

Луников К.А.

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ДРЕНАЖНЫХ ПАРОВ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ТЕПЛОВОЗНОГО ГАЗОДИЗЕЛЯ

В статье рассмотрена система бездренажного хранения сжиженного природного газа для тепловозного двигателя, работающего по газодизельному циклу. Разработаны схема и принцип действия устройства, позволяющего существенно снизить непроизводительные потери газового топлива в условиях эксплуатации. Проанализированы факторы, влияющие на эффективность работы системы питания. Рассмотрены мероприятия по предотвращению внештатных ситуаций при низких температурах окружающей среды. Определены конструктивные параметры системы хранения криогенного газа для тепловозов, эксплуатируемых на железных дорогах Украины.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, сжиженный природный газ, дренажный пар, комплекс бездренажного хранения, эффективность, газоперекачивающий блок.

Актуальность исследования. В настоящее время одним из наиболее перспективных и экологически чистых видов топлива большинства транспортных теплоэнергетических машин является природный газ (ПГ), что обуславливает как увеличение его потребителей, так и номенклатуру источников. Дизельный двигатель на природном газе производит примерно на 65% меньше выбросов оксидов азота и на 80% меньше выбросов твердых частиц, чем двигатель, оборудованный только окисляющим каталитическим нейтрализатором [1,2].

В Украине расход газа на транспорте и в промышленности на единицу потребителя равен, а в некоторых отраслях и превышает среднестатистические показатели промышленно развитых стран.

Запасы природного газа в Украине существенно превосходят запасы нефти [1,3], что предопределяет возможности реализации планов энергонезависимости транспорта от поставок светлых нефтепродуктов из-за рубежа. Тем не менее, на уровень рентабельности использования газа на железнодорожном транспорте не в последнюю очередь сказывается ценовая политика основных поставщиков, вызывающая необходимость поиска путей снижения непроизводительных затрат газового топлива в условиях эксплуатации.

Немаловажными преимуществами ПГ при использовании его в качестве моторного топлива являются, прежде всего, в 1,5-2 раза меньшая стоимость его теплового эквивалента относительно светлых нефтепродуктов, а также обеспечение более совершенных экологических показателей ДВС [2,4].

Однако, традиционное использование сжатого (до 20МПа) природного газа связано с недостатком существенного увеличения массогабаритных показателей заправочных емкостей, и снижению запаса хода на одной заправке локомотивом. Поэтому более перспективным следует признать сжиженный, путем промышленного глубокого охлаждения, природный газ (СжПГ).

Постановка проблемы. Хранение СжПГ при достаточно низких температурах ($T=110...163\text{K}$) предполагает использование теплоизолированных криогенных резервуаров. Несмотря на современный уровень развития теплоизоляции, одной из главных проблем хранения двухфазного СжПГ является необходимость периодического перепуска части паров газа, чаще всего в атмосферу, для предотвращения аварийного роста давления от неизбежного теплообмена с окружающей средой. Такие потери ценного топлива существенно снижают экономичность силовой установки и экологический эффект от применения более чистого газа. Основной задачей разработки комплекса бездренажного хранения СжПГ и дальнейшей оптимизации его параметров является достижение наибольшего показателя эффективности (ПЭ) при сохранении приемлемых массогабаритных показателей и требуемой производительности. Под ПЭ понимается отношение теплоты сохраненной с дренажными парами СжПГ к теплоте, затраченной на их аккумуляцию.

Теоретический анализ исследования. Активный интерес ряда крупнейших иностранных компаний (Royal Dutch/Shell Group, ExxonMobil Corp и др.) вызывает именно сжиженный природный газ, т.н. LNG или LPNG. Подтверждением этому является дальнейший рост морских поставок СжПГ и долгосрочные планы ряда стран по постройке газозовов с криоцистернами и заводов-причалов по регазификации СжПГ [3,4,5].

Замечательной особенностью использования СжПГ в ДВС является дополнительное снижение выбросов вредных веществ с отработавшими газами, благодаря криогенной очистке газа в процессе его сжижения, и, как следствие, постоянство теплотехнических свойств топлива независимо от месторождения газа и местоположения заправочной сети.

Известны следующие способы предотвращения роста давления в основном резервуаре [4,6,7,8,9,10,11]:

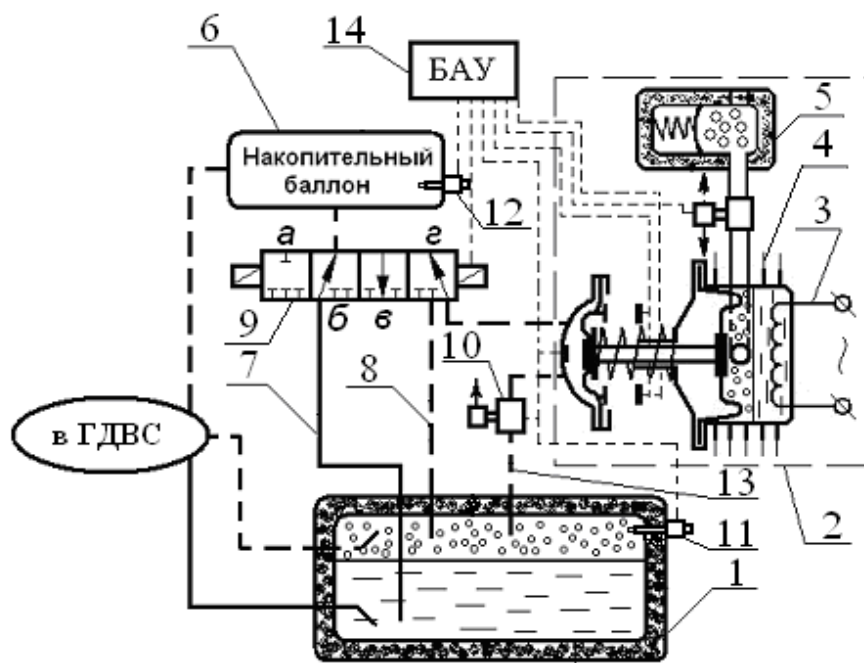
- поддержание комфортной температуры в резервуаре охлаждением его оболочки;
- пересжижение паров СжПГ вне резервуара;
- утилизация дренажируемых паров в отдельных емкостях.

