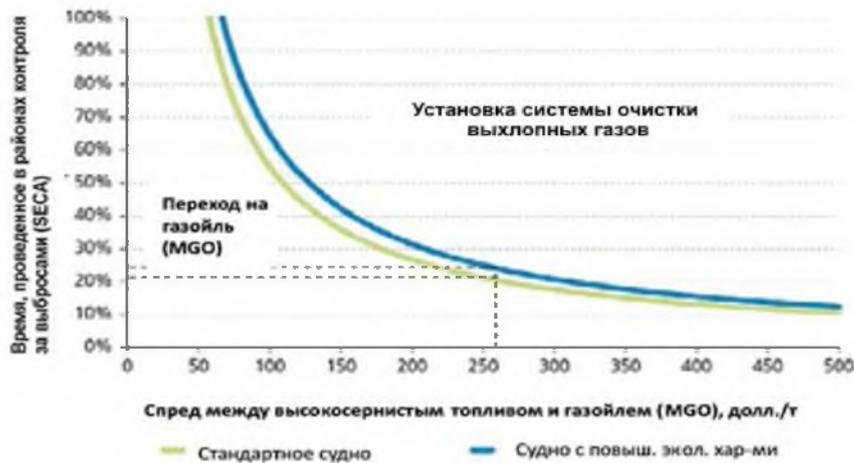


Рисунок 2 –Инвестиционная функция для установки газопоглотителя (сред по судовому топливу, долл./т и время, проведенное в районах ЕСА)

Индикатором фрахтовых ставок на танкерные перевозки является BalticDirtyTankerIndex, динамика которого в целом отстает от стоимости нефти Brent на два месяца, однако с ноября 2013 г. наблюдается разнонаправленное изменение показателей: снижение цен на нефть и повышение BalticDirtyTankerIndex. Несмотря на сезонный фактор, можно говорить о постепенном восстановлении индекса до средних значений 2010 г. Также в последнее время рынок газа сильно рванул вверх, что в свою очередь повлияло на количество заказов на газозовы.

Постепенный переход на «чистое» топливо увеличивает спрос на дизельное топливо. В более долгосрочной перспективе переход на газовое топливо выглядит перспективным направлением с позиции стоимости самого топлива и влияния на экологию. В таблице 2 приведены фракционные составляющие при переработке

Таблица 2 – приведены фракционные составляющие при переработке нефти

нефти, что отражает доступность различного топлива.

Несмотря на ужесточение требований, потребность в морских перевозках непрерывно возрастает. Поскольку цена на топливо с каждым годом растет, промышленность изучает альтернативные виды топлива для судоходства. Сжиженный природный газ (СПГ), нефтяные газы, летучие органические вещества и метанол становятся все более привлекательным вариантом, поскольку при их применении снижаются выбросы, и ожидается, что в будущем они будут дешевле, чем мазут из-за больших запасов.

Использование СПГ в качестве судового топлива не является новой идеей. В течение многих лет СПГ используется как топливо в котлах (в случае паровых турбин), а также для четырехтактных дизелей на дизельэлектротодах. Все это продиктовано доступностью СПГ при выпаривании из грузовых танков метанозов.

Тип углеводорода	Доля	Продукты/Вид топлива	Использование
Попутный и сжиженный нефтяной газ	*10%	Этан, пропан, бутан	Отопление, сырье для химической промышленности, топливо для газодизелей
Легкие фракции	*35%	Нафта	Сырье для нефтехимии
		Бензины	Восстановление в газойль, Моторное топливо
Средний дистиллят	*35%	Керосин	Авиационное топливо
		Дизель	Моторное топливо
		Топочный газойль	Топливо для отопления жилья
		Вакуумный газойль	Дистилляция в легкие продукты
Тяжелое остаточное нефтяное топливо	*20%	Крекинговое мазутное топливо	Электростанции, суда
		Прямогонный мазут	Легкие продукты, мазут
		Гудрон	Дорожное покрытие, кровельные материалы
		Битумы	Производство стали
		Сера	Химическая промышленность

* Проценты отражают ориентировочную долю получаемого типа углеводорода в единице нефти. Соотношение может варьироваться.

Примечание. Жирным выделены дистилляты и газы на которые спрос увеличится в связи с введением новых норм МАРПОЛ по содержанию серы в топливе.

В последние годы инфраструктура сжиженного природного газа достигла такого уровня, что способна обеспечить не только метановозы, но и другие типы судов. Природный газ зарекомендовал себя как надежное и чистое топливо для главных двигателей и судовой электростанции.

