

УДК 629

Ю.М. Ларкин, А.Ф. Онищенко

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГАЗО-И ХИМОВОЗОВ

Рассмотрены способы и условия морских перевозок сжиженных газов наливом, основные типы конструкций и расположения грузовых танков газозовозов, применяемые материалы. Приведены характеристики (соответствующие давления, температуры, удельный вес) некоторых транспортируемых газов. Представлены характерные чертежи общего расположения. Приведена классификация судов для перевозки опасных грузов, попадающих под действие Кодекса по химовозам.

Ключевые слова: сжиженные газы, характеристики газов, условия транспортировки наливом, конструкции газозовозов, типы химовозов.

Розглянуто способи й умови морських перевезень зріджених газів наливом, основні типи конструкцій і розташування вантажних танків газозовозів, застосовувані матеріали. Наведено характеристики (відповідні тиски, температури, питома вага) деяких газів, що транспортують. Представлено характерні креслення загального розташування. Наведено класифікацію суден для перевезення небезпечних вантажів, що попадають під дію Кодексу по химовозам.

Ключові слова: зріджені газы, характеристики газів, умови транспортування наливом, конструкції газозовозів, типи химовозів.

Ways and conditions of sea transportations liquefied gases in bulk, the basic types of designs and an arrangement of cargo tanks of LNG carrier, used materials are consider. Characteristics (corresponding pressure, temperatures, relative density) some transported gases are present. Typical the general arrangement are present. Classification of vessels for transportation the dangerous cargoes to come under action of the Code on chemical carrier is present.

Keywords: liquefied gases, characteristics of gases, conditions transportation in bulk, designs of LNG ships, chemical carrier types.

Морские перевозки сжиженных газов наливом ведутся примерно с 50-х годов XX-го столетия. Первые Правила классификации и постройки судов для их перевозки были опубликованы в 60-х годах того же столетия. В 80-е годы уже были введены в эксплуатацию газозовозы вместимостью более 100 тыс. м³ сжиженного газа.

В настоящее время построены суда емкостью танков почти 180000 м³ и публикуются сообщения о проектах газозовозов вместимостью 200000 м³ и более.

Кроме специализированных судов только для перевозки сжиженных газов в реальной практике существуют газозовозы, имеющие возможность перевозить жидкие химические (и нередко опасные) грузы, харак-

© Ларкин Ю.М., Онищенко А.Ф., 2014

теризующиеся пределами давления испарения не превышающего 2,8 бар (40,6 psi) при температуре 37,8 градусов Цельсия (100 °F) [1].

Проектируют и строят суда-химовозы и комбинированные, например, нефтехимовозы. Сжижение газов, с критической температурой выше окружающей среды, (например, аммиак, хлор) осуществляется сжатием их компрессором с последующей конденсацией в теплообменниках, охлаждаемых морской водою или холодильным рассолом, кстати аммиак впервые был сжижен в 1792 г. Часто для сжижения применяются т.н. холодильные циклы, основанные на дросселировании сжатого газа (использование эффекта Джоуля-Томпсона), на расширении сжатого газа с производством внешней работы в детандере на расширении сжатого газа из постоянного объема без совершения внешней работы (метод теплового насоса) и т.п.

В настоящее время любой газ при соответствующем его охлаждении или сжатии может быть сжижен. Температура сжижения определяется давлением, под которым находится газ, но она всегда ниже критической. Охлаждение газа ниже $T_{кр}$ необходимо т.к. при температуре выше $T_{кр}$ жидкость существовать не может.

Сжиженные газы рассматриваются как грузы с давлением испарения около 2,75-2,80 бар при температуре 37,8 °С. При температуре ниже этой критической газ может перевозиться в жидком состоянии соответственно его давлению испарения при температуре перевозки.

