

Исследование условий эффективного применения пожарных кран-комплектов в высотных жилых зданиях

С. А. Горносталь, Е. А. Петухова, С. Н. Щербак, Е. А. Шаповалова¹

Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, Украина

¹Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков, Украина

Аннотация. Исследованы характеристики водопроводной сети при подаче воды на пожаротушение высотного жилого здания. Определены границы времени свободного развития пожара в условиях квартиры. Установлено его влияние на количество воды, необходимое для ликвидации пожара. Определен расход, который может обеспечить водопроводная сеть в зависимости от ее диаметра и скорости движения воды. Установлена площадь пожара, которую можно локализовать при помощи пожарного кран-комплекта с заданными характеристиками. Полученные значения площади соответствуют условиям эффективного использования пожарных кран-комплектов в высотных жилых зданиях.

Ключевые слова: *внутренний водопровод, пожарный кран-комплект, расход воды, жилое здание*

Введение. Тенденцией современного строительства является возведение высотных зданий разного назначения. Это обусловлено дороговизной земли и ее элементарной нехваткой. При проектировании систем жизнеобеспечения зданий специалистам приходится решать задачи по защите находящихся в нем людей от пожара и его негативных последствий. Противопожарная защита – комплекс мероприятий, позволяющих предупредить пожар и уменьшить ущерб от него. С этой целью применяются разнообразные средства, приспособления, установки для выявления, локализации и прекращения горения [1].

Одним из элементов противопожарной защиты объекта является внутренний противопожарный водопровод (ВПВ). В жилых зданиях общей высотой больше 47 м предусмотрена установка пожарных кран-комплектов (ПКК) диаметром 19, 25 или 33 мм. Использование такого оборудования дает возможность жителям квартиры самостоятельно локализовать возгорание до приезда пожарных подразделений. Оно позволяет сократить время тушения пожара, а, значит, уменьшить возможные материальные и человеческие потери.

К преимуществам ПКК относят простоту конструкции, ремонтпригодность. Его подключают к внутреннему водопроводу, который должен обеспечить необходимый напор и расход воды. Если подавать недостаточно воды к очагу пожара, то невозможно обеспечить отведение выделяемого тепла. Избыточное количество воды увеличивает материальный ущерб. Оптимизировать его можно путем сокращения времени от начала тушения до полной локализации загорания, а также за счет эффективного использования воды. Поэтому исследование характеристик водопроводной сети для повышения эффективности применения ПКК в высотных жилых зданиях является актуальным.

Краткий обзор публикаций по теме. Вопросами эффективного использования ВПВ и его составляющих занимаются отечественные и зарубежные авторы [2-7]. В [2] проведен анализ существующих методов пожаротушения, показана необходимость их дальнейшего совершенствования. Выполненный анализ позволил авторам сделать вывод о необходимости внесения уточнений в нормативные документы с учетом особенностей современного строительства. В [3] авторами исследованы особенности современных технологий пожаротушения. В [4] уделено внимание вопросам адекватности расчета водопроводной системы. В [5] проанализировано состояние вопроса обустройства высотных зданий ПКК, исследовано влияние характеристик элементов ПКК на расход воды. В [6] рассматриваются условия, при которых система водоснабжения способна обеспечить необходимый напор и расход воды для нужд пожаротушения. Часть исследований посвящена изменению конструкции оборудования, при помощи которого вода подается к очагу пожара. В [7] предлагается повысить эффективность использования элементов водопровода за счет уменьшения размера капель водяной струи. Авторы статьи отмечают большое разнообразие оборудования по производительности, которое значительно усложняет его выбор в конкретных условиях эксплуатации.

В условиях ограниченного пространства квартир, а также с учетом технических возможностей внутреннего водопровода реализация большинства предложений сопровождается техническими трудностями. При этом, как отмечает большинство авторов, ПКК в высотном здании остаются единственной возможностью подать воду на верхние этажи. Большое количество пожаров, особенно в жилом секторе, говорит о том, что, противопожарная защита требует дальнейшего совершенствования. Остаются нерешенными вопросы по выбору оборудования ПКК небольшого диаметра для разных типов зданий.

