

Для того, чтобы осуществить непрерывную диагностику всей протяженности СП-2, увеличим количество АНПА. Так как имеем 19 шт. ДПУ можно было бы предположить использование равного количества АНПА, но так как время заряда аккумуляторной батареи превышает время работы АНПА, использование такого количества АНПА невозможно.

В связи с данным обстоятельством целесообразно предположить использование 10 шт. АНПА

($\frac{19 \text{ шт.}}{2} = 9,5 = 10 \text{ шт.}$), это поможет избежать конфликтов АНПА на ДПУ.

$$T_{10\text{-ти шт. АНПА}} = \frac{266 \text{ часов}}{10 \text{ шт.}} = 26,6 \text{ часа} \quad (11)$$

Рассчитаем на каком расстоянии друг от друга должны находиться ДПУ, чтобы АНПА «Юнона» мог вовремя зарядить аккумуляторную батарею:

$$S = \frac{1200 \text{ км}}{19 \text{ шт.}} = 63,15 = 63 \text{ км} \quad (12)$$

Исходя из полученных расчетов следует, что для диагностики СП-2 используя АНПА «Юнона» нам понадобится 19 шт. ДПУ находящиеся на расстоянии друг от друга 63 км, 10 шт. АНПА, а время диагностики всей протяженности СП-2 составит 26,6 часа.

Подводя итог в соответствии с произведенными расчетами, можно сделать вывод, о том, что АНПА «Юнона» наиболее экономически выгодная исходя из количества ДПУ и АНПА, по сравнению с АНПА «Gavia» для диагностики СП-2.

Литература:

1. Газпром. Газопровод «Северный поток -2». URL: <https://www.gazprom.ru/projects/nord-stream2/> (дата обращения 21.06.2021).
2. Балтийское море. URL: <https://bigenc.ru/geography/text/4343809> (дата обращения 21.06.2021).
3. Журнал Гидротехника.– 2011.– 2 (22), из-во «ТАНДЕМ».– С. 112.
4. АО "ЦКБ МТ "Рубин". URL:http://ckb-rubin.ru/proekty/robototekhnika/ampa_junona/ (дата обращения 21.06.2021).

References

1. Gazprom. Gazoprovod «Severnyj potok -2». URL: <https://www.gazprom.ru/projects/nord-stream2/> (data obrashcheniya 21.06.2021).
2. Baltijskoe more. URL: <https://bigenc.ru/geography/text/4343809> (data obrashcheniya 21.06.2021).
3. Zhurnal Gidrotekhnika 2 (22) / 2011., iz-vo «TANDEM». S. 112.
4. AO "CKB MT "Rubin". URL:http://ckb-rubin.ru/proekty/robototekhnika/ampa_junona/ (data obrashcheniya 21.06.2021).

УДК 629.5.083.7

DOI: 10.34046/aumsuomt101/31

СНИЖЕНИЕ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИ ПОЗИЦИОНИРУЕМЫХ СУДОВ ОСВОЕНИЯ ШЕЛЬФА

А.В. Игнатенко, начальник судомеханического факультета

Н.А. Кравченко, старший преподаватель

А.И. Епихин, кандидат технических наук, доцент

Требования по снижению выбросов в атмосферу с судов, принятые ИМО, ввиду особенностей технологических операций ДП-судов освоения шельфа (оффшорного флота) показывают существенное отличие последних от судов торгового флота. В статье анализируются некоторые возможные направления и поиск компромисса, изыскания, инновации для систем ДП-судов с целью повышения энергоэффективности их эксплуатации. Рассматриваются аспекты использования энергоэффективных схем электропитания пропульсивного комплекса с валогенераторами, распределения электроэнергии в судовой сети на постоянном токе, а также применения статических источников электроэнергии.

Ключевые слова: системы динамического позиционирования (СДП), статические источники электроэнергии (СИЭЭ), индекс эффективности использования энергии (ИЭИЭ), аккумуляторные батареи, парниковые газы, нулевые выбросы, ИМО, МАРПОЛ.

OFFSHORE DYNAMICALLY POSITIONED VESSELS LOW GHG STRATEGY APPROACH

A.V. Ignatenko, N.A. Kravchenko, A.I. Epikhin

Since the IMO adopted new environment regulations towards reduction of airborne pollutions from ships the design differences between offshore and commercial fleet vessels have been highlighted. This paper provides a review of some potential prospects and design improvements, innovations for offshore DP-vessels systems in order to increase their operations energy efficiency. The modern and prospective energy-efficient electrical power plants are reviewed – including hybrid schemes with shaft generators, the «Onboard DC-Grid» technology with ship's electrical distribution network utilizing direct current, as well as the benefits of static power sources are considered.

