

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-1-403-107-115  
УДК 621.892.2+613.63+62-784.2

М.А. Кича, В.С. Михайленко, Д.С. Маловик  
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург, Россия

# ЗАВИСИМОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ ТУРБИННОГО МАСЛА В ВОЗДУХЕ КОРАБЕЛЬНОГО ПОМЕЩЕНИЯ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

**Объект и цель научной работы.** Исследовать зависимость концентрации насыщенных паров турбинного масла Б-3В (ТУ 38-101295-78) в воздухе корабельного помещения от температуры в интервале от 15 до 110 °С.

**Материалы и методы.** Использован метод измерения потери массы равновесной ячейки, содержащей исследуемый образец в потоке воздуха с известной температурой и расходом, обеспечивающим насыщение воздуха парами турбинного масла.

**Основные результаты.** Экспериментальные данные, теоретически обоснованные зависимостью, обеспечивающей надежную интерполяцию и экстраполяцию.

**Заключение.** Полученные данные могут быть использованы в расчетах концентрации турбинного масла Б-3В в корабельных и иных помещениях, а также для планирования аналогичных исследований других турбинных масел и иных жидкостей с низким значением давления насыщенных паров, в т.ч. при разработке испытательного оборудования для проверки эффективности средств очистки воздуха.

**Ключевые слова:** турбинное масло, насыщенный пар, давления, концентрация, газодинамическая установка.

*Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.*

## SHIP DESIGN AND STRUCTURE

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-1-403-107-115  
UDC 621.892.2+613.63+62-784.2

M.A. Kicha, V.S. Mikhailenko, D.S. Malovik  
Kuznetsov Naval Academy, St. Petersburg, Russia

# CONCENTRATION OF SATURATED TURBINE OIL VAPORS IN SHIP SPACES AS FUNCTION OF TEMPERATURE

**Object and purpose of research.** The archival results of the study of the dependence of the concentration of saturated turbine oil vapors in the air of the ship's room on temperature in the range from 15 °C to 110 °C are presented.

**Materials and methods.** The method of measuring the mass loss of an equilibrium cell containing the test sample in an air stream with a known temperature and flow rate providing saturation of the air with turbine oil vapors is used.

**Main results.** Experimental data are theoretically justified by a dependency that provides reliable interpolation and extrapolation.

**Conclusion.** The data obtained can be used in calculating the concentration of turbine oil in shipboard and other rooms, as well as for planning similar studies of other turbine oils and other liquids with a low saturated vapor pressure. The data can also be useful in the development of test equipment to test the effectiveness of air filters.

**Keywords:** turbine oil, saturated steam, pressure, concentration, gas dynamic installation.

*The authors declare no conflicts of interest.*

*Для цитирования:* Кича М.А., Михайленко В.С., Маловик Д.С. Зависимость концентрации насыщенных паров турбинного масла в воздухе корабельного помещения от температуры. Труды Крыловского государственного научного центра. 2023; 1(403): 107–115.

*For citations:* Kicha M.A., Mikhailenko V.S., Malovik D.S. Concentration of saturated turbine oil vapors in ship spaces as function of temperature. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2023; 1(403): 107–115 (in Russian).

## Введение

### Introduction

Важной тенденцией современного развития промышленности является все более широкое применение новых высокоэффективных смазочных материалов. Данные материалы представляют собой высококипящие углеводороды и их смеси, которые обладают токсичными свойствами. Для расчета средств коллективной и индивидуальной защиты людей в корабельных и промышленных помещениях, а также процессов хранения, транспортирования и переработки турбинных масел необходимы данные по их испаряемости или по давлению насыщенных паров.

Масло Б-3В представляет собой смесь основы (от 90 до 98 % по массе) с антиокислительными и противоизносными добавками.

Основа – это сложный эфир пентаэритрита с одноосновными карболовыми кислотами следующей формулы:  $C(CH_2-OR)_4$ , где R – кислотный остаток одноосновных карболовых кислот с числом атомов углерода от 5 до 9 шт. Молекулярная масса основы составляет от 540 до 764. В качестве антиокислительной добавки применяется параоксидифениламин  $C_6H_5NHC_6H_5OH$ , а в качестве противоизносной – меркаптобензотиазол  $C_6H_4NSCSH$ .

