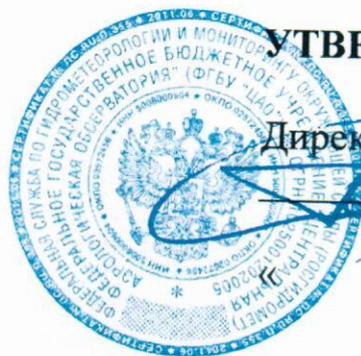


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЭРОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ»
РОСГИДРОМЕТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ «ЦАО»
Ю.А. Борисов

» декабря 2013 г.

**ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ ДВУХ
ЛЬДОБРАЗУЮЩИХ И ОДНОГО ГИГРОСКОПИЧЕСКОГО
ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ**

АКТ ИСПЫТАНИЙ

г. Долгопрудный
Моск.обл.

В октябре-ноябре 2013 года в соответствии с контрактом № 338-13 от 5 августа 2013 г. с организацией «СТРОЙПРОЕКТ» ЕООД, Республика Болгария, были проведены лабораторные испытания образцов двух льдообразующих и одного гигроскопического пиротехнических составов.

Для проведения испытаний организацией «СТРОЙПРОЕКТ» ЕООД были поставлены два образца льдообразующих составов под номерами №1 и №2 и один образец гигроскопического состава под №3 в количестве трех шашек каждого образца.

Техническим заданием на проведение испытаний предусматривалось:

- определить для двух льдообразующих пиросоставов выход активных частиц в расчете на 1 г. пиросостава в лабораторной облачной камере при температурах переохлажденного тумана -12, -10, -8, -5 и $-2 \div -3^{\circ}\text{C}$;
- при каждой температуре тумана провести три измерения;
- измерения выхода активных частиц провести при открытой торцевой поверхности образца и при диафрагмировании поверхности горения;
- оценить скорость активации аэрозолей, получаемых от испытываемых образцов (количество частиц, активирующихся в тумане в первые 2 минуты),
- для гигроскопического пиросостава определить содержание облачных ядер конденсации (ОЯК) в генерируемом пиросоставом аэрозоле при пересыщениях 0,1 – 1%,
- определить спектр размеров генерируемых составом гигроскопических частиц;
- оценить общий выход гигроскопических аэрозольных частиц и выход ОЯК в расчете на 1 г состава;
- оценить воспламенение и характер горения образцов.

ИСПЫТАНИЯ ЛЬДООБРАЗУЮЩИХ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ

Испытания проводились по стандартной «Лабораторной методике оценки эффективности льдообразующих реагентов и пиротехнических составов в лабораторных условиях», утверждённой в качестве РД Росгидромета. Принцип методики состоит в определении числа ледяных кристаллов, образующихся при введении заданного количества исследуемого аэрозоля в переохлаждённый водный туман в лабораторной облачной камере. Аэрозоль получается сжиганием пиротехнического состава в отдельной аэрозольной камере. Ледяные кристаллы, образующиеся в переохлаждённом тумане, регистрируются методом реплик.

Сжигание навесок составов производилось в аэрозольной камере объемом 800л в устройстве КЛС (лабораторной камере сжигания) с диафрагмированием поверхности горения (диаметр выходного отверстия в диафрагме 1мм), моделирующем условия сжигания состава в пиропатронах, и в КЛС без диафрагмирования поверхности горения. Воспламенение образцов проводилось с помощью нагреваемой электрическим током металлической нити. Проба полученного аэрозоля оптимального объема (от 20 до 150 см² при разных температурах тумана) вводилась в переохлажденный туман в облачной камере (объем 300 литров).

При проведении испытаний из центральных частей пиротехнических шашек были вырезаны кусочки (образцы) пиросоставов диаметром ~ 5 мм и весом от от 90 до 150 мг. Испытания проводились при температурах тумана от -12 до -2°C . В испытаниях при температурах -10 и -5°C оценивалось быстроедействие исследуемого аэрозоля – доля частиц, активировавшихся в течение первых двух минут.

