

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГОА. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГОА С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

4.1. Задача, методика экспериментального исследования

Основной задачей экспериментальных исследований генератора является оценка адекватности моделей, описывающей рабочие процессы в камере сгорания ГОА в установившемся и переходном режиме работы.

Основная задача состоит из решения следующих подзадач:

- исследование длительности переходного процесса в камере сгорания ГОА и подтверждения выражения (2.119);
- исследование времени подачи огнетушащего аэрозоля и подтверждение аналитических выражений (3.11) – (3.14);
- исследование скорости горения заряда АОС и подтверждение выражения (2.8).

Исследования проводятся при фиксированных значениях температуры эксплуатации ГОА из диапазона $T_H = \{(-50) \div (+50) \text{ }^\circ\text{C}\}$.

Опыты проводятся с использованием генераторов, основные параметры которых приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Характеристики опытных образцов ГОА

№ п/п	Марка генератора	Характеристика генератора		
		Масса ГОА, кг / масса заряда АОС, кг	Габаритные размеры, диаметр × длина, мм	Защищаемый объем условно герметичного помещения, м ³
1.	АГС–2	4.8 / 1.6	Ø167 × 152	52
2.	СОТ–1У	5.8 / 3.3	Ø178 × 357	60

Исследовательские задачи решаются с помощью экспериментальной установки, структурная схема которой представлена на рис. 4.1.

В состав экспериментальной установки входит генератор огнетушащего аэрозоля 1 с зарядом аэрозолеобразующего состава 2. В корпусе генератора 1, перпендикулярно к его продольной оси, выполнено восемь отверстий, при этом отверстие №1 расположено напротив фронтального торца заряда 2, отверстие №8 — напротив тыльного торца пашки 2 АОС, отверстия №2 – №7 расположены через равные промежутки L_i между отверстиями №1 и №8.

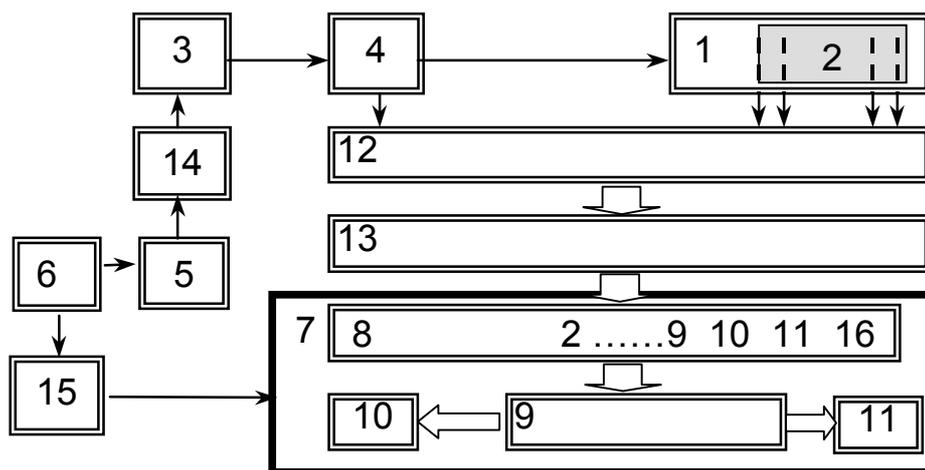


Рис. 4.1. Структурная схема экспериментальной установки: 1 – исследуемый генератор огнетушащего аэрозоля; 2 – заряд АОС; 3 – устройство электрического запуска ГОА; 4 – легкоплавкая вставка; 5 – устройство формирования импульса тока; 6 – блок питания; 7 – информационно-измерительный комплекс; 8 – порт LPT1; 9 – арифметическое логическое устройство; 10 – устройство для архивирования результатов измерений; 11 – устройство отображения информации (монитор); 12 – блок легкоплавких вставок; 13 – согласующее устройство; 14, 15 – коммутатор

В крышку корпуса генератора 1 с помощью резьбового соединения установлен узел запуска 3, который обеспечивает формирование высокотемпературных газов и подачу их на фронтальную поверхность заряда 2. Инициирование узла 3 происходит от импульса тока, формируемого устройством 5 при активации коммутатора 14. Перед срезом выпускного отверстия узла 3 установлена легкоплавкая вставка 4, в виде алюминиевой фольги толщиной 0.003 мм и шириной 5 мм.

Основным измерительным устройством данной экспериментальной установки является информационно-измерительный комплекс 7 на базе IBM-совместимого персонального компьютера. Порт LPT1 предназначен для приема и оцифровки измеряемой информации. Арифметическое-логическое устройство 9 осуществляет обработку информации в цифровом виде и производит расчет скорости горения заряда АОС. На жестком диске 10 осуществляется хранение результатов исследования в виде ANSI-файла. Для оперативного вывода результатов измерений в виде временных диаграмм используется монитор 11. Блок легкоплавких вставок 12, предназначен для обеспечения надежного крепления вставок №1–8 в соответствующих отверстиях генератора 1. Устройство согласования 13 необходимо для обеспечения контроля исходного состояния вставок блока 12 и организации связи с информационно-измерительным комплексом 7.

Проведение экспериментальных исследований по решению всех трех задач предусматривает выполнение подготовительного этапа, который заключается в выполнении следующих действий.

При измерении габаритов исследуемого экземпляра ГОА операции проводятся стандартным инструментом с погрешностью измерения не более 2 %. Выполняется три параллельных измерения каждого размера для одного ГОА. За результат измерений принимается среднее арифметическое значение.

Плотность заряда АОС 2 определяется косвенным путем. Исходя из известного соотношения (3.28).

Масса заряда АОС 2 в снаряженном генераторе определяется взвешиванием на весах с погрешностью, не превышающей 2 %. Для этого ГОА разбирается и взвешивается находящийся в нем АОС. За результат определения принимается среднее арифметическое трех параллельных взвешиваний для одного заряда генератора.

В корпусе исследуемого экземпляра ГОА просверливаются 8 отверстий диаметром 1 мм, с погрешностью не более 2 %. В них закладываются отрезки одножильного медного провода диаметром не более 0.1 мм. После чего отверстия заделываются цементным раствором. Выводы подключаются к блоку легкоплавких вставок 12.

Нагрев заряда АОС осуществляют в камере теплоты. В ней устанавливают требуемую положительную температуру эксплуатации ГОА с точностью ± 2 °С. Генератор помещается в камеру теплоты, и выдерживают в ней при данной температуре в течение времени, необходимого для нагрева ГОА до установленной температуры. Затем генератор извлекается из камеры, причем время от момента извлечения ГОА из камеры теплоты до начала эксперимента не должно превышать 1,5 % времени термостатирования генератора в камере. Исследования генератора при отрицательных температурах эксплуатации проводится после его термостатирования в камере холода, по методике аналогичной при термостатировании до положительной температуры.

