

Исследования возможности применения беспилотных авиационных систем для пожаротушения высотных зданий и сооружений

© С.Г. Цариченко¹ ✉, А.В. Островой², С.В. Карасев², М.Л. Пугачев¹

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

² ООО «Аура» (Россия, 119234, г. Москва, ул. Ленинские горы, 1, стр. 77, комн. 101)

АННОТАЦИЯ

Введение. Пожары в высотных зданиях и сооружениях представляют серьезную опасность как для находящихся в них людей, так и для материальных ценностей и самой конструкции здания. Зачастую развитие пожара происходит по наружной поверхности функционирующих объектов или внутри строящихся, что обуславливает проблему использования штатных инженерных решений по пожаротушению и требует применения мобильной техники оперативных подразделений пожарной охраны с использованием подачи огнетушащих средств снаружи здания.

Проблематика вопроса. Анализ эффективности различных способов подачи огнетушащих средств при тушении наружных пожаров высотных зданий показал недостаточно высокую эффективность наземной техники, что обуславливает необходимость рассмотреть возможность использования авиационных средств для тушения высотных зданий и сооружений. Учитывая требования, обеспечивающие эффективное пожаротушение с учетом требований безопасности и экономической целесообразности, в качестве летательного аппарата – носителя установки пожаротушения было выбрано беспилотное воздушное судно (БВС) AURA вертолетного типа. Для пожаротушения были использованы системы с различными огнетушащими средствами и способами их подачи в очаг горения, такими как импульсная подача воды и капсулы с огнетушащим составом, тонкораспыленная вода высокого давления и компрессионная пена. Основанием для выбора этих средств является возможность их подачи и применения на высоте до 300 м.

Результаты исследований. В ходе проведения испытаний ставились задачи определить возможность подачи огнетушащих составов в очаг горения при полете БВС, оценить эффективность этих огнетушащих средств и устойчивость БВС при подаче огнетушащих средств в очаг пожара. Для обеспечения безопасности испытания проводились на высоте, не превышающей 10 м, при этом были получены результаты, подтверждающие принципиальную возможность пожаротушения указанными средствами с использованием БВС AURA.

Выводы. В результате проведенных исследований были получены предварительные данные о возможности использования БВС с применением различных способов пожаротушения и горизонтальной подачей огнетушащих средств в качестве высокоэффективного средства борьбы с пожарами в высокостажных зданиях и сооружениях при подаче огнетушащих средств снаружи объекта.

Ключевые слова: пожар; беспилотное воздушное судно; испытания; тонкораспыленная вода; компрессионная пена; импульсное пожаротушение

Для цитирования: Цариченко С.Г., Островой А.В., Карасев С.В., Пугачев М.Л. Исследования возможности применения беспилотных авиационных систем для пожаротушения высотных зданий и сооружений // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 2. С. 54–64. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.03.54-64

✉ Цариченко Сергей Георгиевич, e-mail: tsarichenko_s@mail.ru

A research into the potential application of unmanned aerial vehicles in the fire extinguishing of high-rise buildings and structures

© Sergey G. Tsarichenko ✉, Aleksandr V. Ostrovoy², Sergey V. Karasev², Maksim L. Pugachev¹

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

² LLC "Aura" (Leninskie Gory St., 1, bldg. 77, office 101, Moscow, 119234, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. Fires in high-rise buildings and structures constitute a grave danger both to the people inside, valuables, and the building structure. More often than not, fires develop on the external surface of construction facilities that are in operation or inside those facilities that are under construction, and they give rise to the problem of using standard fire extinguishing solutions and require the employment of mobile machinery by fast response units of the fire-fighting service who apply fire extinguishing agents from the outside of a building. The purpose of this article is to substantiate the expediency of, or, on the contrary, the need to make the proposed amendments to Federal Law No. 123-FZ of July 22, 2008 "Technical Regulation of Fire Safety Requirements".

The scope of the problem. The analysis of the effectiveness of various methods of application of fire extinguishing agents used to extinguish outdoor fires in high-rise buildings has shown the insufficiently high efficiency of ground-mounted machinery, which preconditions the need to make an enquiry into the possibility of using aircraft to extinguish high-rise buildings and structures. Given the need to ensure effective fire extinguishing, meet safety and economic feasibility requirements, an autonomous unmanned aerial vehicle (AURA) was selected as the delivery vehicle. Systems using various fire extinguishing agents and methods of their application were used for fire extinguishing purposes, including a pulsed water application system, capsules containing the fire extinguishing composition, high-pressure water mist and compressed air foam. Their applicability at the height of 300 meters has determined their choice.

Research results. The testing task was to confirm the possibility of application of fire extinguishing agents to the fire seat in the course of the flight of an unmanned aerial vehicle, to identify the effectiveness of fire extinguishing agents and to assess the stability of extinguishing agents applied to the fire seat. To ensure safety, testing was carried out at the height not exceeding 10 m, and the results confirmed the possibility of using the above substances to extinguish fires.

