

ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ СОСТАВА И ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ КРИО АГЕНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

К.Б. Комиссаров, доктор технических наук, профессор
А.В. Филь, кандидат технических наук, доцент
С.В. Мартемьянов, кандидат технических наук, доцент
В.В. Ольшанский, кандидат технических наук, доцент
С.В. Семергей, кандидат технических наук, доцент

Представлены результаты экспериментальных исследований электрофизических свойств, в частности, диэлектрической проницаемости ϵ сжиженного природного газа (СПГ) как смеси сжиженных газов, что актуально с практической точки зрения, а также для развития фундаментальных знаний по оценке диэлектрических вириальных коэффициентов и значений молярной поляризации метана и азота при параметрах линии насыщения.

Разработанные конструкции высокоемкостных измерительных ячеек могут быть использованы для оценки фазового состояния и состава СПГ в танках газозовов и крио емкостях криогенных топливных систем судовых газодизелей.

Ключевые слова: природный газ, жидкий азот, диэлектрическая проницаемость.

Dielkometric testing method of composition and phase state of cryo-agents, used in water transport

This article represents the results of experimental studies of electrophysical properties, in particular, the dielectric constant of "liquefied natural gas (LNG)" as a mixture of liquefied gases, that is correct from a practical point of view, as well as for the development of fundamental knowledge on estimate of the dielectric virial coefficients and the values of the molar polarization of methane and nitrogen with the line parameters saturation.

The developed designs of high-capacity measuring cells can be used to estimate the phase state and composition of LNG in gas carrier tanks and cryogenic vessels of cryogenic fuel systems of ship gas diesel engines.

Key words: natural gas, liquid nitrogen, dielectric constant.

Двигатели внутреннего сгорания, широко применяющиеся на водном транспорте, являются одними из основных потребителей жидкого топлива, получаемого из наиболее ценных составляющих природного органического сырья. Анализ используемых топлив показывает, что качественным и распространенным заменителем жидкого топлива служит природный газ [1]. Тем не менее, его использование для судовых ДВС до последнего времени считалось проблематичным из-за трудностей, связанных взрыво- и пожаро-опасностью, хранением, заправкой расходных емкостей и транспортировкой в процессе доставки и потребления. Развитие металлургии сплавов и технологии изготовления сосудов высокого давления позволило частично решить вышеназванные проблемы путем использования сжатого природного газа, а достижения криогенной техники позволили осуществлять хранение природного газа при низком давлении в жидкой фазе (температура ожижения природного газа (СПГ) при атмосферном давлении $T=112\text{K} (-162^\circ\text{C})$).

Для работы дизельных двигателей на сжиженном природном газе (СПГ) в газовый коллектор двигателя должно поступать топливо в газовой фазе при определенном давлении. Принципиальным является вид смесеобразова-

ния, организация процесса воспламенения и горения топлива в цилиндре дизеля и способы регулирования количества и качества рабочей смеси. От этого зависит выбор величины давления газа в газовом коллекторе, способа воспламенения газо-воздушной смеси и ее дозировка.

Следует особо подчеркнуть, что использование СПГ как топлива для судов обусловлено в том числе введением новых экологических норм. С 1 января 2015 года в зонах особого контроля (Sulphur Emission Control Areas – SECA), содержание серы в судовом топливе не должно превышать 0,1%. С 2020 года по всему миру будет введено ограничение на содержание серы в судовом топливе на уровне не более 0,5%. Кроме того, выброс серы при нахождении в портах Евросоюза не должен превышать 0,1-0,2%. В этой связи, судовладельцам, операторам судов и бункерным компаниям приходится рассматривать альтернативные варианты использования топлива на своих судах, и использование СПГ является одним из наиболее выгодных и экологически безвредных решений, так как позволяет исключить выбросы оксидов серы и твердых частиц, снизить на 90% выбросы оксидов азота и на 30% уменьшить выбросы углекислого газа.

В связи с развитием этого направления, а также широким внедрением в эксплуатацию тан-

керв - газозовов возникла острая необходимость в оперативной оценке состава компонентов СПГ и их изменения в результате испарения, а также уровня крио жидкости в танках и крио емкостях. Указанные операции целесообразно выполнять с помощью емкостных датчиков. Знания фактических величин, характеризующих электрофизические свойства СПГ как смеси сжиженных газов, а также других криогенных жидкостей важны и с точки зрения фундаментальных знаний.

Опираясь на теоретические обоснования [2...4], а также, принимая во внимание отношение ($\epsilon=C/C_0$), используемое для измерения диэлектрической проницаемости ϵ (C - емкость ячейки заполненной крио агентом), разработаны экспериментальные установки [5,6], позволяющие за счет увеличения нулевой емкости измерительной ячейки C_0 , обуславливающей ее чувствительность, осуществлять прецизионные измерения ϵ крио агентов в широком диапазоне температур и давлений.