Плотность турбинного масла при 20 °С – от 0,990 до 0,997 г/см<sup>3</sup>, температура застывания составляет –60 °С, температура вспышки – от 235 °С, ПДК в воздухе корабельного помещения – 3 мг/м<sup>3</sup>.

Предварительная оценка давления насыщенных паров показала, что речь идет о давлениях от 10<sup>-5</sup> до 10<sup>-2</sup> мм рт. ст. при актуальных для технических приложений температурах – от 15 °С до 100 °С. Непосредственное измерение таких малых давлений связано с серьезными сложностями, обусловленными соизмеримостью этих давлений с побочными «шумовыми» эффектами. Так, при измерении давления насыщенных паров статическим методом даже малое количество воздуха, растворенного в масле, может вносить погрешность, превышающую давление насыщенного пара на несколько порядков. Такую же по величине погрешность вносит гидростатическое давление столба жидкости при измерении динамическим методом.

В литературе описано несколько газодинамических установок для проверки эффективности средств очистки воздуха [1–4] и методов определения малых давлений насыщенных паров [5–10]. Наиболее точным является торсионно-эффузионный метод [6], но он разработан только для чистых

веществ, его применение для смесей связано с большими трудностями. Газохроматографический метод [5, 7] является неточным и относительным, требует частой тарировки.

В настоящей работе использована идея газохроматографического метода: продувать воздушным потоком трубку с насадкой, на которой находится исследуемый образец. При этом давление насыщенного пара определялось не по сигналу датчика, а методом определения массы вещества, унесенного в виде насыщенного пара потоком воздуха.

## Описание экспериментальной установки

### Description of test rig

В разработанной экспериментальной установке реализован метод измерения потери массы равновесной ячейкой, содержащей исследуемый образец в потоке воздуха с известной температурой и расходом. Расход воздуха выбирался таким, чтобы обеспечить насыщение воздуха парами масла. В эксперименте непосредственно измеряется масса испарившейся жидкости и объем насыщаемого образовавшимися парами воздуха при определенной температуре. Частное от деления указанных двух величин дает концентрацию насыщенных паров в воздухе, или (что то же самое) плотность паров исследуемой жидкости при температуре опыта и парциальном давлении, равном давлению насыщения.

Получаемые при этом данные позволяют рассчитать давление насыщенных паров исследуемой жидкости при известной молекулярной массе по уравнению Клапейрона – Менделеева. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

Поток воздуха через установку организуется при помощи вентилятора, засасывающего воздух из помещения лаборатории. Поток проходит через газовый счетчик 1, змеевик 4, батарею равновесных ячеек 5, омывает термометр 8 и поступает на вход вентилятора. Необходимая температура опыта создавалась при помощи термостата 2 типа УТ-15. Погрешность стабилизации температуры в термостате ±0,5 °С. В качестве термостатирующей жидкости применялась силиконовая жидкость ПЭС-5.

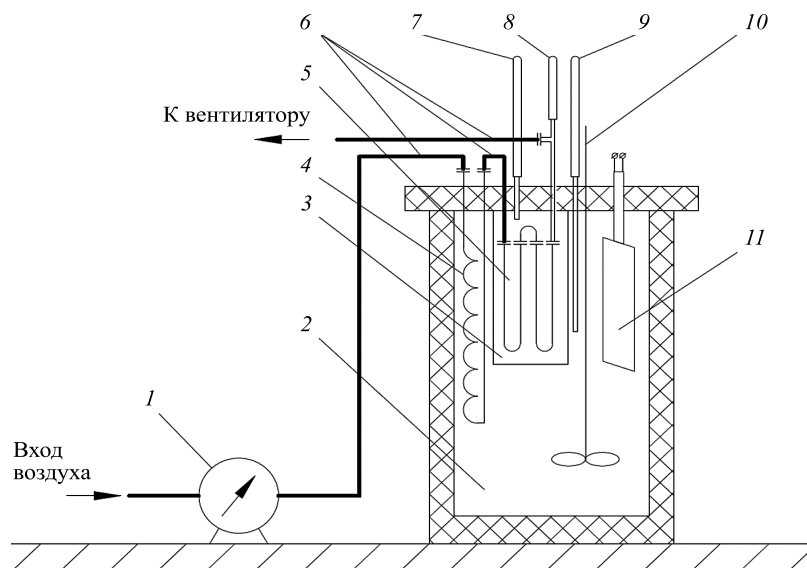
Воздух прогревался до температуры опыта при помощи змеевика 4, изготовленного из медной трубки с внутренним диаметром 5 мм и общей поверхностью теплообмена 400 см<sup>2</sup>. Насыщение воздуха парами образца осуществлялось в батарее равновесных ячеек 5, которая помещалась в термо-