Conclusions. The research has confirmed the possibility of using unmanned aerial vehicles and various methods of fire extinguishing by means of the horizontal application of extinguishing agents inside high-rise buildings and structures, if extinguishing agents are applied from outside of a construction facility.

Keywords: fire; unmanned aerial vehicle; test; water mist; compressed air foam; pulsed fire extinguishing

For citation: Tsarichenko S.G., Ostrovoy A.V., Karasev S.V., Pugachev M.L. A research into the potential application of unmanned aerial vehicles in the fire extinguishing of high-rise buildings and structures. *Pozharovzryvbezopasnost'/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(3):54-64. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.03.54-64 (rus).

✉ Sergey Georgievich Tsarichenko, e-mail: tsarichenko_s@mail.ru

Введение

Высокоэтажные здания и технологические сооружения в настоящее время занимают значительную долю в общем количестве эксплуатируемых и строящихся объектов. Одной из важных задач на этапе строительства и дальнейшей их эксплуатации является обеспечение пожарной безопасности. Решению этой задачи отводится значительная часть исследований, что нашло отражение во многих работах, в частности [1–3]. Требования по обеспечению пожарной безопасности регламентируются нормативными документами: СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования»¹, СП 394.1325800.2018 «Здания и комплексы высотные. Правила эксплуатации»² и другими документами, в которых достаточно полно отражены требования к материалам, конструкциям и средствам защиты таких сооружений.

¹ Здания и комплексы высотные. Правила проектирования: (СП 267.1325800.2016) : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2016 г. № 1032/пр и введен в действие с 1 июля 2017 г.

² Здания и комплексы высотные. Правила эксплуатации: (СП 394.1325800.2018) : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 13 сентября 2018 г. № 578/пр и введен в действие с 14 марта 2019 г.

Однако статистика пожаров в высотных зданиях свидетельствует о высокой степени опасности этих сооружений, в связи с частотой и тяжестью этих пожаров. Наряду с пожарами, которые происходили во внутренних помещениях зданий и могли быть ликвидированы штатными системами пожаротушения, предусмотренными конструкцией зданий, достаточно большое количество пожаров происходило на внешней стороне или на строящихся объектах, где штатные системы пожаротушения еще не были смонтированы или не функционировали. Такие события имели место быть в Пекине³, в Шанхае⁴, в Красноярске⁵ и в Лондоне⁶. Быстрому распространению пламени по внешней стороне высотных зданий способствует воспламенение и горение облицовочных материалов и материалов вентилируемых фасадов, несмотря на требования и принципы конструирования, изложенные в работе [4].

³ В центре Пекина полыхает небоскреб Центрального телевидения. 2009. URL: <https://www.rbc.ru/society/09/02/2009/5703d1e39a79473dc814c477> (дата обращения: 14.05.2021).

⁴ 2010 Шанхайский пожар – 2010 Shanghai fire. URL: https://ru.qaz.wiki/wiki/2010_Shanghai_fire (дата обращения: 14.05.2021).

⁵ Люди спаслись из горящей многоэтажки благодаря сработавшей системе пожарной безопасности. URL: <https://www.krsk.kp.ru/daily/26285.7/3162537/> (дата обращения: 14.05.2021).

⁶ Пожар в здании Grenfell Tower в Лондоне. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Пожар_в_здании_Grenfell_Tower_в_Лондоне (дата обращения: 14.05.2021).



Рис. 1. Тушение высотного здания с использованием наземной техники

Fig. 1. Using ground-mounted machinery to extinguish a fire in a high-rise building

Проблематика вопроса

Из проведенного анализа пожаров, имевших место в высотных зданиях, следует выделить класс пожаров, распространяющихся по наружной поверхности, ликвидация которых может быть осуществлена только при организации внешней подачи огнетушащих средств от мобильной техники оперативных служб пожаротушения. К таким пожарам следует отнести:

- пожары по поверхности вентилируемых фасадов;
- пожары на балконах и в отдельных квартирах;
- пожары на этажах строящихся зданий и сооружений.

Высота многих зданий и сооружений в настоящее время превышает рабочую высоту большинства видов высотной пожарной техники, например, для здания Bronto Skylift F112HLA высотой 112 м, что исключает возможность ее применения выше 37-го этажа, это иллюстрируется ситуацией при тушении высотного здания в Шанхае (рис. 1).

Кроме того, внутридворовые территории домов имеют узкие проезжие части с большим количеством припаркованных автомобилей, что сужает пространство для маневрирования и развертывания крупногабаритной пожарной техники. Также зачастую в нижней части здания устраиваются стилобаты с коммерческими площадями, в связи с чем пожарная техника увеличивает угол наклона лестницы и расстояние до цели, из-за чего может стать невозможным проведение спасательных или огнетушащих работ с данных автомобилей. В случае возникновения пожара на строящемся объекте развертывание мобильной крупногабаритной техники на неподготовленных площадках также не будет возможным.