На рисунке 1 представлен экспериментальный стенд для измерения ϵ крио агентов: схема измерений и система наполнения (опорожнения) автоклава. Разрез автоклава представлен на рисунке 2. Запас крио продукта хранится в емкости 1 типа РЦВ-0,5/1,6. В гелиевый крио-

стат 2 типа КГ-60/300-1, полости которого заполнены жидким азотом, помещен автоклав 3 с измерительной ячейкой 4. Автоклав 3 и измерительные электроды 1 ячейки 4 (рисунок 3) выполнены из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, поэтому процессы коррозии во время эксплуатации установки практически исключены. Калорифер 5 мощностью 1,1 кВт служит для нагрева и осуществления принудительной циркуляции термостатирующего тела в пространстве криостата, окружающем автоклав. Циркулирующее термостатирующее тело при необходимости обеспечивает теплоприток к автоклаву и изменение внутри автоклава давления p и температуры T , а также создает равномерно распределенное температурное поле по высоте и глубине автоклава. Питание калорифера осуществляется от автотрансформатора 14 типа РНО-5-250. Температурный режим внутри криостата контролируется платиновым термометром сопротивления 6 типа ТСП-5071. Отсутствие температурного градиента внутри автоклава фиксируется с помощью трех медь-константановых термопар 8, зачеканенных в боковую поверхность автоклава по высоте, трех медь-константановых термопар, введенных внутрь автоклава, рабочие спаи 7 которых расположены также по высоте автоклава. Холодные спаи термопар помещены в термостат 16 и находятся при температуре 273 К (0°C).

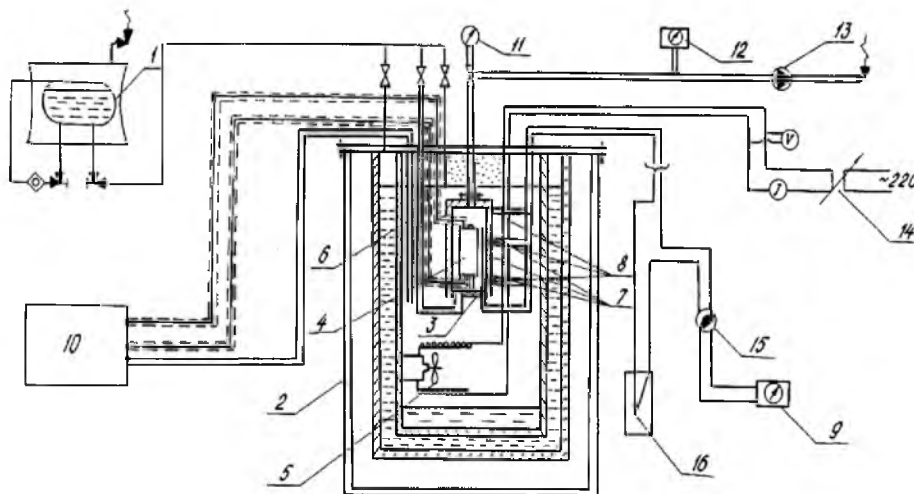


Рисунок 1 Экспериментальный стенд:

- 1 – крио емкость РЦВ-0,5/1,6; 2 – криостат гелиевый КГ-60/300-1; 3 – автоклав; 4 – измерительная ячейка;
- 5 - калорифер; 6 – термометр сопротивления ТСП-5071; 7,8 – медь-константановые термопары; 9 – потенциометр;
- 10 – измерительный мост; 11 – манометр; 12 – вакуумметр; 13 – насос вакуумный; 14 – автотрансформатор;
- 15 – пакетный переключатель; 16 - термостат

Измерение емкости и снятие показаний термометра сопротивления осуществляется автоматическим мостом переменного тока 10 типа Р-5016. Показания термопар регистрируются

потенциометром 9 типа Р-579 класса 0,005. Вакуумный насос 3 типа 2НВР-5ДМ и вакуумметр 12 типа ВИГ-2 служат соответственно для создания и измерения вакуума внутри автоклава.

Измерение давления в автоклаве в процессе опытов производилось образцовым манометром 11 типа МО-1226 класса точности 0,15.

Автоклав (рисунок 2) представляет собой цилиндрический сосуд 1 с верхней 2 и нижней 3 крышками. В цилиндрической части выполнены два отверстия 5 диаметром 2×10^{-3} м для электровводов, герметизация которых производится микролитовыми изоляторами. В верхней крышке 2 автоклава выполнены четыре несквозные отвер-

стия 6 для крепления автоклава к крышке криостата. Капилляр 7 служит для вакуумирования автоклава и подключения манометра. В нижней крышке 3 автоклава выполнены отверстия для вертикального крепления ячейки 4 и для ввода термопар в гильзу 9. По высоте цилиндра зачеканены рабочие спаи 10 еще трех медь-константановых термопар.