**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки:

1 – газовый счетчик;  
2 – жидкостный термостат;  
3 – термостатируемый воздушный объем;  
4 – змеевик;  
5 – батарея равновесных ячеек;  
6 – соединительные шланги;  
7, 8, 9 – ртутные термометры;  
10 – мешалка; 11 – нагреватель

**Fig. 1.** Layout of test rig:

1 – gas meter; 2 – liquid thermostat;  
3 – thermostatically controlled air volume;  
4 – coil pipe; 5 – stack of equivalent cells;  
6 – connection pipes; 7, 8, 9 – mercury thermometers; 10 – mixer; 11 – heater



стируемый объем 3 и находилась в том же термостате, что и змеевик 4. Равновесная ячейка представляет собой U-образную стеклянную трубку, в одно колено которой помещается насадка, пропитанная образцом, а в другое – насадка без образца в качестве фильтра для улавливания частиц образующегося аэрозоля. Масса отдельной ячейки составляла от 20 до 25 г, что позволяло производить взвешивание на аналитических весах с ценой деления 0,0002 г.

Насадка представляет собой металлический стержень диаметром 0,8 мм, на котором укреплено от 5 до 8 элементов из стекловолокна. Такая конструкция обеспечивает развитую поверхность массообмена и турбулизацию воздушного потока при незначительном гидравлическом сопротивлении. Эксперименты показали, что масса четвертой ячейки при расходе воздуха от 100 до 250 л/ч фактически не изменялась. Это свидетельствовало о том, что в ячейку поступал уже насыщенный парами образца воздух.

Ртутные стеклянные термометры 9, 8, 7 с ценой деления 1 °С предназначены для измерения температуры термостатирующей жидкости, воздуха на выходе из последней ячейки и воздушного термостатирующего объема соответственно.

Объем воздуха, прошедшего через батарею, измерялся газовым счетчиком типа ГСБ-400 кл. 1 (ГОСТ 6463-53). Атмосферное давление измерялось метеорологическим барометром БАММ-1 с точностью  $\pm 1$  мм рт. ст.

## Методика проведения эксперимента и обработка опытных данных

### Test procedure and data processing

Перед проведением исследований каждая ячейка тщательно промывалась – сначала бензином, затем спиртом, и сушилась струей газообразного азота. После промывки в ячейки помещалась насадка и затем собиралась батарея из 4–5 ячеек. Данная батарея опускалась в термостат и продувалась воздухом при температуре опыта в течение часа для удаления влаги и частичек пыли. Воздушные ячейки взвешивались и заправлялись исследуемым образцом в количестве от 0,3 до 1,0 г, после этого ячейки снова взвешивались, собирались в батарею и помещались в термостат.

Установившийся режим, при котором температура воздуха на выходе из последней ячейки колебалась соответственно колебанию температуры в термостате и не превышала  $\pm 0,5$  °С, наступал через 20–25 мин.

Исследования производились в диапазоне расходов от 100 до 250 л/ч, при этом объем воздуха, прошедшего через установку, составлял от 0,5 до 2,0 м<sup>3</sup> на одну экспериментальную точку.

В исследованиях предполагалось, что в установку поступает газ при атмосферном давлении. Максимальный напор, создаваемый вентилятором, был равен 70 мм вод. ст., что составляет менее 1 % от атмосферного давления, а перепад давления на

входе и выходе из установки заведомо меньше, и поэтому им пренебрегали.

Количество испарившегося вещества определялось по разности массы каждой отдельной ячейки до эксперимента и после него и в сумме составляло от 2 до 50 мг на одну экспериментальную точку. Результаты измерений заносились в таблицы по формам, приведенным на рис. 2 и рис. 3.