Далее, выводы блока вставок 12 проверяют на целостность контактов. Для этого поочередно к каждой паре контактов подключают измерительный прибор типа Ц 4341 и проводят измерение сопротивления цепи контактов.

Генератор 1, снабженный узлом запуска 2, закрепляют на стапеле (на высоте не менее 1 м в горизонтальном положении), расположенном на открытом пространстве, в защищенном от ветра месте.

Согласующее устройство 13 подключают к измерительно-вычислительному комплексу 7.

Экранированным проводом марки КОПЭЭВ производят подключение блока 12, к согласующему устройству 13.

Инициирование коммутатора 15 приводит к подаче питания на ПК 9, при этом производится запуск исполняемого файла `lpt.exe` из пакета прикладных программ "Виртуальный измерительный комплекс". На мониторе 11 появляется надпись: "Измерительный комплекс готов к работе". В диалоговом режиме производится ввод исходных данных, необходимых при проведении эксперимента: температуры генератора 1, количества задействованных легкоплавких вставок i , расстояние L_i между ними.

Методика решения первой подзадачи заключается в следующем. Инициирование коммутатора 14 приводит к подаче импульса тока от источника 5 на устройство запуска генератора 3. Выходящие из узла запуска горячие газы расплавляют легкоплавкую вставку 4. Это служит сигналом для включения в работу "Виртуального измерительного комплекса", этот момент времени считаем нулевым. При воспламенении заряда АОС сгорает провод контакта №1, этот момент времени с точностью 10 мкс фиксируется на экране монитора 11 и записывается в ANSI-файл на устройстве архивирования 10. Измеренное время и есть длительность переходного процесса.

Далее продолжается решение второй подзадачи. Горячий заряд 2 приводит к разрыву контактов №2 – 7, что также фиксируется измерительным комплексом. Перегорание контакта №8 служит признаком окончательного выгорания заряда. Момент времени между обрывом контакта №1 и контакта №8 равен времени подачи огнетушащего аэрозоля. Все временные интервалы выводятся на монитор 11 и фиксируются устройством архивирования 10.

Третья подзадача решается параллельно с определением времени подачи огнетушащего аэрозоля из генератора. Арифметическое логическое устройство 9 производит расчет скорости горения заряда АОС 2 как отношение введенных значений расстояний L_i между плавкими вставками №1 – №8 к измеренным значениям временных промежутком между моментами, когда сгорают эти вставки.

4.2. Результаты экспериментальных исследований

В соответствии с приведенной выше методикой сначала решается первая подзадача. Исследование проводится на базе генератора марки СОТ–1У. Перед началом эксперимента генератор термостатируется в камере теплоты (холода) до фиксированного значения температуры из диапазона $T_H = \{(-50) \div (+50) \text{ } ^\circ\text{C}\}$. Верхняя граница диапазона температуры T_{H_i} соответствует предельной положительной температуре эксплуатации, нижняя граница – предельной отрицательной температуре. С одной модификацией генераторов проводится m измерений длительности переходного процесса $t_{\Pi\Pi_{i,j}}$ при каждом значении T_{H_i} . По результатам экспериментов определяется математическое ожидание $\bar{t}_{\Pi\Pi_{im}}$ и дисперсия $\sigma_{\Pi\Pi_{im}}^2$

$$\bar{t}_{\Pi\Pi_{im}} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m t_{\Pi\Pi_{i,j}} ; \quad \sigma_{\Pi\Pi_{im}}^2 = \frac{1}{m-1} \cdot \sum_{j=1}^m (t_{\Pi\Pi_{i,j}} - \bar{t}_{\Pi\Pi_{im}})^2 ; \quad i = \overline{1,5},$$

где i – число значений температуры эксплуатации генератора T_{H_i} .

Затем процедура повторяется для генераторов марки АГС–2.

Вторая подзадача по определению времени работы решается последовательно после решения первой подзадачи. Потому условия по ее решению остаются неизменными. Математическое ожидание и дисперсия определяется по результатам m опытов с каждой модификацией генераторов (табл. 4.1) для пяти значений начальной температуры заряда:

$$\bar{t}_{P_{im}} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m t_{P_{i,j}}; \quad \sigma_{P_{im}}^2 = \frac{1}{m-1} \cdot \sum_{j=1}^m (t_{P_{i,j}} - \bar{t}_{P_{im}})^2; \quad i = \overline{1,5}.$$

Третья подзадача, по определению скорости горения заряда АОС, решается параллельно со второй при тех же условиях проведения эксперимента. Математическое ожидание $\bar{u}_{i,m}$ и дисперсия $\sigma_{u_{i,m}}$ определяются выражениями

$$\bar{u}_{i,m} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m u_{i,j}; \quad \sigma_{u_{im}}^2 = \frac{1}{m-1} \cdot \sum_{j=1}^m (u_{i,j} - \bar{u}_{i,j})^2; \quad i = \overline{1,5}.$$

Результаты экспериментов по решению первой подзадачи представлены в табл. 4.2. – 4.3.

Таблица 4.2

Результаты определения длительности переходного процесса для генератора марки СОТ–1У

$T_{H_i}, ^\circ\text{C}$	Длительность переходного процесса							СКО $\sigma_{\Pi\Pi_{im}}, \text{мкс}$
	$\bar{t}_{\Pi\Pi_i},$ мс	Результат эксперимента						
		1	2	3	4	5	6	
– 50	6.496	6.429	6.615	6.453	6.416	6.415	6.648	106.3
– 25	6.354	6.296	6.458	6.381	6.448	6.256	6.283	87.66
0	6.188	6.145	6.112	6.117	6.207	6.231	6.316	79.17
+ 25	6.082	6.065	6.15	6.083	5.99	6.01	6.196	79.25
+ 50	5.936	5.857	5.865	5.916	6.001	5.933	6.042	73.76

Зависимость длительности переходного процесса при воспламенении заряда АОС генераторов марки СОТ-1У и АГС–2 от его начальной температуры, полученная экспериментальным путем, представлена на рис. 4.2. Анализ полученных зависимостей показал, что длительность переходного процесса в камере сгорания ГОА будет уменьшаться с ростом начальной температуры заряда АОС. Для генератора марки СОТ-1 рассматриваемая характеристика изменится на 9 %, а для АГС-2 на 8 %. В целом, длительность переходного процесса в камере генераторов обеих

марок составляет $5 \div 7$ мс и отличается от значений полученных аналитическим путем с использованием выражения (2.119) не более чем на 12 %.

