

УДК 614.844.4

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙНИХ МЕЖ ПОШИРЕННЯ ПОЛУМ'Я ТА ФЛЕГМАТИЗУВАЛЬНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ АВІАЦІЙНОГО ПАЛЬНОГО JET -A1

Огурцов С.Ю.<sup>1\*</sup>, Дунюшкін В.О.<sup>2</sup>, Антонов А.В.<sup>3</sup>, Копильний М.І.<sup>1</sup>, Мілютін О.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

<sup>2</sup>ТОВ «Науково-виробнича фірма «Фактор»

<sup>3</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

АНОТАЦІЯ

Надійшла до редакції: 17.11.2020

Пройшла рецензування: 29.11.2020

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

концентраційні межі поширення полум'я, флегматизація, авіаційне паливо JET-A1, азот.

Наведено опис експериментального обладнання, методики експериментальних досліджень та результатів з визначення концентраційних меж поширення полум'я для суміші парів авіаційного пального JET-A1 з повітрям, а також визначена мінімальна флегматизувальна концентрація такого газового середовища із застосування азоту, що становить 39,2 % об.

**Постановка проблеми.** В Українському науково-дослідному інституті цивільного захисту на замовлення ДП «КБ «Південне» у 2014 році було проведено комплекс досліджень спрямованих на створення пожежо-вибухобезпечного середовища у внутрішніх об'ємах відсіків ракети носія як під час передстартової підготовки, так і в умовах польоту [1]. В межах даної статті наведено методику проведення та результати експериментальних досліджень з визначення концентраційних меж поширення полум'я та флегматизувальної концентрації суміші парів авіаційного пального Jet-A1 з повітрям за умови використання у якості флегматизатора газоподібного азоту. Ця стаття є частиною циклу статей присвячених зазначений науково-дослідній роботі. Результати вибору газової вогнегасної речовини для застосування її у системі вибухо-пожежо попередження висвітлені у статті [2].

За результатами попереднього аналізу умов утворення вибухо-пожежонебезпечного середовища в об'ємі відсіків ракети-носія [2], було визначено, що вибухонебезпечна концентрація парів

палива в об'ємах "сухих відсіків" за штатних умов роботи, може утворитись за час не менше 10,7 годин. Тому для обґрунтування параметрів роботи системи попередження пожежі та вибуху (флегматизування) "сухих" відсіків ракетно-носія під час польоту розглядався варіант аварії з витоком пального у об'єм відсіку та потрапляння його на поверхню, нагріту вище температури самоспалахування пального.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питання забезпечення вибухопожежобезпечного середовища у відсіках, паливних ємностях літальних апаратів та технологічному обладнанні присвячено ряд наукових публікацій, зокрема таких авторів як Cai Yan [3], Gatsonides J.G [4], Trevits M.[5] та ін. Разом з тим, на даний час відсутні опубліковані дані стосовно досліджень з обґрунтування параметрів систем флегматизації відсіків ракетної техніки, що використовує у якості пального авіаційне паливо Jet-A1.

**Мета статті.** Отримання необхідних вихідних даних щодо вибухонебезпечних концентрацій суміші парів авіаційного

\*S.Ohurtsov@undicz.dsns.gov.ua

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2020.15-21>

2518-1777/©2020 ІДУНДЦ ЦЗ

палива Jet-A1 з повітрям та флегматизувальних концентрацій цієї суміші за умов використання азоту в якості флегматизувальної речовини.

#### **Виклад основного матеріалу.**

Дослідження з визначення нижньої та верхньої концентраційної межі поширення полум'я пального Jet-A1 проводили на спеціально розробленій та створеній експериментальній установці (рис. 1-2), яка містила такі елементи:

сферична випробувальна камера 1 місткістю  $(8,5 \pm 0,85)$  дм<sup>3</sup>, розрахована на робочий тиск не менш як 0,6 МПа з вентилями 3 і 5 для вакуумування та введення компонентів газової суміші;

блок запалювання 8 з розрядним пристроєм 2 здатний генерувати коронний електричний розряд з енергією  $(70 \pm 2)$  Дж;

датчик тиску 7 з реєструвальним пристроєм 6, здатним фіксувати тиск від -1 до 1,5 бар з похибкою не більш як 10 % відносних;

вакуумметр 4 з межею вимірювання вакуумметричного тиску - 100 кПа класу точності 0,25;

водяний манометр 9 з метою вимірювання тиску від 0 до 6 кПа, класу точності 0,3;

вентилятор перемішування газових сумішей 10 всередині камери з блоком живлення 11;

термопара 12 типу ТХК для вимірювання температури в середині камери.

