

УДК 629.12 + 621.69

Чепалис И.В., Козьминых Н.А.
ОНМА

ПОВТОРНОЕ СЖИЖЕНИЕ ГАЗОВ КАК МЕТОД СТАБИЛИЗАЦИИ ДАВЛЕНИЯ В ГРУЗОВЫХ ТАНКАХ МЕТАНОВОЗОВ

Последние годы прослеживается тенденция роста мирового экспорта сжиженного природного газа (СПГ). В 2000 г. мировой экспорт составлял 120 – 130 млрд. м³, а в 2010 г. составил порядка 200 млрд. м³. Наиболее выгодным способом транспортировки СПГ на расстояния, превышающие 1000 морских миль, является его перевозка морем на специализированных танкерах-метановозах. Количество произведенных метановозов также увеличилось. На конец 1998 г. в мире эксплуатировалось 108 метановозов [1]. На сегодняшний день их количество составляет 420 единиц, а общий объем грузовых танков достигает 58 милл. м³.

Повышение эффективности пропульсивного комплекса и минимизация потерь груза ведет к совершенствованию технологии перевозки СПГ. Примером чего служит внедрение на метановозы пропульсивных комплексов с дизельными двигателями. Однако, возникает проблема утилизации испарившегося газа, который приводит к повышению давления в грузовых танках. Проблема стабилизации давления в грузовых танках метановозов рассматривается многими учеными, инженерами ведущих судоходных компаний-перевозчиков СПГ и судостроителями.

Метан перевозят при давлении близком к атмосферному и температуре -163°C. Танки метановозов в зависимости от типа рассчитаны на рабочее давление не более чем 0,7 кгс/см². Из-за теплообмена танков с окружающей средой, часть груза испаряется, что приводит к повышению давления в танках. Стабилизация давления в танках метановоза осуществляют различными способами:

1. Стравливают давление в атмосферу.
2. Используют пары груза в качестве топлива.
3. Повторно сжижают испарившийся газ и возвращают в танки [2].

Первые метановозы утилизировали испарившийся груз стравливанием избыточного давления в атмосферу. Анализируя таблицу 1, становится очевидным, что такой метод является чрезвычайно расточительным. Переход ко второму способу, был изначально реализован

на паротурбинном пропульсивном комплексе, где испарившийся газ сбрасывался в котел, а при излишнем испарении сжигался в газовом топочном устройстве в атмосферу.

Таблица 1. Объемы и цена испарившегося газа для метановоза объемом 142000 м³

Показатель	Судно в полном грузу	Судно в балласте
Процентное количество испарившегося газа за сутки	0,15 %	0,06 %
Объем испарившегося газа	213,0 м ³ /сут	85,2 м ³ /сут
Энергетическая ценность (минимальная теплота сгорания 50000 кДж/кг)	4528000 МДж/сут	1801617 МДж/сут
Суточная стоимость испарившегося газа	20083 USD/ сут	7992 USD/ сут
Годовая стоимость испарившегося газа	4685280 USD	

Новые технологии, позволяющие сжигать газ в качестве основного вида топлива в дизеле, привели к вытеснению паротурбинного пропульсивного комплекса дизельэлектрическим пропульсивным комплексом с четырехтактными двухтопливными дизельными двигателями (DFDE). В 2007 году такой тип пропульсивного комплекса впервые был установлен на метановоз British Emerald компании BP Shipping, объемом грузовых танков 155000 м³. Ходовые испытания British Emerald показали, что при скорости 20 узлов суточный расход дизельэлектрического пропульсивного комплекса на 40 тонн топлива меньше, чем у паротурбинного пропульсивного комплекса, установленного на идентичном метановозе. На сегодняшний день дизельэлектрическим пропульсивным комплексом оборудуют метановозы объемом грузовых танков 140000 - 200000 м³. Разумеется, такая схема утилизации испарившегося газа возможна только при договоренности судовладельца и грузоотправителя. Либо когда судовладелец и является грузоотправителем, как, к примеру, судоходные компании BP Shipping, BW Gas, Hoegh LNG, Teekay LNG, M.I.S.C, "K" Line LNG Shipping, Golar LNG, SovComFlot. Для сжижения оставшихся паров груза, которые не были утилизированы в дизеле, применяют установку повторного сжижения газов (УПСГ).