Температура воздуха на выходе из последней ячейки определялась как среднеинтегральная по формуле

$$t_{cp} = \int_0^{\tau} t_3 d\tau, \quad (1)$$

где  $t_3$  – текущая температура, °С;  $\tau$  – общее время одного эксперимента, от 3 до 20 ч.

Такое усреднение температуры связано с наличием начального интервала от 20 до 25 мин., когда температура еще не установилась, а также в связи с возможными колебаниями температуры в процессе измерения.

Объем воздуха, прошедшего через установку при температуре опыта, определялся по формуле

$$V_t = V_0 \frac{273,15 + t_{cp}}{273,15 + t_k}, \quad (2)$$

где  $t_k$  – температура воздуха в помещении, °С;  $V_0$  – объем воздуха, прошедшего через газовый счетчик при комнатной температуре, м<sup>3</sup>.

Концентрация (плотность) паров при температуре опыта определялась с погрешностью не более ±10 % по формуле

$$\rho = \frac{M_5}{V_t}, \quad (3)$$

где  $M_5$  – суммарная масса образца, унесенного в виде насыщенного пара потоком воздуха в процессе одного эксперимента, мг.

При наличии данных по концентрации насыщенных паров образца в воздухе при заданной тем-

Номер точки	Масса ячейки без образца	Масса ячейки с образцом до эксперимента	Масса образца	Масса ячейки после эксперимента	Масса испарившегося образца	Процент испарившегося образца
	$M_1$	$M_2$	$M_3 = M_2 - M_1$	$M_4$	$M_5 = M_2 - M_3$	$M_5 / M_3 \times 100 \%$
	г	г	г	г	г	%

**Рис. 2.** Форма 1 журнала учета  
**Fig. 2.** Form 1 of Test Log

Время	Температура воздуха в помещении	Атмосферное давление	Температура в жидкостном термостате	Температура в воздушном термостате	Температура воздуха на выходе из ячейки	Расход воздуха при заданных условиях	Показания счетчика	Примечание
	$t_k$	$P$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$Q$	$V$	
	°С	мм рт. ст.	°С	°С	°С	м <sup>3</sup> /ч	м <sup>3</sup>	

**Рис. 3.** Форма 2 журнала учета  
**Fig. 3.** Form 2 of Test Log

пературе можно рассчитать давление насыщенных паров по формуле

$$P = \rho \cdot 10^{-6} \cdot \frac{R}{M} \cdot T, \quad (4)$$

где  $R$  – газовая постоянная, 8314 Дж/кмоль·К;  $M$  – молекулярная масса;  $T$  – температура, К.

## Расчетно-теоретическая часть

### Theory and calculations

Расчетно-теоретические выкладки позволяют определить оптимальное количество экспериментальных точек и тем самым значительно сократить объем затрат на исследования. Наибольший эффект получается при установлении теоретически обоснованной формы зависимости между изучаемыми величинами, коэффициенты которой определяются по данным эксперимента.

В данной работе при поиске обоснованной формы зависимости концентрации насыщенных паров от температуры исходили из следующих положений.

1. При малых давлениях насыщенного пара образца от  $10^{-5}$  до  $10^{-2}$  мм рт. ст. насыщенный пар подчиняется уравнению состояния идеального газа (Клапейрона – Менделеева).

2. Смесь паров масла Б-3В в воздухе можно рассматривать как идеально-газовую смесь, подчиняющуюся закону Дальтона, согласно которому каждый компонент в смеси ведет так, будто других составляющих здесь не существует, при этом он заполняет весь объем, предоставленный для смеси, и находится в нем при своем парциальном давлении.

Из каждого положения следует, что концентрация насыщенных паров масла Б-3В в помещении не зависит от давления воздуха, а определяется однозначно только температурой воздуха в помещении, что, в свою очередь, свидетельствует о нецелесообразности проведения экспериментов при различных давлениях воздуха.

3. В не очень широком интервале температур при сравнительно небольших значениях упругости паров логарифм давления насыщенных паров линейно зависит от обратной величины абсолютной температуры, т.е.

$$\lg P = C' - \frac{B}{T}, \quad (5)$$

где  $C'$  и  $B$  – константы для данного вещества.

Как известно, эта форма зависимости непосредственно вытекает из строгого уравнения Кла-

пейрона – Клаузиуса при указанных выше допущениях [5].