Реализация первых двух способов сопряжена со значительным усложнением конструкции и удорожанием системы питания, ввиду необходимости использования криогенных компрессоров, теплообменников и детандерных машин. К тому же энергозатраты на привод холодильных агрегатов в значительной степени нивелируют экономический эффект сохранения топлива.

Цель статьи. Целью статьи является совершенствование схемы системы хранения криогенного газового топлива на тепловозе, обеспечивающей минимизацию потерь дренажного газа и определение рациональных значений исследуемых параметров соответствующих требуемой производительности.

Задачи исследования. Основной задачей исследования является оценка влияния различных факторов на эффективность работы комбинированной системы питания и хранения СЖПГ тепловозного газодизеля.

Результаты исследования. Перспективным направлением решения проблемы минимизации потерь дренажного газа при автономном хранении СЖПГ, является утилизация паров в отдельные емкости с применением разработанного на кафедре «ДВС и машиноведение» ВГУ им.В.Даля под руководством проф. Крайнюка А.И. [12] комплекса бездренажного хранения СЖПГ системы питания ДВС (рис.1).



— линии жидкого СЖПГ; - - - линии паробразного СЖПГ;
 ---- электрические линии

1- теплоизолированный резервуар; 2- газоперекачивающий блок; 3- нагревательный элемент; 4-оробренный гидроцилиндр; 5- теплоизолированный аккумулятор; 6- накопительный баллон; 7-жидкостный канал; 8- паровой канал; 9- четырехпозиционный золотниковый элемент; 10-электромагнитный клапан; 11,12- датчик давления; 13- дренажный канал; 14- блок автоматического управления.

Рис. 1. Схема комплекса бездренажного хранения СЖПГ системы питания тепловозного газодизельного ДВС

В приведенной схеме избыточные пары СЖПГ нагнетаются посредством специального газоперекачивающего блока (ГПБ) 2 в накопительный баллон 6 высокого давления с последующим использованием сжатого газа в качестве топлива ДВС. Принцип действия ГПБ 2 основан на использовании эффекта периодического расширения и последующей конденсации легкокипящей жидкости (ЛКЖ) в оробренном гидроцилиндре 4 при соответствующем ее нагревании нагревательным элементом 3 и естественном охлаждении. Таким образом, тепловая энергия любого происхождения является единственным энергетическим источником работы комплекса. Примечательно, что весь перекачиваемый в накопительные баллоны газ используется как топливо в ДВС, возобновляя тем самым аккумулирующую способность комплекса и обеспечивая длительное бездренажное хранение СЖПГ. Благодаря отсутствию компрессорных агрегатов с механическим приводом работа комплекса характеризуется высокой надежностью и простотой технического обслуживания. При этом ГПБ достаточно компактен, а основные габариты комплекса определяются величиной накопительных объемов.

При эксплуатации установки с газодизельным ДВС в условиях низких температур окружающей среды на режимах полных нагрузок возможно возникновение внештатной ситуации, вызванной падением давления в резервуаре ниже критической отметки, определяемой настройками испарителя и редуктора низкого давления, что приводит к прекращению подачи газа в систему питания ДВС и аварийной его остановке. В известных системах питания ДВС сжиженным природным газом восстановление давления в резервуаре при таких условиях достигается посредством предусмотренных для этих целей компрессионных машин, дополнительно усложняющих силовую установку [4,6,7,8].

Восстановление давления в резервуаре посредством исследуемого комплекса обеспечивается дополнением последнего несложными конструктивными элементами, а именно (см. рис.1): жидкостным 7 и паровым 8 каналами, управляемыми четырехпозиционным золотником 9 по сигналам датчиков давлений 11 и 12, установленных соответственно в паровой части резервуара 1 и накопительном баллоне 6. Принцип компенсации давления заключается в интенсификации испарения жидкой фазы СжПГ путем перепуска ее части в накопительный баллон, поверхность которого имеет непосредственный теплообмен с окружающей средой, с последующим возвратом сжатого пара в основной резервуар. Замечательной особенностью такого подхода является возможность осуществления прямого и обратного перепусков рабочего тела за счет рабочего изменения перепадов давлений между указанными объемами без применения нагнетательных устройств.

Таким образом, конструктивно несложная модернизация комплекса бездренажного хранения СжПГ позволяет значительно повысить универсальность его функционирования, обеспечивая рабочее давление в системе питания ДВС во всем диапазоне режимов эксплуатации тепловоза.