В связи с этим представляется целесообразным рассмотреть вопрос возможности использования летательных аппаратов в качестве высоко мобильных средств доставки огнетушащих средств в зону пожара. Вопросам применения авиационных средств для проведения пожаротушения высотных зданий в последнее время отводится много внимания. Так, в работе [5] проводится анализ возможности и целесообразности использования как пилотируемых, так и беспилотных летательных аппаратов для тушения пожаров в высотных зданиях. Отмечается, что использование летательных аппаратов самолетного типа для тушения высотных зданий и сооружений не является целесообразным, в то время как применение летательных аппаратов вертолетного типа, на примере вертолетов КА-32, позволяет использовать водосливные устройства для тушения площадных пожаров и горизонтальную подачу огнетушащих средств при вертикальном расположении поверхности пожара и внутри здания (рис. 2).



a



b

Рис. 2. Пример применения вертолета для тушения пожара в высотном здании с использованием вертикальной (а) и горизонтальной (б) подачи огнетушащего вещества

Fig. 2. Using a helicopter to extinguish a fire in a high-rise building by means of (a) vertical and (b) horizontal application of the fire extinguishing agent

Проведенный анализ пожаров в высотных строениях и эксплуатируемых зданиях и сооружениях в большинстве случаев имеет место во внутриэтажном пространстве и на вертикальной поверхности (вентилируемые фасады, балконы) [6], что обуславливает необходимость применения горизонтального способа подачи огнетушащих веществ при использовании летательных аппаратов вертолетного типа.

Очевидно, что для тушения рассмотренных типов пожара целесообразно использовать средства горизонтальной подачи огнетушащих веществ, в отличие от используемых в настоящее время водосливных устройств, обеспечивающих вертикальный слив огнетушащих средств на водной основе. В качестве примера авиационных систем с горизонтальной подачей могут быть рассмотрены импульсная установка пожаротушения IFEX и устройство горизонтальной подачи средства тушения, установленная на вертолете КА-32 [7]. Однако в условиях городской застройки и оперативного развертывания в зоне пожара использование таких систем весьма затруднительно.

В этом случае представляется целесообразным рассмотреть возможность применения беспилотных

авиационных систем (БАС), оснащенных средствами пожаротушения, обеспечивающих горизонтальную подачу огнетушащих средств непосредственно в очаг горения. В работах [8, 9] обосновывается целесообразность применения для тушения высотных зданий и сооружений беспилотных летательных аппаратов, обладающих рядом преимуществ по сравнению с наземной техникой — высотными подъемниками и лестницами, а также пилотируемыми вертолетами.

В целях разработки технологии тушения пожаров в высотных зданиях и сооружениях в наших исследованиях был использована БАС на основе беспилотного воздушного судна вертолетного типа AURA. Беспилотное воздушное судно AURA 100 (рис. 3) представляет собой малогабаритный многоцелевой летательный аппарат вертолетного типа соосной схемы, управляемый в полете автоматически. Основные технические характеристики приведены в табл. 1.

Основой БВС является фюзеляж, состоящий из силовой рамы и корпуса. Силовая рама предназначена для размещения (крепления) составных частей (систем). Рама представляет собой силовую сварную конструкцию из тонкостенных труб. К трубам прива-

Таблица 1. Технические характеристики БВС

Table 1. Technical characteristics of an unmanned aerial vehicle (UAV)

Наименование характеристики Characteristic	Значение Value
Диапазон рабочих температур, °C Range of operating temperatures, °C	–35...40
Максимальная взлетная масса БВС, кг Maximal takeoff mass, kg	350
Масса конструкции БВС, кг Mass of the UAV structure, kg	205
Масса полезного груза, кг Payload mass, kg	145
Максимальная скорость полета БВС, км/ч Maximal UAV flight speed, km/h	130
Крейсерская скорость БВС, км/ч UAV cruising speed, km/h	90
Статический потолок, м Stabilized ceiling, m	1400
Динамический потолок, м Dynamic ceiling, m	3000
Продолжительность полета БВС Span of flight of an UAV	3
Мощность двигателя, л.с. Motor capacity, horsepower	65



Рис. 3. Беспилотное воздушное судно AURA 100

Fig. 3. AURA 100 unmanned aerial vehicle

рены кронштейны для размещения составных частей систем вертолета. Корпус представляет собой составную стеклопластиковую конструкцию. Составные части корпуса соединены непосредственно с рамой и между собой. На боковых поверхностях имеются жалюзи для забора воздуха в воздухопроводы и подвода к карбюраторам, а также отброса теплого воздуха от системы охлаждения двигателя. Для простоты обслуживания БВС боковины выполнены быстроразъемными, а на основаниях располагаются необходимые эксплуатационные люки.