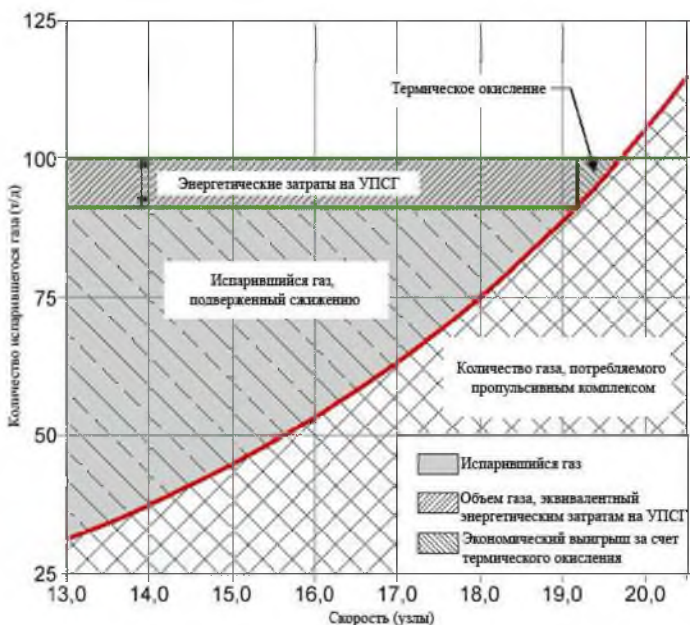


Рис. 1 Зависимость расхода газового топлива от скорости судна для метановоза объемом грузовых танков 142000 м³

На рисунке 1 показан пример рациональности применения установки повторного сжижения газов. Кривая показывает зависимость расхода испарившегося газа, потребляемого дизель-электрическим пропульсивным комплексом, от скорости судна. Для метановоза объемом грузовых танков 142000 м³ суточное количество испарившегося газа составляет 100 т. К примеру, если судно идет при скорости 18 узлов, тогда при отсутствии УПСГ теряется 25 т груза в сутки. При малом ходе экономическая эффективность и целесообразность использования УПСГ очевидна [3].

Метановозы объемом грузовых танков свыше 200000 м³ оборудуют пропульсивным комплексом двухтактного дизельного двигателя с прямой передачей крутящего момента на винт (DRL), такая схема реализована на метановозах Q-Flex и Q-Max компании Qatargas. В данном случае ГД работает на остаточных сортах топлива, а испарившийся газ подвергается повторному сжижению в УПСГ.

Судовые системы сжижения природного газа представляют собой двухконтурную систему с общим теплообменником. В качестве

хладагента применяют N2 (азот). Азотный контур работает по обратному циклу Брайтона (рис. 2).