Основная задача совершенствования ГПБ заключается в снижении удельных затрат энергии на перекачивание газа в накопительный баллон. С учетом энергетической ценности утилизируемого газа, показателем эффективности ГПБ может служить отношение теплоты сгорания утилизируемого газа к теплоте, затрачиваемой на осуществление рабочего цикла.

Следовательно, достижение наибольшего показателя эффективности при сохранении приемлемых массогабаритных показателей и требуемой производительности системы является главной задачей оптимизации параметров любого разрабатываемого комплекса бездренажного хранения СжПГ.

Рассмотрим работу комплекса и определим его эффективные показатели на примере ДВС 16ЧН 26/26 газотепловоза ТЭ116Г с топливным баком объемом 7м³ при давлении хранения СжПГ 1,6МПа и температуре 163К.

Расчет будем вести для наиболее эффективной экранно-вакуумной изоляции со среднесуточными объемными потерями 0,3% газа. Тогда потери составят 8,38м³/сутки, что по массе равно 5,57 кг/сутки (0,00387 кг/мин), или по ценам на октябрь 2013г. на ПГ – 54,47грн/сутки. Однако потери могут заметно возрасти, например, в случаях брака или порыва изоляции, эксплуатации тепловоза в жарких климатических условиях, или использовании более дешевой теплоизоляции. Так, при изоляции уровня потерь в 6%, денежные потери возрастут до 1090грн/сутки при наличии дополнительного экологического ущерба.

Конечная конфигурация параметров комплекса ГПБ выбранная на основании проведенных оптимизационных расчетов следующая:

- количество используемых ГПБ – 2;
- диаметр компрессорной полости Dм = 0,15м, гидроцилиндра – Dгц = 0,3м, ход поршней с мембранами из фторопластовой ткани Sm = 0,09м;
- коэффициент оребрения гидроцилиндра Креб = 3;
- суммарная мощность нагревательных элементов Nн = 12 кВт;
- 2 накопительных баллона объемом 33 л каждый с максимальным давлением “зарядки” 12 МПа;
- масса ЛКЖ (диэтиловый эфир) – 2,7 кг;
- масса снаряженного комплекса с двумя ГПБ без топливного резервуара – 60 кг;
- пространственный объем, занимаемый комплексом – 0,24 м³.

Расчет данного комплекса показал, что два ГПБ обеспечивают производительность в 0,004кг газа/мин, что даже с некоторым запасом превосходит требуемую в 0,00387 кг/мин.

Полная “зарядка” накопительного баллона объемом 33л до 12 МПа осуществляется за 32 часа 17 минут, что при наличии двух баллонов в течение этого времени обеспечивает бездренажное хранение СжПГ с нулевым выбросом в атмосферу метана. Для увеличения времени бездренажного хранения при длительных простоях тепловоза, комплекс необходимо снабжать большим количеством баллонов.

За указанное время расход тепловой энергии составил 6,61 МДж, при этом конечный показатель ПЭ равен 29,37 единиц (при низшей теплоте сгорания СжПГ 49 МДж/кг).

Конечная оценка эффективности работы системы с учетом агрегатного генерирования электрической энергии, подводимой к нагревательным элементам, целесообразно производить величиной показателя эффективности по тепловому эквиваленту

$$ПЭ_m = \frac{m_g \cdot H_{u_g} \cdot \eta_{ИЭ}}{N_n \cdot \tau},$$

где m_г – масса утилизированного в накопительных баллонах газа, кг;

H_{u_г} = 48...50 МДж/кг – низшая теплота сгорания СжПГ;

$\eta_{ИЭ}$ - интегральный КПД преобразования энергии во всех агрегатах по пути следования к потребителю;

τ - суммарное время работы нагревателя в течение рассматриваемого периода работы ГПБ, с.

При использовании в качестве источника энергии аккумуляторных батарей, заряжаемых от электрической сети, для среднестатистических данных КПД генерирования электроэнергии в Украине ПЭт составляет 5,87 единиц.

Выводы. В результате расчетно-экспериментальных исследований выявлено, что при использовании разработанного комплекса бездренажного хранения сжиженного природного газа непроизводительные потери сводятся к нулевым при достаточном объеме накопительных емкостей.

Проведено исследование эффективности разработанной системы бездренажного хранения газа на примере газодизеля 16ЧН26/26 газотепловоза ТЭ116Г с топливным баком 7м³. Установлено, что полная “зарядка” накопительного баллона объемом 33л до 12 МПа осуществляется за 32 часа 17 минут, что при наличии двух баллонов и прочих рассматриваемых условий в течение этого времени обеспечивает бездренажное хранение СжПГ с нулевым выбросом в атмосферу метана. При этом по тепловой энергии саккумулированные пары СжПГ в накопительном баллоне превосходят в 29,37 раза энергию на их перекачивание посредством ГПБ.

Выявлены и проанализированы особенности функционирования разработанной системы хранения газа при различных параметрах окружающей среды. Создан механизм предотвращения внештатных ситуаций при эксплуатации газодизельной установки в условиях низких температур на режимах полных нагрузок, при которых возможно падение давления в резервуаре ниже критической отметки.