В качестве схемы расположения несущих винтов используется соосная схема (винты располагаются на одной оси один над другим, и вращение происходит синхронно в противоположных направлениях). Каждый из несущих винтов представляет собой металлическую втулку с торсионным шарниром и двумя алюминиевыми лопастями. Диаметр винтов 4,5 м.

В качестве возможных высокоэффективных способов пожаротушения с горизонтальным способом подачи огнетушащих средств предлагается рассмотреть:

- импульсное пожаротушение водой;
- импульсное пожаротушение капсулой с огнетушащим средством;
- пожаротушение струей тонкораспыленной воды;
- пожаротушение компрессионной пеной.

Выбор представленных способов пожаротушения обусловлен возможностью доставки указанных огнетушащих составов на высоту порядка 200...300 м и их подачи в очаг горения с требуемой интенсивностью.

Импульсный способ подачи огнетушащих средств в очаг пожара в высокоэтажном здании с использованием БВС представляется эффективным способом локализации пожара на начальной его стадии. Опыт компании IFEX GmbH (Германия) свидетельствует о возможности и эффективности использования импульсных установок во-

дяного пожаротушения, установленных на борту вертолета [7].

В ходе проведения испытаний с БВС AURA была использована модернизированная ранцевая установка IFEX-3000, обеспечивающая эффективную подачу в очаг пожара как заряда диспергированной воды, так и капсулированного заряда, содержащего порошковый, газоаэрозольный или хладоновый огнетушащие составы. Кроме того, капсулированный заряд также позволяет осуществлять разрушение оконных стекол для дальнейшей подачи в очаг горения водопенных средств тушения. Автономное оборудование, установленное на борту БВС с необходимым запасом огнетушащего состава, обеспечивает ему необходимую маневренность. При этом надо учитывать ограниченный запас огнетушащих средств в пределах максимальной грузоподъемности в пределах 145 кг и необходимость обеспечить точность наведения установки с учетом устойчивости летательного аппарата при выстреле.

Общий вид модернизированной установки IFEX-3000 представлен на рис. 4. Штатная установка была модернизирована в части доработки системы перезарядки, использования системы наведения на очаг горения и дистанционного управления

В случае необходимости подачи огнетушащих средств из наземного источника на большую высоту технически реализуемыми могут быть рассмотрены тонкораспыленная вода высокого давления (ТРВ ВД) и компрессионная пена.

Применение ТРВ ВД в качестве огнетушащего средства для пожаротушения различных материалов было обосновано в многочисленных исследованиях [10–12], что обусловлено высокой огнетушащей эффективностью мелко диспергированных капель воды, их высокой кинетической составляющей, что позволяет тушить не только открытые очаги горения, но и затененные зоны горения. При этом реализуется относительно небольшой расход



Рис. 4. Общий вид БВС с установкой импульсного пожаротушения IFEX

Fig. 4. The main view of an UAV carrying IFEX pulsed fire extinguishing system

воды, по сравнению с традиционным способом тушения, обеспечивающий отсутствие значительного вторичного ущерба от проливов воды. Кроме того, используемое рабочее давление насосов порядка 100...200 атм, что может позволить обеспечить эффективную подачу воды от наземного источника на высоту до 300 м. Эффективность использования ТРВ ВД для тушения высотных зданий подтверждена в ряде работ [13–15].

В случае использования установки пожаротушения с ТРВ ВД, смонтированной на БВС AURA, начальное давление на выходе насосного агрегата составляет 150 атм при расходе воды $1,5 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1}$, при этом потери на преодоление статического и гидравлического сопротивления при высоте водяного столба 300 м не превысят 60...70 атм. При условии обеспечения расчетного рабочего давления на сопловом насадке ствола 80 атм будет обеспечен нормальный режим подачи струи воды на расстояние в статическом состоянии ствола до 25...30 м. Заявленная высота 300 м является предельной высотой для используемого оборудования компании «Простор», а также БВС AURA в части его грузоподъемности, так как масса рукавной линии внутренним диаметром 14 мм, обеспечивающая требуемый расход воды, составит порядка 130 кг, что находится на пределе его грузоподъемности.

Для ликвидации пожаров в высотном здании в развитой стадии горения, когда требуется обеспечить высокую интенсивность подачи огнетушащего средства в течение продолжительного отрезка времени из наземного источника, может быть использована компрессионная пена. Физико-химические характеристики компрессионной пены обеспечивают более высокую эффективность пожаротушения по сравнению с воздушно-механическими пенами [16–18], получаемыми в эжекционных пеногенераторах, а именно:

- меньшая интенсивность подачи и, соответственно, расход огнетушащего состава;
- меньшее воздействие на окружающую среду за счет меньшего использования пенообразователя;
- большая дальность подачи струи пены в очаг горения;
- более высокая стабильность и устойчивость пены;
- высокая адгезионная способность;
- возможность тушения электроустановок без отключения напряжения;
- меньшая масса и гидравлическое сопротивление рукавной линии.