Соответствующие температуры и давления некоторых транспортируемых газов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование	Критическое давление, кг/см ²	Критическая температура, °С	Температура кипения, °С	Удельный вес в точке кипения, кг/м ³	Плотность паров воздуха
Ангидрид аммония NH ₃	111,5	132,4	- 33,4	68	0,60
Бутан C ₄ H ₁₀	37,7	152	- 0,50	600	2,01
Хлор Cl ₂	78,6	144	- 34	1560	2,49
Этан C ₂ H ₆	49,8	32,1	- 88,6	549	1,052
Этилхлорид C ₂ H ₃ Cl	54,3	187,2	12,4	920	2,22
Этилен C ₂ H ₄	51,5	9,5	- 104	570	0,97
Этиленоксид C ₂ H ₄ O	75,8	195,7	- 10,7	870	1,52
Диоксид серы SO ₂	77,8	157,3	- 10,0	141,6	2,26
Метан CH ₄	45,6	- 82,5	- 161,5	420	0,55
Азот N ₂	35,5	- 147,0	- 195,8	808	0,97
Пропан C ₃ H ₈	43,4	96,8	- 42,3	580	1,56
Пропилен C ₃ H ₆	46,5	92,1	- 47,7	610	1,50

Оксид пропилена C_3H_6O	50,2	209	34,5	860	2,00
Винилхлорид C_2H_3Cl	53,9	158,4	- 13,9	970	2,152

Примечание: при сравнении данных по газам, приведенных в Правилах Бюро Веритас, справочниках по химии и отдельным публикациям обнаружены небольшие колебания значений. Число данных таблицы 1 ограничено по соображениям отбора с меньшими колебаниями значений.

Если критическая температура транспортируемого газа выше температуры окружающей среды существуют следующие возможности перевозки:

- под полным давлением при температуре окружающей среды;
- под охлаждением до температуры между температурой окружающей среды и критической температурой газа при атмосферном давлении, т.е. «частично под охлаждением» или «частично под давлением»;
- «полностью под охлаждением» при давлении около атмосферного.

Сжиженные газы LNG (метан CH_4) и этилен (C_2H_4) имеющие критическую температуру $- 82,5^{\circ}C$ и $9,90^{\circ}C$ соответственно могут нормально перевозиться в охлажденном состоянии при атмосферном давлении.

Сжиженные газы LPG аммиак (NH_3) и винилхлорид (C_2H_3Cl) имеют критическую температуру выше температуры окружающей среды ($NH_3 - t = 132,4^{\circ}C$; $- t = 158,4^{\circ}C$) и могут перевозиться как полностью охлажденными так и полностью под давлением.

Нормальными грузами для газозовов являются опасные химикалии, имеющие давление испарения между 1 баром и 2,75 барами при температуре $37,8^{\circ}C$. Некоторые из этих грузов перечислены в Газовом кодексе (IGC) [3] и в кодексе по химовозам (IBC) [4].

Для перевозки LPG и химических газов (NH_3 и летучие химикалии) на практике существуют разные возможности:

- Судовые цистерны под давлением.

Обычно эти танки оборудованы изоляцией и обслуживаются рефрижераторной установкой. Применение танков без изоляции и рефрижераторной установки возможно под давлением равным давлению испарения груза при температуре около $45^{\circ}C$, например, для чистого пропана такое давление составляет 14,8 бар выше атмосферного давления. С учетом небольших фракций этана в коммерческом пропане давление в танках обычно доводят до 17-18 бар. Давление в танках для аммиака при $45^{\circ}C$ без охлаждения обычно составляет 16,8 бар.

Применение танков без изоляции и рефрижераторной установки возможно под давлением равным давлению испарения груза при температуре около $45^{\circ}C$, например, для чистого пропана такое давление составляет 14,8 бар выше атмосферного давления. С учетом небольших фракций этана в коммерческом пропане давление в танках обычно доводят до 17-18 бар. Давление в танках для аммиака при $45^{\circ}C$ без охлаждения обычно составляет 16,8 бар.

– Независимые призматические и сферические танки (метановозы LNG).

Такие танки всегда изолированы, оборудованы охлаждением и поддерживают груз вблизи атмосферного давления.

Расчетное минимальное давление для охлаждаемых танков P_0 задается формулой Правил РМРС [2] и Кодекса IGC [4]

$$P_0 = (2 + A C \rho^{2/3}),$$

где A – коэффициент материала;

C – характеристика размеров танка;

ρ – относительная плотность груза.

Практические приемы проектирования рассматриваемых типов судов на начальных стадиях с достаточной степенью точности могут осуществляться с помощью статистических данных или существующих рекомендаций, например [1].

На следующих этапах проектирования необходимо определиться с типами и размерами танков (резервуаров), их конструкцией и материалами.

Таблица 2

*Минимальные проектные температуры
некоторых материалов для танков*

Материал	Минимальная температура °С
углеродисто-марганцевая сталь	-50
5% никелевая сталь	-105
9% никелевая сталь	-165
АМг	-196
19% хромоникелевая сталь	-196

Некоторые типы и формы танков представлены на рисунках 1-4.