Keywords: dynamic positioning systems (DP system), sustainability, shaft generators, Onboard DC-Grid, energy storage system, ship energy efficiency management, batteries, greenhouse gases (GHG) reduction, zero emission, IMO, MARPOL.

Самые последние оценки выбросов парниковых газов от общего объема судоходства показывают увеличение (на 9,6%) с 977 миллионов тонн в 2012 году до 1076 миллионов тонн в 2018 году вследствие непрерывного роста мировой морской торговли. Доля выбросов судоходства в глобальных антропогенных выбросах парниковых газов увеличилась с 2,76% в 2012 году до 2,89% в 2018 году [1].

Конструктивный (англ. – Energy Efficiency Design Index, EEDI) и эксплуатационный (англ. – Energy Efficiency Operational Indicator, EEOI) индикаторы (индексы) энергетической эффективности разработаны Международной Морской Организацией (ИМО) для новых и эксплуатирующихся судов соответственно. В русском переводе также встречается понятие индекса эффективности использования энергии (ИЭИЭ). Оба указанных показателя имеют одинаковый физический смысл и призваны определить отношение количества

произведенного парникового газа CO₂ к величине транспортной работы судна. Способы подсчета зависят от составляющих и приведены ниже [2, 3]:

$$EEDI = \frac{\text{Выбросы CO}_2}{\text{Работа}} = \frac{S_{FC} \times C}{CAP \times V_S} \quad (1)$$

S_{FC} – расход топлива, С – переводной коэффициент, зависящий от вида используемого топлива, CAP – грузоподъемность и V_S – скорость хода судна.

$$EEOI = \frac{FC \times C}{\text{Cargo} \times \text{Distance}} \quad (2)$$

FC – средний расход топлива, С – переводной коэффициент, зависящий от вида используемого топлива, Cargo – перевозимый груз и Distance – расстояние. Размерность показателей составляет грамм (килограмм, тонна) выбросов CO₂ отнесенные к тонно-милям. Значения переводного коэффициента для существующих и новых видов топлив, используемых на морских судах приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значение безразмерного переводного коэффициента CO₂ для расчетов индекса энергоэффективности для различных видов судовых топлив [2]

№ п/п	Вид топлива	Нормативный документ	Содержание углерода	C _F (т. CO ₂ / т. топлива)
1.	Дизельное топливо/газойль	ИСО 8217 сорта DMX – DMB	0,8744	3,206
2.	Легкое топливо	ИСО 8217 сорта RMA – RMD	0,8594	3,151
3.	Тяжелое топливо	ИСО 8217 сорта RME – RMK	0,8493	3,114
4.	Сжиженный нефтяной газ	Пропан	0,8182	3,000
		Бутан	0,8264	3,030
5.	Сжиженный природный газ		0,7500	2,750
6.	Метанол		0,3750	1,375
7.	Этанол		0,5217	1,913

Следует отметить, что в указанной таблице не приведены перспективные топлива – аммиак и водород, нулевой углеродный потенциал которых делает их сверхпривлекательными, но с учетом современных технологий, к настоящему моменту существенно ограниченными в практическом использовании.

Судовой план управления энергоэффективностью (англ. – Ship Energy Efficiency Management Plan, SEEMP) с января 2013 года является обязательным для всех судов валовой вместимостью 400 тонн и выше и призван установить исходное состояние, определить потенциал для повышения энергоэффективности, проведения наблюдений и учета с целью непрерывного улучшения показателей влияния на окружающую среду, что также предполагает пересмотр и совершенствование самого плана.

На рисунке 1 показаны этапы и даты вступления в силу новых требований к индексу энергоэффективности [2 – р.30].

Как видно из рисунка ограничительные меры / факторы вводятся поэтапно и зависят от размера (грузоподъемности) судна. Указанные показатели изначально достаточно просто и прозрачно применялись к транспортным судам различного назначения – танкерам, контейнеровозам, ролкерам и другим.

Однако, в системах динамического позиционирования (СДП) судов класса DP-2 и DP-3 (далее – ДП-судов) в соответствии с принципами сохранения позиции судна (при однократном отказе в любом пассивном или активном элементе системы) заложена избыточность, позволяющая обеспечить устойчивость системы к отказам элементов или ограничению мощности и сохранить позицию судна с учетом внешних воздействий.