Таблица 4.3

Результаты определения длительности переходного процесса для генератора марки АГС-2

$T_{H_i}, ^\circ\text{C}$	Длительность переходного процесса							СКО $\sigma_{\text{ПП}_{im}},$ мкс
	$\bar{t}_{\text{ПП}_i},$ мс	Результат эксперимента						
		1	2	3	4	5	6	
- 50	6.833	6.976	6.709	6.746	6.784	6.945	6.839	108.1
- 25	6.701	6.63	6.771	6.803	6.634	6.633	6.735	78.31
0	6.595	6.497	6.647	6.626	6.554	6.639	6.61	58.46
+ 25	6.402	6.411	6.343	6.351	6.442	6.387	6.478	52.42
+ 50	6.327	6.327	6.247	6.298	6.375	6.343	6.299	55.49

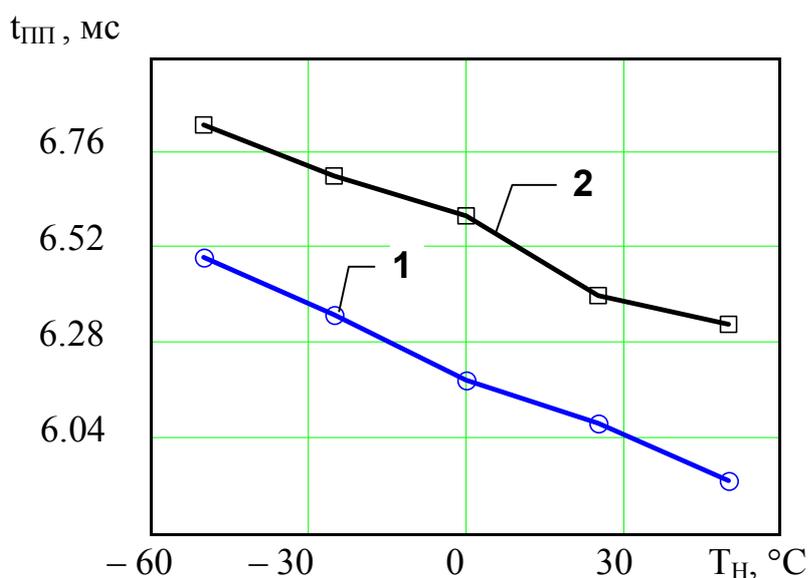


Рис. 4.2. Зависимость длительности переходного процесса от начальной температуры заряда АОС генератора : 1 – для генератора марки СОТ-1; 2 – для генератора марки АГС-2

Анализ зависимости среднеквадратичного отклонения при определении длительности переходного процесса от температуры (рис. 4.3) показал, что с ростом начальной температуры заряда АОС ошибка опыта уменьшается.

Результаты решения второй подзадачи представлены в табл. 4.4 – 4.5.

$\sigma_{\text{ПП}}, \text{мс}$

0.10

0.08

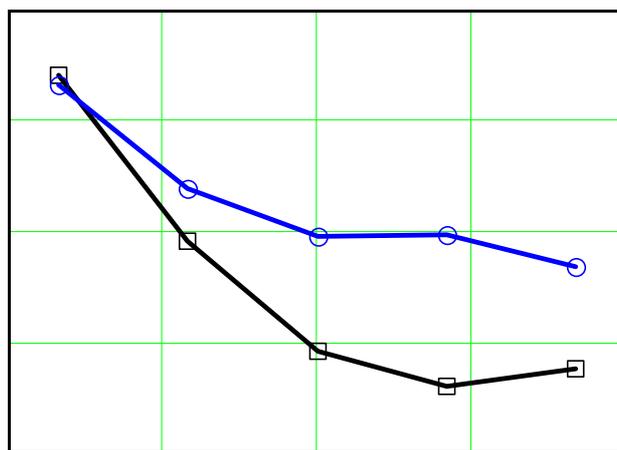


Рис. 4.3. Зависимость ошибки опыта при определении длительности переходного процесса в камере генератора от начальной температуры заряда АОС: 1 – для генератора марки СОТ–1У; 2 – для генератора марки АГС–2

Таблица 4.4
Результаты определения времени работы генератора марки СОТ–1У

$T_{H_i}, ^\circ\text{C}$	Время работы генератора							СКО $\sigma_{\text{pim}}, \text{c}$
	$\bar{t}_{\text{pi}}, \text{c}$	Результат эксперимента						
		1	2	3	4	5	6	
+ 50	73.5693	72.5238	73.0922	74.2516	73.5569	74.9556	73.0354	0.89368
+ 25	79.6591	80.6736	79.3728	78.6925	78.8714	81.5632	78.7811	1.18849
0	85.3214	84.3107	86.1089	86.3501	84.8519	85.8307	84.4763	0.88249
- 25	92.697	93.0426	92.0731	93.3836	93.6777	92.1448	91.8604	0.767673
- 50	98.8862	99.4199	99.0963	99.9474	98.4371	97.0836	99.3333	1.01058

Таблица 4.5
Результаты определения времени работы генератора марки АГС–2

$T_{H_i}, ^\circ\text{C}$	Время работы генератора							СКО $\sigma_{\text{pim}}, \text{c}$
	$\bar{t}_{\text{pi}}, \text{c}$	Результат эксперимента						
		1	2	3	4	5	6	
+ 50	36.7846	36.2619	36.5461	37.1258	36.7785	37.4778	36.5177	0.44684
+ 25	39.8295	40.3368	39.6864	39.3463	39.4357	40.7816	39.3905	0.594247
0	42.6607	42.1553	43.0545	43.175	42.4259	42.9154	42.2381	0.441245
- 25	46.3485	46.5213	46.0366	46.6918	46.8389	46.0724	45.9302	0.383836
- 50	49.4431	49.71	49.5481	49.9737	49.2185	48.5418	49.6666	0.505288

Зависимость времени работы генераторов марки СОТ-1У и АГС–2 от начальной температуры заряда, полученная экспериментальным путем, представлена на рис. 4.4. Очевидно, что с ростом температуры время работы

генераторов уменьшается, при этом характер зависимости близок к линейному закону. При варьировании температуры в указанных выше пределах время работы генератора марки СОТ–1У изменяется не более чем на 20 секунд, а генератора АГС–2 не более чем на 12 секунд, что составляет порядка 25 % от общего времени работы этих генераторов. Данный факт объясняется тем, что в обоих генераторах используется заряд одной рецептуры, площадь поверхности горения постоянна, отличаются генераторы лишь длиной шашки аэрозолеобразующего заряда.

Сравним результаты определения времени работы генератора, полученные экспериментальным путем, с результатами, которые можно получить с помощью выражения (3.14).

В генераторах марки СОТ–1У и АГС–2 установлен аэрозолеобразующий заряд марки Е–1, который имеет следующие характеристики

$$T_{\Gamma} = 1250 \pm 100 \text{ }^{\circ}\text{C}; u_a = (1.0 \pm 0.05) \text{ мм/с}; \nu = 0.43; \rho_{\Gamma} = 1850 \pm 50 \text{ кг/м}^3$$

Геометрические размеры генератора СОТ–1У следующие:

$$\ell = 11.9 \text{ см}; S_3 = 132.73 \text{ см}^2; S_B = 10.62 \text{ см}^2.$$

Результаты определения времени работы генераторов при различных температурах, рассчитанные по формуле (3.14), представлены в табл. 4.6.