Базовим для створення такої установки було випробувальне обладнання з визначення флегматизувальних концентрацій газових горючих сумішей газовими вогнегасними речовинами, що описано в роботі [6]. Разом з тим, враховуючи параметри пожежної небезпеки Jet-A1, а саме температуру самозаймання зразка пального Jet-A1 яка становила 245°C [1], було передбачено підігрів як колби з паливом, так і установки в цілому, для унеможливлення конденсації парів на стінках випробувальної камери та з'єднувальних трубопроводах.

Дослідження з визначення нижньої /верхньої концентраційної межі поширення полум'я пального Jet-A1 здійснювали у наступній послідовності:

- вакуумували випробувальну камеру 1 до залишкового тиску не більш як 1 кПа;

- готували у камері газову суміш заданого кількісного складу за парціальними тисками компонентів шляхом послідовного введення газової горючої речовини та окисника;

- протягом не менш ніж 14 хв давали газовій суміші гомогенізуватись і досягти температури зовнішнього середовища;

- заряджали конденсатори блока запалювання 8 і створювали електричний розряд у камері;

- вимірювали пікове значення надлишкового тиску  $P_n$  у випробувальній камері;

- якщо отримане значення надлишкового тиску  $P_n$  не перевищувало 7 кПа, то шляхом вакуумування камери і подальшого введення еквівалентної кількості горючої речовини

- збільшували/зменшували концентрацію окисника і виконували операції за вище зазначеними пунктами;

процедуру за останнім пунктом повторювали доти, доки після створення електричного розряду в камері не було зафіксовано значення надлишкового тиску  $P_n$  більше ніж 7 кПа;

- за нижню (верхню) концентраційну межу поширення полум'я приймали середнє значення між концентраціями горючої речовини в суміші з окисником в точках де значення надлишкового тиску  $P_n$  становило більше ніж 7 кПа та попередніми точками, де значення надлишкового тиску  $P_n$  становило менше ніж 7 кПа.

Результати визначення нижньої/верхньої концентраційної межі поширення полум'я авіаційного пального Jet-A1 наведено у табл. 1-2.