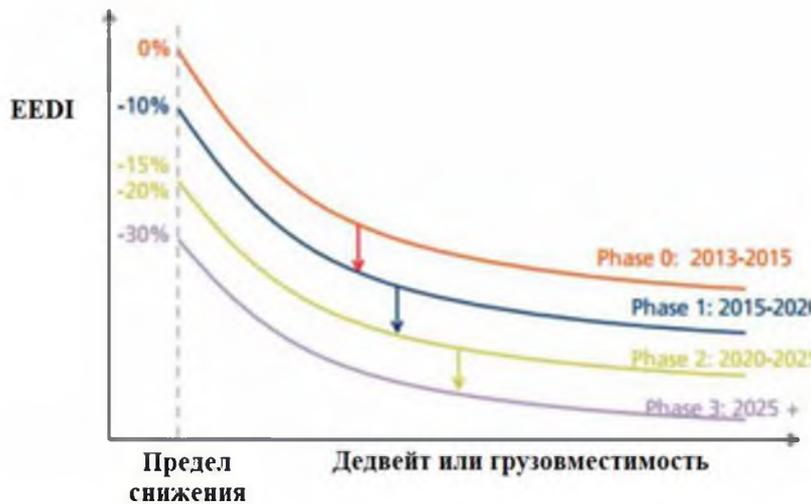


Рисунок 1 – Этапы ужесточения индекса энергоэффективности с пределами ограничений выбросов с учетом характеристик судна (грузовместимость или дедвейт)

При этом принимается во внимание, что характер технологических операций – бурение глубоководных скважин, укладка кабелей или трубопроводов, спуск водолазов требуют от ДП-судов удержания позиции, а показатели эффективности энергетической установки имеют второстепенное значение, что ставит под сомнение и делает невозможным применение одинаковых критериев для судов торгового флота и специализированных судов освоения шельфа [4, 5].

Так, например, сравнение характерных эксплуатационных режимов танкера и судна снабженца шельфовых платформ (англ. – *Platform Supply Vessel, PSV*) (рисунок 2) показывает, что около 3/4 эксплуатационного цикла танкер проводит на морских переходах с оптимальным использованием энергетической (пропульсивной) установки, тогда как у снабженца более короткие переходы и частые заходы в порт со стояночными режимами [5].

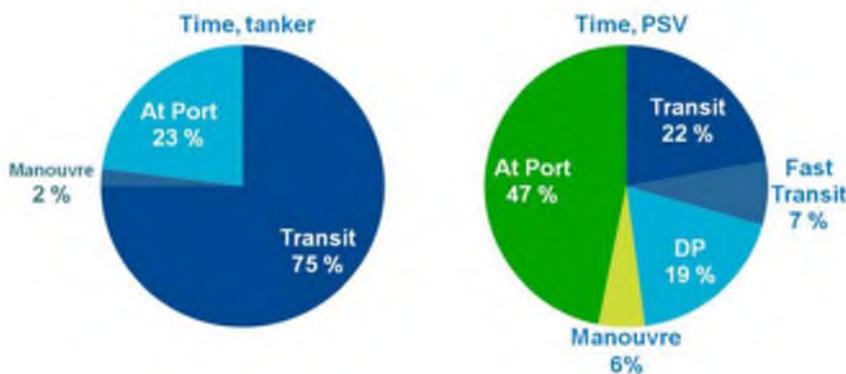


Рисунок 2 – Сравнение режимов использования времени для танкера и PSV

Международная Ассоциация Морских Подрядчиков (англ. – *International Marine Contractors Association, IMCA*) – ведущая некоммерческая организация, члены которой представляют большинство морских подрядчиков по всему миру в нефтегазовой и возобновляемой энергетике. В 2019 году комитет IMCA по вопросам морской политики и нормативно-правового регулирования (MPRA) разработал и предложил ИМО два показателя (Proxies A and B) для возможного использования вместо «транспортной работы» для оценки углеродного воздействия на

воздушную среду со стороны судов оффшорного флота [6, 7].

Ключевым фактором при разработке этих показателей, при условии их принятия ИМО, должны стать данные о фактически потребленном за период 2019 и 2020 годов количестве топлива для судов оффшорного флота, подпадающих под требования Правила 22А Конвенции МАРПОЛ, Приложение VI, то есть валовой вместимостью 5000 тонн и более.