Таблица 4.6.

Время работы генераторов по результатам расчетов

Марка генератора	Время работы генератора, с				
	$T_{\text{H}} = -50, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{H}} = -25, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{H}} = 0, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{H}} = 25, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{H}} = 50, \text{ }^{\circ}\text{C}$
СОТ–1У	94.504	92.135	89.823	87.568	85.368
АГС–2	47.592	46.397	45.229	44.09	42.979

Сравнивая полученный результат с экспериментальными данными (см. табл. 4.4 – 4.5), можно отметить, что погрешность несовпадения составляет не более 15 %. Причем расчетные значения наиболее близки к экспериментальным результатам при отрицательных температурах.

На рис. 4.5 представлена зависимость среднеквадратического отклонения при определении времени работы от начальной температуры заряда.

Анализ представленной зависимости показал, что с ростом начальной температуры заряда генератора ошибка опыта уменьшается.

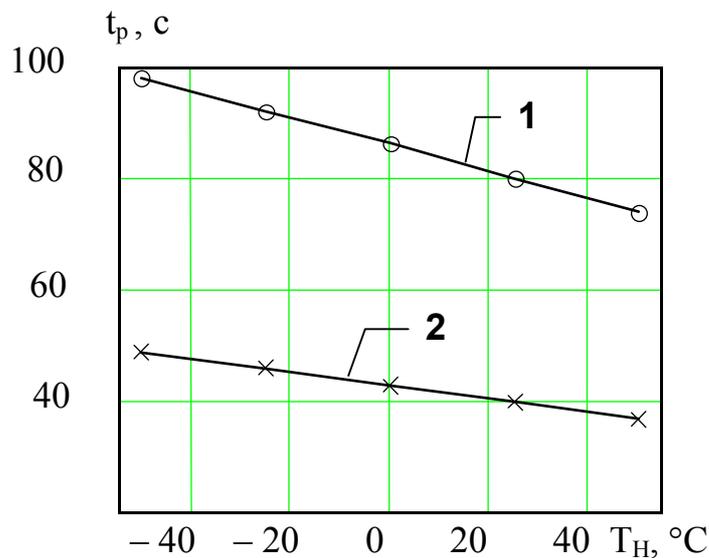


Рис. 4.4. Зависимость времени работы генераторов от начальной температуры заряда: 1 – для генератора марки СОР-1У; 2 – для генератора марки АГС-2

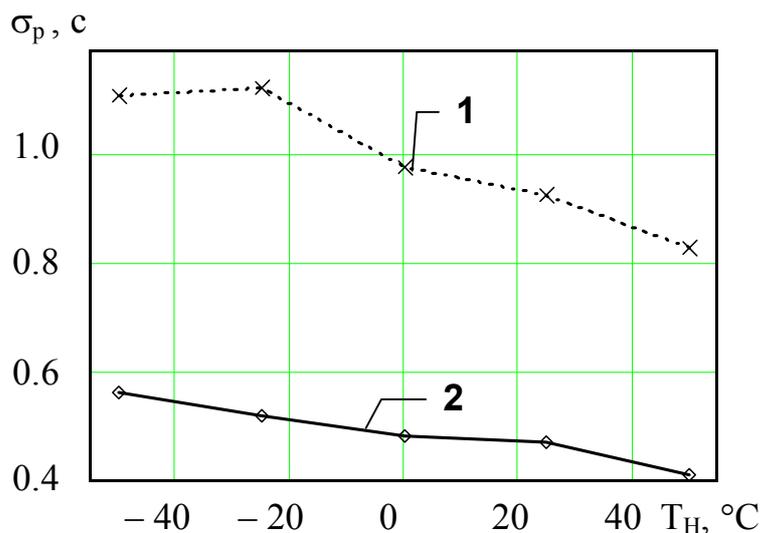


Рис. 4.5. Зависимость ошибки опыта при определении времени работы генератора от начальной температуры заряда: 1 – для генератора марки СОР-1У; 2 – для генератора марки АГС-2

Результаты решения третьей подзадачи представлены в табл. 4.7 – 4.8

На рис. 4.6 представлены графические зависимости скорости горения заряда от его начальной температуры, полученные экспериментальным путем.

Для генераторов обеих марок характерно, что с ростом начальной температуры заряда скорость его горения возрастает, прирост скорости составляет порядка 25 %. Зависимости скорости горения для генераторов СОР-У и АГС-2 практически совпадают, это объясняется тем, что оба генератора содержат заряд с одинаковыми характеристиками и горение

осуществляется по поверхности с постоянной площадью.

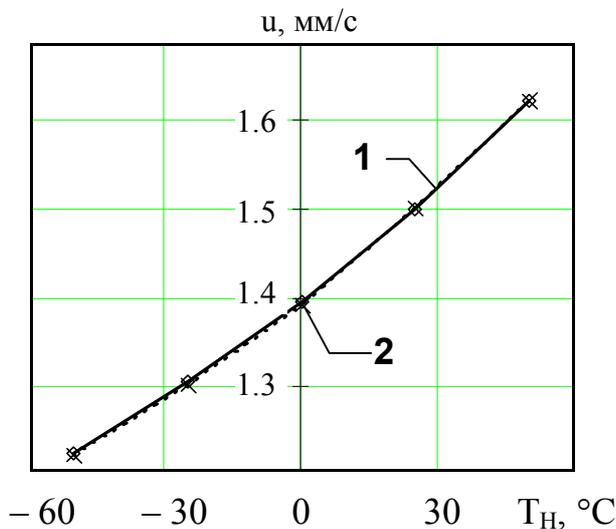


Рис. 4.6. Зависимость скорости горения заряда от его начальной температуры: 1 – для генератора марки СОТ–1У; 2 – для генератора марки АГС–2

Таблица 4.7

Результаты определения скорости горения заряда в генераторе марки СОТ–1У

$T_{H_i}, ^\circ\text{C}$	Скорость горения заряда генератора							СКО $\sigma_{u_{im}},$ мм/с
	$\bar{u}_i,$ мм/с	Результат эксперимента						
		1	2	3	4	5	6	
+ 50	1.631	1.655	1.642	1.616	1.631	1.601	1.643	0.0197
+ 25	1.507	1.487	1.512	1.525	1.521	1.471	1.523	0.0223
0	1.407	1.423	1.394	1.39	1.414	1.398	1.421	0.0146
- 25	1.295	1.29	1.303	1.285	1.281	1.302	1.306	0.0107
- 50	1.214	1.207	1.211	1.201	1.219	1.236	1.208	0.0125