Целью статьи является повысить противопожарную защиту высотных жилых зданий. Для этого необходимо определить условия эффективного применения ПКК в них. Для достижения этой цели требуется определить расход воды (необходимый и фактический), который обеспечит эффективное пожаротушение с использованием ПКК небольшого диаметра.

Материалы и методы. Объектом исследования является водопроводная сеть с установленными на ней ПКК. Нормативными документами регламентировано, что ПКК комплектуется полужестким рукавом (длина до 30 м; диаметр – 19 мм, 25 мм или 33 мм; распылитель с диаметром выпускного отверстия 4÷12 мм). Комплекты могут подключаться к хозяйственно-питьевому (напор составляет 2÷45 м) или противопожарному водопроводу (напор – до 90 м). Водопровод должен обеспечить соответствующее давление и расход воды. Результаты, представленные в статье, получены с использованием системного анализа (исследования особенностей и факторов, влияющих на развитие пожара) и аналитических методов.

Результаты и их обсуждение. Для исследования влияния диаметра насадка распылителя и напора в водопроводной сети на расход q_{FCS} из ПКК использовано выражение:

$$q_{FCS} = \frac{\pi \cdot d_t^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_t}, \quad (1)$$

где d_t – диаметр насадка распылителя, мм; g – ускорение свободного падения, m/c^2 , H_t – напор перед насадком распылителя, м.

Результаты расчета представлены на рис. 1.

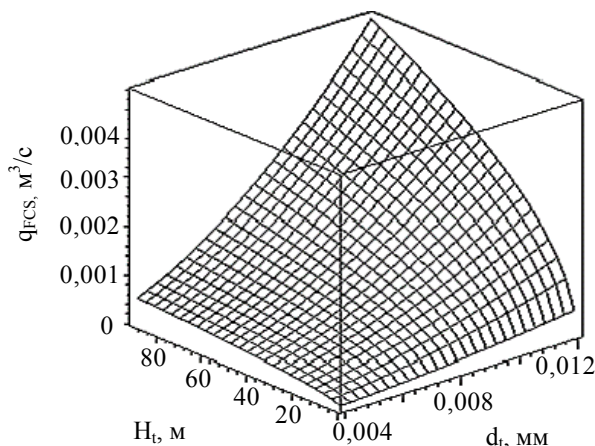


Рис. 1. Зависимость расхода воды q_{FCS} из ПКК от диаметра насадка распылителя d_t и напора перед ним H_t

Расчеты показали, что расход из ПКК, изменяется в широких пределах. При $d_t=4$ мм и напоре 10 м расход составит $0,00017 \text{ м}^3/\text{с}$, при напоре 45 м – $0,00037 \text{ м}^3/\text{с}$. Если оборудование подключено к противопожарному водопроводу, то при напоре 90 м максимальный расход составит $0,00052 \text{ м}^3/\text{с}$. Если рассматривать вариант с распылителем с диаметром насадка $d_t=12$ мм, то при напоре 45 м расход составит $0,0033 \text{ м}^3/\text{с}$, при напоре 90 м – $0,0047 \text{ м}^3/\text{с}$. Таким образом, диапазон применения ПКК с оборудованием небольшого диаметра очень узкий. В некоторых использование такого оборудования может оказаться нецелесообразным.

Площадь пожара изменяется в широких пределах в зависимости от большого количества факторов [8]. Необходимо установить границы времени, требуемого на ликвидацию возгорания. Его минимальное значение включает время обнаружения пожара жителем квартиры и время, необходимое для введения в действие ПКК. Максимальная площадь пожара достигает площади квартиры. Уменьшить время от выявления пожара до начала его ликвидации позволяют пожарные извещатели. Чтобы рассчитать время, в течение которого развивается пожар, кроме уже перечисленных показателей, необходимо учесть:

- время достижения необходимой концентрации продуктов горения;
- инерционность извещателя.