В настоящее время известны проекты газовозов LCG для перевозки сжатого до 122 бар газа при температуре – 29 °С с резервуарами из промышленных стальных труб диаметром 1100 мм и толщиной 19 мм, установленных вертикально или уложенных в корпусе судна горизонтально и соединенных между собой, см. рис. 5-6.

Другой аналогичный проект LPG предлагает уложить в кормовой части примерно на 2/3 наибольшей длины судна около 240 м кольцами трубу длиной в несколько км, см. рис. 6.

Суда, попадающие под действие Кодекса по химовозам 2007 [3] должны быть спроектированы в соответствии с одним из следующих стандартов:

1. Судно *типа 1* – танкер-химовоз, предназначенный для перевозки продуктов (указанных в гл. 17), представляющих наибольшую опас-

ность для окружающей среды и человека и требующих принятия максимальных предупредительных мер для исключения утечки такого груза.

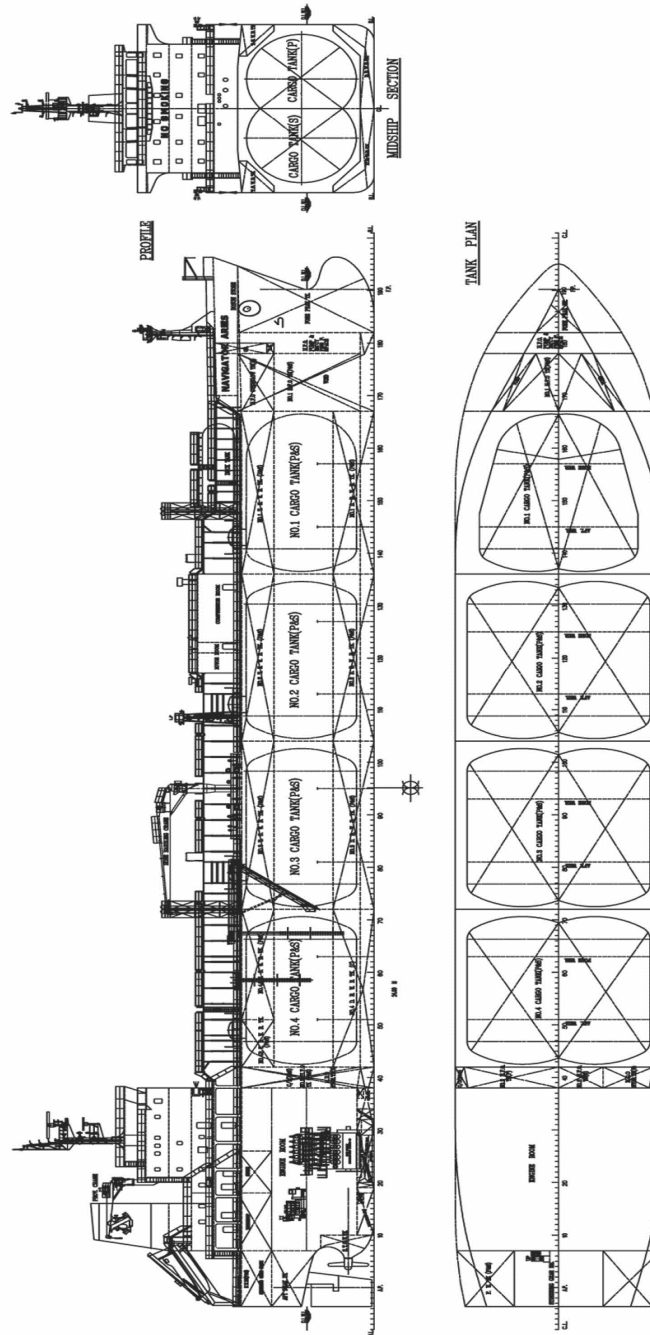


Рис. 1. LPG/NH₃/VCM танкер с цилиндрическими спаренными танками
общей емкостью 20800 м³