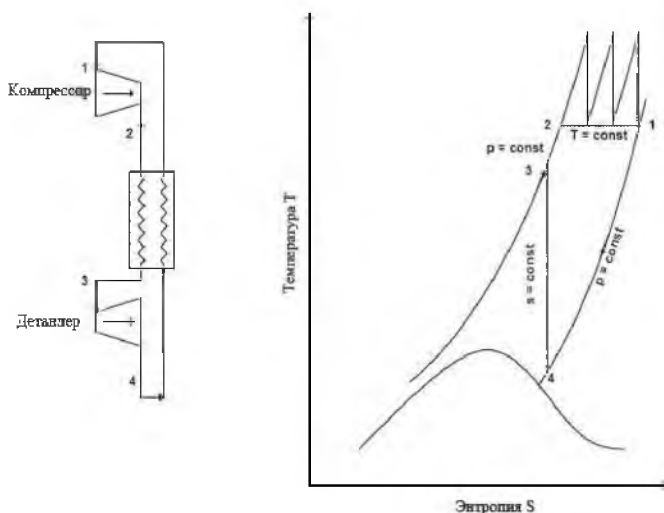


Рис. 2 Обратный цикл Брайтона

Газ сжимается изотермически в трехступенчатом компрессоре с промежуточным охлаждением (рис. 2). Затем газ проходит через теплообменник при постоянном давлении, в котором происходит обмен энергией с отходящим потоком низкого давления. От точки 3 до точки 4 происходит изэнтропное расширение в детандере. От точки 4 до точки 1 холодный газ нагревается до начальной температуры, отводя энергию при постоянном давлении от входящего потока высокого давления [4].

Для метанолиза вместительностью грузовых танков 142000 м³ установка рассчитана на производительность 2000 кг/ч и на автоматическую регулировку производительности от 20 до 100%.

Грузовой контур состоит из пластинчатого криогенного теплообменника, сепаратора, насоса и трубопроводной арматуры (рис. 3).