Литература

1. Лютко В. Застосування альтернативних палив у дизельних двигунах: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються по спеціальності “Екологія та нетрадиційні джерела енергії” / В. Лютко. – Івано-Франківськ: Полум’я, 2000. – 238с.
2. Хачиян А.С. Использование природного газа в качестве топлива для автомобильного транспорта / Хачиян А.С. // Двигателестроение. – 2002. – №1. – С.34–36.
3. Триплетт Дж. Р. Метан угольных месторождений Украины: производственный и инвестиционный потенциал шахт Донбасса: пер.с англ. / Дж. Р. Триплетт. – К.: Логос, 2000. – 132с.
4. Васильев Ю.И. Газозаправка транспорта / Ю.И. Васильев, А.И. Гриценко, К.Ю. Чириков. – М.: Недра, 1995. – 445с.
5. Гильденберг Е. Будущее мировой энергетики / Е. Гильденберг // Оборудование: рынок, предложение, цены. – М.: ЗАО «Журнал Оборудование», 2006. - №3 (111).
6. Pat. 2003106498(A) Japan, C10L3/06, F17C13/00, F25J1/00, C10L3/00, F17C13/00, F25J1/00. The system of cryogenic storage and delivery of LNG for internal combustion engine of a vehicle / Ito Kazuo, Tsuboi Takahiro, Haruta Takashi; TOHO GAS KK (JP). – Publ. 09.04.2003.
7. Pat. 57043095(A) Japan, F17C13/00, F17C13/02, F25J1/02, F17C13/00, F25J1/00. The system of cryogenic storage and delivery of LNG for internal combustion engine of a vehicle / Ito Kazuo, Kiyougora Hiroshi, Funabashi Takeshi; CHIYODA CHEM ENG CONSTRUCT CO (JP). – Publ. 10.03.1982.
8. Pat. 525598 USA, F17C1/00, F25J3/02. LNG fuel storage and delivery systems for natural gas powered vehicles / Bowen Ronald R, Minta Moses; EXXONMOBIL UPSTREAM RES CO (US). – Publ. 15.03.2005.
9. Отопительно-вентиляционные системы для подвижного состава на основе каскадных энергообменников: монография / [Ю. В. Сторчеус, А. А. Данилейченко, В. П. Левчук, и др.]; под ред. Ю. В. Сторчеуса. – Луганск : изд-во «Ноулидж», 2013. – 106 с.
10. Сторчеус Ю. В. Каскадные трансформаторы энергии: монография / Ю. В. Сторчеус. – Луганск : изд-во «Ноулидж», 2013. – 200 с.
11. Крайнюк А. И. Исследования физической сущности процессов трансформации энергии на принципах каскадно-теплового сжатия: монография / А. И. Крайнюк, Ю. В. Сторчеус; [отв. ред. Ю. В. Сторчеус]. – Луганск : изд-во «Ноулидж», 2012. – 118 с.
12. Сторчеус Ю. В. Научная деятельность кафедры ДВС ВНУ им. В. Даля / Ю. В. Сторчеус // Двигатели внутреннего сгорания: сб. науч. тр. / НТУ «ХПИ». – Х., 2011.- № 1. – С. 68 - 72.

References

1. L'otko V. Zastosuvannja al'ternativnih paliv u dizel'nih dvigunah: navch. posib. dlja studentiv vishhij navchal'nih zakladiv, shho navchajut'sja po special'nosti “EkoLOGIJA ta netradicijni dzhereda energii” / V. L'otko. – Ivano-Frankivs'k: Polum'ja, 2000. – 238s.
2. Hachijan A.S. Ispol'zovanie prirodного gaza v kachestve topliva dlja avtomobil'nogo transporta / Hachijan A.S. // Dvigatellestroenie. – 2002. – №1. – S.34–36.
3. Triplett Dzh. R. Metan ugol'nyh mestorozhdenij Ukrainy: proizvodstvennyj i investicionnyj potencial shaht Donbassa: per.s angl. / Dzh. R. Triplett. – K.: Logos, 2000. – 132s.
4. Vasil'ev Ju.I. Gazozapravka transporta / Ju.I. Vasil'ev, A.I. Gricenko, K.Ju. Chirikov. – M.: Nedra, 1995. – 445s.
5. Gil'denberg E. Budushhee mirovoj jenergetiki / E. Gil'denberg // Oborudovanie: rynek, predlozhenie, ceny. – M.: ZAO «Zhurnal Oborudovanie», 2006. - №3 (111).