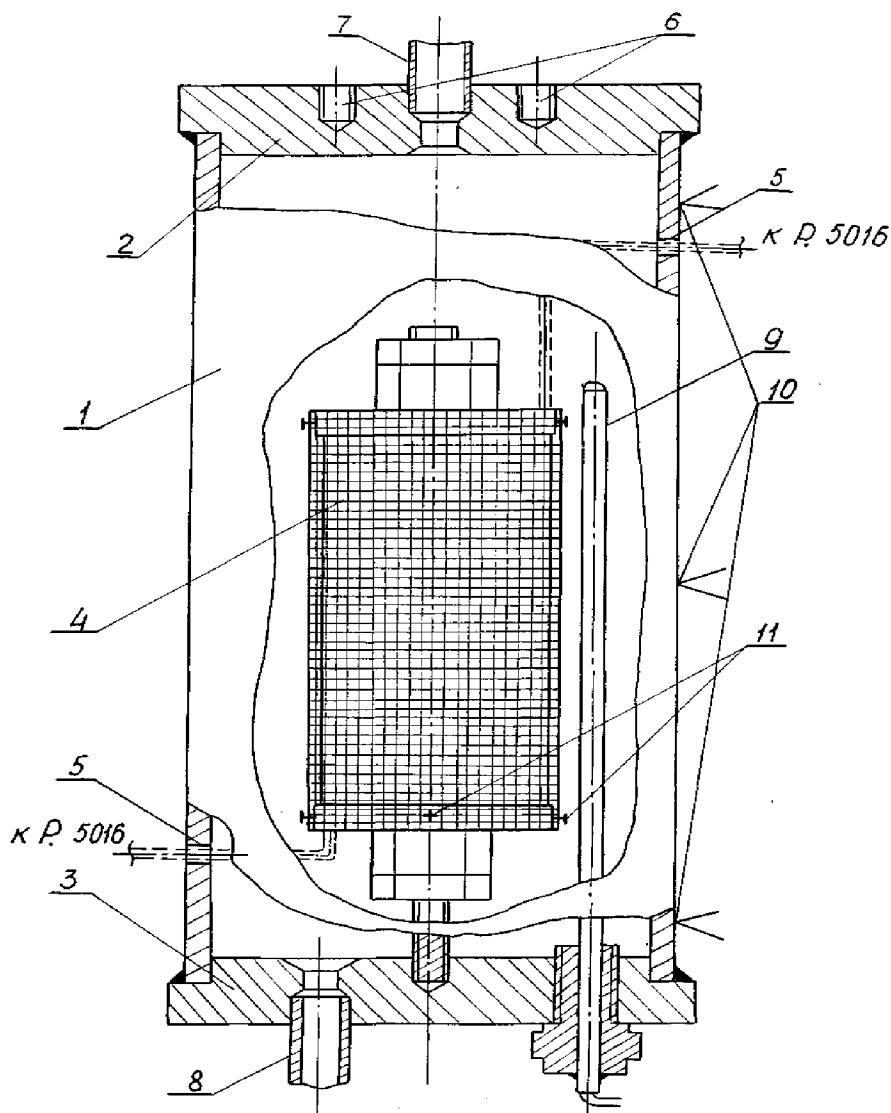


Рисунок 2 – Автоклав:

1 - боковая поверхность; 2, 3 - верхняя и нижняя крышки; 4 - ячейка; 5 - уплотнение электровводов; 6 - отверстия для крепления; 7 - трубка для вакуумирования; 8 - трубка для наполнения (опорожнения); 9 - гильза; 10 - термопары; 11 - винты для крепления бокового экрана

Капиллярная трубка 8 служит для наполнения автоклава исследуемым веществом. Измерительная ячейка (рисунок 3) представляет собой систему двенадцати коаксиальных цилиндров 1. Толщина стенки каждого цилиндра 5×10^{-4} м, зазор между цилиндрами - 1×10^{-3} м. Значительные геометрические размеры ячейки - высота 120 мм, наружный диаметр 58 мм необходимы для обес-

печения наибольшей чувствительности методики измерений и высокой точности экспериментальных данных. Емкость экранированной ячейки, измеренная в вакууме на частоте 10^4 с⁻¹ составила 1327,5 pF.

Цилиндры 1 фиксируются двумя торцевыми шайбами 2, изготовленными из фторопласта - 4, в которых выполнены прорези для про-

хождения исследуемого вещества. Конструкция жестко стянута шпилькой 4, которая служит также для крепления ячейки на нижней крышке автоклава и придает ей вертикальное положение. Соединение каждой группы измерительных цилиндров осуществлялось точечной сваркой нержавеющей электродом. Токоподводы к измерительным электродам выполнены экранированным проводом с фторопластовой изоляцией диа-

метром 5×10^{-4} м. Для исключения краевого эффекта и "утечек" в конструкции ячейки предусмотрены охранные кольца - две торцевые шайбы 3 с прорезями для прохода исследуемого вещества. Охранные кольца 3 соединены с цилиндрическим экраном - металлической сеткой 7, экранирующей всю ячейку. Торцевые и боковые экраны соединены с корпусом автоклава и с нейтралью трансформаторного моста.

