

УДК: 623.09

DOI: 10.53816/23061456_2022_1-2_103

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПРИМЕНЕНИЯ И РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЫМОВЫХ МАШИН ПРИ ОХРАНЕ ВОЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

JUSTIFICATION OF THE METHOD OF APPLICATION AND MODE OF OPERATION OF SMOKE MACHINES IN THE PROTECTION OF MILITARY FACILITIES

А.М. Пурис¹, В.С. Филиппов¹, канд. техн. наук С.И. Косяков², д-р техн. наук М.В. Сильников³

A.M. Puris, V.S. Filippov, Ph.D. S.I. Kosyakov, D.Sc. M.V. Silnikov

¹12 Главное управление МО РФ, ²12 ЦНИИ МО РФ, ³АО «НПО Спецматериалов»

Представлены результаты физического моделирования дальности видимости L в дыму, формируемого испарением раствора гликоля в воде. Эксперименты выполнялись в видимом и инфракрасном диапазонах оптического спектра. Демонстрируется $\approx 2,5$ -кратное влияние на L направления освещения предмета охраны в дыму и ≈ 15 -кратное влияние на L диапазона оптического спектра, в котором наблюдается предмет охраны. Отмечается длительность перевода генератора дыма в состояние готовности к применению, а также влияние на время витания дыма в охраняемом помещении, условий размещения в нём генератора дыма. Исходя из этих результатов обоснован способ применения и режим эксплуатации генератора дыма при охране военных объектов.

Ключевые слова: видимость в дыму, дымовая машина, моделирование, спектральный диапазон.

The results of physical modeling of the visibility range L in smoke formed by evaporation of a glycol solution in water are presented. The experiments were performed in the visible and infrared ranges of the optical spectrum. A $\approx 2,5$ -fold effect on L of the direction of illumination of the object of protection in smoke and a ≈ 15 -fold effect on L of the range of the optical spectrum in which the object of protection is observed is demonstrated. The duration of the transfer of the smoke generator to the state of readiness for use is noted, as well as the influence of the conditions of placement of the smoke generator in it on the time of soaring smoke in a protected room. Based on these results, the method of application and mode of operation of the smoke generator for the protection of military facilities is justified.

Keywords: visibility in smoke, smoke machine, simulation, spectral range.

Развитие охранной техники идёт по пути внедрения современных образцов технических средств охраны с улучшенными функциональными и эксплуатационными характеристиками. Это обстоятельство определяет актуальность исследований способов применения и режимов

эксплуатации технических средств для охраны военных объектов. В настоящей работе рассматриваются дым-машины (ДМ), предлагаемые к применению в охраняемых помещениях (ОП), [1]. Производители заявляют о высокой эффективности ДМ, обусловленной быстрой

постановкой оптически непрозрачной дымовой (аэрозольной) завесы, обеспечивающей ограничение дальности видимости L в дыму (аэрозоле), и тем самым затрудняющей противоправные действия нарушителей.

ДМ объединяет в едином корпусе (рис. 1) спиральный испаритель и сопло, насос для прокачивания жидкости через испаритель и сопло, а также бак для хранения дымообразующей жидкости [2]. Дымообразующая жидкость представляет собой смесь 70 % дистиллированной воды с 30 % пропиленгликоля или триэтиленгликоля. По этой причине дымовая (аэрозольная) завеса, создаваемая ДМ, фактически представляет собой водяной туман, подкрашенный до белёсого цвета гликолем.

В статьях [3, 4] демонстрируются результаты экспериментальных исследований видимости в дымовой завесе от ДМ в видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах оптического спектра. Исследования выполнялись инструментально-визуальным методом «исчезновения объекта». Метод подразумевает (рис. 2) размещение на противоположных стенках герметичных отсеков объёмами $V = 0,16 \text{ м}^3$ и $0,55 \text{ м}^3$ в форме прямоугольного параллелепипеда на удалении d друг

от друга объекта обнаружения 2 и окна 1, через которое этот объект наблюдается. Объектом обнаружения 2 являлась чёрная квадратная марка на белом фоне [5]. Дополнительно в стенках отсека (на схеме рис. 2 не показаны) под окном 1 размещался источник света, а напротив в районе чёрной марки 2 для оценки её освещённости – люксметр. Отсек задымлялся ДМ 3 до тех пор, пока чёрная марка 2 становилась неразличимой на окружающем её фоне. В этот момент по массе M аэрозоля, заполнившего отсек объёмом V , оценивалась концентрация $\Phi = M / V$ дыма, а по освещённости E люксметра — его оптическая плотность

$$D = \frac{1}{d} \lg \left(\frac{E_0}{E} \right), \text{ дБ/м}, \quad (1)$$

где E_0 — начальная освещённость люксметра и марки 2. Значения Φ ставились во взаимно однозначное соответствие значениям D и $L = d$.