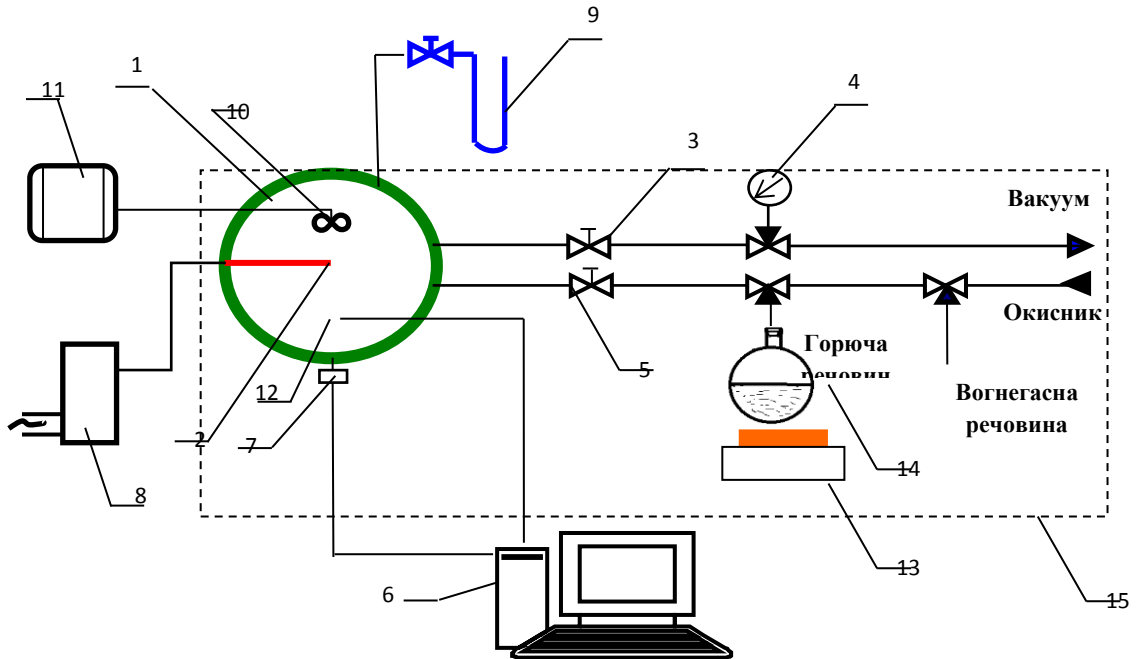


Рисунок 1 – Експериментальне обладнання для визначення мінімальної флегматизувальної концентрації

1 - випробувальна камера; 2 - розрядний пристрій; 3 - вихідний вентиль; 4 - вакуумметр; 5 - вхідний вентиль; 6 - реєструвальний пристрій; 7 - датчик тиску; 8 - блок запалювання; 9 - мановакууметр; 10 - вентилятор перемішування; 11 – блок живлення; 12 – датчик температури(термопара); 13- нагрівач; 14- скляна колба; 15- термокамера



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд експериментального обладнання для визначення мінімальної флегматизувальної концентрації

Таблиця 1 – Результати визначення нижньої концентраційної межі поширення полум'я пального Jet-A1

№ п/п	Концентрація горючої речовини, % об.	Надлишковий тиск $P_n$ у камері	Нижня концентраційна межа поширення полум'я, %
1.	2,5	$P_n < 7 \text{ кПа}$	2,9
2.	2,75	$P_n < 7 \text{ кПа}$	
3.	3,0	$P_n > 7 \text{ кПа}$	

Таблиця 2 - Результати визначення верхньої концентраційної межі поширення полум'я пального Jet-A1

№ п/п	Концентрація горючої речовини, % об.	Надлишковий тиск $P_n$ у камері	Верхня концентраційна межа поширення полум'я, %
1	5,5	$P_n > 7 \text{ кПа}$	>5,5

Визначення флегматизувальної концентрації азоту для парів авіаційного пального Jet-A1 проводили відповідно до вимог [7] з використанням експериментального обладнання (рис.

1). Камеру 1 розміщували у нагрітій до 80 °С шафі.

Дослідження проводили у наступній послідовності:

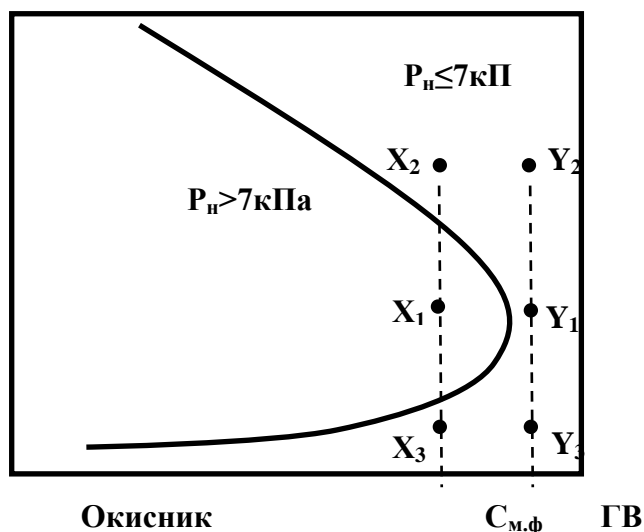
проводили вакуумування камери 1 до залишкового тиску не більш як 1 кПа;

готували у камері 1 газову суміш заданого кількісного складу за парціальними тисками компонентів шляхом послідовного введення вогнегасної речовини, горючої речовини та окисника;

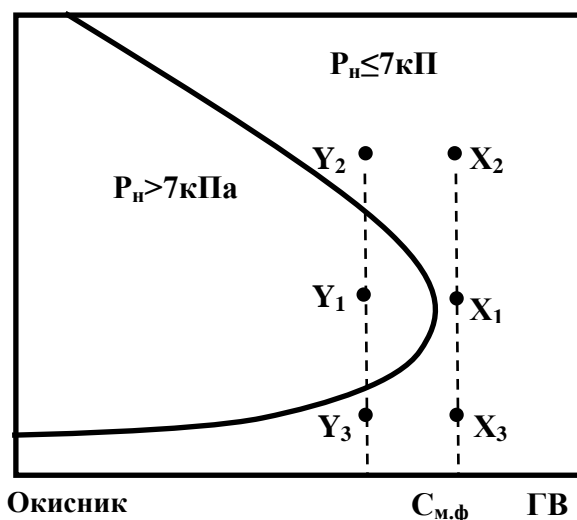
виключали мішалку, протягом 3 хвилин давали газовій суміші гомогенізуватись і досягти заданої температури;