Перечисленные положения позволяют найти наиболее простую форму зависимости концентрации насыщенных паров от температуры

$$\lg \left( \rho \cdot 10^{-6} \cdot \frac{R}{M} \cdot T \right) = C' - \frac{B}{T}. \quad (6)$$

После упрощения

$$\lg(\rho \cdot T) = C - \frac{B}{T}. \quad (7)$$

В уравнении  $\rho$  и  $T$  являются непосредственно измеряемыми, а для получения констант  $B$  и  $C$  достаточно экспериментально определить концентрацию паров при двух крайних значениях температуры. Указанное обуславливает минимальный объем экспериментальных исследований.

Следует отметить, что столь безупречные выводы получаются лишь применительно к чистым веществам, имеющим конкретное значение молекулярной массы. Масло Б-3В является сложной смесью веществ с различной молекулярной массой, и, строго говоря, полученные выводы относятся лишь к наиболее низкокипящему компоненту масла. Поэтому в процессе исследования по описанной экспериментальной методике лимитировалась доля испарившейся части образца масла Б-3В. Наиболее воспроизводимые результаты получались, если в ходе эксперимента испарялось не более 2 % массы образца.

## Результаты измерений и их обсуждение

### Measurement results and discussion

На описанной экспериментальной установке произведены измерения концентраций насыщенных паров масла Б-3В в воздухе при температурах 24, 52 и 111,3 °С. При этом ставилась задача определения концентрации наиболее летучих составляющих масла, которое представляет собой смесь множества индивидуальных азот-, серо- и кислородосодержащих органических соединений.

С этой целью контролировалась доля испаренной части образца и при дальнейшей обработке принимались во внимание лишь результаты тех экспериментов, в которых испарялось не более 2,5 % массы образца. Результаты измерений приведены в табл. 1. Во всех экспериментах масса четвертой по ходу воздуха ячейки оставалась неизмен-

ной, что свидетельствовало о насыщении воздуха парами масла Б-3В.

В табл. 1 не приведены результаты измерений, которые проводились на ячейках, содержащих частично отогнанное масло Б-3В после испарения первых 2,5 % массы свежеприготовленного образца. В этих опытах концентрация паров масла в потоке воздуха резко снижалась и составила 8 мг/м<sup>3</sup> при температуре 112 °С, т.е. уменьшалась примерно в 8 раз по сравнению с концентрацией, получаемой от свежеприготовленного образца. Таким образом, результаты, приведенные в табл. 1, относятся к наиболее летучим составляющим масла Б-3В.

Результаты измерений были использованы для расчета коэффициентов *C* и *B* в теоретически обос-

нованной форме зависимости концентрации насыщенных паров масла от температуры. Расчет коэффициентов произведен методом наименьших квадратов, в итоге получено уравнение

$$\rho = \frac{1}{T} \cdot 10^{\left(10,79664 - \frac{2449,5}{T}\right)}, \quad (8)$$

где  $\rho$  – концентрация насыщенных паров масла Б-3В в воздухе, мг/м<sup>3</sup>;  $T$  – температура воздуха, °С.

Сравнение расчетных концентраций насыщенных паров турбинного масла Б-3В в воздухе с экспериментом, а также расчетные значения концентраций при других температурах приведены в табл. 2.

**Таблица 1.** Результаты измерений концентрации паров турбинного масла Б-3В в воздухе

**Table 1.** Measurement results for B-3V turbine oil vapour concentration in the air

Температура воздуха в помещении	Атмосферное давление	Расход воздуха при температуре и давлении опыта	Температура воздуха на выходе из ячейки	Показания счетчика	Продолжительность эксперимента	Масса образца	Масса испарившегося образца	Концентрация (плотность) паров при температуре опыта
$t_k$	$P$	$Q$	$t_3$	$V$	$\tau$	$M_3$	$M_5$	$\rho$
°С	мм рт. ст.	м <sup>3</sup> /ч	°С	м <sup>3</sup>	ч	г	мг	мг/м <sup>3</sup>
24,0	739,7	0,305	24,0	1,540	5	0,3986	1,8	1,20
20,0	743,5	0,111	52,7	1,500	13,5	0,7417	9,8	5,88
17,8	748,7	0,133	111,3	0,500	3,75	2,115	45,6	69,0