При исследованиях видимости в ИК диапазоне оптического спектра в качестве объекта обнаружения в методе «исчезновения объекта» использовалось отверстие 4, устроенное напротив окна 1 в противоположной ему стенке отсе-



Рис. 1. Устройство и способ применения дым-машины [2]

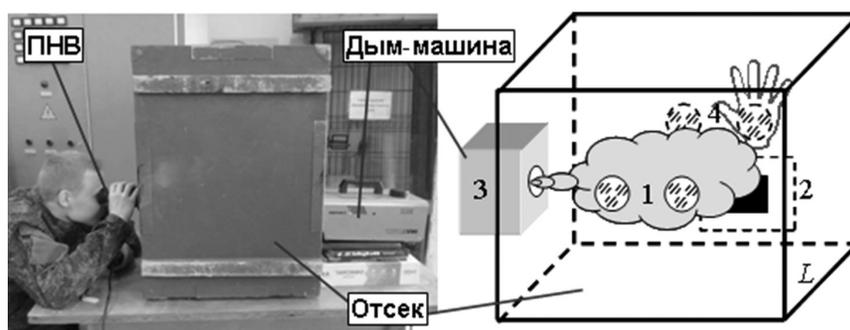


Рис. 2. Метод экспериментальных исследований оптической плотности D и дальности видимости L в тумане ДМ [4]

ка (рис. 2). Отверстие наблюдалось через прибор ночного видения (ПНВ) в спектральном диапазоне 8...14 мкм. Для воспроизведения открытого человеческого тела оно перекрывалось ладонью. Для воспроизведения дверного проёма отверстие 4 не перекрывалось.

Опытные данные [3, 4] по дальности видимости в дымовой завесе от ДМ в видимом и ИК диапазонах оптического спектра обобщены на рис. 3. Здесь символами 1 и 2 обозначены данные, полученные наблюдением чёрной марки невооружённым глазом при освещении её со стороны наблюдателя и при подсвечивании её сзади. Символами 3 и 4 обозначены данные, полученные наблюдением через ПНВ отверстий, воспроизводящих соответственно дверной проём и человеческое тело. На рисунке также приведены данные для естественных водяных туманов 5 [5–7].

Экспериментальные данные рис. 3, а демонстрируют известный опытный факт, что предмет, подсвечиваемый со стороны или сзади, наблюдается в дыму или тумане на больших дистанциях L по сравнению с предметом, который освещается со стороны наблюдателя. Представленный эффект широко используется в указателях аварийной эвакуации, светящихся в дыму пожара. Он обусловлен тем, что слои тумана или дыма, находящиеся ближе к источнику света, приобретают более высокую яркость, чем те, которые находятся дальше от него. Указанный эффект дополнительно иллюстрируется на рис. 3, а средними линиями тренда 1 и 2 для соответствующих направлений освещения чёрной марки. Эти линии описываются соотношениями

$$L = 3,62 / \Phi^{1,1} \text{ и } L = 8,94 / \Phi^{1,1}, \text{ м.} \quad (2)$$

В целом, эмпирические данные рис. 3, а позволяют сформулировать способ применения ДМ в ОП. В случае проникновения нарушителя в ОП необходимо вначале затемнить помещение (например, в тёмное время суток можно выключить осветительные приборы, а в светлое — опустить на окна светонепроницаемые жалюзи), а затем начать его задымление. В таком случае, нарушитель будет вынужден сам освещать себе направление движения к предмету охраны и для него дальность видимости L будет в 2... 2,5 раза меньше по сравнению со случаем, когда ОП освещено, а направление движения к предмету охраны подсвечено сбоку или сзади. Кроме того, такой способ применения ДМ позволит снизить в 2,2... 2,7 раза расход дымообразующего состава или увеличить примерно во столько же раз время поддержания оптически непрозрачной дымовой завесы.