Таким образом, для квартиры с пожарным извещателем время τ_f , которое пройдет от начала возгорания до момента подачи воды, составит:

$$\tau_f = \tau_c + \tau_l + \tau_{fd} + \tau_{FCS}, \text{ с}, \quad (2)$$

где τ_c – время, за которое дым достигнет потолка, с; τ_l – время, за которое дым по потолку достигнет пожарного извещателя, с; τ_{fd} – инерционность пожарного извещателя, с; τ_{FCS} – время введения в действие ПКК жителем квартиры, с.

Инерционность современных дымовых пожарных извещателей τ_{fd} может составлять от 1 до 30 с. Данные статистики показывают, что время τ_{FCS} , необходимое среднестатистическому жителю квартиры для введения в действие ПКК, составляет от 60 до 200 с. Этот показатель зависит от возраста человека, состояния его здоровья, готовности оборудования к работе. Интервал времени, необходимый потоку дыма для достижения извещателя, для среднестатистической квартиры находится в пределах от 10 до 300 с.

Используя принятые ограничения, по формуле (2) рассчитаем максимальное $\tau_{f \max}$ и минимальное $\tau_{f \min}$ время, которое пройдет от начала возгорания до момента подачи воды:

$$\begin{aligned} \tau_{f \min} &= 0,2 + 10 + 1 + 60 = 71,2 \text{ с}, \\ \tau_{f \max} &= 6,5 + 300 + 30 + 200 = 536,5 \text{ с}. \end{aligned}$$

Полученный результат показывает временные границы работы ПКК. Кроме того, он позволяет определить количество воды q_w , необходимое для прекращения горения в условиях жилого помещения:

$$q_w = \frac{Q_f}{Q} \cdot \tau_{ex}, \text{ м}^3, \quad (3)$$

где Q_f – количество энергии, выделяющейся при горении за единицу времени, кДж/с; Q – количество энергии, отводимой огнетушащим веществом, кДж/м³, τ_{ex} – время, в течение которого подается огнетушащее вещество, с.

Количество энергии, которая выделяется при горении за единицу времени:

$$Q_f = v_m \cdot S_f \cdot Q_n, \text{ кДж/с}, \quad (4)$$

где S_f – площадь пожара, м², v_m – приведенная массовая скорость выгорания, кг/(с·м²); Q_n – нижняя теплота сгорания горючей нагрузки в помещении, кДж/кг.

Рассмотрим наихудший вариант развития событий, при котором площадь пожара принимает круговую форму. Чтобы рассчитать ее, воспользуемся предложенным в [9] выражением:

$$S_f = \pi \cdot (v_l \cdot \tau_f)^2, \text{ м}^2, \quad (5)$$

где v_l – линейная скорость распространения огня, м/с.

На рис. 2 приведены результаты расчета для q_w в интервале времени 71,2÷536 с при линейной скорости распространения огня $v_l=0,008\div0,013$ м/с.

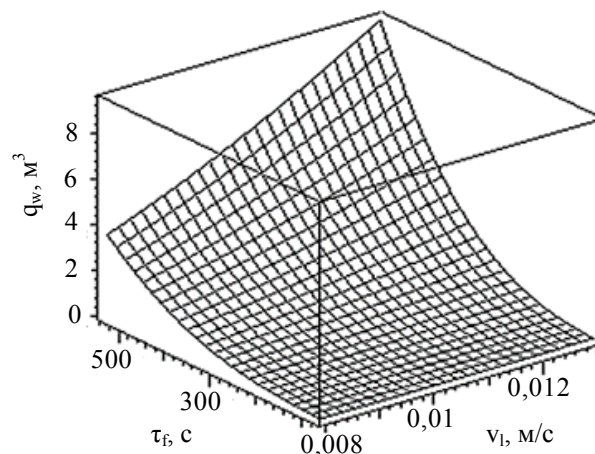


Рис. 2. Зависимость количества воды q_w от линейной скорости распространения v_l и времени свободного развития пожара τ_f

Результаты расчета (рис.2) показали, что увеличение линейной скорости распространения пожара v_l приводит к увеличению требуемого на его ликвидацию объема воды. Так, при $v_l=0,008$ м/с необходимо от 0,4 до 3,8 м³ воды, при $v_l=0,013$ м/с – от 0,4 до 9 м³.