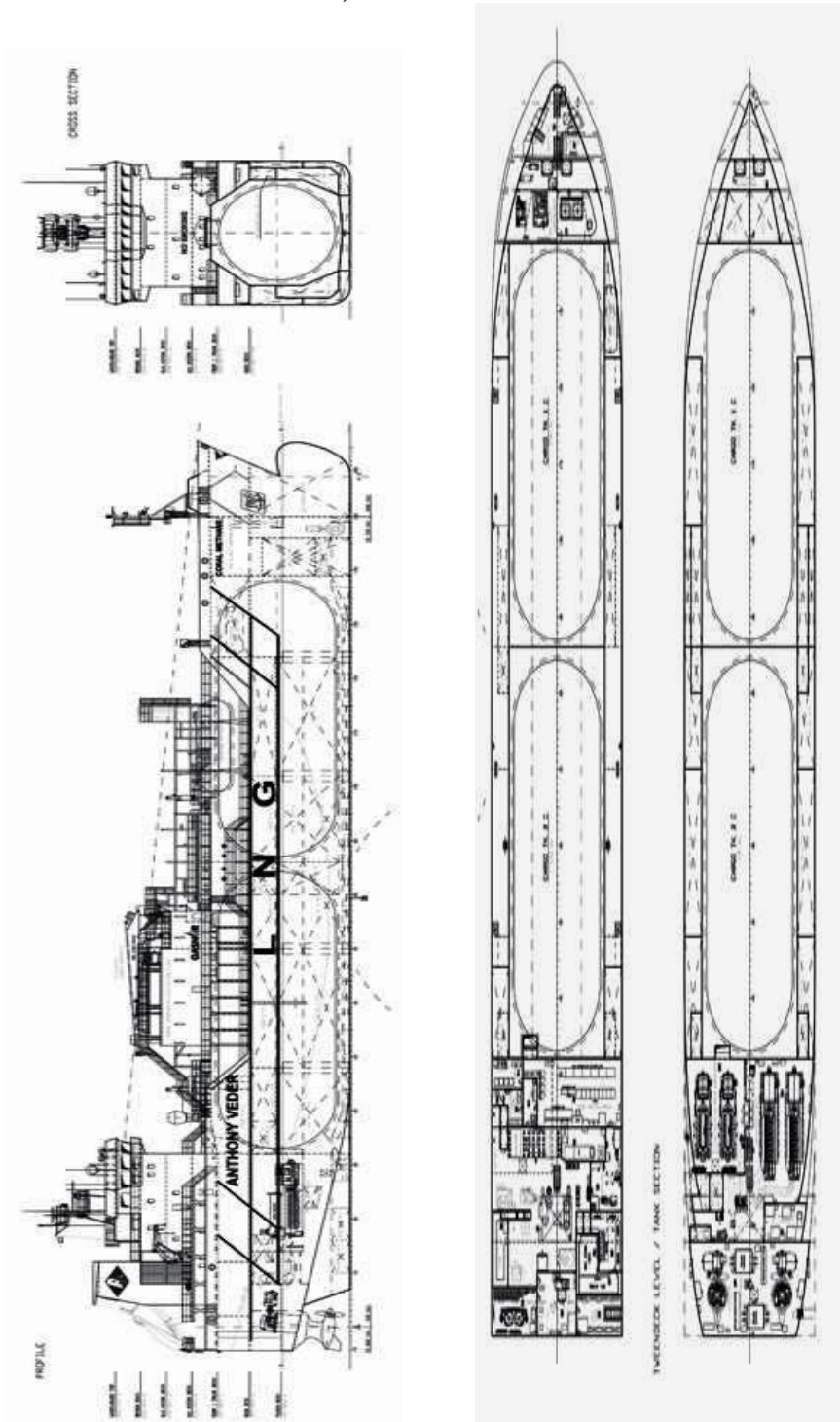


Рис. 2. LPG/LNG/LEG танкер
с изолированными цилиндрическими танками

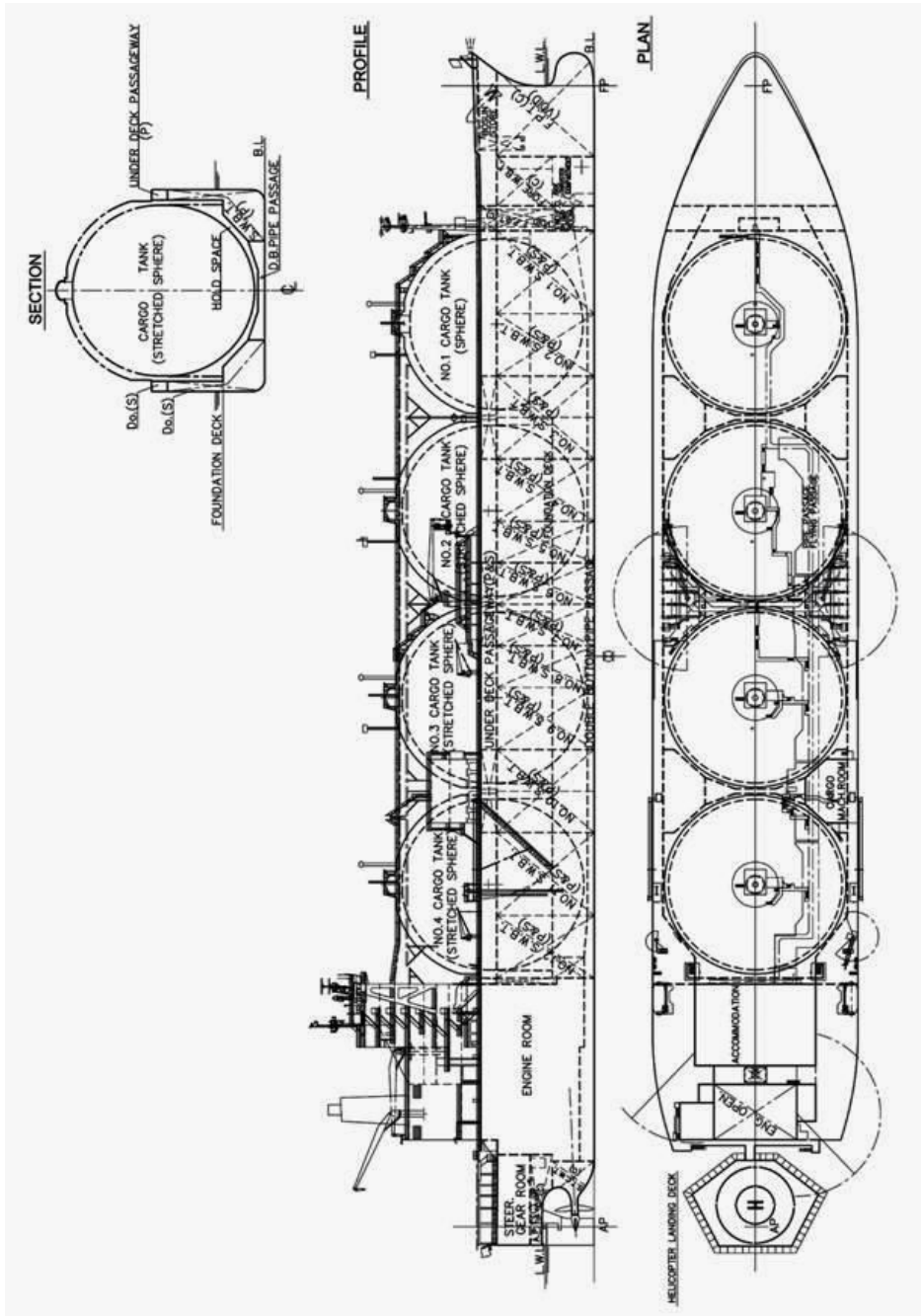