Последнее свойство позволяет рассматривать применение компрессионной пены в качестве способа пожаротушения высотных зданий с использо-

ванием БВС AURA при подаче огнетушащих составов от наземного источника на его борт [8, 19]. При этом необходимо учитывать возможную нестабильность компрессионной пены при подаче ее на большую высоту при определенных режимах работы, о чем было отмечено в работе [8], что обуславливает необходимость проведения дополнительных исследований с учетом методических подходов, изложенных в работе [20]

Результаты исследований

Для реализации горизонтального способа пожаротушения высотных зданий и сооружений было установлено специальное оборудование, которое позволяло осуществлять подачу огнетушащих веществ автономно и непосредственно из наземных источников.

Общий вид и конструкция лафетного ствола для подачи ТРВ ВД и компрессионной пены, вынесенного за пределы плоскости винтов, представлены на рис. 5. Конструктивное отличие ствола для подачи пены и ТРВ ВД заключается в различной форме соплового насадка и подводящей магистральной линии.

Присоединение рукавной линии для подачи огнетушащих средств из наземного источника обеспечи-

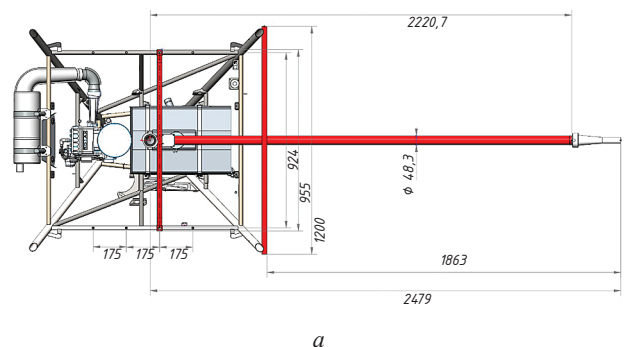


Рис. 5. Схема (а) и общий вид (b) лафетного ствола для подачи ТРВ и компрессионной пены

Fig. 5. The diagram (a) and the main view (b) of a firefighting monitor cannon used to apply water mist and compressed air foam

вается через автоматический соединительный разъем, что является необходимым условием для отстыковки рукавной линии при посадке БВС или в случае развития нештатной ситуации.

Основными задачами проведенных испытаний были определение возможности подачи огнетушащих составов в очаг горения при полете БВС, оценка эффективности этих огнетушащих средств и устойчивости БВС при подаче огнетушащих средств в очаг пожара.

В целях обеспечения безопасности испытания по тушению модельного очага горения проводились при высоте полета БВС, не превышающей 10 м. В качестве модельного очага пожара использовалась модель, эквивалентная очагу класса 6А, установленная в окне фрагмента дома на высоте 1,5 м от земной поверхности (рис. 6).

Результаты испытаний приведены в табл. 2, из них следует, что при реализуемых расходах огнетушащих веществ БВС не потерял остойчивость, что позволило обеспечить попадание огнетушащих веществ в очаг пожара и осуществить эффективное тушение. Особо следует отметить серию импульсных испытаний установки IFEX-3000, в ходе которых при выстреле как водяным зарядом, так и капсулой массой 1 кг видимых отклонений в положении БВС не наблюдалось,

что объясняется соотношением массы заряда $m_z = 1$ кг и массы вертолета $m_v \sim 300$ кг при скорости выхода заряда из ствола $V_z = 100$ м/с. Тогда, исходя из закона сохранения импульса $m_z V_z = m_v V_v$, скорость отдачи БВС составит $V_v \sim 0,3$ м/с. При этом интенсивность подачи воды определяется из расчета массы заряда, подаваемого в очаг горения с интервалом 2 с, ее значение составляет 0,5 л/с.

Результаты испытаний с использованием ТРВ ВД и компрессионной пены также показали возможность применения данных систем в составе БАС с использованием БВС AURA для тушения пожаров высокоэтажных домов и конструкций. При этом зафиксированная дальность подачи ОТВ позволяет сделать заключение о возможности эффективно осуществлять процесс тушения, находясь на безопасном расстоянии от аварийного сооружения.