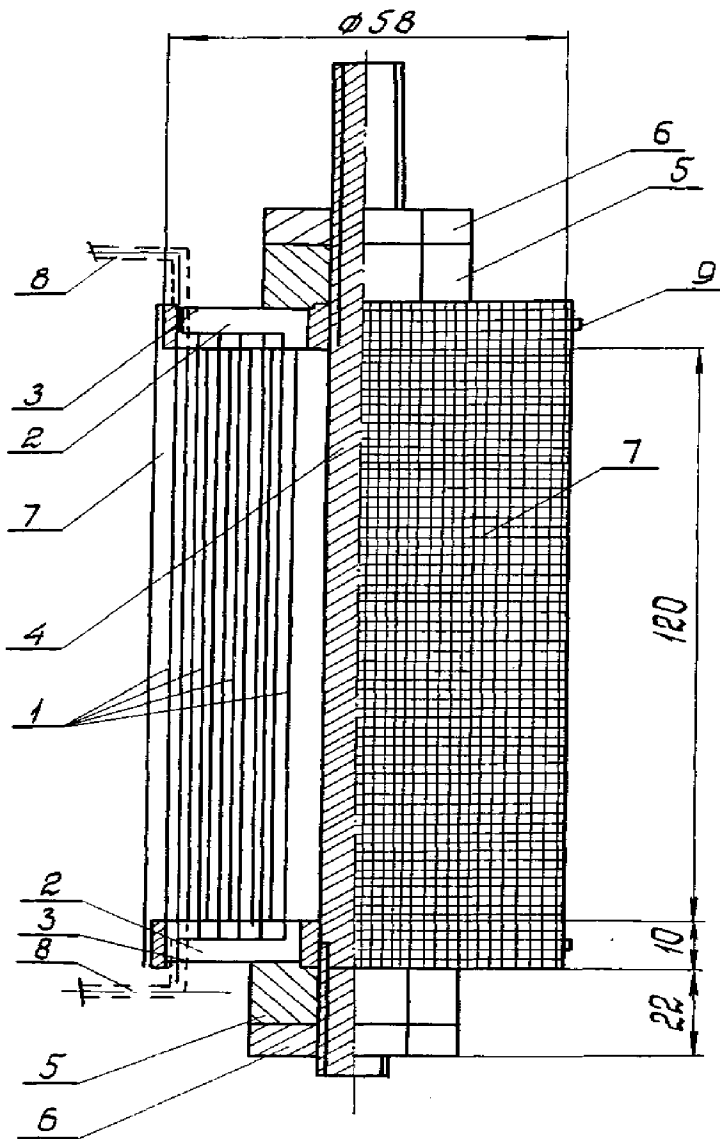


Рисунок 3 Измерительная ячейка:

- 1 - цилиндры; 2 - фторопластовые шайбы; 3 - торцевые шайбы; 4 - шпилька; 5 - гайки; 6 - контрогайка;
- 7 - боковой экран; 8 - электроводы; 9 - винты

Работоспособность созданного стенда оценивалась по зависимости измеренной величины емкости вакуумированной ячейки C_0 от частоты электромагнитного поля (табл. 1) и температуры предполагаемых исследований (табл. 2), а также в процессе наладочных опытов с жидким азотом путем сравнения получаемых данных с данными /2,3/ (рисунок 4). Среднеквадратичная погрешность полученных нами резуль-

татов по диэлектрической проницаемости составляет 0,01...0,001 % в зависимости от параметров состояния.

Методика проведения опытов заключалась в следующем. Внутренняя полость автоклава вакуумировалась и производилось измерение емкости ячейки. Внешняя и внутренняя рубашки криостата последовательно заполнялись жидким азотом и конструкция захлаживалась. Процесс

захлаживания контролировался термомпарами и термометром сопротивления. Автоклав заполнялся жидким азотом ($C_{N_2} = 99,99\%$) и запорная арматура закрывалась.

При фиксированных параметрах автоклав выдерживался два часа. При этом измерялась диэлектрическая проницаемость заполненной исследуемым веществом ячейки. Переход на другие параметры осуществлялся регулированием мощности калорифера, прокачкой жидкого азота через наружную полость криостата или сбросом части исследуемого вещества из автоклава.

Величины диэлектрической проницаемости паров азота на линии насыщения измерялись при заполнении автоклава жидким азотом в объеме, который при заранее рассчитанных параметрах состояния переходил в насыщенный пар (методика 1). Кроме этого для подачи в автоклав насыщенных паров азота использовались дополнительные сосуды: автоклав, описанный в /6/ (методика 2) и криогенная емкость РЦВ-0,5/1,6 (методика 3). Полученные данные по ϵ при различных методиках создания состояния насыщения в измерительной ячейке для паров азота приведены в табл. 3.