Рис. 3. LNG танкер со сферическими танками
общей емкостью 155000 м³

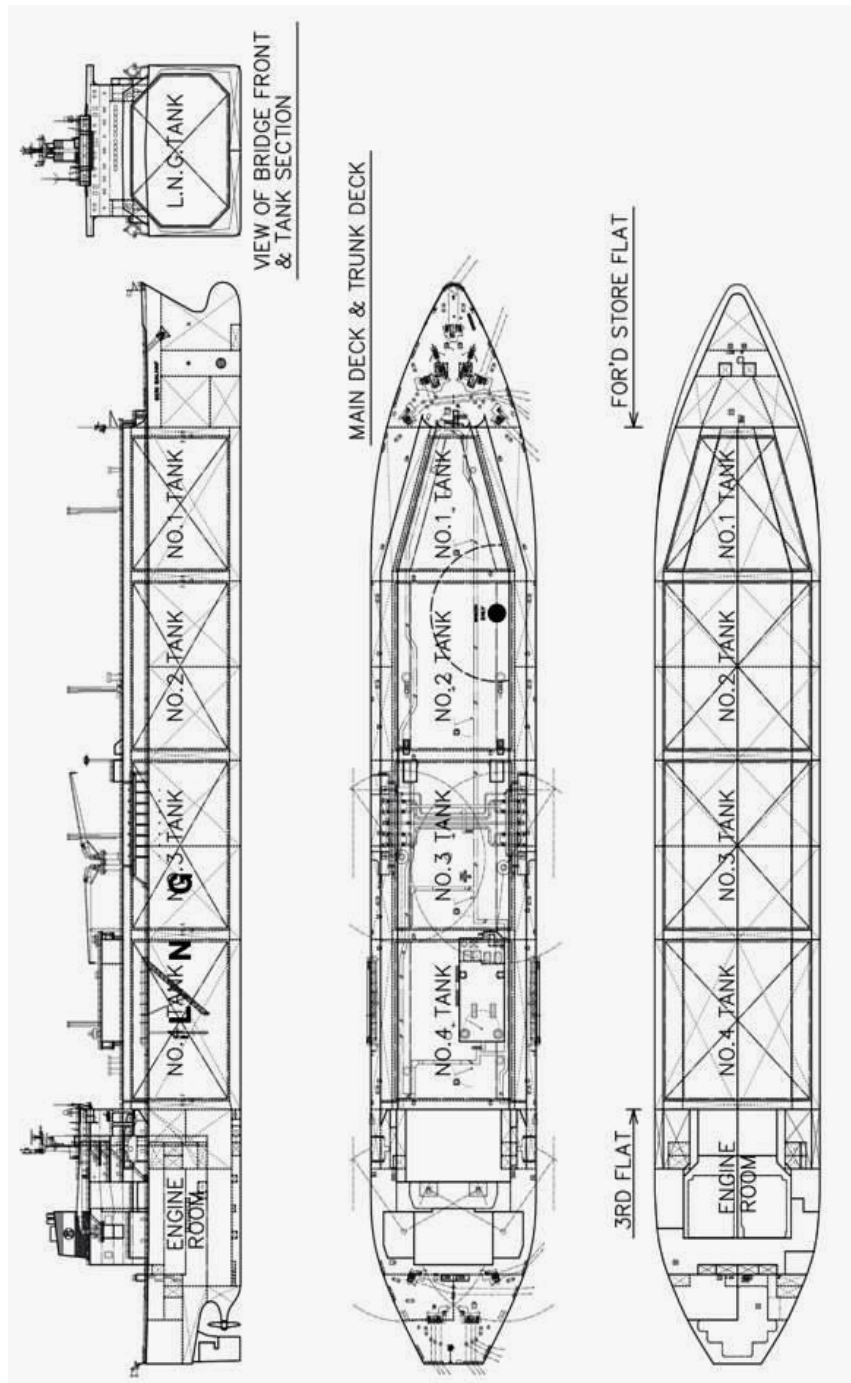


Рис. 4. LNGтанкер с призматическими танками