Благодаря новейшим разработкам фирма MAN Energy Solution на сегодняшний день может предложить среднеоборотные и малооборотные двигатели с двойной топливной системой. Разработка двигателей серии ME-GI и ME-LGI позволила обеспечить суда пропульсивной мощностью, с общей эффективностью системы такой же, как при использовании мазута или дистиллятного топлива, но обеспечить при этом соответствие новым экологическим требованиям.

Нормы выбросов двигателей серий ME-GI и ME-LGI в сочетании с системой рециркуляции выхлопных газов (EGR) соответствуют стандарту Tier III.

Ввиду того, что эти двигатели работают по циклу Дизеля, проблема скопления метана для них неактуальна. При работе по циклу Дизеля на стенках цилиндра не образуются локальные газовые карманы, приводящие к скоплению, что характерно для двигателей работающих по циклу Отто.

В технологическом плане двигатель ME-GI не является новой моделью, а является результатом естественного развития двигателя модели MC. Первая проверка принципа работы газодизеля была проведена в 1987 году в Японии и Дании. Результатом исследований и технических разработок стал двигатель серии ME-GI, представленный в 2011 году. Еще через год в 2012 году производитель принял решение расширить модельный ряд, в результате в 2013 году был представлен двигатель ME-LGI.

Технология ME-LGI позволяет использовать более устойчивые виды топлива, такие как метанол, этанол и сжиженный нефтяной газ (СНГ). В отличие от ME-GI, где газ впрыскивается в газообразной форме, в двигателе ME-LGI топливо с низкой температурой вспышки подается в камеру сгорания в жидкой фазе.

Несмотря на эту разницу, принцип работы и концепция безопасности двигателя ME-LGI аналогичны концепциям ME-GI.

Литература

1. Баскаков С.П. Перевозка сжиженных газов морем: учебное пособие. – СПб.: "GAZ SAN", 2002
2. Дорохов А.Ф., Апкаров И.А., Льюнг Х.К. Особенности применения газообразных топлив в судовых энергетических установках // Вестник АГТУ Морская техника и технология. – 2012. – №2. – С.70-75.
3. IMO FAQ for IMO regulations to reduce air pollution from ships and the review of fuel oil availability, September 2016
4. The 4T50ME-GI Test Engine at MAN Diesel & Turbo's Copenhagen Test Centre, Printed in Denmark MAN Diesel & Turbo Tegholmsgade Copenhagen SV, Denmark, Feb 2011
5. Костылев И.И. Сжиженный природный газ как судовое топливо: проблемы и перспективы их решения / И.И. Костылев // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – №2 (75), – www.rostransport.com – с.74-78
6. Тенденции использования природного газа в качестве моторного топлива на примере развития транспортных средств на природном газе в Китае – neftegas.info/article/tendentsii-razvitiya-ispolzovaniva-prirodnogo-gaza-v-kachestve-motornogo-topliva-na-primere-istorii/
7. Brett B.C. Potential Market for LNG fuelled Marine Vessels in the United States. Massachusetts, Institute of Technology Publ., 2016
8. Худяков С.А. Особенности дизелей фирмы MANB&W серии ME-GI и их топливной системы / С.А. Худяков, В.А. Башкатов // Эксплуатация морского транспорта. – 2018. – № 2 (83). – С.107-114.
9. Худяков С.А. Системы подвода газа для дизелей фирмы MANB&W серии SME-GI / С.А. Худяков, В.А. Башкатов // Эксплуатация морского транспорта. – 2018. – № 3 (88). – С.81-86.
10. Худяков С.А. Практические особенности модернизации топливных систем и двигателей судов торгового флота для использования СПГ в качестве топлива / С.А. Худяков, А.И. Епихин // Эксплуатация морского транспорта. – 2019. – № 2 (91). – С.101-107.
11. Международный кодекс по безопасности для судов, использующих газы и иные виды топлива с низкой температурой вспышки (Кодекс МГТ).

Литература

1. Baskakov S.P. Perevozka szhizhennyh gazov morem: uchebnoe posobie. – SPb.: "GAZ SAN", 2002
2. Dorohov A.F., Apcarov I.A., Lyong H.K. Osobennosti primeneniya gazoobraznyh topliv v sudovyh energeticheskikh ustanovkakh // Vestnik AGTU Morskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2012. – №2. – С.70-75.