6. Pat. 2003106498(A) Japan, C10L3/06, F17C13/00, F25J1/00, C10L3/00, F17C13/00, F25J1/00. The system of cryogenic storage and delivery of LNG for internal combustion engine of a vehicle / Ito Kazuo, Tsuboi Takahiro, Haruta Takashi; TOHO GAS KK (JP). – Publ. 09.04.2003.
7. Pat. 57043095(A) Japan, F17C13/00, F17C13/02, F25J1/02, F17C13/00, F25J1/00. The system of cryogenic storage and delivery of LNG for internal combustion engine of a vehicle / Ito Kazuo, Kiyogora Hiroshi, Funabashi Takeshi; CHIYODA CHEM ENG CONSTRUCT CO (JP). – Publ. 10.03.1982.
8. Pat. 525598 USA, F17C1/00, F25J3/02. LNG fuel storage and delivery systems for natural gas powered vehicles / Bowen Ronald R, Minta Moses; EXXONMOBIL UPSTREAM RES CO (US). – Publ. 15.03.2005.
9. Otopitel'no-ventiljacionnye sistemy dlja podvizhnogo sostava na osnove kaskadnyh jenergoobmennikov: monografija / [Ju. V. Storcheus, A. A. Danilejchenko, V. P. Levchuk, i dr.] ; pod red. Ju. V. Storcheusa. – Lugansk : izd-vo «Noulidzh», 2013. – 106 s.
10. Storcheus Ju. V. Kaskadnye transformatory jenerгии: monografija / Ju. V. Storcheus . – Lugansk : izd-vo «Noulidzh», 2013. – 200 s.
11. Krajnjuk A. I. Issledovanija fizicheskoj sushhnosti processov transformacii jenerгии na principah kaskadno-teplovogo szhatija: monografija / A. I. Krajnjuk, Ju. V. Storcheus ; [otv. red. Ju. V. Storcheus]. – Lugansk : izd-vo «Noulidzh», 2012. – 118 s.
12. Storcheus Ju. V. Nauchnaja dejatel'nost' kafedry DVS VNU im. V. Dalja / Ju. V. Storcheus // Dvigateli vnutrennego sgoranija: sb. nauch. tr. / NTU «HPI». – H., 2011.- № 1. – S. 68 - 72.

У статті розглянута система бездренажного зберігання зрідженого природного газу для тепловозного двигуна, що працює по газодизельному циклу. Розроблені схема і принцип дії пристрою, що дозволяє істотно понизити непродуктивні втрати газового палива в умовах експлуатації. Проаналізовані чинники, що впливають на ефективність роботи системи живлення. Розглянуті заходи щодо запобігання позаштатним ситуаціям при низьких температурах довкілля. Визначені конструктивні параметри системи зберігання криогенного газу для тепловозів, що експлуатуються на залізницях України.

Ключові слова: залізничний транспорт, зріджений природний газ, дренажна пара, комплекс бездренажного зберігання, ефективність, газоперекачуючий блок.

In article the system without loss storage of the liquefied natural gas for the diesel engine working on a gas-diesel cycle is considered. The diagram and the principle of operation of the device allowing significantly to reduce unproductive losses of gas fuel under operating conditions are developed. The factors influencing overall performance of fuel system are analyzed. Actions for preventing of non-staff situations are considered in case of low ambient temperatures. Design data of storage system of cryogenic gas for the locomotives exploited on the railroads of Ukraine are determined.

Keywords: railway transport, liquefied natural gas, drainage steam, complex without loss storage, efficiency, gas pump over unit.

Лушиков К.А. – ассистент кафедры “ДВС и машиноведение” ВНУ им.В.Даля

Рецензент: Куликов Ю.А. докт.техн.наук, профессор ВНУ им.В.Даля

Lupikov K.A.

LOWERING OF LOSSES OF DRAINAGE VAPOURS OF THE LIQUEFIED NATURAL GAS OF FUEL SYSTEM OF THE LOCOMOTIVE GAS-DIESEL ENGINE

In article the system without loss storage of the liquefied natural gas for the diesel engine working on a gas-diesel cycle is considered. The diagram and the principle of operation of the device allowing significantly to reduce unproductive losses of gas fuel under operating conditions are developed. The factors influencing overall performance of fuel system are analyzed. Actions for preventing of non-staff situations are considered in case of low ambient temperatures. Design data of storage system of cryogenic gas for the locomotives exploited on the railroads of Ukraine are determined.

Keywords: railway transport, liquefied natural gas, drainage steam, complex without loss storage, efficiency, gas pump over unit

Relevance of research. Now one of the most perspective and environmentally friendly types of fuel of the majority of transport heat power cars is the natural gas (NG), that causes both increase in his consumers, and the nomenclature of sources. The diesel engine on natural gas makes about 65% less blowouts of oxides of nitrogen and 80% less blowouts of solid particles, than the engine equipped only with the oxidizing catalyst converter [1,2].

The consumption of gas on transport and in the industry on unit of the consumer is equal in Ukraine, and in some branches and exceeds average indicators of industrialized countries.

Stocks of natural gas in Ukraine significantly surpass oil stocks [1,3], that predetermines possibilities of implementation of plans of non-volatility of transport from supply of light oil products from abroad. Nevertheless, on level of profitability of use of gas the price policy of main suppliers causing of search of ways of drop of unproductive expenses of gas fuel under operating conditions not least affects railway transport.

Important advantages of NG at its use as motor fuel are, first of all, by 1,5-2 times the smaller cost of its thermal equivalent of rather light oil products, and also providing more perfect ecological indicators of internal combustion engine (ICE) [2,4].

However, traditional use compressed (to 20MPa) natural gas is connected with a lack of essential increase in mass-gabarites indicators of filling capacities, and to cruising range drop on one filling with the locomotive. Therefore more perspective should recognize liquefied, by industrial deep cooling, natural gas (LNG).