общей емкостью 157720 м³

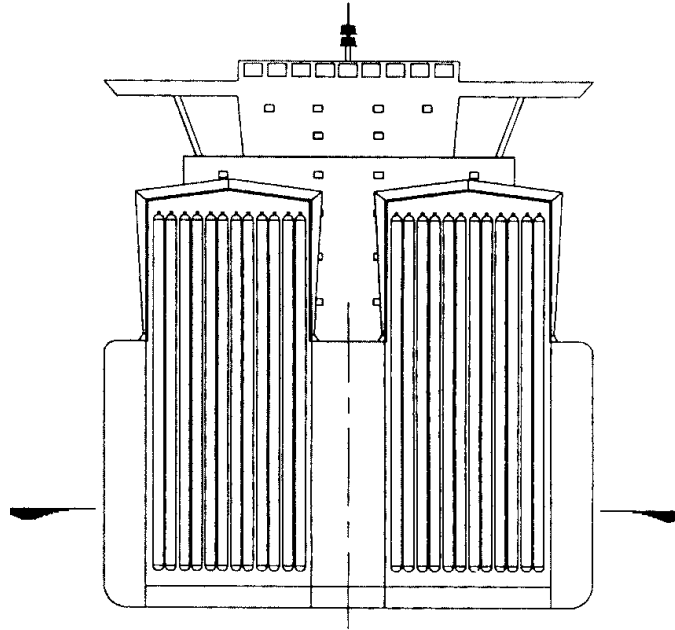
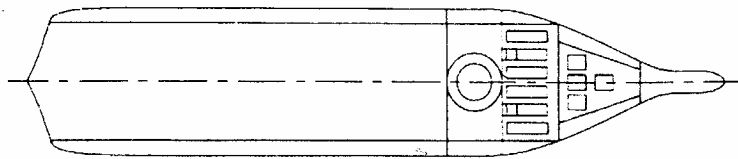
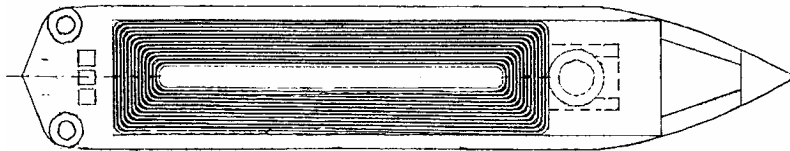