заряджали конденсатори блока запалювання 8 і створювали електричний розряд у камері 1;

вимірювали пікове значення надлишкового тиску  $P_n$  в камері 1.



а



б

Рисунок 4 - Схема експериментального визначення показника мінімальної флегматизувальної концентрації газової вогнегасної речовини  $C_{мф}$  за [7]

Суміш вважали флегматизованою, якщо це значення не перевищувало 7 кПа. Якщо одержане значення  $P_n$  не перевищувало 7 кПа, шляхом часткового вакуумування камери 1 і подальшого введення еквівалентної кількості окисника зменшували концентрації горючої та вогнегасної речовин (не більш як на 10 % відносних) і виконували операції за пп. 8.5.3.1 - 8.5.3.5 [7];

процедуру повторювали доти, доки після створення електричного розряду в камері 1 не було зафіксовано значення  $P_n$  більше ніж 7 кПа;

ступінчасто змінювали співвідношення компонентів у створюваних газових сумішах, доки не було знайдено наближене значення концентрації ГВР, яка відповідає вершині кривої флегматизації для відповідної потрійної системи (рис.4).

Дослідження для остаточного визначення мінімальної флегматизувальної концентрації газової вогнегасної речовини проводили у такій послідовності:

- готували і випробовували за пп.8.5.3.1 - 8.5.3.7 [7] газову суміш (рисунок 4, точка  $X_1$ );

- готували і випробовували за пп.8.5.3.1 - 8.5.3.5 [7] дві газові суміші, в яких концентрації газової вогнегасної речовини такі самі, як у суміші, склад якої визначено за п.8.5.3.8 [7], а концентрації горючої речовини розрізняються на 10 % відносних (рисунок 4, точки  $X_2$  та  $X_3$ );

- якщо хоч би в одному з дослідів газова суміш виявлялась нефлегматизованою, готували і випробовували три газові суміші, склад яких відрізнявся від складу сумішей за пп.8.5.3.9.1 та 8.5.3.9.2 [7] концентрацією газової вогнегасної речовини не більш як на 4 % відносних у бік збільшення (рисунок 4, а, точки  $Y_1 - Y_3$ );

- якщо у всіх трьох дослідах за п. 8.5.3.9.1 та п. 8.5.3.9.2 [7] газові суміші виявлялись флегматизованими, готували і випробовували за 8.5.3.1 - 8.5.3.5 [7] три газові суміші, склад яких відрізняється від складу сумішей за 8.5.3.9.1 та 8.5.3.9.2 [7] концентрацією газової вогнегасної речовини не більш як на 4 % відносних у бік зменшення (рисунок 4 б, точки  $Y_1 - Y_3$ ).

З експериментальних даних, одержаних в результаті за 8.5.3.9 [7], знаходили два значення концентрації вогнегасної речовини, різниця між якими становила не більш як 4 % відносних, за одного з яких всі три випробовувані суміші є флегматизованими, а за іншого - хоч би одна з трьох випробовуваних сумішей не є флегматизованою.

За результат випробувань для визначення мінімальної флегматизувальної

концентрації газової вогнегасної речовини приймали більше з двох значень за 8.5.4.1 [7] (рисунок 4, значення  $C_{м.ф.}$ ).

Загальна похибка визначення мінімальної флегматизувальної концентрації не перевищувала 5 % відносних.

Результати випробувань з визначення мінімальної флегматизувальної концентрації для сумішей горючої речовини (Jet-A1) з повітрям азотом наведено в табл. 3.