В целях повышения эффективности пожаротушения целесообразно рассмотреть возможность применения комбинированного способа пожаротушения, при котором в очаг горения подаются поочередно комбинированные огнетушащие составы типа «тонкораспыленная вода – огнетушащий порошок», «пена – огнетушащий порошок». Результаты исследований [21, 22] свидетельствуют о значительном эффекте синергизма при использовании таких

Таблица 2. Результаты проведения испытаний

Table 2. Testing results

Способ пожаротушения Fire extinguishing method	Интенсивность подачи ОТВ, л/с Fire extinguishing agent application intensity, liter/sec	Дальность подачи ОТВ, м Range of the fire extinguishing agent application, m	Попадание ОТВ в очаг пожара Ability of the fire extinguishing agent to hit the fire seat	Устойчивость БВС Stability of an unmanned aerial vehicle	Факт тушения Successful fire extinguishing
Импульсная подача воды Pulsed application of water	0,5	12...14	+	+	+
Импульсная подача капсулы Pulsed application of a capsule	—	15	+	+	+
ТРВ ВД High pressure water mist	1,5	20...25	+	+	+
Компрессионная пена Compressed air foam	1,0	25...28	+	+	+

способов. Учитывая полученные в ходе начального этапа испытаний результаты, подтверждающие возможность подачи указанных огнетушащих средств, представляется целесообразным в дальнейшем оснастить БВС AURA комбинированной установкой подачи огнетушащих средств в целях повышения эффективности пожаротушения.

Выводы

Проведенный анализ возможности использования БВС с применением различных способов пожаротушения и горизонтальной подачей огнетушащих средств показал, что, несмотря на имеющийся ряд технических проблем, БВС является высокоэффективным средством борьбы с пожарами в высокэтажных зданиях и сооружениях для подачи огнетушащих средств снаружи объекта на большой высоте. Проведенный цикл первичных испытаний различных типов систем пожаротушения, таких как импульсная подача ОТВ, ТРВ ВД и компрессионной пены с использованием БВС AURA, подтвердил правильность сделанных выводов.

Однако для окончательного решения о возможности использования такого способа пожаротушения

необходимо провести комплекс исследований и испытаний с целью решения следующих задач:

- определить эффективные параметры подачи ОТВ в очаг пожара в зависимости от его характера, стадии развития и места расположения;
- определить предельные технические возможности БВС AURA по использованию различных систем пожаротушения в части грузоподъемности, высоты подъема, маневренности;
- рассмотреть возможность и определить параметры применения других, отличных от рассмотренных, способов пожаротушения, таких как комбинированное пожаротушение, тушение термоактивированной водой и др.;
- автоматизировать процессы управления БВС и систем пожаротушения в условиях реального пожара;
- обеспечить возможность безопасного полета БВС в условиях воздействия опасных факторов, таких как ветровая нагрузка, конвективные потоки в зоне пожара, тепловое воздействие от очага пожара, задымленность;
- разработать нормативные документы, регламентирующие порядок проведения операций пожаротушения с использованием БВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копылов Н.П. Сравнительный анализ противопожарных требований к высотным и многофункциональным зданиям в России и за рубежом // Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений : мат. XIX науч.-практ. конф. М. : ВПИИПО, 2005. С. 31–47.
2. Aluthwala A.D., Wickramaratne D.K.S., Wijeratne R.K.M.J.B., Jayasinghe M.T.R. Fire safety in high rise buildings // Annual Transactions of The Institution of Engineers. Sri Lanka, 2007. Pp. 1–5.
3. Казакова В.А., Терещенко А.Г., Недвига Е.С. Пожарная безопасность высотных многофункциональных зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 3 (18). С. 38–56. DOI: 10.18720/CUBS.18.4 URL: <https://unistroy.spbstu.ru/article/2014.18.4/>
4. Воробьев В.Н. Навесные фасадные системы. Рекомендации по обеспечению пожарной безопасности. 2017. 44 с.
5. Пашов С.С., Бородин В.А., Киреев Д.Д. Применение пилотируемых и беспилотных авиационных комплексов для разведки, тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ в зданиях повышенной этажности // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2019. Т. 10. № 1. С. 291–292. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39842460>
6. Подгруппный А.В., Денисов А.Н., Хонг Ч.Д. Проблемы тушения пожаров в зданиях повышенной этажности и высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2007. Т. 16. № 6. С. 56–59. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12513091>
7. Изерушев Д.Е., Хабиров В.Г. Проблемы тушения пожара в высотных зданиях и зданиях повышенной этажности // Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2019. Т. 20. № 1. С. 75–80. URL: <http://journal.ugatu.ac.ru/index.php/mvu/article/view/2782>
8. Гордиенко Д.М., Логинов В.И., Осипов Ю.Н., Еришов В.И., Михайлова Е.Д. Проблема использования беспилотных авиационных систем для тушения пожаров в зданиях повышенной этажности // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2019. Т. 28. № 4. С. 82–91. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.82-91