**Таблица 2.** Сравнение расчетных и экспериментальных данных и расчетные значения концентраций насыщенных паров турбинного масла Б-3В в воздухе при заданных температурах

**Table 2.** B-3V turbine oil vapour concentration in the air at given temperatures: calculation results vs test data

Температура воздуха, °С	Концентрация насыщенных паров турбинного масла Б-3В в воздухе, мг/м <sup>3</sup>		Сравнение расчетных и экспериментальных данных	
	расчетная	экспериментальная	Абсолютное значение, мг/м <sup>3</sup>	Относительное значение, %
15	0,686			
24	1,203	1,200	-0,003	-0,25
30	1,710			
52,7	5,839	5,880	+0,041	+0,7
60	8,350			
75	16,56			
90	31,00			
111,3	69,24	69,00	-0,24	-0,3

Полученные данные могут быть использованы в расчетах концентрации турбинного масла Б-3В в корабельных и иных помещениях, а также для планирования аналогичных исследований других турбинных масел и иных жидкостей с низким значением давления насыщенных паров. Кроме того, эти данные можно применять при разработке испытательного оборудования для проверки эффективности фильтрующих материалов фильтр-кассет аварийных средств очистки воздуха [11–13] и фильтров очистки воздуха в целом.

Разработка испытательного оборудования для проверки эффективности фильтров очистки воздуха осуществляется, как правило, на этапе технического проекта в соответствии с перечнем специального испытательного оборудования, необходимого для контроля качества опытных и серийных образцов изделия [14, 15]. Оптимальные общие правила построения, изложения и оформления технического описания специального испытательного оборудования – в соответствии с [16].

Авторы выражают благодарность сотрудникам испытательной лаборатории С.Д. Лабинову, Ю.А. Солдатенко, А.Г. Мамчичу.

## Список использованной литературы

1. Основные технические решения и характеристики газодинамической установки для создания многокомпонентных газоздушных сред, используемой для проверки средств очистки воздуха / *В.В. Зайцева, М.А. Кича, Д.С. Маловик* [и др.] // Вестник МАНЭБ. 2021. Т. 26, № 3. С. 49–53. EDN: NFWMUU.
2. Основные технические решения и характеристики установки газодинамической стационарной, используемой для проверки средств очистки воздуха от оксида углерода и водорода / *О.Н. Половинкина, Е.И. Кича, М.А. Кича* [и др.] // Вестник МАНЭБ. 2021. Т. 26, № 4. С. 19–23. EDN: RPJPLU.
3. Основные технические решения и характеристики установки газодинамической стационарной, используемой для проверки средств рециркуляционной очистки воздуха малых гермообъектов от оксида и диоксида углерода / *О.Н. Половинкина, Е.И. Кича, М.А. Кича* [и др.] // Вестник МАНЭБ. 2021. Т. 26, № 4. С. 24–28. EDN: JDAHMC.
4. Установка газодинамическая ГДУ : [описание] : изготовитель Саратовский военный ин-т биологической и химической безопасности. Саратов, 2008. 5 с. № гос. регистрации 38717-08.
5. *Bell G.N., Groszek A.J.* The estimation of low vapour pressures using a flame ionization detector in a continuous flow system // *Journal of the Institute of Petroleum*. 1962. Vol. 48, № 466. P. 325–332.
6. Determination of the vapour pressures of o-, m-, and p-dinitrobenzene by the torsion-effusion method / *D. Ferro, V. Piacente, R. Gigli, G. D'Ascenzo* // *Journal of Chemical Thermodynamics*. 1976. Vol. 8. P. 1137–1143. DOI: 10.1016/0021-9614(76)90120-8.
7. *Pella P.A.* Generator for producing trace vapour concentrations of 2,4,6-trinitrotoluene, 2,4-dinitrotoluene and ethyleneglycol dinitrate for calibrating explosives vapour detectors // *Analytical chemistry*. 1976. Vol. 48, No. 11. P. 1632–1637. DOI: 10.1021/ac50005a054.
8. Определение давления насыщенных паров смазочных масел и концентратов присадок на хроматографе с плазменно-ионизационным детектором / *Э.К. Брянская, Т.Л. Лойченко, М.М. Дец, П.Л. Клименко* // *Нефтепереработка и нефтехимия*. 1977. Вып. 15. С. 47–50.
9. *Карпатьянц М.Х.* Химическая термодинамика. 3-е изд., перераб. и доп. Москва : Химия, 1975. 584 с.
10. *Мартынов В.М., Морозова В.М.* Определение давления насыщенных паров смазочных материалов // Труды ВНИИ НП. 1967. Вып. 10 : Методы исследования нефтей и нефтепродуктов, присадок, катализаторов и адсорбентов. С. 375–382.
11. Средства нормализации газоздушной среды объектов военно-морского флота после пожара и пожаротушения системой азотного пожаротушения / *С.Н. Бударин, В.В. Зайцева, М.А. Кича* [и др.] // Вестник МАНЭБ. 2021. Т. 26, № 3. С. 12–17.
12. Основные технические решения и характеристики штатного средства нормализации газоздушной среды после пожара и пожаротушения системой азотного пожаротушения / *М.А. Кича, В.С. Михайленко, А.В. Бочаров* [и др.] // Вестник МАНЭБ. 2021. Т. 26, № 3. С. 44–48.
13. Зависимость точности определения предела случайной погрешности воспроизведения или определения физической величины техническим средством от количества измерений / *В.В. Зайцева, М.А. Кича, Д.С. Маловик* [и др.] // Вестник МАНЭБ. 2021. Т. 26, № 3. С. 27–30.
14. Вариант оформления документа «Перечень специального испытательного оборудования» / *Е.И. Кича, М.А. Кича, Д.С. Маловик* [и др.] // Вестник МАНЭБ. 2022. Т. 27, № 2. С. 81–88. EDN: RMGCZZ.
15. О составе технического проекта и форме представления его документов / *С.Н. Бударин, В.С. Михайленко, О.Н. Половинкина* [и др.] // Вестник МАНЭБ. 2022. Т. 27, № 2. С. 5–13.