Таблиця 3 - Результати визначення мінімальної флегматизувальної концентрації азоту для сумішей горючої речовини (JET-A1) з повітрям

№ п/п	Концентрація азоту, % об.	Концентрація горючої речовини, % об.	Надлишковий тиск $P_n$ у камері	Мінімальна флегматизувальна концентрація, $C_{м.ф.}$ % об.
1.	38	3,0	$P_n < 7 \text{кПа}$	39,0
		3,5	$P_n > 7 \text{кПа}$	
		4,0	$P_n < 7 \text{кПа}$	
2.	39	3,0	$P_n < 7 \text{кПа}$	
		3,5	$P_n < 7 \text{кПа}$	
		4,0	$P_n < 7 \text{кПа}$	

**Висновки та напрями подальших досліджень** Проведені експериментальні дослідження дозволили визначити концентраційні межі поширення полум'я для суміші парів авіаційного пального Jet-A1 з повітрям. Нижня та верхня концентраційні межі поширення полум'я становлять 2,9 % та 5,5% відповідно. Значення флегматизувальної концентрації азоту для суміші парів авіаційного пального Jet-A1 з повітрям у вибухонебезпечному співвідношенні становить 39%. Отримані дані можуть бути використані для планування та проведення досліджень з визначення умов створення пожежо-вибухобезпечного середовища у внутрішніх об'ємах відсіків ракети-носія на повномасштабних макетах відсіків.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Провести дослідження та обґрунтувати робочі параметри системи попередження пожежі та вибуху (флегматизування) «сухих» відсіків ракети-носія під час польоту. *Звіт про НДР* (№ держреєстрації 0113U004805) / С. Огурцов та ін. УкрНДЦЗ. К. 2014.
2. Дунюшкін В. О., Огурцов С. Ю., Антонов А. В., Цимбалістий С. З. Обґрунтування вибору газової вогнегасної речовини для флегматизації об'ємів "сухих" відсіків ракети-носія. *Науковий вісник УкрНДІПБ*. 2014. № 1. С. 108 – 114.
3. Cai Y. et al. Experimental study of an aircraft fuel tank inerting system. *Chinese J. Aeronaut. Chinese Society of Aeronautics and Astronautics*, 2015. Vol. 28, № 2. P. 394–402.
4. Gatsonides J.G. et al. Fluorinated halon replacement agents in explosion inerting. *J. Loss Prev. Process Ind.* Elsevier Ltd, 2015. P. 1–9.
5. Trevits M. a. et al. Use Of CFD Modeling To Study Inert Gas Injection Into A Sealed Mine Area. *SME Annu. Meet.* 2010. P. 1–8.
6. Цапко Ю. В., Орел В. П., Слєпченко В. Ф. Визначення мінімальних флегматизувальних концентрацій газових вогнегасних речовин для сумішей повітря з парами легкозаймистих рідин. *Наук. вісн. УкрНДІПБ*. К., 2001. № 3. С. 84 – 87 .
7. ДСТУ 3958:2000 Газові вогнегасні речовини. Номенклатура показників якості, загальні технічні вимоги та методи випробувань [Чинний, впр. 2000-04-06]. Київ: Держспоживстандарт України, 2000. 26 с.

## REFERENCES

1. S.Ohurtsov i in. (2014) Provesti doslidzhennja ta obg'runtuvati robochi parametri sistemi poperedzhennja pozhezhi ta vibuhu (flegmatizuvannja) «suhih» vidsikiv raketi-nosija pid chas pol'otu / Zvit pro NDR № derzhrejestracii' 0113U004805 / UkrNDICZ [in Ukrainian].
2. Dunjujushkin V. O. (2014) Obg'runtuvannja viboru gazovoi' vognegasnoi' rehovini dlja flegmatizacii' ob'jemiv "suhih" vidsikiv raketi-nosija / V. O. Dunjushkin, S. Y. Ohurtsov, A. V. Antonov, S. Z. Cimbalistij .*Naukovij visnik UkrNDIPB*. № 1. S. 108 – 114 [in Ukrainian].
3. Cai Y. et al. (2015) Ehperimental study of an aircraft fuel tank inerting system. *Chinese J. Aeronaut. Chinese Society of Aeronautics and Astronautics*, Vol. 28, № 2. P. 394–402 [in English].
4. Gatsonides J.G. et al. Fluorinated halon replacement agents in ehplosion inerting // *J. Loss Prev. Process Ind.* Elsevier Ltd, 2015. P. 1–9 [in English].
5. Trevits M. et al. (2010) Use Of CFD Modeling To Study Inert Gas Injection Into A Sealed Mine Area // *SME Annu. Meet.* 2010. P. 1–8 [in English].
6. Ju. V. Capko, V. P. Orel, V. F. Sljepchenko (2001) Vznachennja minimal'nih flegmatizuval'nih koncentracij gazovih vognegasnih rehovin dlja sumishej povitrja z parami legkozajmistih ridin / Ju. V. Capko, V. P. Orel, V. F. Sljepchenko // *Nauk. visn. UkrNDIPB*. K. № 3. - S. 84-87 [in Ukrainian].
7. DSTU 3958:2000 Gazovi vognegasni rehovini. Nomenklatura pokaznikov jakosti, zagal'ni tehniczni vimogi ta metodi viprobuvan' [Tekst]. – vpr. 2000-04-06.- Kii'v: Derzhspozhivstandart Ukrai'ni, 2000.26 s. [in Ukrainian].