Успех пожаротушения в жилом здании при использовании ПКК зависит от того, насколько быстро оборудование будет введено в действие. При этом эффективность подачи воды определяется характеристиками водопроводной сети. Определим расход, обеспечиваемый водопроводной сетью, в зависимости от ее диаметра и скорости движения воды по трубопроводу:

$$q = \frac{\pi \cdot v \cdot d^2}{4}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (6)$$

где v – скорость движения воды по трубопроводу, м/с; d – диаметр трубопровода, м.

Результаты расчета для трубопроводов диаметром от 25 до 100 мм при скорости воды в трубопроводе от 0,7 до 3 м/с приведены на рис. 3. Расчет показал, что расход, обеспечиваемый водопроводом диаметром от 25 до 100 мм, составляет $0,001 \div 0,025 \text{ м}^3/\text{с}$. Сравнение результатов на рис. 1 и 3, дает основание утверждать, что водопровод обеспечивает требуемый расход из ПКК.

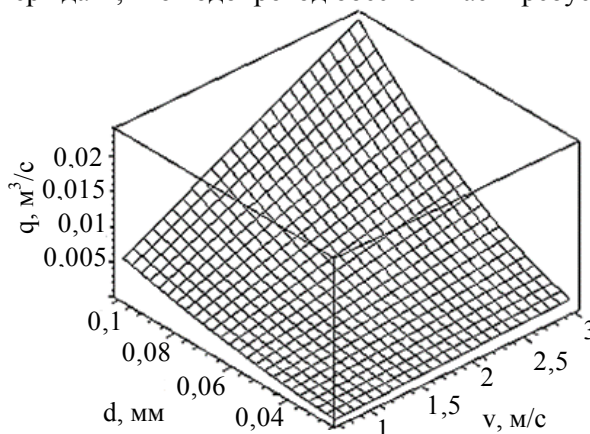


Рис. 3. Зависимость расхода воды q от скорости движения воды v и диаметра трубопровода d

Используя результаты, представленные на рис. 1-3, рассчитаем максимальную площадь пожара S_f^{fact} , которую можно эффективно погасить из ПКК:

$$S_f^{\text{fact}} = \frac{q_{\text{FCS}} \cdot Q \cdot \tau_{\text{ex}}}{v_m \cdot Q_n \cdot \tau_f}, \text{ м}^2. \quad (7)$$

Результаты расчета представлены на рис. 4 и 5.

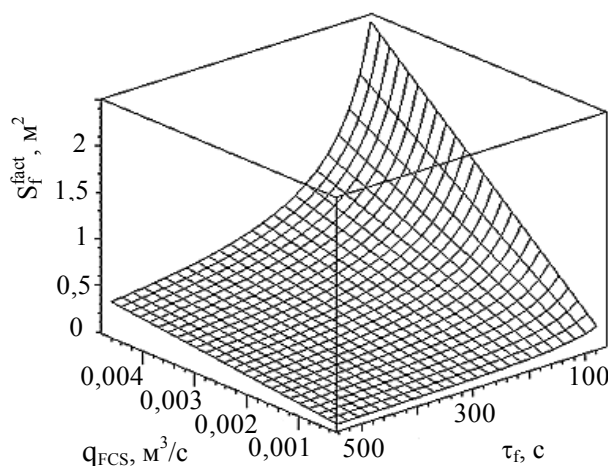


Рис. 4. Зависимость площади пожара S_f^{fact} от расхода воды из ПКК q_{FCS} и времени свободного развития пожара τ_f , если время подачи воды $\tau_{\text{ex}}=71,2 \text{ с}$

На рис. 4 приведена зависимость площади пожара от расхода воды из ПКК. Расчет произведен при подаче воды на тушение пожара с расходом $0,00037 \div 0,0047 \text{ м}^3/\text{с}$ через $\tau_f=71,2 \text{ с}$ после его начала.

Площадь пожара, которую можно ликвидировать при таких значениях, составляет при минимальном расходе воды – 0,1 м², при максимальном – 2,4 м².

На рис. 5 приведены результаты, полученные при условии, что время подачи воды из ПКК с расходом 0,00037÷0,0047 м³/с составляет $\tau_{ex}=536,5$ с. Площадь пожара, которую можно ликвидировать при таких значениях, составит при минимальном расходе воды – 1 м², при максимальном – 18 м².