Опытные данные 3 и 4 рис. 3, а демонстрируют дальность видимости L в дыму (тумане) в ИК диапазоне оптического спектра при изменении массовой концентрации Φ дыма. Соответствующая средняя линия тренда 3 задаётся формулой

$$L = 140 / \Phi^{1,1}, \text{ м.} \quad (3)$$

Вообще, эмпирические соотношения (2) и (3) являются уточнением соответствующих зависимостей из [3, 4] и получены по результатам физического моделирования дымовой завесы в ОП [2]. Они дают более точные оценки как дальности видимости L в дымовой завесе ОП, так и количества затрачиваемой для ограничения видимости дымообразующей жидкости. В частности, они свидетельствуют, что для маскирова-

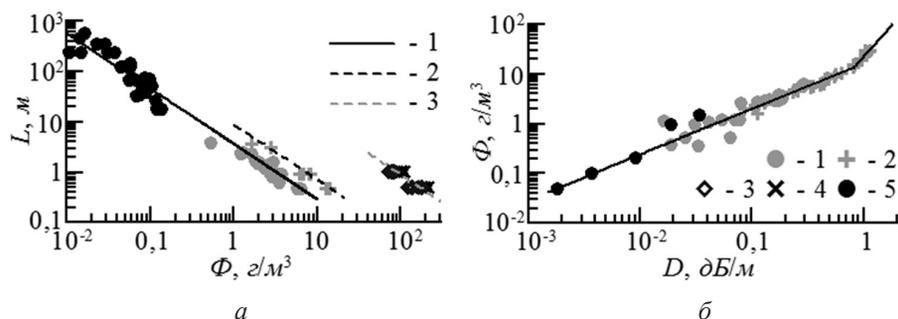


Рис. 3. Дальность видимости L (б) и оптическая плотность D (а) тумана ДМ при изменении его концентрации Φ [3, 4]

ния предмета охраны в ИК-диапазоне спектра туманом от ДМ необходимо затрачивать на порядок больше дымообразующей жидкости.

Существенное различие дальности видимости L в тумане в ИК диапазоне оптического спектра — точки 3 и 4 на рис. 3, а — по сравнению с видимым диапазоном оптического спектра — точки 2 на рис. 3, а — объясняется наличием в спектрах поглощения у паров воды так называемых «окон оптической прозрачности» в диапазонах длин волн $\lambda = 3 \dots 5$ и $8 \dots 14$ мкм [8]. Эти данные накладывают ограничение на область применения ДМ — их следует применять в ОП для противодействия только неподготовленным нарушителям. Подготовленный же нарушитель (экипированный ПНВ) сможет ориентироваться в задымлённом таким образом помещении объекта охраны практически без помех. Впрочем, против неподготовленного нарушителя применение ДМ даже предпочтительно, поскольку позволит силам охраны беспрепятственно наблюдать за нарушителем через ИК-камеры, размещаемые в ОП, и тем самым координировать свои действия для противодействия этому нарушителю.

В статье [2] представлены результаты физического моделирования дымовой завесы в ОП при применении ДМ. Для этого использовался отсек в форме прямоугольного параллелепипеда размерами $3,9 \times 2,5 \times 3,25$ м, изготовленный из деревянного каркаса, обтянутого армированной полиэтиленовой плёнкой толщиной 0,2 мм (рис. 4). На двери размерами $0,9 \times 2$ м размещался объект обнаружения — чёрная квадратная марка на белом фоне. В первом опыте дым-машина располагалась на полу у стены, противоположной двери. Во втором и третьем опытах она

размещалась у той же стены, но на высоте ≈ 2 м от пола.

Оценка массовой концентрации Φ дыма и дальности видимости L в нём осуществлялась по методике [3]. В соответствии с ней внутри отсека напротив друг друга (рис. 4) на расстоянии $d=0,5$ м располагались источник света и люксметр. Величины Φ и L определялись инструментально-расчётным методом, когда по результатам регистрации освещённости E люксметра вначале оптическая плотность D дымовой завесы вычислялась по формуле (1), а затем значения Φ и L вычислялись по формулам

$$\Phi(t) = \begin{cases} 16,11 \cdot D(t)^{0,91} & \text{при } D \leq 0,83, \\ 22 \cdot D(t)^{2,5} & \text{при } D > 0,83, \end{cases} \text{ г/м}^3, \quad (4)$$

и

$$L = 0,17 / D, \text{ м}. \quad (5)$$

Зависимость (4) показала на рис. 3, б линией 1. Формула (5) оценивает дальность видимости L в дымовой завесе для случая, когда предмет обнаружения освещается со стороны наблюдающего. Рис. 5 демонстрирует опытные данные по изменению во времени оптической плотности D , а также результаты оценки изменения во времени величины L . Здесь и далее номера опытных данных соответствуют номерам опытов. Линиями 4–6 представлены соответствующие осреднённые значения экспериментально-расчётных данных 1–3.