Таблица 1 – Зависимость емкости вакуумированной ячейки от частоты

$f \cdot 10^3, c^{-1}$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
C, пф	1327,501	1327,501	1327,502	1327,504	1327,504	1327,505	1327,505
$f \cdot 10^3, c^{-1}$	8,0	9,0	10,0	15,0	20,0		
C, пф	1327,506	1327,506	1327,506	1327,506	1327,507		

Таблица 2 – Зависимость емкости вакуумированной ячейки от температуры

T, К	77,15	97,15	126,15	140,15	160,15	175,15
C, пф	1327,500	1327,501	1327,502	1327,501	1327,502	1327,502
T, К	200,15	223,15	250,15	273,15	298,5	
C, пф	1327,503	1327,504	1327,504	1327,502	1327,502	

Таблица 3 – Диэлектрическая проницаемость паров азота на линии насыщения

p, МПа	$\rho, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$	Диэлектрическая проницаемость		
		методика 1	методика 2	методика 3
0,02	1,03	1,000112	1,000115	1,000113
0,05	2,40	1,000119	1,000120	1,000120
0,20	8,63	1,002472	1,002500	1,002489
0,50	20,69	1,006021	1,005998	1,006011
0,80	32,95	1,011815	1,011903	1,011902
1,00	41,44	1,016003	1,015991	1,016001
1,40	59,53	1,024100	1,023996	1,024002
1,70	74,43	1,030102	1,029997	—
2,10	96,88	1,042104	1,041999	—
2,50	123,97	1,061501	1,061487	—
3,00	171,47	1,085503	1,085496	—
3,30	221,59	1,116001	1,115992	—

Воспроизводимость представленных в таблице значений ϵ , а также величин ϵ жидких и перегретых азота и метана (рис. 4, 5) лежат в

пределах погрешности эксперимента.

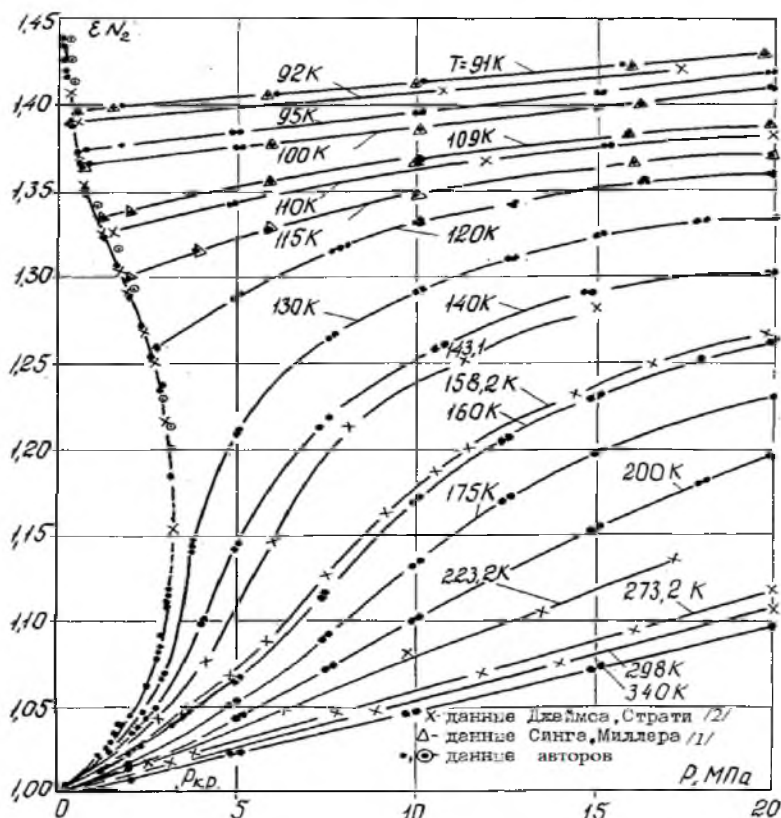


Рисунок 4 Зависимость диэлектрической проницаемости азота от давления

Кроме хорошей воспроизводимости и согласованности полученных данных с данными /2,3,4/, которые позволяют сделать вывод о работоспособности установки, можно констатировать, что при увеличении давления ϵ жидкого азота на линии насыщения падает, а ϵ газообразного азота возрастает и в критической точке их значения совпадают, что согласуется с теоретическими и экспериментальными данными для ряда веществ. В области перегретого пара азота при повышении давления диэлектрическая проницаемость возрастает, а при повышении температуры — падает.

Аналогичный характер имеет зависимость диэлектрической проницаемости метана от давления рисунок 5. Следует отметить, что абсолютные значения ϵ для метана выше, чем для азота при одинаковых параметрах состояния. Причем эта разница составляет десятые доли ϵ , что достаточно ощутимо в предлагаемой методике и позволяет оперативно оценивать состав, например, сжиженного природного газа по величине ϵ , то есть оценить количество балласта в виде азота в СПГ, а при одновременном измерении температуры или давления прецизионно, используя зависимости ϵ

(p), ϵ (h), определять другие параметры состояния (например, плотность - ρ , энтальпию - h).

Сжиженный природный газ представляет собой смесь компонентов /7/, состоящую в основном из метана ($CH_4 = 94...98,5\%$) и азота ($N_2 = 0,5...1,5\%$). Наличие того или иного количества азота в СПГ обуславливает его энергетический потенциал. Поэтому количественная оценка содержания азота и метана в СПГ является важным сертификационным показателем криогенного топлива. Для количественной оценки были проведены эксперименты по измерению ϵ жидкой смеси CH_4 и N_2 при концентрациях компонентов и параметрах состояния, характерных для криогенных топливных систем /8/.