Результаты измерений выхода активных частиц (ледяных кристаллов) даны в таблице 1. В таблице приведены все измерения без осреднения по температурам.

Таблица 1.

Результаты измерений льдообразующей активности образцов

Шифр состава	Температура, °С	Условия сжигания			
		КЛС с диафрагмированием $d_{\text{диафр.}}=1\text{ мм}$		КЛС без диафрагмирования	
		Выход активных частиц за первые 2 мин в расчете на 1 г состава	Полный выход активных частиц в расчете на 1 г состава	Выход активных частиц за первые 2 мин в расчете на 1 г состава	Полный выход активных частиц в расчете на 1 г состава
№1 первая шашка	-12,5	$1,31 \cdot 10^{13}$	$1,31 \cdot 10^{13}$	—	$2,88 \cdot 10^{12}$
	-12,0	—	$1,24 \cdot 10^{13}$	—	$2,67 \cdot 10^{12}$
	-12,0	—	$1,23 \cdot 10^{13}$	—	$2,92 \cdot 10^{12}$
	-10,5	$1,13 \cdot 10^{13}$	$1,41 \cdot 10^{13}$	$2,59 \cdot 10^{12}$	$2,75 \cdot 10^{12}$
	-10,0	$8,68 \cdot 10^{12}$	$9,21 \cdot 10^{12}$	$2,36 \cdot 10^{12}$	$2,53 \cdot 10^{12}$
	-10,0	$8,15 \cdot 10^{12}$	$8,53 \cdot 10^{12}$	$2,45 \cdot 10^{12}$	$2,61 \cdot 10^{12}$
	-8,5	—	$1,23 \cdot 10^{13}$	—	$1,54 \cdot 10^{12}$
	-8,0	—	$1,25 \cdot 10^{13}$	—	$1,41 \cdot 10^{12}$
	-8,0	—	$1,16 \cdot 10^{13}$	—	$1,31 \cdot 10^{12}$
	-5,0	—	$1,25 \cdot 10^{12}$	—	$7,25 \cdot 10^{11}$
№1 вторая шашка	-12,0	—	$1,88 \cdot 10^{13}$	—	$4,56 \cdot 10^{12}$
	-10,5	$1,78 \cdot 10^{13}$	$1,83 \cdot 10^{13}$	—	$4,08 \cdot 10^{12}$
	-10,0	$1,97 \cdot 10^{13}$	$1,97 \cdot 10^{13}$	$4,39 \cdot 10^{12}$	$4,44 \cdot 10^{12}$
	-8,0	—	$1,39 \cdot 10^{13}$	—	$2,06 \cdot 10^{12}$
	-7,0	—	$9,03 \cdot 10^{12}$	—	—
	-5,6	$7,20 \cdot 10^{12}$	$7,45 \cdot 10^{12}$	—	—
	-5,0	$5,40 \cdot 10^{12}$	$5,63 \cdot 10^{12}$	$1,38 \cdot 10^{12}$	$1,50 \cdot 10^{12}$
	-5,0	$5,18 \cdot 10^{12}$	$5,42 \cdot 10^{12}$	$1,57 \cdot 10^{12}$	$1,75 \cdot 10^{12}$
	-4,0	—	$3,91 \cdot 10^{12}$	—	$1,59 \cdot 10^{12}$
	-3,5	—	$5,33 \cdot 10^{11}$	—	$2,52 \cdot 10^{11}$
	-3,0	—	$1,60 \cdot 10^{11}$	—	$3,30 \cdot 10^{10}$
	-2,6	$<10^9$	$3,30 \cdot 10^9$	$<10^9$	$<10^9$