Результаты определения скорости горения заряда
в генераторе марки АГС–2

$T_{H_i}, ^\circ\text{C}$	Скорость горения заряда генератора							СКО $\sigma_{u_{im}},$ мм/с
	$\bar{u}_i,$ мм/с	Результат эксперимента						
		1	2	3	4	5	6	
+ 50	1.63132	1.65463	1.64176	1.61613	1.63139	1.60095	1.64304	0.0197131
+ 25	1.5067	1.48748	1.51185	1.52492	1.52146	1.47125	1.52321	0.0222501
0	1.40657	1.42331	1.39358	1.38969	1.41423	1.3981	1.42052	0.0145502
– 25	1.29461	1.28973	1.30331	1.28502	1.28099	1.3023	1.30633	0.0107094
– 50	1.21362	1.207	1.21094	1.20063	1.21905	1.23605	1.20805	0.0125157

4.3. Рекомендации по выбору схемы построения ГОА с минимальным временем работы при заданном массовом расходе

На сегодняшний день при создании новых модификаций генераторов огнетушащего аэрозоля используются экспериментальные методы, то есть совершенствование тактико-технических характеристик ГОА осуществляется путем проведения ряда испытаний.

Среди многих параметров характеризующих показатели эффективности генератора основным является огнетушащая способность, образующегося во время работы ГОА, аэрозоля. В ряде случаев она значительно зависит от длительности подачи аэрозоля, массового расхода АОС, закона изменения его в течение всего времени подачи аэрозоля, а также в некоторой степени и от длительности переходного процесса в камере сгорания ГОА.

Длительность подачи огнетушащего аэрозоля определяется временем работы каждой конкретной модификации ГОА и может изменяться в пределах от 5 с до 200 с [5]. Очевидно, что при проектировании автоматической установки аэрозольного пожаротушения, целесообразно использовать ГОА с минимальным временем работы, но при этом масса заряда должна быть такой, чтобы обеспечить нужную огнетушащую концентрацию вещества в защищаемом объеме.

Как показали исследования, время работы ГОА в значительной степени зависит от скорости горения заряда АОС, толщины сгоревшего слоя, начальной температуры заряда.

Линейная скорость горения АОС величина, которая хоть и подвержена влиянию таких факторов как плотность, начальная температура заряда, но все же в незначительной степени. Для каждой конкретной модификации АОС она принимает ограниченные значения.

Температура заряда, параметр, который зависит от условий эксплуатации генератора. В ходе эксперимента было установлено, что

повышение начальной температуры заряда приводит к увеличению скорости горения и соответственно к снижению времени работы ГОА. Но использовать начальную температуру в качестве управляющего воздействия практически невозможно. Таким образом, эффективно влиять на изменение времени работы ГОА, можно варьируя только толщиной сгоревшего слоя заряда АОС.

Массовый расход огнетушащего вещества в установившемся режиме работы ГОА определяется выражениями (3.1) – (3.4). Проведенные исследования показали, что величина массового расхода может изменяться в широких пределах в зависимости от изменения площади поверхности горения, плотности и скорости горения заряда, начальной его температуры, но плотность, как и скорость горения заряда являются фиксированными параметрами АОС и принимают ограниченное значение. В значительной степени повлиять на величину массового расхода, можно изменяя площадь поверхности горения.

При проектировании установок аэрозольного тушения, в расчетах при прогнозировании параметров генераторов, лучше всего поддается моделированию режим подачи аэрозоля с постоянными во времени расходными характеристиками. Как правило, этот режим обеспечивается за счет постоянной площади поверхности горения.

Ниже рассмотрим варианты схемных решений, которые обеспечивают неизменную во времени площадь поверхности горения.

Вариант 1. Анализ существующих конструкций ГОА [67, 72, 74, 79] показал, что значительная часть существующих генераторов имеет конструкцию, которая в обобщенном виде представлена на рис. 2.1. Процесс горение в таком генераторе осуществляется по торцу заряда, то есть реализуется нейтральный закон подачи огнетушащего вещества. Время работы, при такой конструкции генератора, определяется выражением (3.10) и в основном зависит от длины шашки заряда ℓ . При этом площадь поверхности горения не изменяется со временем и определяется как площадь круга диаметра $d_{зар}$. Сократить время работы генератора, при заданных характеристиках заряда АОС, можно только сокращая величину сгоревшего слоя заряда. Чтобы при этом, не ухудшить интенсивность подачи огнетушащего аэрозоля, то есть сохранить неизменной массу заряда АОС, необходимо увеличить диаметр цилиндрического заряда. Это в свою очередь приведет к увеличению площади поверхности горения, а значит и величины массового расхода.

Для заряда, имеющего форму правильного цилиндра, при условии, что масса заряда $m_{АОС}$ известная величина, которая определяет огнетушащую эффективность ГОА, связь между длиной заряда ℓ и его диаметром $d_{зар}$ определяется выражением:

$$d_{\text{зар}} = \sqrt{\frac{4 \cdot m_{\text{АОС}}}{\pi \cdot \ell \cdot \rho_{\text{T}}}}, \quad (4.1)$$

где ρ_{T} – плотность заряда.

Расчет по формуле (3.14) показал, что для генератора марки АГС-2, который имеет следующие характеристики [5]

$$\ell = 14 \text{ см}, d_{\text{зар}} = 13 \text{ см}, m_{\text{АОС}} = 3.25 \text{ кг},$$

уменьшение длины заряда АОС до 10 см приводит к сокращению времени работы ГОА на 25 секунд. При этом за счет увеличения диаметра заряда на 14 % увеличивается массовый расход до 40 г/с. График на рис. 4.7 иллюстрирует зависимость времени работы ГОА от начальной температуры заряда, для вариантов конструкции генератора с различной длиной и диаметром шашки заряда. Очевидно, уменьшая длину шашки, можно сократить время работы ГОА до некоторого минимального значения, при этом массовый расход будет увеличиваться.