Problem statement. LNG storage at rather low temperatures ($T=110 \dots 163K$) assumes use of the heatisolated cryogenic reservoirs. Despite a modern level of development of the thermal insulations, one of the main problems of storage of two-phase LNG is need of periodic restart-up of part of vapors of gas, most often in the atmosphere, for prevention of emergency growth of pressure from inevitable heat exchange with environment. Such losses of valuable fuel significantly reduce profitability of the power plant and ecological effect from application of purer gas. The main objective of development of a complex without loss storage of LNG and further optimization of its parameters is achievement of the greatest efficiency index (EI) at preservation of acceptable mass-gabarites indicators and the demanded productivity. EI is understood as the relation of heat kept with the LNG drainage vapors to the heat spent for their accumulation.

Theoretical analysis of research. Active interest of a row of the largest foreign companies (Royal Dutch/Shell Group, ExxonMobil Corp, etc.) causes liquefied natural gas. Confirmation to it is the further growth of sea deliveries of LNG and long-term plans of a row of the countries on construction of gas seacarriers with cryotanks and LNG regasification plants moorings [3,4,5].

Remarkable feature of use of LNG in ICE is additional drop of blowouts of harmful substances with the fulfilled gases, thanks to cryogenic purification of gas in the course of its liquefaction, and, as a result, constancy of heattechnical properties of fuel irrespective of a gas field and location of a fueling network.

The following modes of prevention of growth of pressure in the main reservoir [4,6,7,8,9,10,11] are known:

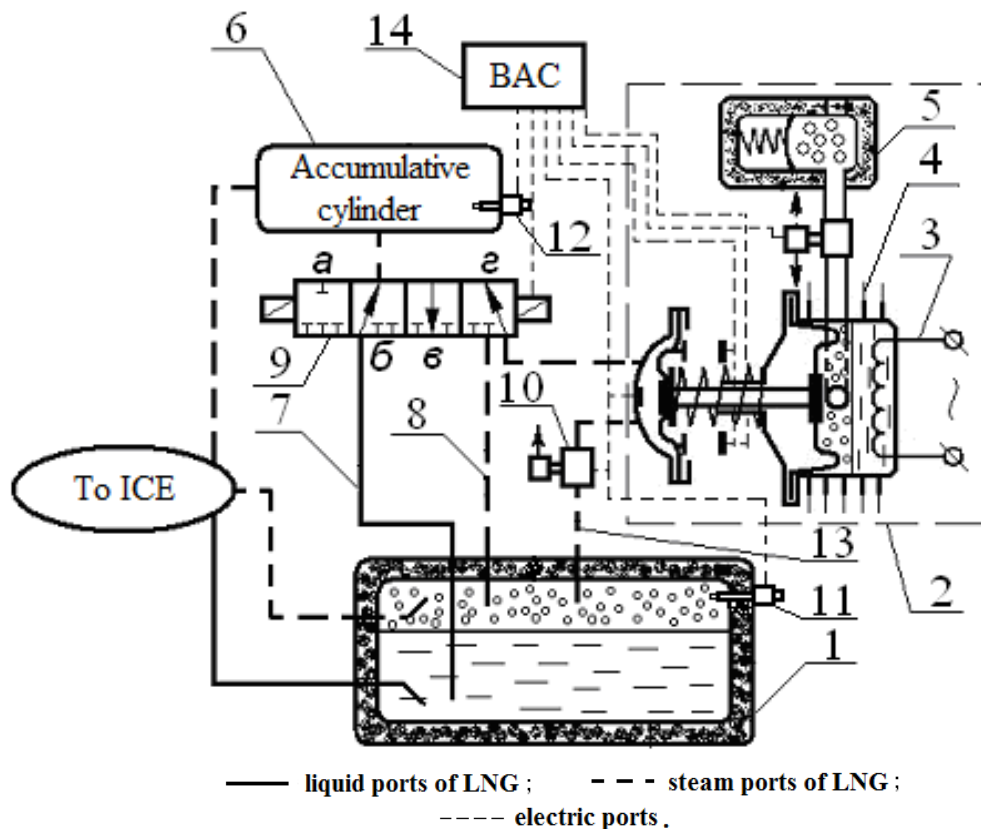
- maintenance of comfortable temperature in the reservoir cooling of its mantle;
- reliquefaction of LNG vapors out of the reservoir;
- utilization of drained vapors in separate capacities.

Realization of the first two modes is interfaced to considerable complication of a design and fuel system rise in price, in view need use of cryogenic compressors, heat exchangers and gas-expansion machines. Besides energy consumption on a drive gear of refrigerating units substantially levels economic effect of preservation of fuel.

Article purpose. The purpose of article is improvement of the scheme of system storage cryogenic gas fuel on a locomotive, providing minimization of losses of drainage gas and determination of rational values of studied parameters corresponding to the demanded productivity.

Research problems. The main objective of research is the assessment of influence of various factors on overall performance of the combined fuel system and storage of LNG of the gas-diesel engine.

Results of research. The perspective direction of a solution of the problem of minimization of losses of drainage gas at autonomous storage of LNG, is utilization of vapors in separate capacities with application of ENU named V.Dahl developed on ICE and machines maintenance chair under the leadership of prof. Krajniuk A.I. [12] complex without loss storage of LNG of the ICE fuel system (fig. 1).



1- heat-isolated reservoir; 2- gas pump over block; 3- heating element; 4- hydraulic cylinder with many ribs; 5- heat-isolated accumulator; 6- accumulative cylinder; 7- liquid port; 8- steam port; 9- four-position spool-type element; 10- electromagnetic valve; 11, 12- pressure control sensor; 13- drain port; 14- block of automatic control.