	-12,0	—	$2,15 \cdot 10^{13}$	—	$3,58 \cdot 10^{12}$
	-12,0	—	$2,44 \cdot 10^{13}$	—	$3,72 \cdot 10^{12}$
	-12,0	—	$2,54 \cdot 10^{13}$	—	$3,43 \cdot 10^{12}$
	-10,2	$1,93 \cdot 10^{13}$	$1,93 \cdot 10^{13}$	$3,34 \cdot 10^{12}$	$3,39 \cdot 10^{12}$
	-10,0	$1,87 \cdot 10^{12}$	$1,87 \cdot 10^{13}$	$3,05 \cdot 10^{12}$	$3,07 \cdot 10^{12}$
	-10,0	$2,01 \cdot 10^{13}$	$2,01 \cdot 10^{13}$	$3,23 \cdot 10^{12}$	$3,27 \cdot 10^{12}$
	-8,2	—	—	—	$2,36 \cdot 10^{12}$
	-8,0	—	$1,81 \cdot 10^{13}$	—	$2,15 \cdot 10^{12}$
	-8,0	—	—	—	$2,12 \cdot 10^{12}$
	-7,8	—	$1,76 \cdot 10^{13}$	—	—
	-7,5	$1,43 \cdot 10^{13}$	$1,44 \cdot 10^{13}$	—	—
	-5,2	$1,02 \cdot 10^{13}$	$1,02 \cdot 10^{13}$	$2,05 \cdot 10^{12}$	$2,10 \cdot 10^{12}$
	-5,0	$9,69 \cdot 10^{12}$	$9,76 \cdot 10^{12}$	$1,70 \cdot 10^{12}$	$1,75 \cdot 10^{12}$
	-5,0	—	—	$1,67 \cdot 10^{12}$	$1,71 \cdot 10^{12}$
	-4,8	$8,20 \cdot 10^{12}$	$8,50 \cdot 10^{12}$	—	—
	-4,2	—	$5,78 \cdot 10^{12}$	—	—
	-3,0	—	—	—	—
	-2,8	—	—	—	$2,10 \cdot 10^{11}$
	-2,6	—	$4,10 \cdot 10^{11}$	—	$1,06 \cdot 10^{11}$
	-2,2	—	$9,70 \cdot 10^{10}$	—	—
	-2,2	—	$1,25 \cdot 10^{10}$	—	$< 10^9$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные испытания льдообразующих пиросоставов позволяют сделать следующее заключение:

1. Оба состава - №1 и №2 показали высокую активность. В условиях КЛС с диафрагмированием поверхности горения при температуре -10°C выход активных частиц составил $\sim 2 \cdot 10^{13}$ на 1 г состава, при температуре -5°C от 5,5 до $10 \cdot 10^{12}$. При сжигании образцов в условиях КЛС без диафрагмирования поверхности горения выход активных частиц у обоих составов снижается при разных температурах от 4 до 7 раз.
2. Все испытанные составы оказались быстродействующими. При температурах -10 и -5°C в обоих составах в течение первых 2-х минут активируется от 96 до 100% частиц.
3. Некоторые проблемы возникли при испытании образца №1. Первая взятая шашка (первая) из упаковки крошилась, и при вырезании из нее небольших таблеток для проведения испытаний была замечена некоторая неоднородность состава (темные и более светлые полосы на срезах). Подложка (листок бумаги), на которой лежали эти приготовленные таблетки, через 1-1,5 часа становилась желтой, вероятнее всего от испарявшегося йода. Как видно из таблицы 1, результаты эффективности, полученные от этого образца отличаются разбросом (выход активных частиц при температуре -8°C оказался выше, чем при температуре -10°C). Поэтому было принято решение взять другую шашку (вторую) этого образца. Получившиеся результаты оказались более высокими и стабильными.
4. Воспламенение всех составов было нормальным, горение равномерным и интенсивным.

ИСПЫТАНИЯ ГИГРОСКОПИЧЕСКОГО ПИРОТЕХНИЧЕСКОГО СОСТАВА

При проведении испытаний из больших таблеток были вырезаны кусочки пиросоставов весом 230, 260 и 280 мг (следует отметить, что все присланные шашки очень сильно крошились). Сжигание навесок составов производилось в аэрозольной камере объемом 800 л в устройстве КЛС без диафрагмирования поверхности горения, откуда пробы аэрозоля (1 – 2 л) вводились в аэрозольный резервуар объемом 1000 литров.