9. Pechoa P., Magdolenová P., Bugaja M. Unmanned aerial vehicle technology in the process of early fire localization of buildings // *Transportation Research Procedia*. 2019. Vol. 40. Pp. 461–468. DOI: 10.1016/j.trpro.2019.07.067
10. Grant G., Brenton J., Drysdale D. Fire suppression by water sprays // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2000; 26:79. DOI: 10.1016/s0360-1285(99)00012-x
11. Jianghong Liu, Guangxuan Liao, Peide Li, Weicheng Fan, Qiang Lu. Progress in research and application of water mist fire suppression technology // *Chinese Science Bulletin*. 2003. Vol. 48. Pp. 718–725. DOI: 10.1007/BF03187040
12. Fitri Pancawardani, Dwi Arini Randy, Putra Yunindar Mohamad, Lutfi Ramadhan Fahri, Ali Imran Yulianto, Sulisty Nugroho. Analysis of water mist fire suppression system applied on cellulose fire // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 170. Pp. 344–351. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.03.049
13. Корольченко Д.А., Громовой В.Ю., Ворогушин О.О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2011. Т. 20. № 8. С. 54–57. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16903034>
14. CEN/TS 14972:2011. Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen – Feinsprüh-Löschanlagen. Planung und Einbau; Deutsche Fassung, Belgium, Brüssel, Europäisches Komitee für Normung, 2011. S. 9.
15. NFPA 750. Standard on water mist fire protection systems. Las Vegas, An International Codes and Standards Organization, National Fire Protection Association, 2015. 88 p.
16. Kim A., Dlugogorski B.Z. Multipurpose overhead compressed-air foam system and its fire suppression performance // *Journal of Fire Protection Engineering*. 1997. Vol. 8 (3). Pp. 133–150. DOI: 10.1177/104239159600800303
17. Taylor R.G. Technical Report 98: Compressed Air Foam Systems in Limited Staffing Conditions / R.G. Taylor – Morristown Fire Bureau – Morristown, New Jersey. 1998. Pp. 75–112.
18. Okunrounu Oluwadamilola, Paul Lhotsky P., Hadjisophocleous G. Discharge characteristics of a portable compressed air foam system // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1107. P. 062007. DOI: 10.1088/1742-6596/1107/6/062007
19. Гордиенко Д.М., Павлов Е.В., Осипов Ю.Н., Ершов В.И., Панфилова Е.В. Проблемы использования компрессионной пены для тушения пожаров в зданиях повышенной этажности с применением беспилотных авиационных систем // *Пожарная безопасность/Fire Safety*. 2019. Т. 96. № 3. С. 42–46.
20. Грачулин А.В. Экспериментальные исследования движения компрессионной пены в горизонтальном цилиндрическом канале // *Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь*. 2016. № 1 (23). С. 68–77. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25449221>
21. Толкачев О.Э., Дикенштейн И.Ф., Балта Д.Ф. Взаимное усиление огнетушащей эффективности комбинации веществ порошок – тонкораспыленная вода // *Вестник Академии гражданской защиты*. 2017. № 4 (12). С. 57–62. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32709764>
22. Дикенштейн И.Ф., Балта Д.Ф. Комбинированное пожаротушение составом «порошок – воздушно-механическая пена» // *Математическое моделирование в образовании, науке и производстве : мат. X междунар. конф. 28–30 сентября 2017 г. Тирасполь, 2017.*

REFERENCES

1. Kopylov N.P. Comparative analysis of fire protection requirements for high-rise multifunctional buildings in Russia and abroad. *Fire safety of multifunctional and high-rise buildings and structures : materials of the XIX scientific and practical conference*. Moscow, VPIIPO, 2005; 31-47. (rus).
2. Aluthwala A.D., Wickramaratne D.K.S., Wijeratne R.K.M.J.B., Jayasinghe M.T.R. Fire safety in high rise buildings. *Annual Transactions of the Institution of Engineers*. Sri Lanka, 2007; 1-5.
3. Kazakova V.A., Tereshchenko A.G., Nedviga E.S. The high-rise buildings fire safety. *Construction of unique buildings and structures*. 2014; 3(18):38-56. DOI: 10.18720/CUBS.18.4 URL: <https://unistroy.spbstu.ru/article/2014.18.4/> (rus).
4. Vorobyov V.N. *Curtain wall systems. Recommendations for ensuring fire safety*. 2017; 44. (rus).
5. Pashov S.S., Borodin V.A., Kireev D.D. Application of manned and unmanned aircraft systems for reconnaissance, fire extinguishing and emergency rescue operations in high-rise buildings. *Modern technologies for ensuring civil defense and eliminating the consequences of emergency situations*. 2019; 10(1):291-292. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39842460> (rus).