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF FLAME DISTRIBUTION CONCENTRATION LIMITS AND FLAMMATING AVIATION CONCENTRATIONS OF FUEL JET -A1

S. Ohurtsov<sup>1</sup>, V. Duniushkin<sup>2</sup>, A. Antonov<sup>3</sup>, N. Kopylnyi<sup>1</sup>, A. Miliutin<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Institute of Public Administration and Research in Civil Protection

<sup>2</sup>LLC "Research and Production Firm" Factor "

<sup>3</sup>State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management

### KEYWORDS

concentration limits of flame spread, phlegmatization, aviation fuel JET-A1, nitrogen.

### ANNOTATION

The Ukrainian Research Institute of Civil Protection commissioned by the State Enterprise "Design Office Pivdenne" conducted a set of studies aimed at creating a fire and explosion-proof environment in the internal volumes of the launch vehicle compartments both during pre-launch training and in flight. According to the results of the preliminary analysis of the conditions of formation of explosive and flammable environment in the volume of the launch vehicle compartments, it was determined that the explosive concentration of fuel vapor in the volume of "dry compartments" under normal operating conditions can be formed at least 10.7 hours ago. to substantiate the parameters of the fire and explosion prevention system (phlegmatization) of the "dry" compartments of the launch vehicle during the flight, the variant of an accident with fuel leakage into the volume of the compartment and hitting the surface heated above the auto-ignition temperature was considered. An installation based on test equipment for determining the phlegmatizing concentrations of gaseous combustible mixtures with gaseous extinguishing agents was created, heating of both the fuel flask and the installation as a whole was provided to prevent vapor condensation on the walls of the test chamber and connecting pipelines. The basic for the creation of such an installation was test equipment for determining the phlegmatizing concentrations of gaseous combustible mixtures with gaseous extinguishing agents. The method of experimental research on definition of concentration limits of distribution of a flame for a mix of vapors of aviation fuel JET-A1 with air is developed and the corresponding experimental research are carried out. The lower and upper concentration limits of the flame spread were 2.9% and 5.5%, respectively. The values of phlegmatizing nitrogen concentration for the mixture of aviation fuel vapors Jet-A1 with air in an explosive ratio of 39% were determined. The obtained data can be used to plan and conduct research to determine the conditions for creating a fire and explosion-proof environment in the internal volumes of the launch vehicle compartments on full-scale models of compartments.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ПРЕДЕЛОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ И ФЛЕГМАТИЗИРУЮЩИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА JET -A1

Огурцов С.Ю.<sup>1</sup>, Дунюшкин В.А.<sup>2</sup>, Антонов А.В.<sup>3</sup>, Копыльный Н.И.<sup>1</sup>, Милютин А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт государственного управления и научных исследований по гражданской защите

<sup>2</sup>ТОВ «Научно-производственная фирма» Фактор »

<sup>3</sup>Государственная экологическая академия последипломного образования и управления

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

концентрационные пределы распространения пламени, флегматизация, авиационное топливо JET-A1, азот.

### АННОТАЦИЯ

Приведено описание экспериментального оборудования, методики экспериментальных исследований и результатов по определению концентрационных пределов распространения пламени для смеси паров авиационного топлива JET-A1 с воздухом, а также определена минимальная флегматизирующая концентрация такой газовой среды при применении азота, составляет 39,2% об.