Из большого аэрозольного резервуара (1000 л) пробы аэрозоля поступали в измерители общей концентрации частиц (электрический анализатор TSI-3030 и прибор SOLAIR 1001+) и счетчики облачных ядер конденсации (Mee-130 и CCN -200).

Счетчик облачных ядер конденсации Mee-130 представляет собой миниатюрную (рабочий объем 30 см^3) термодиффузионную цилиндрическую камеру, в которой охлаждением одной из плоских поверхностей достигается заданное пересыщение в центральной части и в сформированном оптикой миниобъеме производится регистрация выросших на ядрах капель фотоэлектрическим методом. Засос в камеру пробы воздуха производится дискретно и переключение камеры на каждое новое пересыщение водяного пара требует 10 мин. Диапазон возможных пересыщений от 0,2 до 2%.

Поточный счетчик облачных ядер конденсации CCN-200 имеет две цилиндрические диффузионно-градиентные камеры, которые позволяют производить непрерывно регистрацию облачных ядер конденсации, активирующихся при двух заданных пересыщениях водяного пара. Диапазон измеряемых пересыщений в двухколонном счетчике CCN-200 от 0,1 до 2%, что несколько шире по сравнению с Mee-130 и достаточно близок к пересыщениям, наблюдающимся на уровне конденсации влаги в природных условиях. Данные регистрируются оптическим методом с частотой 1 гц и записываются компьютером прибора.

Показания прибора TSI-3030 представляют собой число частиц из данного класса размеров в кубическом сантиметре. Всего в измеряемом диапазоне (от 0,0075 до 1 мкм) имеется девять размерных классов, средние размеры которых равномерно располагаются по логарифмической шкале диаметров частиц. Диапазон размеров частиц портативного счетчика аэрозольных частиц SOLAIR 1001+ - от 0,1 до 10 мкм (8 градаций размеров). Суммированием отсчетов для всех классов определяется общее число частиц аэрозоля в кубическом сантиметре ($N_{\text{Общ}}$). Делением отсчетов по счетчикам Mee-130 и CCN -200 на это $N_{\text{Общ}}$ находилась доля частиц, активных при данном пересыщении ($N_{\text{Ояк}}/N_{\text{Общ}}$).

Было произведено три опыта. Выход определялся как концентрация облачных ядер конденсации в резервуаре объемом 1 м^3 , деленная на массовую концентрацию аэрозоля в том же резервуаре. Во всех трех опытах для состава определялся спектр размеров генерируемых частиц.

Результаты испытаний гигроскопического состава даны в таблицах 2 и 3, а также на рисунке 1. Для каждого измеряемого пересыщения (от 0,1 до 1,1 %) было получено три результата - для двух колонн CCN -200 и счетчика Mee -130. В таблице 2. приведены минимальные и максимальные измеренные значения ($N_{\text{Ояк}}$), отнесенные к $N_{\text{Общ}}$.

Таблица 2.

Относительные концентрации облачных ядер конденсации $N_{\text{Ояк}}$, активных при пересыщениях от 0,1 до 1,1% в общем числе ядер $N_{\text{Общ}}$, генерируемых составом

S, %	Относительные концентрации ОЯК ($N_{\text{Ояк}}/N_{\text{Общ}}$)
0,1	0,51 ÷ 0,60
0,2	0,60 ÷ 0,66
0,3	0,66 ÷ 0,70
0,4	0,67 ÷ 0,71
0,5	0,68 ÷ 0,73
0,6	0,67 ÷ 0,75
0,7	0,67 ÷ 0,77
0,8	0,70 ÷ 0,78
0,9	0,71 ÷ 0,78
1,0	0,72 ÷ 0,78
1,1	0,74 ÷ 0,80

Таблица 3 .