Во втором и третьем опытах дальность видимости в дыму определялась также органолептически по методу «исчезновения объекта» [3–5]. Другими словами, величина 10 % определялась



Рис. 4. Схема физического моделирования дымовой завесы, [2]

как расстояние от объекта обнаружения — чёрной квадратной марки на белом фоне — до места на котором она в дыму отсека переставала быть видна. Эти данные обозначены на рис. 5, б символами 7. Отличие опытных данных 7 от осреднённых значений 5 и 6 на рис. 5, б не превышает 10 %. Отсюда ввиду практически линейности формул (2) следует, что относительная погрешность экспериментально-расчётной оценки массовой концентрации Φ дыма [3], также не должна превышать 10 %. Исходя из этого, константы в соотношениях (2) и были уточнены таким образом, чтобы значения L , вычисляемые по (5), а также по (4) и (2) соответствовали друг другу.

Анализ экспериментальных данных на рис. 5 показывает, что в опыте 1 просветление дымовой завесы наступало существенно быстрее, чем в опытах 2 и 3. Это обусловлено тем, что в опыте 1 ДМ размещалась у пола отсека, когда струя нагретого пара распространялась вдоль его относительно холодной поверхности. В результате, в опыте 1 на ней осаждалось больше аэрозоля, чем в опытах 2 и 3, что сказалось на времени существования дымовой завесы. Отсюда следует вывод о способе применения ДМ — её целесообразно размещать в ОП таким образом, чтобы струя пара распространялась не вдоль стен, пола или потолка помещения, а от них.

Результаты физического моделирования дымовой завесы также свидетельствуют, что время работы (применения) ДМ составляет $\leq 1,5$ мин, а время перевода ДМ в состояние готовности к применению на порядок больше и составляет ≈ 20 мин. Оно обусловлено медленным прогревом массивного (≈ 10 кг) испарителя ДМ (рис. 1) до рабочей температуры 320 °С. При этом необходимо учитывать, что нападения нарушителей обычно бывают неожиданными. По этой причине

для противодействия нарушителям испаритель ДМ необходимо постоянно держать нагретым, что определяет режим эксплуатации ДМ — это должно быть устройство постоянной эксплуатации. Кроме того, ввиду наличия в конструкции ДМ бака с дымообразующей жидкостью (рис. 1), состоящей на 70 % из дистиллированной воды, её предпочтительно эксплуатировать в отапливаемых помещениях. Это обстоятельство ограничивает применение ДМ на военных объектах.

В целом, по результатам экспериментальных исследований, представленных в настоящей работе, можно сделать следующие предложения по способу применения ДМ на военных объектах. Дым-машина должна постоянно находиться в ОП в готовности к применению, т.е. её испаритель должен постоянно поддерживаться в нагретом состоянии, хоть это может и привести к быстрому расходу ресурса ДМ (в первую очередь, её термоэлектрического нагревателя). Для быстроты задымления ОП система управления ДМ должна соединяться с объектовыми средствами обнаружения (рис. 1), размещаемыми в местах возможного проникновения нарушителя в здание или сооружение с ОП — на входах и окнах.

В момент обнаружения проникновения нарушителя в здание или сооружение система управления ДМ по сигналу от объектовых средств обнаружения должна начать задымление ОП, а само ОП должно быть немедленно затемнено. Это позволит практически гарантированно поставить дымовую завесу в ОП ещё до момента непосредственного проникновения нарушителя в помещение, т.к. время задымления ОП составляет $\leq 1,5$ мин.

Подводя итоги, следует подчеркнуть, что в настоящее время в Российской Федерации разрабатываются современные средства охра-

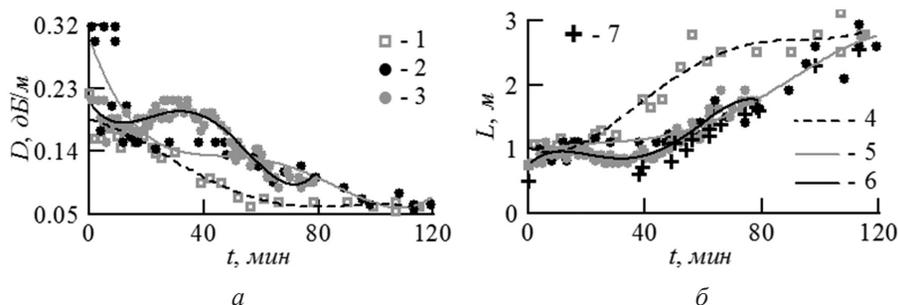


Рис. 5. Освещённость (а) и дальность видимости в дыму (б), [2]: 1, 2, 3 — опытные данные; 4, 5, 6 — осреднённые опытные зависимости