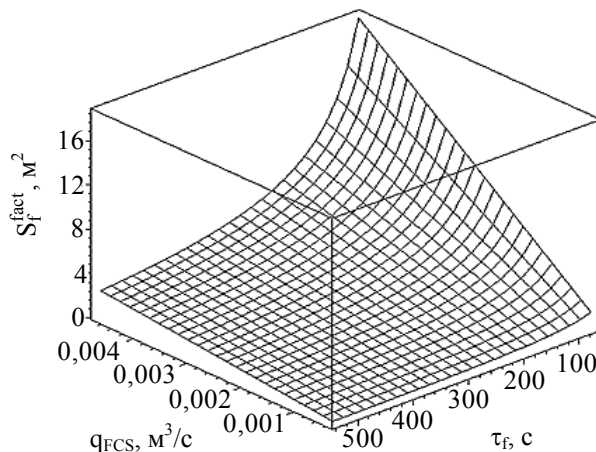


Рис. 5. Зависимость площади пожара S_f^{fact} от расхода воды из ПКК q_{FCS} и времени свободного развития пожара τ_f , если время подачи воды $\tau_{ex}=536,5$ с

Результаты и обсуждения. Проведенное исследование развития пожара в жилом здании позволило определиться с расходом, который может обеспечить ПКК с заданными характеристиками. Получены границы времени, требуемого для введения в действие ПКК при конкретных условиях развития пожара. Установлено, что минимальное время от начала возгорания до подачи воды составляет 71,2 с, максимальное – 536,5 с. Полученные временные границы дали возможность рассчитать количество воды, необходимое для отведения выделяемой в процессе горения энергии. Оно составляет от 0,4 до 9 м³.

Определен расход воды, обеспечиваемый водопроводной сетью – от 0,001 до 0,025 м³/с. Этот результат позволяет рассчитать время подачи воды. Его значение зависит от общего количества воды, требуемой для отведения выделяемой теплоты: для подачи 9 м³ воды при минимальном расходе потребуется 9000 с, при максимальном – 360 с. Для трубопровода диаметром 50 мм расход составляет 0,0014-0,015 м³/с. Время, за которое будет возможно подать воду на пожаротушение, равно 6428 с.

Рассмотрено влияние времени свободного развития пожара на площадь, которую можно потушить при помощи ПКК. Если начать подавать воду на тушение через минимальное время свободного развития пожара $\tau_f=71,2$ с, то площадь ликвидируемого пожара изменяется от 0,1 до 2,4 м², а при максимальном значении $\tau_f=536,6$ с – от 1 до 18 м².

Выводы. Условием успешного пожаротушения в жилом здании при помощи ПКК является минимальное время от начала возгорания до введения в работу оборудования. В этом случае оборудование сможет обеспечить подачу необходимого расхода воды от существующего водопровода. Данные о требуемом для пожаротушения в конкретно заданных условиях количестве воды дают возможность подобрать оборудование ВПВ, которое обеспечить подачу необходимого количества воды для ликвидации пожара.

Временные границы развития и тушения пожара позволяют определить интервал, в течение которого использование ПКК является целесообразным. Именно в нем ПКК сможет обеспечить подачу того количества воды, которое необходимо для ликвидации горения. Этот результат необходимо учитывать при проектировании ВПВ, как элемента системы противопожарной защиты здания.

Результаты расчета фактической площади пожара, которую можно потушить при помощи ПКК, являются основой для дальнейших исследований. Предполагается провести ряд экспериментов по определению характеристик ПКК (диаметр, длина и тип рукава, диаметр насадка распылителя,