Вне зависимости от результата анализа указанных выше данных, судовладельцы, опера-

торы, конструкторские бюро и судостроители ведут поиск, апробацию и внедрение технологических решений, направленных на снижение углеродного тренда и повышение энергоэффективности ДП-судов. К основным направлениям можно отнести:

- использование оборудования главных и вспомогательных установок с улучшенными энерго-экологическими характеристиками;

- использование альтернативных топлив (в том числе синтетических спиртов, водорода и аммиака), а в перспективе – энергетических установок, гибко перенастраивающихся на различные виды топлива;

- создание комбинированных энергетических установок – в частности, использование гибридных систем для судов определенных типов, где оправдано использование валогенераторных установок (ВГУ);

- использование фильтров — поглотителей CO₂, а также – схемы утилизации выработанного CO₂ путем получения жидкого или твердого CO₂ (сухого льда) из выхлопных газов энергетической установки;

- применение судовых автоматизированных электроэнергетических систем (САЭЭС) с распределением электроэнергии на постоянном токе;

- использование в электроэнергетических системах (ЭЭС) статических источников электроэнергии (СИЭЭ, англ. – Energy Storage, ES) – современных литий-ионных аккумуляторных батарей и суперконденсаторов (англ. – *supercapacitors*);

- системы организации питания электроэнергией «с берега» во время стоянки судов в портах и на якорных стоянках;

- а также совершенствование планов по управлению энергоэффективностью.

Из приведенных выше вариантов совершенствования энергетических установок ДП-судов ряд направлений имеют практически полную готовность к внедрению.

Минимальный расход топлива дизель-генераторного агрегата (ДГА) при изменении нагрузки определяется зависимостью удельного расхода топлива S_{FC} от нагрузки генератора (потребляемой системой распределения электрической мощности).

Зависимость удельного расхода получают в ходе заводских испытаний исправного ДГА с применением штатных видов топлива и приводят в паспорте изделия. Как правило, минимальный удельный расход топлива обычно соответствует диапазону нагрузок 75–85% от номинальной электрической мощности ДГА, а работа за пределами этого диапазона, как в зоне больших, так и в зоне малых нагрузок приводит к чрезмерному росту удельного расхода.

Применение в системах динамического позиционирования (СДП) распределения электроэнергии на постоянном токе делает возможной эксплуатацию ДГА с изменяющейся в широких пределах частотой вращения приводных двигателей, что, в свою очередь, позволяет оптимизировать удельные расходы топлива судовых дизель-генераторов в более широком диапазоне.

Подобная система была разработана компанией АВВ и впервые реализована на борту судна “Dina Star” и получила название “Onboard DC-Grid” [8]. В таблице 2 приведены сравнительные массовые характеристики САЭЭС, реализованной для судна снабженца шельфовых платформ по традиционной технологии – на переменном токе и по технологии “Onboard DC-Grid”.

Таблица 2 – Сравнение массовых характеристик традиционной САЭЭС и системы с технологией DC-GRID судна снабженца шельфовых платформ [8 – С.6].

Оборудование	Количество	Характеристики	Масса в традиционных САЭЭС, кг	Масса в САЭЭС «DC Grid», кг
Генераторные агрегаты	4	2500 кВА	38000	39000
ГРЩ переменного тока	1	~ 690В	4450	0
ГРЩ постоянного тока	1	= 1000В	0	2400
РЩ переменного тока	1	450В/230В	14490	16530
ПППЧ гребных ЭД	2	3500 кВА	31980	13680
ПППЧ ПУ	3	1200 кВА	26600	13750
Суммарная масса установки			115520	85360

Проведенное сравнение также свидетельствует о преимуществах для данного конкретного судна выполнения его САЭЭС по указанной технологии. Ходовые испытания и почти 8-летний опыт эксплуатации показали, что в отдельных

режимах снижение расхода топлива и соответствующее уменьшение выбросов может достигать 27%.

На рисунке 3 приведена структура гибридной САЭЭС с валогенератором и СИЭЭ.