ны зданий и сооружений объектов различного назначения [9]. На основе указанных изделий и технологий осуществляется совершенствование способов охраны с целью противодействия нападениям диверсионных и террористических групп на различные военные объекты. Представленное в настоящей работе соотношение (4) для экспериментальной оценки массовой концентрации Φ дыма может использоваться для прогноза токсического поражения заложников при применении в охраняемых помещениях ДМ [10].

Литература

1. Жижкина Г.Ю. Английский дым на страже российских ценностей // Системы безопасности. 2008. № 4. 178 с.
2. Пурис А.М., Фёдоров Д.С., Косяков С.И., Чернопрудов Д.М. Моделирование дымовой завесы в охраняемом помещении // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 1–2 (151–152). С. 91–97.
3. Фёдоров Д.С., Рябов В.В., Косяков С.И., Матросов В.Н. Зависимости для оценки дальности видимости в аэрозольных средах // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2019. № 9–10 (135–136). С. 105–110.
4. Пурис А.М., Фёдоров Д.С., Косяков С.И., Дворецкий С.А. Видимость в дыму в видимом и инфракрасном диапазонах оптического спектра // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 1–2 (151–152). С. 46–52.
5. Гаврилов В.А. Видимость в атмосфере. — Л.: Гидрометеорологическое изд.-во. 1966. 324 с.
6. Шаронов В.В. Наблюдение и видимость. — М.: Воен. изд. 1963. 96 с.
7. Зверев А.С. Туманы и их предсказание. — Л.: Гидрометеиздат. 1954. 74 с.
8. Кочкин А.Ю. Прогнозирование и контроль экологической опасности дымов. Дис. ... канд. тех. наук: 03.00.16. — Москва. 2006. 160 с.
9. Бабкин А.В., Велданов В.А., Грязнов Е.Ф. и др. Средства поражения и боеприпасы: Учеб-

ник / Под общ. ред. В.В. Селиванова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2008. 984 с.

10. Гельфанд Б.Е., Сильников М.В. Баротермическое действие взрывов. — СПб: Астерион. 2006. 658 с.

References

1. Jijikine G.Y. English smoke on the guard of Russian values // Security systems. 2008. № 4. 178 p.
2. Puris A.M., Fedorov D.S., Kosyakov S.I., Chernoprudov D.M. Simulation Of A Smoke Screen In A Protected Area // Voprosy oboronnoi tekhniki. Serii 16. Tekhnicheskie sredstva protivodestviia terrorizmu. 2021. № 1–2 (151–152). P. 91–97.
3. Fedorov D.S., Raybov V.V., Kosyakov S.I., Matrosov V.N. The Formulas for Estimation of Visibility Range in Aerosol Environment // Voprosy oboronnoi tekhniki. Serii 16. Tekhnicheskie sredstva protivodestviia terrorizmu. 2019. № 9–10 (135–136). P. 105–110.
4. Puris A.M., Fedorov D.S., Kosyakov S.I., Dvoretzky S.A. Visibility In Smoke In The Visible And Infrared Ranges Of The Optical Spectrum // Voprosy oboronnoi tekhniki. Serii 16. Tekhnicheskie sredstva protivodestviia terrorizmu. 2021. № 1–2 (151–152). P. 46–52.
5. Gavrilov V.A. Visibility in the atmosphere. — L.: Hydrometeoizdat. 1966. 324 p.
6. Sharonov V.V. Observation and Visibility. — M.: Voenizdat. 1963. 96 p.
7. Zverev A.S. Fogs and their Prediction. — L.: Hydrometeoizdat. 1954. 74 p.
8. Kochkin A.Yu. Forecasting and control of environmental hazards of smoke. Thesis of candidate of technical sciences: 03.00.16. — Moscow. 2006. 160 p.
9. Babkin A.V., Veldanov V.A., Gryaznov E.F., et al. Weapons and ammunition: Textbook / Under the editorship of V.V. Selivanov. — M.: Publishing Bauman Moscow State Technical University. 2008. 984 p.
10. Gelfand B.E., Silnikov M.V. Barothermal effect of the explosions. — SPb: Publishing house «Astérior». 2006. 658 p.