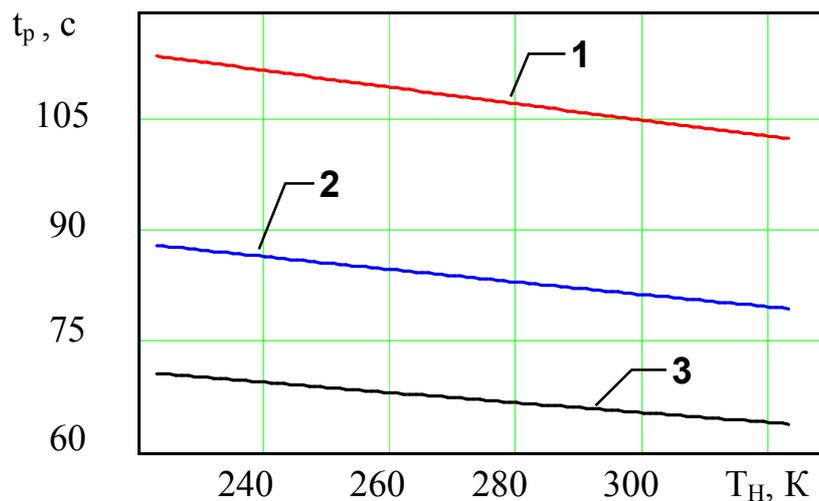


Рис. 4.7. Зависимость времени работы генератора от начальной температуры заряда: 1 – для АГС-2 при $d_{\text{зар}} = 14 \text{ см}$, $L = 13 \text{ см}$; 2 – при $d_{\text{зар}} = 16 \text{ см}$, $L = 10 \text{ см}$; 3 – при $d_{\text{зар}} = 17.9 \text{ см}$, $L = 8 \text{ см}$

Техническая реализация рассмотренного предложения предусматривает выполнение следующих условий:

- в составе генератора необходимо предусмотреть несколько иницирующих устройств, обеспечивающих одновременный поджег всей поверхности горения заряда;
- конструкция ГОА должна обеспечивать сохранение механической прочности заряда при транспортировке, монтаже и эксплуатации;
- в составе ГОА должны быть устройства, которые бы обеспечивали

надежную термоизоляцию стенок корпуса, соприкасающихся с высокотемпературными продуктами сгорания АОС.

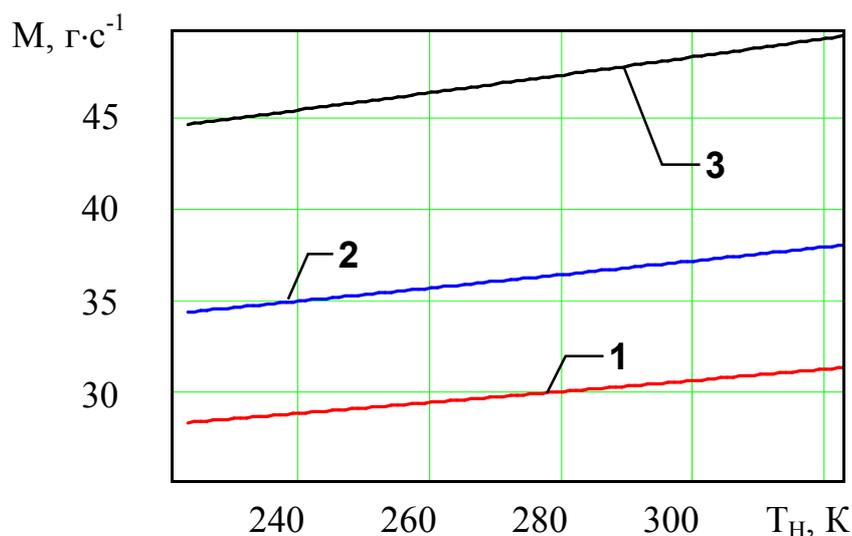


Рис. 4.8. Зависимость массового расхода от начальной температуры заряда: 1 – для АГС–2 при $d_{зар} = 14$ см, $L = 13$ см; 2 – при $d_{зар} = 16$ см, $L = 10$ см; 3 – при $d_{зар} = 17.9$ см, $L = 8$ см

Например, для защиты условно-герметичного объекта объемом 2 м^3 , согласно [62], при условии создания в нем огнетушащей концентрации $q_H = 50 \text{ г/м}^3$ необходимо сжечь заряд массой 100 г. В качестве заряда используем состав Е–1, который имеет плотность 1600 кг/м^3 [5]. Пусть необходимо обеспечить время работы генератора до 7 с. Из выражения (3.14) находим длину цилиндрической шашки $\ell = 7,6$ см. Подставив полученное значение в выражение (4.1), найдем диаметр заряда, который равен 10 см. За указанное время работы, согласно выражению (3.4), такой генератор обеспечит подачу огнетушащего аэрозоля с массовым расходом $M = 14.3 \text{ г·с}^{-1}$.

Таким образом, применить данные рекомендаций можно при проектировании генераторов с массой заряда АОС до 200 г, которые служат для защиты объектов с объемом до $2 \div 5 \text{ м}^3$.

Вариант 2. Заряд АОС имеет форму полого правильного цилиндра с диаметром d_H , диаметр канала d_B (рис.4.9). Торцы заряда забронированы. Горение осуществляется по наружной и внутренней поверхности заряда АОС. С учетом того, что фронт горения в каждый последующий момент времени занимает положение, эквидистантное предыдущему, толщина сгоревшего слоя h будет определяться следующим выражением:

$$h = \frac{d_H - d_B}{4}.$$

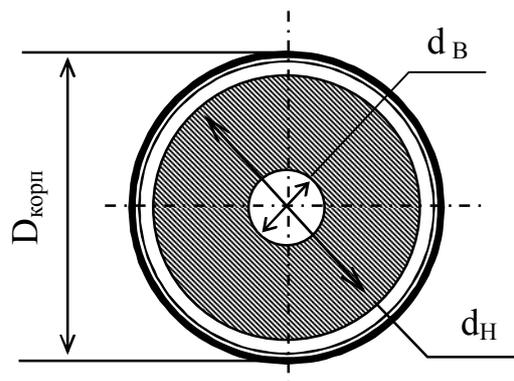


Рис. 4.9. Вариант компоновки заряда АОС с внутренним каналом.

Если принять d_H равным $0.95 \cdot d_{3AP}$, где d_{3AP} – диаметр заряда генератора АГС–2, равный 14 см, а $d_B = 0.05 \cdot d_{3AP}$, то время работы генератора с новым зарядом, согласно выражению (3.14), будет принимать значение $t_p = 25.53$ с при $T_H = 223$ К и $t_p = 25.15$ с при $T_H = 323$ К. Анализ графиков на рис. 4.10, так же показал, что при сохранении тенденции к уменьшению времени работы с ростом начальной температуры заряда, для предлагаемого варианта эта зависимость имеет слабовыраженный характер. Таким образом, заряды, которые быстрее сгорают, в меньшей степени подвержены влиянию внешней среды и сохраняют стабильность своих характеристик при изменении температуры окружающего воздуха.

Площадь поверхности горения для канального заряда будет оставаться постоянной в течение всего времени работы ГОА. При этом она будет определяться следующим выражением:

$$S_3 = \pi \cdot \ell \cdot (d_H + d_B),$$

где ℓ – длина шашки.