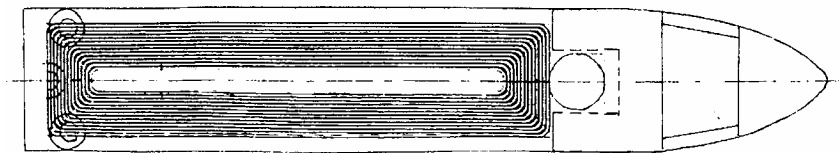
Рис. 5. Судно с резервуарами из стальных труб,
установленных вертикально



Top view at CWL



Top view on main deck



*Рис. 6. Судно с резервуарами из стальных труб,
уложенных горизонтально*

2. Судно *типа 2* – танкер-химовоз, предназначенный для перевозки продуктов (указанных в главе 17), представляющих значительную опасность для окружающей среды и человека и требующих принятия существенных предупредительных мер для исключения их утечки.

3. Судно *типа 3* – танкер-химовоз, предназначенный для перевозки продуктов (указанных в гл.17) представляющих ощутимую опасность для окружающей среды и человека для которых требуют достаточно умеренной степени защиты для увеличения живучести в поврежденном состоянии.

Таким образом, танкер-химовоз *типа 1*, предназначенный для перевозки продуктов, которые представляют наибольшую общую опасность и, следовательно, должно выдерживать наибольший стандарт повреждения и его грузовые емкости должны быть расположены на максимальном предписанном расстоянии внутрь от наружной обшивки.

Тип судна, требующийся для отдельных продуктов, указан в колонке «е» таблицы в главе 17 Кодекса [3] если предполагается перевезти более одного продукта (из перечисленных в главе 17), стандарт повреждения должен соответствовать тому продукту, для которого требуется судно, отвечающее наиболее строгим требованиям. Требования к расположению отдельных грузовых емкостей, однако, представляют собой требования к типам судов, соответствующие продуктам, подлежащим перевозке.

Судам, попадающим под действие Кодекса, может быть назначен минимальный надводный борт, разрешенный действующей Международной конвенцией о грузовой марке. Однако осадка, соответствующая этому назначению надводного борта, не должна быть больше максимальной осадки, разрешенной в отдельных случаях настоящим Кодексом.

Грузовые емкости должны располагаться на следующих расстояниях от обшивки:

- суда *типа 1 и 2*: от бортовой обшивки на расстоянии не меньше поперечной протяженности повреждения и от теоретической линии обшивки днища в диаметральной плоскости на расстоянии не меньше вертикальной протяженности повреждения, но в любом случае не меньше 760 мм от наружной обшивки;

- к судам *типа 3* требования не предъявляются.

Количество груза при перевозке на судне типа 1 не должно превышать 1250 м³ в любой одной емкости.

Количество груза при перевозке на судне типа 2 не должно превышать 3000 м³ в любой одной емкости.

Выводы. Материалы статьи позволяют выбрать тип и формы, а также определить параметры судна для перевозки определенных видов газов и химовозов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кохановский К.В., Ларкин Ю.М. Проектирование газозовов. – М.: ЦРИА «Морфлот», 1981.
2. Российский морской регистр судоходства: Правила классификации и постройки химовозов. – СПб.: МРС, 2006.
3. *International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk*. – London: IMO (IBC Code), 2007.
4. *International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGG Code)*. – London: IMO, 2004.
5. Зайцев В.В., Коробанов Ю.Н. Суда-газовозы. – Л.: Судостроение, 1990.

Стаття надійшла до редакції 02.10.2014

Рецензенти:

кандидат технічних наук, старший науковий співпрацівник
Морського інженерного бюро **А.Е. Нильва**

кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія та проектування
корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського
університету **О.О. Каніфольський**