16. Вариант оформления документа «Техническое описание специального испытательного оборудования» / *Е.И. Кича, М.А. Кича, Д.С. Маловик* [и др.] // Вестник МАНЭБ. 2022. Т. 27, № 2. С. 89–92. EDN: CQVPJT.

## References

1. The main technical solutions and characteristics of a gas-dynamic installation for creating multicomponent gas-air environment used to test air purification means / *V.V. Zaitseva, M.A. Kicha, D.S. Malovik* [et al.] // Vestnik IAELPS (Proceedings of International Academy of Ecology and Life Protection Sciences). 2021. Vol. 26, No. 3. P. 49–53 (in Russian).
2. The main technical solutions and characteristics of the gas-dynamic stationary installation used to test the means of air purification from carbon monoxide and hydrogen / *O.N. Polovinkina, E.I. Kicha, M.A. Kicha* [et al.] // Vestnik IAELPS. 2021. Vol. 26, No. 4. P. 19–23 (in Russian).
3. The main technical solutions and characteristics of the gas-dynamic stationary installation used to test the means of recirculating air purification of small hermetic objects from carbon monoxide and dioxide / *O.N. Polovinkina, E.I. Kicha, M.A. Kicha* [et al.] // Vestnik IAELPS. 2021. Vol. 26, No. 4. P. 24–28 (in Russian).
4. Gas-dynamic installation: Description. Manufactured by Saratov Military Institute of Biological and Chemical Safety. Saratov, 2008. 5 p. State Registration ID 38717-08 (in Russian).
5. *Bell G.N., Groszek A.J.* The estimation of low vapour pressures using a flame ionization detector in a continuous flow system // Journal of the Institute of Petroleum. 1962. Vol. 48, No. 466. P. 325–332.
6. Determination of the vapour pressures of o-, m-, and p-dinitrobenzene by the torsion-effusion method / *D. Ferro, V. Piacente, R. Gigli, G. D'Ascenzo* // Journal of Chemical Thermodynamics. 1976. Vol. 8. P. 1137–1143. DOI: 10.1016/0021-9614(76)90120-8.
7. *Pella P.A.* Generator for producing trace vapour concentrations of 2,4,6-trinitrotoluene, 2,4-dinitrotoluene and ethyleneglycol dinitrate for calibrating explosives vapour detectors // Analytical chemistry. 1976. Vol. 48, No. 11. P. 1632–1637. DOI: 10.1021/ac50005a054.
8. Determination of saturated vapour pressure for lube oils and additive concentrate by chromatographer with plasma-ionization detector / *E.K. Bryanskaya, T.L. Loychenko, M.M. Dets, P.L. Klimenko* // Neftepererabotka I neftekhimiya (Oil Processing & Petrochemistry). 1977. No. 15. P. 47–50 (in Russian).
9. *Karapetyants M.H.* Chemical thermodynamics. 3<sup>rd</sup> edition, rev. and enl. Moscow: Khimiya, 1975. 584 p. (in Russian).
10. *Martynov V.M., Morozova V.M.* Determination of saturated vapour pressure for lube materials // Transactions of All-USSR Research Institute for Oil Processing. 1967. Vol. 10: Research methods for oils, oil products, additives, catalysts and adsorbents. P. 375–382 (in Russian).