6. Podgrushnyy A.V., Denisov A.N., Khong Ch.D. Problems of extinguishing fires in high-rise buildings-news and high-rise buildings. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2007; 6(16):56-59. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12513091> (rus).
7. Iserusev D.E., Khabirov G.V. The problem of fire extinguishing in high-rise buildings and buildings of increased floor. *Youth Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University*. 2019; 20(1):75-80. URL: <http://journal.ugatu.ac.ru/index.php/mvu/article/view/2782> (rus).
8. Gordienko D.M., Loginov V.I., Osipov Yu.N., Yershov V.I., Mikhailova E.D. The problem of using unmanned aircraft systems for extinguishing fires in high-rise buildings. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2019; 28(4):82-91. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.82-91. (rus).
9. Pechoa P., Magdolenová P., Bugaja M. Unmanned aerial vehicle technology in the process of early fire localization of buildings. *Transportation Research Procedia*. 2019; 40:461-468. DOI: 10.1016/j.trpro.2019.07.067
10. Grant G., Brenton J., Drysdale D. Fire suppression by water sprays. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2000; 26:79. DOI: 10.1016/S0360-1285(99)00012-X
11. Jianghong Liu, Guangxuan Liao, Peide Li, Weicheng Fan, Qiang Lu. Progress in research and application of water mist fire suppression technology. *Chinese Science Bulletin*. 2003; 48:718-725. DOI: 10.1007/BF03187040
12. Fitri Pancawardani, Dwi Arini Randy, PutraYunindar Mohamad, Lutfi Ramadhan Fahri, AliImran Yulianto, Sulisty Nugroho. Analysis of water mist fire suppression system applied on cellulose fire. *Procedia Engineering*. 2017; 170:344-351. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.03.049
13. Korolchenko D.A., Gromovoy V.Yu., Vorogushin O.O. Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2011; 20(8):54-57. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16903034> (rus).
14. CEN/TS 14972:2011. *Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen – Feinsprüh-Löschanlagen*. Planung und Einbau; Deutsche Fassung, Belgium, Brüssel, Europäisches Komitee für Normung, 2011; 9.
15. NFPA 750. *Standard on water mist fire protection systems*. Las Vegas, An International Codes and Standards Organization, National Fire Protection Association, 2015; 88.
16. Kim A., Dlugogorski B.Z. Multipurpose overhead compressed-air foam system and its fire suppression performance. *Journal of Fire Protection Engineering*. 1997; 8(3):133-150. DOI: 10.1177/104239159-600800303
17. Taylor R.G. *Technical Report 98: Compressed Air Foam Systems in Limited Staffing Conditions*. R.G. Taylor – Morristown Fire Bureau – Morristown, New Jersey, 1998; 75-112.
18. Oluwadamilola O., Lhotsky P., Hadjisophocleous G. Discharge characteristics of a portable compressed air foam system. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018; 1107:062007. DOI: 10.1088/1742-6596/1107/6/062007
19. Gordienko D.M., Pavlov E.V., Osipov Yu.N., Yershov V.I., Panfilova E.V. Problems of compression foam usage for fire extinguishing in high-rise buildings by means of unmanned aviation systems. *Pozharnaya bezopasnost'/Fire Safety*. 2019; 96(3):42-46. (rus).
20. Grachulin A.V. Experimental research of the motions of compressed air foam in horizontal cylindrical channel. *Vestnik of the Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus*. 2016; 1(23):68-77. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25449221> (rus).
21. Tolkachev O.E., Dikenshtein I.F., Balta D.F. Mutual strengthening of the fire-extinguishing efficiency of the combination of substances powder – thinly sprayed water. *Bulletin of the Academy of Civil Protection*. 2017; 4(12):57-62. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32709764> (rus).
22. Dikenshtein I.F., Balta D.F. Combined fire extinguishing with the composition “powder-air-mechanical foam”. *Mathematical modeling in education, science and production : materials of the X international conference. 28-30 September 2017*. Tiraspol, 2017. (rus).

Поступила 01.02.2021, после доработки 26.02.2021;
принята к публикации 10.03.2021

Received February 1, 2021; Received in revised form February 26, 2021;
Accepted March 10, 2021

Информация об авторах

ЦАРИЧЕНКО Сергей Георгиевич, д-р техн. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный университет

Information about the authors

Sergey G. TSARICHENKO, Dr. Sci. (Eng.), Professor of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University of Civil Engineering)

ственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; Scopus Author ID: 181475; ORCID: 0000-0002-9807-6841; e-mail: tsarichenko_s@mail.ru

ОСТРОВОЙ Александр Владимирович, директор, ООО «Аура», г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-1730-2772; e-mail: ostrovoy@aura-uav.com

КАРАСЕВ Сергей Владимирович, начальник ОКБ, ООО «Аура», г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-3162-5105; e-mail: karasev@aura-uav.com

ПУГАЧЕВ Максим Леонидович, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-9063-1265; e-mail: mika-1997@mail.ru.

sity), Moscow, Russian Federation; Author ID (Scopus): 181475; ORCID: 0000-0002-9807-6841; e-mail: tsarichenko_s@mail.ru

Aleksandr V. OSTROVOY, Director, “Aura” LLC, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-1730-2772; e-mail: ostrovoy@aura-uav.com

Sergey V. KARASEV, Head of Design Bureau, “Aura” LLC, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-3162-5105; e-mail: karasev@aura-uav.com

Maksim L. PUGACHEV, Postgraduate Student of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-9063-1265; e-mail: mika-1997@mail.ru