Полученные результаты приведены на рисунке 6, отображающем зависимость $\epsilon_{CH_4+N_2}$ от концентрации компонентов (CH_4 , N_2), при $T = 95...160\text{ K}$ и $p = 0,15...8,00\text{ МПа}$. Указанная зависимость, построенная в укрупненном масштабе, позволяет определять концентрации компонентов системы с точностью до 0,01 %.

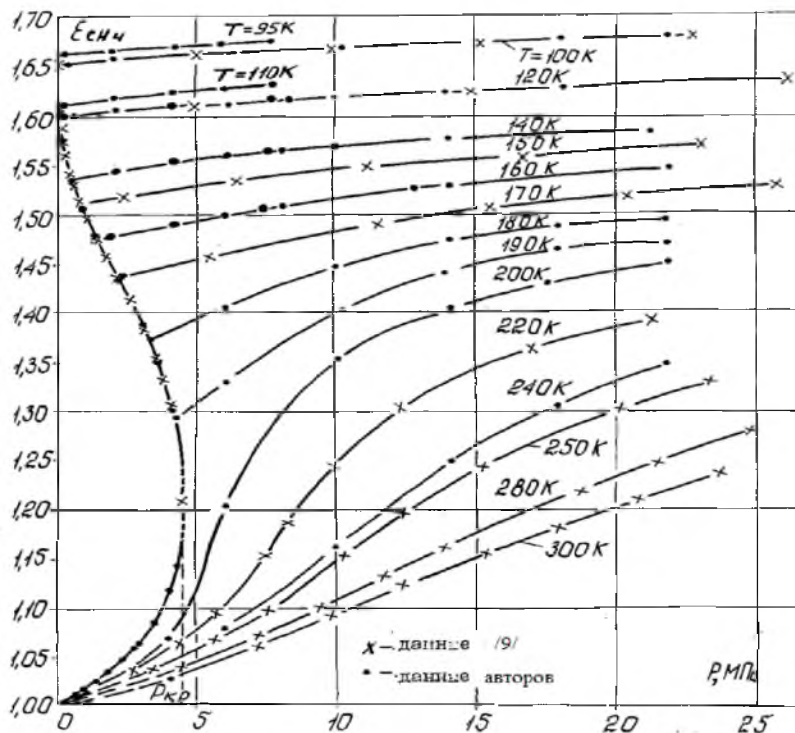


Рисунок 5 Зависимость диэлектрической проницаемости метана от давления

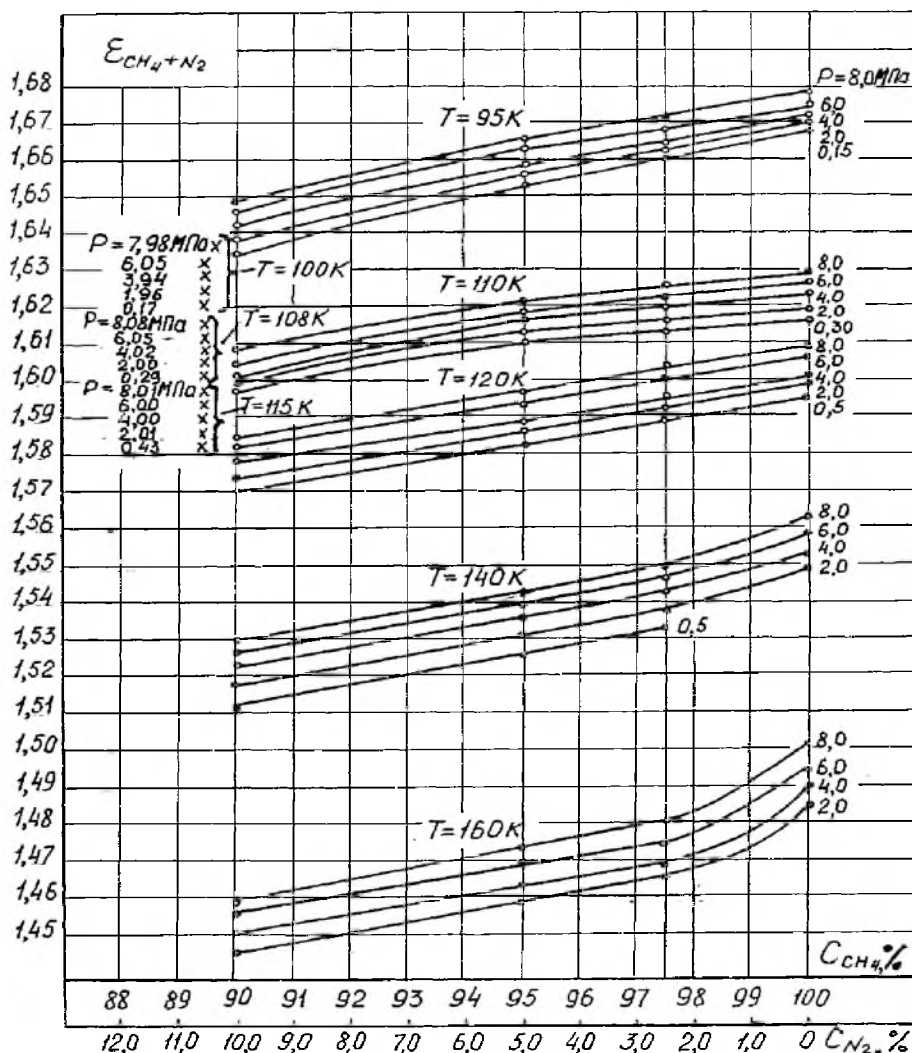


Рисунок 6 – Зависимость диэлектрической проницаемости смеси CH_4+N_2 от концентрации ее компонентов: x - данные [9]