Зависимость массового расхода от начальной температуры заряда, представлена на рис. 4.12, цифрой 1 обозначен график зависимости для генератора АГС-2, а 2 – предлагаемый вариант. Очевидно, что увеличение площади поверхности горения приводит к росту величины массового расхода в сравнении с характеристиками базового генератора АГС-2 более чем в 4 раза. Необходимо отметить, что во втором случае величина массового расхода в большей степени подвержена влиянию начальной температуры заряда.

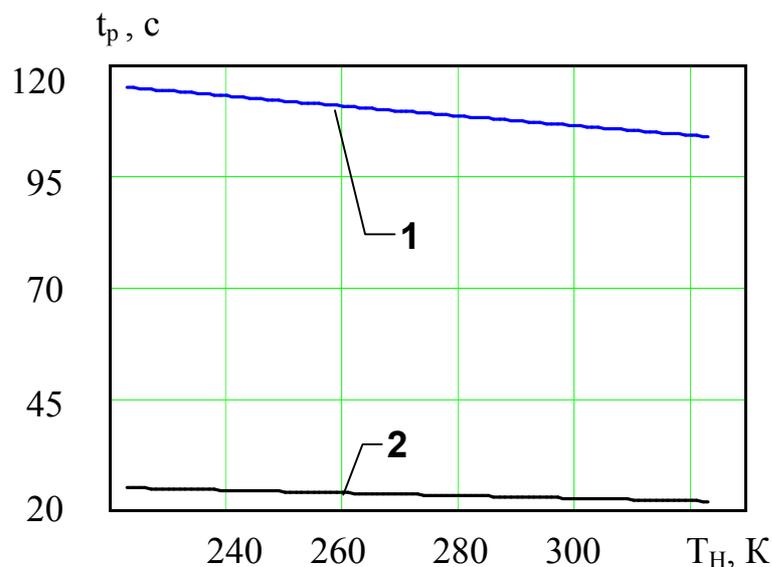


Рис. 4.10. Зависимость времени работы генератора от начальной температуры заряда 1 – для АГС–2 при $d_{зар} = 14$ см, $L = 13$ см; 2 – при $h = 3.2$ см, $\ell = 13.6$ см

При проектировании ГОА с каналным зарядом необходимо учесть следующие требования (особенности конструктивного исполнения):

- минимальный диаметр каналов d_B , d_H должен определяться из условия: обеспечение докритического режима истечения продуктов сгорания из каналов, имеющих площадь $S_{КАН}$, то есть должно выполняться следующее неравенство $S_{КАН} > S_{КР}$, где $S_{КР}$ – площадь критического сечения канала;
- в связи с наличием контакта горячих газов с корпусом ГОА по всей его поверхности, в конструкции ГОА должен быть предусмотрена либо эффективная его теплоизоляция, либо сам корпус должен быть толстостенный;
- для крепления заряда АОС в корпусе генератора, необходимо применять специальные устройства, предотвращающие выброс элементов заряда при сгорании;
- для снаряжения ГОА нужно использовать заряды с рецептурой, обеспечивающей стабильность геометрической формы, в течение всего срока эксплуатации устройства.

К преимуществам схемы ГОА с каналным зарядом можно отнести следующее:

- достаточно малое время выгорания заряда, следовательно, и время работы ГОА;
- масса заряда АОС, которым снаряжен ГОА, определяется требуемой оптимальной интенсивностью подачи огнетушащего аэрозоля.

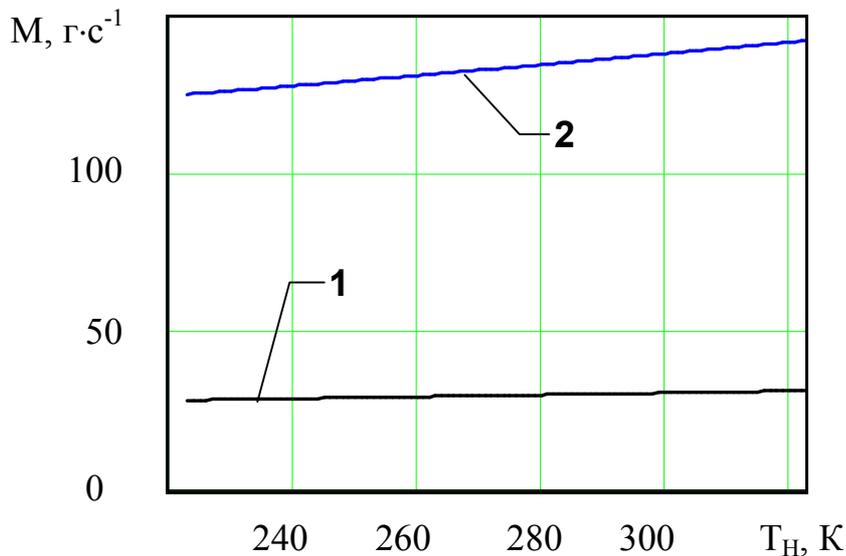


Рис. 4.11. Зависимость массового расхода от начальной температуры заряда 1 – для АГС–2 при $d_{зар} = 14$ см, $L = 13$ см; 2 – при $h = 3.2$ см, $\ell = 13.6$ см

Вместе с тем, генератор, который снабжен канальным зарядом, имеет такие недостатки:

- сравнительно низкий коэффициент заполнения камеры;
- присутствуют дополнительные устройства, фиксирующие заряд в корпусе.

Указанные недостатки приводят к ухудшению удельной массовой эффективности ГОА.

Таким образом, рассмотренная схема может быть рекомендована при проектировании генератора с массой заряда АОС до 3 кг и продолжительностью работы от 10 до 30 с.

Вариант 3.

Предлагается телескопическая схема размещения заряда (рис. 4.12). Внутри корпуса имеющего форму правильного цилиндра расположен заряд 1, имеющего форму полого цилиндра с параметрами d_H – наружный диаметр, d_B – внутренний диаметр цилиндра. В центре помещен заряд 2 того же состава с диаметром $d_{Ц}$. Для реализации нейтрального режима подачи огнетушащего аэрозоля необходимо, чтобы выполнялось следующее условие:

$$d_{Ц} = d_H - d_B.$$

Тогда, толщина сгоревшего слоя заряда 1 будет равна толщине слоя заряда 2. Длительность работы ГОА будет определяться в зависимости от свойств заряда, выражениями (3.10)–(3.14), где вместо L длины заряда, необходимо подставить выражение для толщины сгоревшего слоя h , который равен

$$h = R_H - R_B.$$

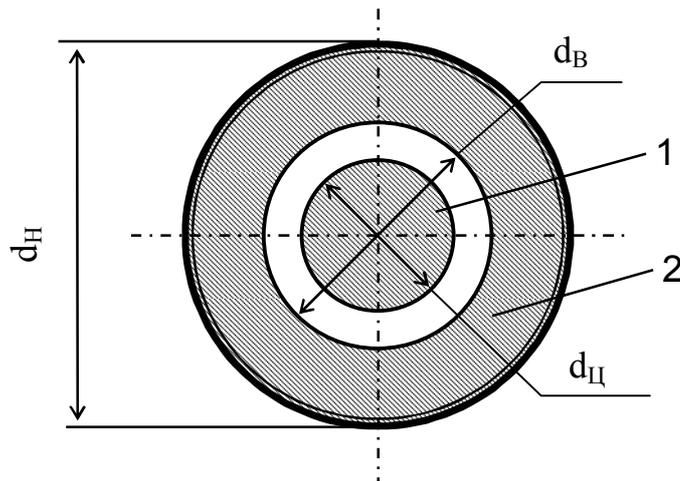


Рис. 4.12. Вариант компоновки телескопического заряда АОС: 1 – центральный заряд; 2 – наружный заряд

Площадь поверхности горения на протяжении всего времени работы будет оставаться постоянной и численно будет равна

$$S_3 = \pi \cdot d_H \cdot \ell,$$

где ℓ – длина шашек 1 и 2.