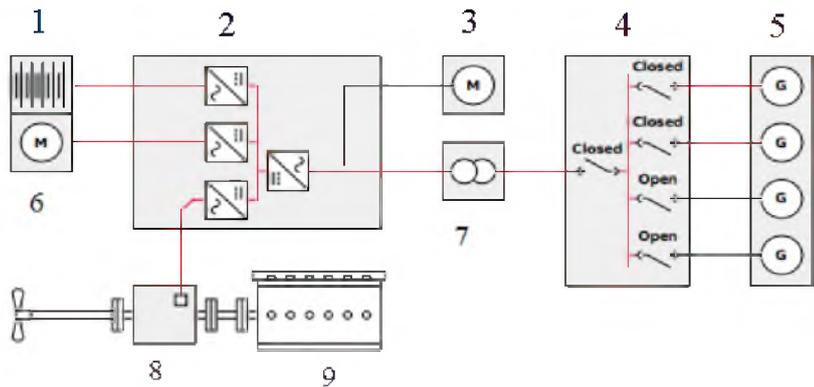


Рисунок 3 – Гибридная САЭЭС с применением ВГ и СИЭЭ

1 – статические источники электроэнергии с возможностью заряда или отдачи электроэнергии в судовую сеть через полупроводниковые преобразователи 2 (ППП), 3 – электроприводы подруливающих устройств (ПУ), 4 – главный распределительный щит (ГРЩ), 5 – дизель-генераторные агрегаты (ДГА), 7 – трансформаторы, 8 – валогенераторная установка (ВГУ) с возможностью получения энергии от СИЭЭ, 9 – главный двигатель (ГД)

Использование СИЭЭ на борту ДП-судов, во-первых, непосредственно в системах электропитания электрифицированных пропульсивных элементов – гребных электродвигателей (ГЭД) и подруливающих устройств (ПУ) приведет к существенному увеличению показателей эффективности эксплуатации системы.

При возникновении бросков нагрузки возможна их компенсация именно мощностью от СИЭЭ, а дизель-генераторы смогут сохранять нагрузку постоянно оптимальной и обеспечивать минимальный удельный расход топлива.

Во-вторых, в режимах стоянки в порту или на якоря выброс в атмосферу с судов может быть снижен до нулевого значения с использованием запасенной в СИЭЭ энергии, а сами источники могут получить заряд «чистой электроэнергии» с берега.

Третьим аспектом применения СИЭЭ видится совершенствование их алгоритмов управления, позволяющее в итоге лучше использовать

процессы рекуперации энергии в сеть в отдельных режимах, характерных для судов конкретного типа – например, при спускоподъемных операциях буровых установок, при опускании бурового инструмента в скважину электроприводами буровых лебедок или при опускании груза мощными электроприводными кранами.

Также сохраняется актуальность принципов непрерывного совершенствования судового плана управления эффективностью – на основе расчетов и анализа эксплуатационных данных возможно внедрение схем утилизации тепловых потерь, замена элементов оборудования на более экономичные (например, осветительные приборы) и пересмотр процедур и алгоритмов управления для определенных судовых систем.

В таблице 3 на примере буровых судов компании Saipem приведены достигаемые количественные показатели снижения энергопотребления и соответствующего сокращения расхода топлива.

Таблица 3 – примеры мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности технологического комплекса судна компании Saipem

Меры, направленные на снижение энергопотребления	Снижение потребления мощности кВт•ч/ч	Снижение часового расхода топлива кг/ч	Снижение выбросов кг CO2e/ч
1	3	4	5
Снижение энергопотребления водо-опреснительной установки.	21.0	97.2	311.6
Внедрение режима «Green DP».	500.0	100.0	320.6
Отключение вспомогательных механизмов, обеспечивающих готовность ДГА в режимах без использования ДП.	285.0	57.0	182.7
Оптимизация работы насосов гидравлики систем изменения азимута в ВРК.	26.3	5.3	16.9
Оптимизация алгоритма работы системы кренования.	44.0	8.8	28.2
Оптимизация работы систем вентиляции за счет регулирования частоты вращения электроприводов с помощью ПППЧ в порту (верх) и ходовом (низ) режимах.	138.7	27.7	88.8
	115.5	23.1	74.1

Следует отметить, что повышение энергоэффективности зависит от ряда факторов и решений, что особенно верно для ДП-судов.

На основе информации о диалоге ИМСА и ИМО, можно сделать предположение о том, что в настоящий момент анализ двухлетней статистики, отражающей фактические расходы топлива ДП-судов в различных режимах, лишь задаст начальный подход к оценке энергоэффективности судов оффшорного флота.