3. IMO FAQ for IMO regulations to reduce air pollution from ships and the review of fuel oil availability, September 2016
4. The 4T50ME-GI Test Engine at MAN Diesel & Turbo's Copenhagen Test Centre, Printed in Denmark MAN Diesel & Turbo Tegholmegade Copenhagen SV, Denmark, Feb 2011
5. Kostylev I.I. Szhizhenyj prirodnyj gaz kak sudovoe toplivo: problemy i perspektivy ih resheniya / I.I. Kostylev // Transport Rossijskoj Federacii. – 2018. – №2 (75), – www.rostransport.com – s.74-78
6. Tendencii ispol'zovaniya prirodnogo gaza v kachestve motornogo topliva na primere raz-vitiya transportnyh sredstv na prirodnom gaze v Kitae-neftegas.info/article/tendentsii-razvitiya-ispolzovaniya-prirodnogo-gaza-v-kachestve-motornogo-topliva-na-primere-istorii-/
7. Brett B.C. Potential Market for LNG fuelled Marine Vessels in the United States. Massachusetts, Institute of Technology Publ., 2016
8. Hudyakov S.A. Osobennosti dizelej firmy MANB&W serii ME-GI i ih toplivnoj sis-temy / S.A. Hudyakov, V.A. Bashkatov // Ekspluatatsiya morskogo transporta. – 2018. – № 2 (83), – S.107-114.
9. Hudyakov S.A. Sistemy podvoda gaza dlya dizelej firmy MANB&W serii SME-GI/ S.A. Hudyakov, V.A. Bashkatov // Ekspluatatsiya morskogo transporta. – 2018. – № 3 (88). – S.81- 86.
10. Hudyakov S.A. Prakticheskie osobennosti modernizacii toplivnyh sistem i dvigatelej sudov portovogo flota dlya ispol'zovaniya SPG v kachestve topliva / S.A. Hudyakov, A.I. Epihin // Ekspluatatsiya morskogo transporta. – 2019. – № 2 (91). – S.101- 107.
11. Mezhdunarodnyj kodeks po bezopasnosti dlya sudov, ispol'zuyushchih gazy i inye vidy topliva s nizkoj temperaturoj vspyshki (Kodeks MGT).

УДК 621.9-219.1-752

DOI: 10.34046/aumsuomt94/19

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ В ПЛАВУЧЕЙ МАСТЕРСКОЙ

Е.А. Владецкая, кандидат технических наук, доцент

В работе рассмотрены результаты исследований процесса шлифовальной обработки с учетом оценки качества деталей при возмущающих вибрационных воздействиях на оборудование внешних сил, являющихся следствием морского волнения, а также соседнего работающего оборудования в условиях плавучей мастерской. Целью является выработка практических рекомендаций по повышению качества шлифования деталей в плавучих мастерских на основе результатов испытаний новых виброизолирующих устройств. Исследования базируются на основе моделирования взаимодействия инструмента и заготовки в плавучих мастерских как динамической системы со сложными вибрационными воздействиями, а также ударными воздействиями от внешнего оборудования и морского волнения через плавучее основание и поверхность палубы. Подтверждена целесообразность использования новой виброзащитной системы станка для обеспечения качества шлифования на основе создания конструкций эффективных виброизолирующих опор и устройств.

Ключевые слова: плавучая мастерская, шлифовальный станок, процесс шлифовальной обработки, качество обработки, шероховатость поверхности, волнистость, виброизолирующая опора.

The paper discusses the results of studies of the grinding process taking into account the quality assessment of parts under disturbing vibration effects on the equipment of external forces, resulting from sea waves, as well as neighboring operating equipment in the conditions of a floating workshop. The goal is to develop practical recommendations for improving the quality of grinding parts in floating workshops based on the test results of new vibration-isolating devices. The studies are based on modeling the interaction of the tool and the workpiece in floating workshops as a dynamic system with complex vibration effects, as well as shock effects from external equipment and sea waves through the floating base and deck surface. The expediency of using the new vibration-proof system of the machine to ensure the quality of grinding based on the creation of structures of effective vibration-isolating supports and devices has been confirmed.

Keywords: floating workshop, grinding machine, grinding process, quality of processing, surface roughness, waviness, vibration isolating support.

При ремонте и строительстве судов, а также при техническом обслуживании судовых механизмов в удаленных акваториях широкое применение находят такие передвижные комплексы, как плавучие мастерские (рисунок 1), на палубах которых размещены различные участки,

в том числе и механообрабатывающие, включающие практически все виды станочного оборудования.

Особенностью эксплуатации указанного оборудования является наличие вибраций, вызванных действием различных источников, при-