способ распыления) для конкретных условий его эксплуатации. Результатом должны стать рекомендации для проектировщиков по оптимизации выбора оборудования ПКК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Drysdale, D. An introduction to fire dynamics / D. Drysdale. – Wiley, 2011. – 574 p.
2. Węgrzyński, W. The philosophy of fire safety engineering in the shaping of civil engineering development / W. Węgrzyński, P. Sulik // Bulletin of the polish academy of sciences. Technical sciences. – 2016. – Vol. 64, Issue 4. – P. 719–730.
3. Benfer, M.E. Evaluation of Fire Flow Methodologies / Matthew E. Benfer, Joseph L. Scheffey // Springer New York. – 2015. – 57 p.
4. Yadav, A. Assessment of Water Requirement and Calculation of Fire Flow Rates in Water Based Fire Fighting Installation / A. Yadav, P. Patel // International Journal of Innovations in Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 4, Issue 1. – P. 5–12.
5. Grimwooda, P.A. Performance based approach to defining and calculating adequate firefighting water using s.8.5 of the design guide BS PD 7974:5:2014 (fire service intervention) / P. A. Grimwooda, I.A. Sanderson // Fire Safety Journal. – 2015. – Vol. 78. – P. 155–167.
6. Петухова О.А. Дослідження характеристик пожежних кран-комплектів. / О.А. Петухова, С.А. Горносталя, С.М. Щербак // Проблеми пожежної безпеки. – 2015. – №37. – С. 154–159.
7. Wang, Z. Optimization of water mist droplet size by using CFD modeling for fire suppressions. / Z. Wang, W. Wang, Q. Wang // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2016. – Vol. 44. – P. 626–632.
8. Шаровар Ф.И. Методы раннего обнаружения загораний / Ф.И. Шаровар – М.: Стройиздат, 1988. – 337 с.
9. Довідник керівника гасіння пожежі / За заг. ред. Крапивницького В.С. – К.: ТОВ «Літера-Друк», 2016. – 320 с.

REFERENCES

1. Drysdale, D. An introduction to fire dynamics / D. Drysdale. – Wiley, 2011. – 574 p.
2. Węgrzyński, W. The philosophy of fire safety engineering in the shaping of civil engineering development / W. Węgrzyński, P. Sulik // Bulletin of the polish academy of sciences. Technical sciences. – 2016. – Vol. 64, Issue 4. – P. 719–730.
3. Benfer, M.E. Evaluation of Fire Flow Methodologies / Matthew E. Benfer, Joseph L. Scheffey // Springer New York. – 2015. – 57 p.
4. Yadav, A. Assessment of Water Requirement and Calculation of Fire Flow Rates in Water Based Fire Fighting Installation / A. Yadav, P. Patel // International Journal of Innovations in Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 4, Issue 1. – P. 5–12.
5. Grimwooda, P.A. Performance based approach to defining and calculating adequate firefighting water using s.8.5 of the design guide BS PD 7974:5:2014 (fire service intervention) / P. A. Grimwooda, I.A. Sanderson // Fire Safety Journal. – 2015. – Vol. 78. – P. 155–167.
6. Petuhova O.A. Study characteristics fire crane kits / E.A. Petuhova, S.A. Gornostal, S.N. Shcherbak // Problems of Fire Safety. - 2015. – №37. – P. 154–159.
7. Wang, Z. Optimization of water mist droplet size by using CFD modeling for fire suppressions. / Z. Wang, W. Wang, Q. Wang // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2016. – Vol. 44. – P. 626–632.
8. Sharovar, F. Methods of early detection of tanning / F. Sharovar – М.: Stroyizdat, 1988. – 337 p.
9. Firefighting guide's guide / Redaction Krapivnitskogo V.S.– К.: TOV «LItera-Druk», 2016. – 320 p.

Study of the conditions for the effective use of fire hydrant kits in high-rise residential buildings

S. Gornostal, E. Petukhova, S. Shcherbak, E. Shapovalova

Abstract. The characteristics of the water supply network for supplying water to the fire extinguishing of a high-rise residential building are investigated. The time limits for the free development of fire in the conditions of an apartment are determined. Its effect on the amount of water necessary to eliminate the fire is established. The amount of water that can be provided by the water supply network is determined, depending on its diameter and water velocity. The area of the fire is established, which can be localized with the help of a fire hydrant kit with the specified characteristics. The obtained area values correspond to the conditions for the effective use of fire hydrant kit in high-rise residential buildings.

Keywords: *internal water supply, fire hydrant kit, consumption of water, residential building.*