Fig. 1. Scheme of a complex without loss storage of LNG of the fuel system of gas-diesel ICE

In the provided scheme the LNG superfluous vapors are forced by means of special gas pump over block (GPB) 2 in an accumulative cylinder 6 of a high pressure with the subsequent use of the compressed gas as ICE fuel. Mode of functioning of GPB 2 is based on use of effect of periodic expansion and the subsequent condensation of easily boiling liquid in an hydraulic cylinder with many ribs 4 at the corresponding its heating by a heating element 3 and natural cooling. Thus, thermal energy of any origin is the only power source of work of a complex. It is remarkable that all gas pumped over in accumulative cylinders is used as fuel in ICE, renewing thereby heat-sink ability of a complex and providing long-term without loss storage of LNG. Thanks to lack of compressor units with a mechanical drive gear work of a complex is characterized by high reliability and simplicity of maintenance operation. At this GPB it is rather compact, and the main dimensions of a complex are defined by the size of accumulative volumes.

At installation maintenance with gas-diesel ICE in the conditions of low ambient temperatures on modes of overall loads possibly emergence of the non-staff situation caused by pressure drop in the reservoir below a critical mark, defined by settings of the evaporator and a reducer of a low pressure that leads to gas interruption in supply in the ICE fuel system and its emergency stop. In the ICE known fuel systems pressure restoration in the reservoir under such circumstances is reached by the liquefied natural gas by means of the compression machines provided for these purposes which are in addition complicating the power plant [4,6,7,8].

Pressure restoration in the reservoir by means of a studied complex is provided with addition of the last with simple constructive elements, namely (see fig. 1): liquid 7 and the steam 8 ports steered by a four-position valve core of 9 on signals of pressure sensors 11 and 12, established respectively in steam part of the reservoir 1 and an accumulative cylinder 6. The principle of compensation of pressure consists in an intensification of evaporation of liquid phase LNG by restart-up of its part in the accumulative cylinder which surface has direct heat exchange with environment, with the subsequent return of the compressed steam to the main reservoir. Remarkable feature of such approach is possibility of implementation of direct and return restart-up of a working body at the expense of working change of pressure differences between the specified volumes without use of delivery devices.

Thus, structurally simple modernization of a complex without loss storage of LNG allows to increase considerably universality of its functioning, providing an operating pressure in the ICE fuel system in all range of modes of operation of a locomotive.

The main objective of improvement of GPB consists in drop of specific expenses of energy on gas pumping in an accumulative cylinder. Taking into account the power value of utilized gas, as an of efficiency index of GPB the relation of heat of combustion of utilized gas to the heat spent for implementation of a work cycle can serve.

Therefore, achievement of the greatest efficiency index at preservation of acceptable mass-gabarites indicators and the demanded productivity of system is the main task of optimization of parameters of any developed complex without loss storage of LNG.

Let's consider work of a complex and we will define its effective indicators on the example of ICE 16ЧН 26/26 of a gas-locomotive ТЭ116Г with a fuel tank volume 7m³ with a pressure of storage of LNG 1,6MPa and temperature 163K.

Calculation we will conduct for the most effective shield-vacuum isolation with average daily volume losses 0,3% of gas. Then losses will make 8,38m³/day that on weight 5,57 kg/day (0,00387 kg/min.), or at the prices for October, 2013 on NG – 6,64\$/day are equal. However losses can increase considerably, for example, in cases of marriage or a rush of isolation, locomotive operation in hot climatic conditions, or use of cheaper heat insulation. So, at isolation of level of losses in 6%, monetary losses will increase to 133\$/day in the presence of an additional ecological damage.

Final configuration of parameters of the GPB complex the following chosen on the basis of carried-out optimizing calculations:

- quantity of used GPB – 2;
- diameter of a compressor cavity of Dm = 0,15m, a hydraulic cylinder – Dhc = 0,3m, a course of buckets with membranes from fluoroplast fabric Sm = 0,09m;
- coefficient of ribs of a hydraulic cylinder of K_{rib} = 3;
- total capacity of the heating elements Nh = 12 kW;
- 2 accumulative cylinders of 33 liter everyone with a maximum pressure of "charging" 12 MPa;
- the mass of easily boiling liquid – 2,7 kg;
- the mass of the equipped complex from two GPB without the fuel reservoir – 60 kg;
- the spatial volume occupied by a complex – 0,24 m³.

Calculation of this complex showed that two GPB provide productivity in 0,004 kg gases/min, what even with some stock surpasses demanded in 0,00387 kg/min.

Full "charging" of an accumulative cylinder 33l to 12 MPa is carried out by volume in 32 hours 17 minutes that in the presence of two accumulative cylinders during this time provides without loss storage of LNG with zero blowouts in the methane atmosphere. For increase in time of without loss storage at long idle times of a locomotive, the complex needs to be supplied with a large number of accumulative cylinders.

For specified time the expense of thermal energy made 6,61 MJ, thus the final indicator of EI is equal 29,37 units (at the lowest heat of combustion of LNG 49 MJ/kg).