Используя экспериментальные данные по ϵ метана и азота в жидкой и паровой фазе на линии насыщения, были рассчитаны значения молярной поляризации. Накопление экспериментальных данных по ϵ при различных параметрах состояния и для различных веществ является актуальной научной задачей, позволяющей с высокой степенью точности определять плотность крионосителей и их смесей. Кроме этого, значения ϵ (ρ), используются для нахождения первого, второго и третьего диэлектрических вириальных коэффициентов, определяющих вклады в величины молярной поляризации изолированных молекул, парных и тройных взаимодействий.

ВЫВОДЫ

1. Описан экспериментальный стенд для прецизионного измерения диэлектрической проницаемости крио агентов в широком диапазоне параметров состояния.

2. Значения диэлектрической проницаемости крио агентов позволяют определить их фазовое состояние и состав, то есть сертифицировать криогенное топливо.

3. С высокой точностью измерена диэлектрическая проницаемость насыщенных паров азота и метана, а также перегретых паров указанных веществ в диапазоне температур и давлений: $T = 91...340$ К, $p = 0,1...20$ МПа - для азота и $T = 195...240$ К, $p = 0,1...22,0$ МПа для метана, а также жидкой смеси $CH_4 + N_2$ при концентрациях компонентов и параметрах состояния, характерных для криогенных топливных систем газодизелей и технологии эксплуатации газозовов.

4. Полученные данные по ϵ жидких азота и метана согласуются с результатами предыдущих исследований с воспроизводимостью в пределах погрешности эксперимента.

5. Разработанные конструкции высокоемкостных ячеек могут быть использованы для оценки фазового состояния СПГ в танках газозовов и крио емкостях криогенных топливных систем.

6. Теоретические обоснования и экспериментальные исследования позволяют оценить диэлектрические вириальные коэффициенты и значения молярной поляризации метана и азота на линии насыщения.

Литература

1. Комиссаров К.Б., Филь А.В., Арташесян А.А. Достоинства использования сжиженного природного газа в качестве моторного топлива. Транспорт. Экономика. Социальная сфера. (Актуальные проблемы и их решения): сборник статей III Международной научно-практической конференции

/МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2016.– С. 45-49.

2. Singh S.P., Miller R.C. Compress-liquid dielectric constants and deriver excess volumes for liquid mixtures: $N_2 + CH_4$, $Ar + CH_2$ //Jornal of Chemical Thermodynamics.-1978.-vol.10.-p.47...763.
3. James F.Fly, Straty G.C. Dielectric constants and molar polarizability of saturated and compressed fluid nitrogen // Cryogenic Division/ NBS Boulder Colorado. 1974.-200p.
4. Straty G.C., Goodwin R.D. Dielectric constants and polarizability of saturated and compressed fluid nitrogen // Cryogenics.-1973.-vol.36.-p.712...715.
5. Комиссаров К.Б., Моисеенко А.Э., Муравлев О.И., Фролов А.Б. Экспериментальная установка для исследования электрофизических свойств сжиженных газов // В сб. «Вопросы теплоэнергетики и криогенной техники на ж.д.т.».– Ростов-на-Дону, РИИЖТ, 1988.– С. 66-74.
6. Комиссаров К.Б., Моисеенко А.Э. Экспериментальный стенд для исследования электрофизических свойств криоагентов. Деп. в ВИНТИ № 3956-В-916. 1991.
7. Природный газ как моторное топливо на транспорте/ Ф.Г. Гайнуллин, А.И. Гриценко, Ю.Н. Васильев, Л.С. Золотаревский.– М.: Недра, 1986.– 225 с.
8. Комиссаров К.Б. Конструктивные и технологические особенности газификаторов сжиженных газов и криогенных топливных систем для транспортных двигателей.– Ростовн/Д: РГУПС, 1996.– 164 с.
9. Straty G.C., Coodwin R.D. Dielektrik Constant and Polarizability of Saturated and Compressed Fluid Methan.- Gryogenics. 1973.vol.13, p.712.
10. Кондратьев С.И. Теоретические основы управления крупнотоннажными судами по критериям безопасности и энергосбережения: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук.– Новороссийск, 2004.
11. Хекерт Е.В., Николаев Н.И., Герасиди В.В. Контроль состояния двигателя фирмы "CATERPILLAR" CAT 3512 грунтонасосной установки земснаряда по вибрационным параметрам // Морские интеллектуальные технологии.– 2018.– № 1-1 (39).– С. 100-105.