Для каждого конкретного судна, принимая во внимание конфигурацию СДП, состав и особенности источников (ДГА, СИЭЭ), пропульсивных и подруливающих устройств, энергопотребление и рабочие параметры, целесообразно вести эксплуатационный мониторинг, позволяющий собирать и анализировать данные и обеспечивать информационную поддержку экипажа и судовладельца, имея своей конечной целью поддержание эксплуатационных параметров на оптимальном уровне с учетом операций судна, его технического состояния и внешних факторов.

Литература

1. Fourth IMO GHG Study 2020 Full Report. Published in 2021 by the INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION 4 Albert Embankment, London SE1 7SR. www.imo.org
2. IMO (2010) "Module 2 - Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines", IMO Train the Trainer Course on Energy Efficient Ship Operation.
3. IMO (2014) "2014 Guidelines on the method of calculation of the Attained Energy Efficient Design Index (EEDI) for new ships", MEPC 66/21/Add.1
4. Ignatenko A.V., Kuznetsov S.E. Electric-energy systems of dynamic-positioning drilling vessels // DOI 10.3103/S1068371218020074. Russian Electrical Engineering. Vol. 89, Issue 2, 2018. – p. 85-92.
5. Ivar Ihle, Jon Alme, Frode Bloch. Approaches to a greener DP vessel. Marine Technology Society DYNAMIC POSITIONING CONFERENCE – Houston October 11-12, 2016
6. Fuel Consumption: IMCA and its Members to play key role. [Электронный ресурс]. // URL: <https://www.imca-int.com/fuel-consumption-imca-and-its-members-to-play-key-role/>. (дата обращения 25.10.2021).
7. The requirement for collection and reporting of fuel consumption data is mandatory under Regulation 22A of MARPOL, Annex VI and applies to all vessels of 5,000 gross tonnage and above. [Электронный ресурс]. // URL: <https://www.bunkerspot.com/global/53897-global-imo-accepts-imca>

- submission-on-fuel-consumption-data (дата обращения 09.11.2021).
8. The new way with Onboard DC Grid. [Электронный ресурс]. // URL: https://new.abb.com/docs/libraries-provider91/articles/lm00614-onboard-dc-grid-brochure_june2014_1.pdf. (дата обращения 15.11.2021).
9. Saipem eco-operations program. [Электронный ресурс]. // сайт Международной ассоциации морских подрядчиков (англ. – International Marine Contractors Association, IMCA). URL: <https://www.imca-int.com/information-notes/saipem-eco-operations-program/> (дата обращения 22.10.2021).

References

1. Fourth IMO GHG Study 2020 Full Report. Published in 2021 by the INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION 4 Albert Embankment, London SE1 7SR. www.imo.org
2. IMO (2010) "Module 2 - Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines", IMO Train the Trainer Course on Energy Efficient Ship Operation.
3. IMO (2014) "2014 Guidelines on the method of calculation of the Attained Energy Efficient Design Index (EEDI) for new ships", MEPC 66/21/Add.1
4. Ignatenko A.V., Kuznetsov S.E. Electric-energy systems of dynamic-positioning drilling vessels // DOI 10.3103/S1068371218020074. Russian Electrical Engineering. Vol. 89, Issue 2, 2018. – p. 85-92.
5. Ivar Ihle, Jon Alme, Frode Bloch. Approaches to a greener DP vessel. Marine Technology Society DYNAMIC POSITIONING CONFERENCE – Houston October 11-12, 2016
6. Fuel Consumption: IMCA and its Members to play key role. [Jelektromnyj resurs]. // URL: <https://www.imca-int.com/fuel-consumption-imca-and-its-members-to-play-key-role/>. (data obrashhenija 25.10.2021).
7. The requirement for collection and reporting of fuel consumption data is mandatory under Regulation 22A of MARPOL, Annex VI and applies to all vessels of 5,000 gross tonnage and above. [Jelektromnyj resurs]. // URL: <https://www.bunkerspot.com/global/53897-global-imo-accepts-imca-submission-on-fuel-consumption-data> (data obrashhenija 09.11.2021).
8. The new way with Onboard DC Grid. [Jelektromnyj resurs]. // URL: https://new.abb.com/docs/libraries-provider91/articles/lm00614-onboard-dc-grid-brochure_june2014_1.pdf. (data obrashhenija 15.11.2021).
9. Saipem eco-operations program. [Jelektromnyj resurs]. // sajt Mezhdunarodnoj asociacii morskikh podriadchikov (англ. – International Marine Contractors Association, IMCA). URL: <https://www.imca-int.com/information-notes/saipem-eco-operations-program/> (data obrashhenija 22.10.2021).