Final assessment of overall performance of system taking into account modular generating of the electric energy brought to heating elements, it is expedient to make the size of an efficiency index on a thermal equivalent

$$EI_h = \frac{m_g \cdot Hu_g \cdot \eta_{ie}}{Nh \cdot \tau},$$

where m_g – the mass of the gas utilized in accumulative cylinders, kg;

Hu_g = 48 ... 50 MJ/kg – the lowest heat of combustion of LNG;

η_{ie} - integrated efficiency of transformation energy in all units on the way to the consumer;

τ - total operating time of the heater during the considered period of work of GPB, sec.

When using as a power source of the accumulator batteries charged from an electrical network, for average data of efficiency of generating of the electric power in Ukraine EI_h makes 5,87 units.

Conclusions. As a result of settlement pilot studies it is revealed that when using the developed complex without loss storage of the liquefied natural gas unproductive losses are reduced to zero at the sufficient volume of accumulative capacities.

Research of efficiency of the developed system without loss storage of gas on the example of the gas-diesel engine 16ЧН26/26 of a locomotive ТЭ116Г with a fuel tank 7m³ is conducted. It is established that full "charging" of an accumulative cylinder 33l to 12 MPa is carried out by volume in 32 hours 17 minutes that in the presence of two cylinders and other considered conditions during this time provides without loss storage of LNG with zero blowouts in the methane atmosphere. Thus the accumulated LNG vapors in an accumulative cylinder surpass in thermal energy by 29,37 times energy on their pumping by means of GPB.

Features of functioning of the developed system of storage gas are revealed and analysed at various parameters of environment. The gear of prevention of non-staff situations is created at operation of gas-diesel installation in the conditions of low temperatures on modes of overall loads at which pressure drop in the reservoir below a critical mark is possible.

References

1. L'otko V. Zastosuvannja al'ternativnih paliv u dizel'nih dvigunah: navch. posib. dlja studentiv vishhijh navchal'nih zakladiv, shho navchajut'sja po special'nosti "Ekologija ta netradicijni dzhereda energii" / V. L'otko. – Ivano-Frankivs'k: Polum'ja, 2000. – 238s.

2. Hachijan A.S. Ispol'zovanie prirodnogo gaza v kachestve topliva dlja avtomobil'nogo transporta / Hachijan A.S. // Dvigatellestroenie. – 2002. – №1. – S.34–36.
3. Triplett Dzh. R. Metan ugol'nyh mestorozhdenij Ukrainy: proizvodstvennyj i investicionnyj potencial shaht Donbassa: per.s angl. / Dzh. R. Triplett. – K.: Logos, 2000. – 132s.
4. Vasil'ev Ju.I. Gazozapravka transporta / Ju.I. Vasil'ev, A.I. Gricenko, K.Ju. Chirikov. – M.: Nedra, 1995. – 445s.
5. Gil'denberg E. Budushhee mirovoj jenergetiki / E. Gil'denberg // Oborudovanie: rynek, predlozhenie, ceny. – M.: ZAO «Zhurnal Oborudovanie», 2006. - №3 (111).
6. Pat. 2003106498(A) Japan, C10L3/06, F17C13/00, F25J1/00, C10L3/00, F17C13/00, F25J1/00. The system of cryogenic storage and delivery of LNG for internal combustion engine of a vehicle / Ito Kazuo, Tsuboi Takahiro, Haruta Takashi; TOHO GAS KK (JP). – Publ. 09.04.2003.
7. Pat. 57043095(A) Japan, F17C13/00, F17C13/02, F25J1/02, F17C13/00, F25J1/00. The system of cryogenic storage and delivery of LNG for internal combustion engine of a vehicle / Ito Kazuo, Kiyougora Hiroshi, Funabashi Takeshi; CHIYODA CHEM ENG CONSTRUCT CO (JP). – Publ. 10.03.1982.
8. Pat. 525598 USA, F17C1/00, F25J3/02. LNG fuel storage and delivery systems for natural gas powered vehicles / Bowen Ronald R, Minta Moses; EXXONMOBIL UPSTREAM RES CO (US). – Publ. 15.03.2005.
9. Otopitel'no-ventiljacionnye sistemy dlja podvizhnogo sostava na osnove kaskadnyh jenergoobmennikov: monografija / [Ju. V. Storcheus, A. A. Danilejchenko, V. P. Levchuk, i dr.] ; pod red. Ju. V. Storcheusa. – Lugansk : izd-vo «Noulidzh», 2013. – 106 s.
10. Storcheus Ju. V. Kaskadnye transformatory jenerгии: monografija / Ju. V. Storcheus . – Lugansk : izd-vo «Noulidzh», 2013. – 200 s.
11. Krajnjuk A. I. Issledovanija fizicheskoj sushhnosti processov transformacii jenerгии na principah kaskadno-teplovogo szhatija: monografija / A. I. Krajnjuk, Ju. V. Storcheus ; [otv. red. Ju. V. Storcheus]. – Lugansk : izd-vo «Noulidzh», 2012. – 118 s.
12. Storcheus Ju. V. Nauchnaja dejatel'nost' kafedry DVS VNU im. V. Dalja / Ju. V. Storcheus // Dvigateli vnutrennego sgoranija: sb. nauch. tr. / NTU «HPI». – H., 2011.- № 1. – S. 68 - 72.

Lupikov K.A. – the assistant of ICE and machines maintenance chair of ENU named V. Dahl

Reviewer: Kulikov Yu.A. doct.tech.sc, the professor r of ENU named V. Dahl