Выход активных $N_{\text{Ояк}}$, активных при пересыщении 0,1 %
и общий выход аэрозольных частиц на 1 грамм пиросоостава

№ опыта	$N_{\text{Ояк}}$	Общее число частиц
1	$3,81 \cdot 10^{12}$	$7,17 \cdot 10^{12}$
2	$4,80 \cdot 10^{12}$	$6,88 \cdot 10^{12}$
3	$4,87 \cdot 10^{12}$	$7,43 \cdot 10^{12}$

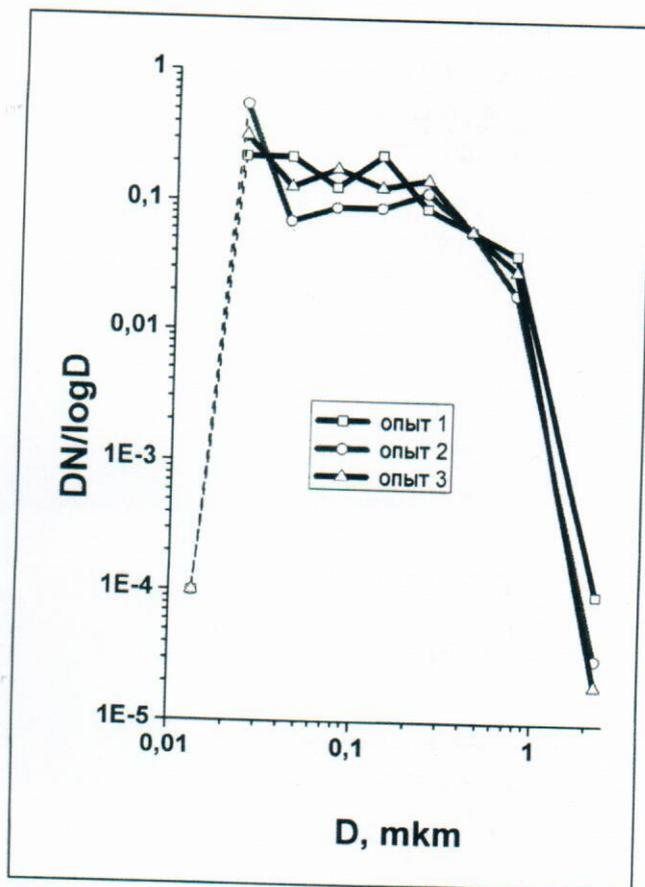


Рис. 1. Спектры размеров частиц, полученные при сжигании образцов и измеренные при пересыщении 0,1%.

Для того, чтобы спектры для разных навесок состава могли быть сравнены между собой, все они нормированы к общему числу частиц, измеренному в каждом опыте и показаны на рисунке в относительных единицах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные испытания гигроскопического пиросоостава позволили сделать следующее заключение:

1. Испытанный состав обеспечивает генерацию активных облачных ядер конденсации, активация которых происходит при пересыщениях водяного пара $\leq 0,1$ %.

Выход активных облачных ядер конденсации составляет более половины общего выхода частиц от 1г пиросоостава.

2. В спектрах размеров частиц пиросоостава во всех трех опытах понижено количество наиболее мелких ядер, снижающих, согласно теоретическим оценкам, эффективности гигроскопического действия составов. Концентрация частиц диаметром менее 0,0237 мкм оказалась меньше порога чувствительности измерительных приборов (пунктир на рисунке).

3. Образцы в устройстве КЛС без диафрагмирования поверхности горения легко воспламенялись, однако при их сгорании во всех трех опытах наблюдались выбросы небольших горящих кусочков состава. Попытка сжечь навеску состава в устройстве КЛС с диафрагмированием поверхности горения закончилась срывом диафрагмы и выбросом всего горящего образца, вероятно из-за большого количества образующихся газов.

Зав. Отделом Физики облаков и
активных воздействий.

 Б.Г.Данелян

Зав. Лабораторией
Аэрозолей

 Н.О.Плауде

Научный сотрудник
Лаборатории аэрозолей

 Е.В.Сосникова