На рис. 4.13 представлена зависимость времени работы ГОА от начальной температуры заряда 1 – для генераторов марки АГС-2 и 2 – телескопического заряда, размещенного в корпусе с теми же габаритными размерами. Как и в предыдущем случае, на время работы ГОА с телескопическим зарядом изменение температуры окружающей среды оказывает слабое влияние. Это объясняется скоротечностью процесса работы генератора. Очевидно, в сравнении с характеристиками генератора АГС-2 удалось добиться снижения времени работы в 4 раза. Величина массового расхода у генератора с усовершенствованной конструкцией возросла в 3 раза (рис. 4.5). Данный факт объясняется увеличением площади поверхности горения по сравнению в варианте торцевого горения в генераторе АГС-2. Как следствие, интенсивность подачи огнетушащего аэрозоля для генератора с телескопическим зарядом возрастет, так как масса заряда АОС осталась неизменной, следовательно, количество получаемого аэрозоля останется прежним, а время работы генератора сократилось.

Преимущества телескопической схемы размещения заряда в следующем:

- воспламенение заряда производится от одного инициирующего устройства;
- процесс горения заряда происходит в двух направлениях;
- во время сгорания заряда отсутствует контакт продуктов сгорания со

- стенками корпуса ГОА;
- заряд надежно крепится к стенкам корпуса и центральной оси, за счет адгезии с материалом корпуса;
 - коэффициент заполнения камеры ГОА приближается к наибольшему значению.

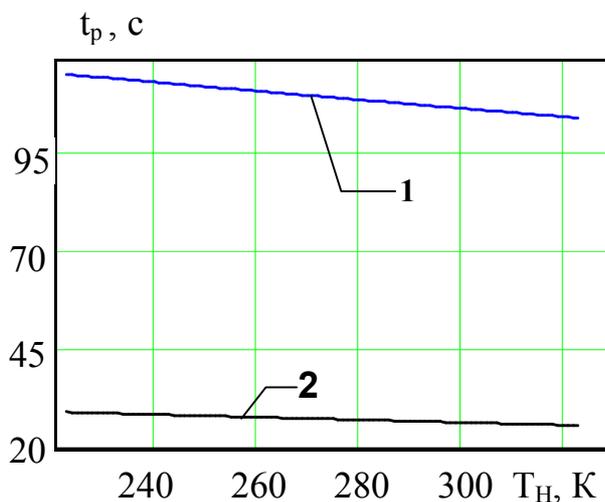


Рис. 4.13. Зависимость времени работы генераторов от начальной температуры заряда: 1 – АГС–2; 2 – ГОА с телескопическим зарядом

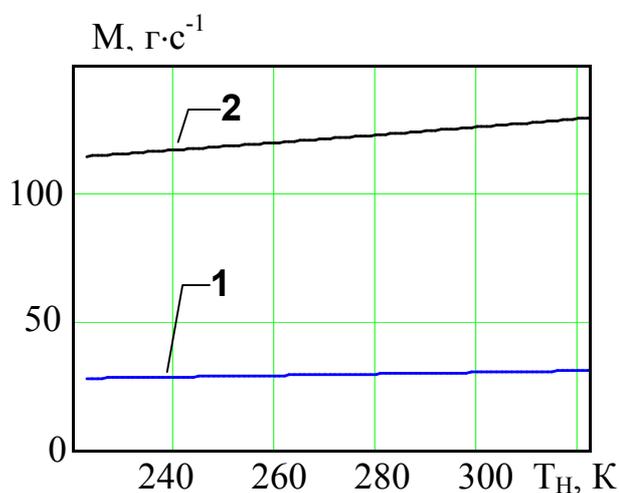


Рис. 4.14. Зависимость величины массового расхода генераторов от начальной температуры заряда: 1 – АГС–2; 2 – ГОА с телескопическим зарядом

С учетом рассмотренных достоинств телескопической схемы размещения заряда АОС ее применение целесообразно для генераторов с массой заряда АОС превышающей 3 кг.

Сравнительный анализ рассмотренных вариантов схем компоновки зарядов АОС показал, что наиболее эффективное решение задачи минимизации времени работы ГОА, при условии обеспечения заданного значения его расходных характеристик, возможно в случае применения схемы со сложным телескопическим зарядом (рис. 4.15). Для обеспечения постоянства расходных характеристик необходимо, чтобы размеры вложенных зарядов удовлетворяли условию постоянства во времени площади поверхности горения:

$$R_2 = 3 \cdot R_1 + \delta h_1; R_3 = 4 \cdot R_1 + \delta h_2$$

где R_1 – радиус цилиндра 1, R_2 – наружный радиус цилиндра 2, R_3 – радиус цилиндра 3, δh_1 – расстояние между цилиндром 1 и 2, δh_2 – расстояние между цилиндром 2 и 3.

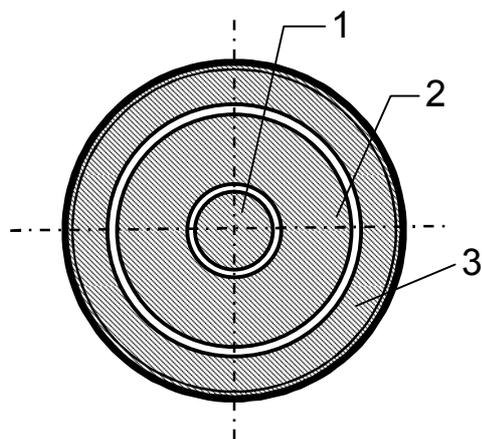


Рис. 4.15. Вариант компоновки сложного телескопического заряда АОС: 1 – центральный заряд; 2 – промежуточный заряд; 3 – наружный заряд

Таким образом, использование телескопической схемы размещения заряда АОС в корпусе ГОА позволяет создавать модификации генераторов с улучшенными характеристиками.