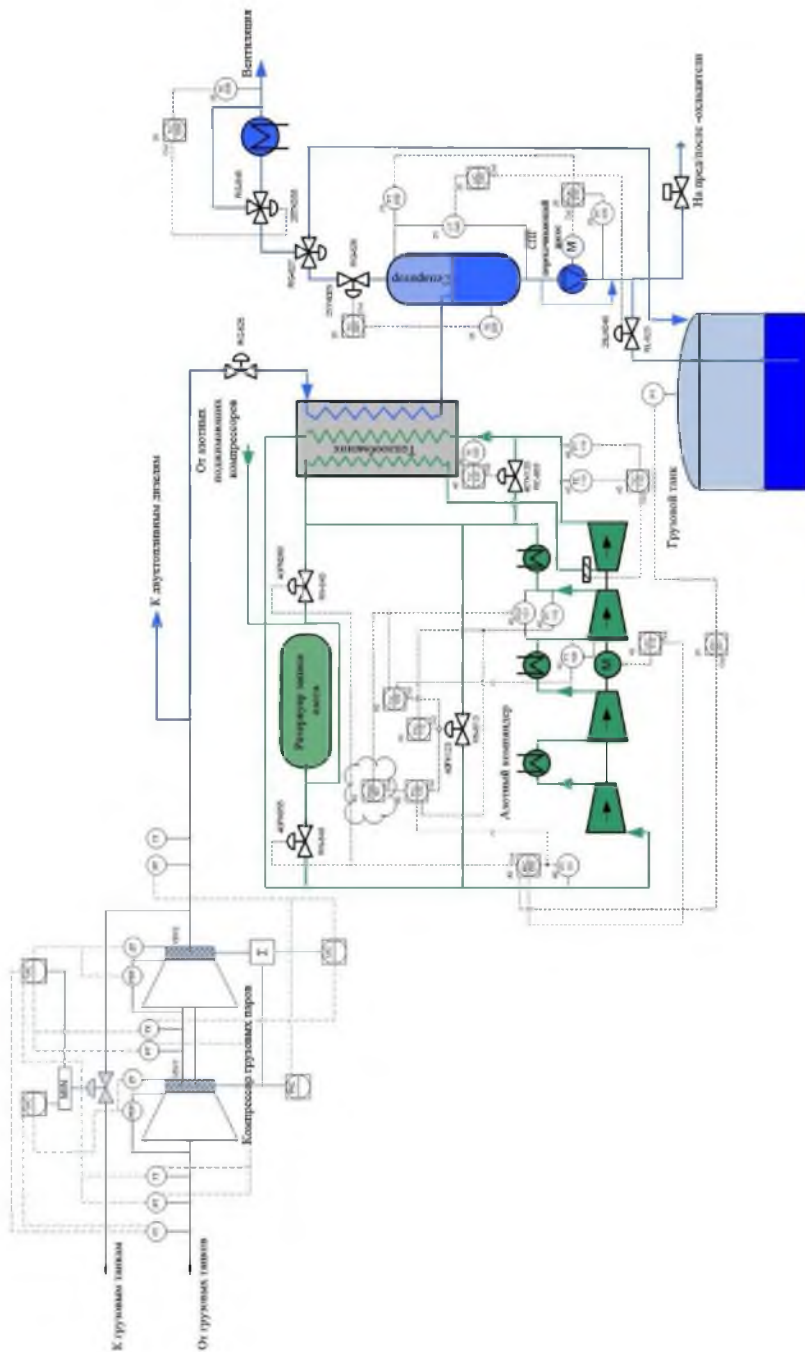


Рис. 3 Принципиальная схема УПС

Испарившийся газ поступает в систему сжижения газа приблизительно при $5,5 \text{ кгс/см}^2$ и температурном диапазоне $0 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$. В верхней части криогенного теплообменника испарившийся газ предварительно охлаждается, таким образом, происходит снятие перегрева и затем конденсируется на дне. Сконденсированный газ поступает в сепаратор. В зависимости от режима работы УПСГ вновь сжиженный груз будет возвращен в грузовые танки двумя различными методами. В режиме свободного потока в теплообменник СПГ из сепаратора отбирается перекачивающим насосом. В режиме подачи газа в теплообменник компрессором грузовых паров, газ вернется в грузовые танки под воздействием перепада давлений между сепаратором и грузовым танком. Часть сжиженного газа будет использоваться для предварительного охлаждения газа перед компрессором.

В случае повышения давления в танках увеличится давление всасывания компандера, которое приведет к более интенсивной конденсации паров груза. В результате этого понизится давление на выходе компрессора грузовых паров. Регулятор давления на выходе компрессора развернет направляющие лопатки диффузора таким образом, чтобы удерживать давление постоянным, тем самым увеличивая поток газа в компрессор грузовых паров и таким образом уменьшить давление в танке до заданного значения. Когда давление в танках уменьшится ниже заданного значения, произойдут обратные процессы [5].

Азотный контур, в свою очередь, состоит из осушителей азота, поджимающих компрессоров, резервуара запаса хладагента, трехступенчатого центробежного компрессора, детандера, трех газоохладителей, охлаждаемых пресной водой, и одного пластинчатого трехходового криогенного теплообменника. Охлаждение происходит за счет цикла сжатия - расширения. Азот с максимальным давлением $10,7 \text{ кгс/см}^2$ сжимается приблизительно до 54 кгс/см^2 в трехступенчатом центробежном компрессоре и после каждой ступени сжатия охлаждается пресной водой в газоохладителях [6].

Анализ действующих метановозов и заказов на 2014 - 2015 гг. показывает, что УПСГ является незаменимым механизмом современного метановоза. Механизм малоизучен с точки зрения эксплуатации и надежности. УПСГ является элементом сложной технической системы энергетического комплекса метановоза. Последствием отказа этого элемента будет неконтролируемое повышение давления в грузовых танках, что вызовет подрыв предохранительных клапанов

и потерю части груза, а в некоторых случаях может привести к разрушению танка. Таким образом, в настоящее время проблемы надежности и эксплуатации УПСГ приобрели большое значение для морских судов, т.к. их решение обеспечивает безопасность и эффективность транспортировки СПГ морем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцев В.В. Коробанов Ю.Н. Суда – газовозы. - Ленинград : Судостроение, 1990 – 300 с.
2. С.П. Баскаков Перевозка сжиженных газов морем. - Санкт-Петербург : Судостроение, 2001 - 282 с.
3. Manfred Küver Chris Clucas, Nils Fuhrmann GASTECH // EVALUATION OF PROPULSION OPTIONS FOR LNG CARRIERS. - 2002 - 12 pg.
4. R.F. Barron Cryogenics systems [Книга]. - [б.м.] : Oxford University Press, 1985 – 406 pg.
5. AS Hamworthy Gas Systems BG LNG Reliquefaction // Technical Specification. - 2009 г. – 124 pg.
6. AS Hamworthy Gas Systems Control system functional design specification // Technical Specification. - 2009 г. – 74 pg.