Bibliography

1. Komissarov K.B., Fil A.A., Artashesyan A.A. The advantages of using liquefied natural gas as a motor fuel. Transport. Economy. Social sphere. (Actual problems and their solutions): collection of articles of the III International Scientific and Practical Conference /МНИЦПГСХА. - Penza: РИОПГСХА, 2016. С. 45-49.
2. Singh S.P., Miller R.C. Compress-liquid dielectric constants and deriver excess volumes for liquid mixtures: $N_2 + CH_4$, $Ar + CH_2$ //Jornal of Chemical Thermodynamics.-1978.-vol.10.-p.47...763.
3. James F.Fly, Straty G.C. Dielectric constants and molar polarizability of saturated and compressed fluid nitrogen // Cryogenic Division/ NBS Boulder

- Colorado. 1974.-200p.
4. Straty G.C., Goodwin R.D. Dielectric constants and polarizability of saturated and compressed fluid nitrogen // *Cryogenics*.-1973.-vol.36.-p.712...715.
 5. Komissarov K.B., Moiseenko A.E., Muravlyov O.I., Frolov A.B. Experimental installation for the research of the electrical properties of liquefied gases. "Issues of power engineering and cryogenic equipment on the railway", Rostov-on-Don, РИИЖТ, 1988.- 66-74.
 6. Komissarov K.B., Moiseenko A.E. Experimental stand for the study of cryoagents and their electro-physical properties. Department in All-Union Institute of Scientific and Technical Information № 3956-B-916. 1991.
 7. Natural gas as a motor fuel for transport / F.G. Gainullin, A.I. Gritsenko, Yu.N. Vasiliev, L.S. Zolotar-evsky. M.: Nedra, 1986. 225 c.
 8. Komissarov K.B. Constructive and technological features of liquefied gas gasifiers and cryogenic fuel systems for transport engines. Rostov-on-Don: Rostov State Transport University. 1996. 164 c.
 9. Straty G.C., Goodwin R.D. Dielektrik Constant and Polarizability of Saturated and Compressed Fluid Methan.- *Gryogenics*. 1973,vol.13, p.712.
 10. Kondrat'ev S.I. Teoreticheskie osnovy upravleniya krupnotonnazhnymi sudami po kriteriyam bezopasnosti i energosberezheniya. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Novorossiysk, 2004.
 11. Hekert E.V., Nikolaev N.I., Gerasidi V.V. Kontrol' sostoyaniya dvigatelya firmy "CATERPILLAR" SAT 3512 gruntonasosnoj ustanovki zemsnyarada po vibracionnym parametram/Morskije intelektual'nye tekhnologii. 2018. № 1-1 (39). S. 100-105.

УДК 621.431.74

DOI: 10.34046/aumsuomt91/17

ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ И ДВИГАТЕЛЕЙ СУДОВ ПОРТОВОГО ФЛОТА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПГ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА

А.И. Епихин, кандидат технических наук, доцент

С.А. Худяков, доктор технических наук, профессор

Статья посвящена практическим вопросам, решение которых играет ключевую роль в разработке и реализации проектов переоборудования судовых дизельных ДВС портового флота для использования газового топлива. Проанализирована структура судов портового флота, выявлены основные типы и модели используемых двигателей. Предложены типовые решения, позволяющие организовать мелкосерийное производство комплектов для экономически обоснованной конверсии ДВС в рамках осуществления текущих ремонтов.

Ключевые слова: газовая топливная система, переоборудование дизельного двигателя, экологические нормы выбросов, сгорание топлива, цена топлива.

This article is devoted to decision of practical problems, which help to develop and implement the projects of marine diesel engines conversion for gas fuel use. The structure and specifications of port fleet were explored and the basic types and models of diesel engines were found. Several typical solutions were suggested for small-series production of basic set of hardware for economically viable conversion of engines during the service and maintenance of vessels.

Keywords: gas fuel system, diesel engine conversion, ecologic exhaust regulation, fuel combustion, price of fuel.

Введение (Introduction)

В конце второй декады XXI века вопрос переоборудования судов для использования СПГ в качестве топлива получил дополнительную актуальность, поскольку, помимо высоких цен на традиционные виды морского топлива, существенно ужесточились экологические нормы, ограничивающие вредные выбросы в атмосферу, и просматривается тенденция к дальнейшему их ужесточению.

Проблематика рассматриваемого вопроса включает себя комплекс частных задач и условий, носящих конструктивный, технический, технологический и организационный характер,

при этом конкретных подходов к практической реализации мероприятий по переоборудованию судов на настоящий момент не выработана – большинство публикаций носит исключительно экономический характер.

Актуальность проблемы (The urgency of problem)

Актуальность отказа от использования нефтепродуктов в качестве моторного топлива для судов на протяжении последних лет продиктована двумя важнейшими факторами – ростом стоимости традиционных видов жидкого топлива и ужесточающимися экологическими нормами. Динамика оптовых цен на дизельное топливо в