11. Normalization tools of the gas-air environment navy's objects after a fire and fire extinguishing by nitrogen fire extinguishing system / *S.N. Budarin, V.V. Zaitseva, M.A. Kicha* [et al.] // Vestnik IAELPS. 2021. Vol. 26, No. 3. P. 12–17 (in Russian).
12. The main technical solutions and characteristics of the standard gas-air medium normalization facility after fire and fire extinguishing with nitrogen fire extinguishing system / *M.A. Kicha, V.S. Mikhailenko, A.V. Bocharov* [et al.] // Vestnik IAELPS. 2021. Vol. 26, No. 3. P. 44–48 (in Russian).
13. The accuracy dependence of determining the limit of the random error of reproduction or the determination of a physical value by technical means on the number of measurements / *V.V. Zaitseva, M.A. Kicha, D.S. Malovik* [et al.] // Vestnik IAELPS. 2021. Vol. 26, No. 3. P. 27–30 (in Russian).
14. Version of the document "List of special test equipment" / *E.I. Kicha, M.A. Kicha, D.S. Malovik* [et al.] // Vestnik IAELPS. 2022. Vol. 27, No. 2. P. 81–88 (in Russian).
15. On the composition of the technical project and the form of submission of its documents / *S.N. Budarin, V.S. Mikhailenko, O.N. Polovinkina* [et al.] // Vestnik IAELPS. 2022. Vol. 27, No. 2. P. 5–13 (in Russian).
16. Version of the document "Technical description of special test equipment" / *E.I. Kicha, M.A. Kicha, D.S. Malovik* [et al.] // Vestnik IAELPS. 2022. Vol. 27, No. 2. P. 89–92 (in Russian).

---

## Сведения об авторах

*Кича Максим Александрович*, младший научный сотрудник НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». Адрес: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30. Тел.: +7 (812) 405-07-35. E-mail: rulmaks@bk.ru.

*Михайленко Вадим Сергеевич*, научный сотрудник НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». Адрес: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30. E-mail: vami60@yandex.ru.

*Маловик Дмитрий Сергеевич*, младший научный сотрудник НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». Адрес: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30. E-mail: dimamalovik@gmail.com.



### **About the authors**

*Maksim A. Kicha*, Junior Researcher, Naval Shipbuilding and Armaments Research Centre, Kuznetsov Naval Academy. Address: 30, Chapaeva st., St. Petersburg, Russia, post code 197101. Tel.: +7 (812) 405-07-35. E-mail: rulmaks@bk.ru.

*Vadim S. Mikhailenko*, Researcher, Naval Shipbuilding and Armaments Research Centre, Kuznetsov Naval Academy.

Address: 30, Chapaeva st., St. Petersburg, Russia, post code 197101. E-mail: vamih60@yandex.ru.

*Dmitry S. Malovik*, Junior Researcher, Naval Shipbuilding and Armaments Research Centre, Kuznetsov Naval Academy. Address: 30, Chapaeva st., St. Petersburg, Russia, post code 197101. E-mail: dimamalovik@gmail.com.

Поступила / Received: 10.10.22

Принята в печать / Accepted: 02.02.23

© Кича М.А., Михайленко В.С., Маловик Д.С., 2023