

УДК 614.841.2

vniipo@mail.ru

ОЦЕНКА ПРОТИВОПОЖАРНЫХ РАССТОЯНИЙ ОТ ГОРЯЩЕГО АВТОМОБИЛЯ В ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКЕ

ASSESSMENT OF FIRE-FIGHTING DISTANCES FROM A BURNING CAR IN A RESIDENTIAL BUILDING

*Хасанов И.Р., главный научный сотрудник, доктор технических наук
Зуев С.А., ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук
ФГБУ ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха*

*Khasanov I., Zuev S.,
FGBU VNIPO of EMERCOM of Russia, Balashikha*

Расчеты противопожарных разрывов основаны на определении величины теплового потока и проводились при различных расстояниях до горящего автомобиля с учетом воздействия ветра. Максимальное значение теплового потока при пожаре легкового автомобиля наблюдается при повреждении топливного бака и последующем возгорании пролива бензина. В результате проведенных расчетов получены значения интенсивности теплового излучения пожара автомобиля. Установлено, что при ветре более 5 м/с в направлении фасада жилого здания предельное значение падающего теплового потока ($12,5 \text{ кВт/м}^2$) от горящего пролива бензина может быть превышено на расстоянии 10 м от парковки.

Ключевые слова: горение автомобиля, тепловой поток, противопожарные разрывы, предотвращение распространения пожара.

Calculations of fire breaks are based on determining the magnitude of the heat flow and were carried out at different distances to the burning car, taking into account the effects of wind. The maximum value of the heat flow in a car fire is observed when the fuel tank is damaged and the subsequent ignition of a gasoline spill. As a result of the calculations, the values of the intensity of thermal radiation are obtained depending on the distance at different values of wind load. It was found that with a wind of more than 5 m/s in the direction of the facade of a residential building, the maximum value of the incident heat flow (12.5 kW/ m^2) from a burning gasoline spill can be exceeded at distances of 10 m from the parking lot.

Keywords: car fire, heat flow, fire breaks, prevention of fire spread.

Введение

При оценке риска распространения пожара автомобиля значительную роль играет соблюдение противопожарных расстояний (разрывов), обеспечивающих нераспространение огня на здания и сооружения. В Федеральном законе от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1] и в СП 4.13130.2013 [2] изложены основные требования к противопожарным разрывам.

Общие требования безопасности автостоянок содержатся в СП 113.13330.2016 [3]. Требования пожарной безопасности к стоянкам автомобилей регламентируются СП 506.1311500.2021 «Стоянки автомобилей. Требования пожарной безопасности» [4], в котором противопожарные расстояния от открытых парковок до зданий, в том числе жилых, не нормируются.

Основные принципы определения значений противопожарных расстояний между объектами защиты за рубежом

(например, [5–7]) аналогичны российским и также связаны с видами возникших пожаров и пожарной опасностью застройки, ее этажностью, пределами огнестойкости и характеристиками несущих и ограждающих конструкций. Противопожарные расстояния от автомобилей до зданий, как правило, не нормируются.

Однако при возникновении пожара проливов горючего, а также при умышленных поджогах может возникнуть горение нескольких автомобилей с повышенной интенсивностью огневого воздействия на здание. В связи с этим представляет интерес оценка оптимального и пожаробезопасного размещения автомобилей на открытых площадках в условиях плотной жилой застройки.

При расчетах противопожарных разрывов от открытых автостоянок до зданий и сооружений необходимо учитывать особенности горения автомобилей. В экспериментальных работах [8;9] установлено, что мощность пожаров легковых автомобилей составляет от 2 до 4,5 МВт. При утечке бензина мощность тепловыделения горения легкового автомобиля может достигать 6,8 МВт [10]. При этом температура пожара автомобиля может превышать 1200 °С, что определяет лучистый поток основной причиной распространения огня на соседние автомобили примерно через 8 мин [11;12]. При пожарах на открытых автостоянках параметры горения и распространения зависят также от скорости и направления ветра [13].

Целью исследования является расчетная оценка противопожарных разрывов при различной ветровой нагрузке с учетом особенностей размещения автомобилей в жилой застройке.

Методика исследования

Большинство расчетных методов противопожарных разрывов между объектами защиты основаны на определении величины теплового потока, передаваемого

от пламени пожара на соседний объект. Определение теплового потока основывается на законе Стефана – Больцмана [14]. Значения потока определяются с учетом фактического расположения излучающих поверхностей и угловых коэффициентов облученности [15–19].

Максимальная скорость тепловыделения при пожаре автомобиля достигается в случае образования пролива бензина. В связи с этим в настоящем исследовании для определения максимального значения теплового потока применяется математическая модель [20], в которой используется условие безопасности нераспространения пожара:

$$\beta q_{\text{пад}} < q_{\text{кр}} \quad (1)$$

где: β – коэффициент запаса (принимается равным 1,2); $q_{\text{пад}}$ – плотность падающего теплового потока, Вт/м²; $q_{\text{кр}}$ – критическая плотность теплового потока для объекта, Вт/м².

Интенсивность теплового излучения q (кВт/м²) от пламени определяется как

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (2)$$

где E_f – среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м²; F_q – угловой коэффициент облученности; τ – коэффициент пропускания атмосферы.

Среднеповерхностная плотность потока излучения на фронте пламени пожара принимается по [20] как при горении пролива бензина 60 кВт/м².

Согласно [20] угловой коэффициент облученности F_q определяется по формуле:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2},$$

где F_V , F_H – факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, определяемые для площадок, расположенных в 90°С секторе в направлении наклона пламени:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctg D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \right. \\ \left. + \frac{\cos \theta}{C} \cdot \left[\arctg \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctg \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] \right\},$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctg \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \cdot \left[\arctg \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctg \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) - \right] \right\} \\ - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot (b+1 + a \cdot b \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \right\},$$

$$a = \frac{2 \cdot L}{d}, \quad b = \frac{2 \cdot X}{d},$$

$$A = \sqrt{(a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b+1) \cdot \sin \theta)},$$

$$B = \sqrt{(a^2 + (b-1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b-1) \cdot \sin \theta)},$$

$$C = \sqrt{(1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2 \theta)},$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{b-1}{b+1} \right)},$$

$$E = \frac{a \cdot \cos \theta}{b - a \cdot \sin \theta},$$

$$F = \sqrt{(b^2 - 1)},$$

Здесь θ – угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра; L – длина пламени, м; d – эффективный диаметр пролива, м; X – расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м.

Диаметр пролива d (м) рассчитывается по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}.$$

Площадь пролива жидкости F (м²) на поверхность рассчитывается по формуле:

$$F = f_p V_{ж};$$

где $V_{ж}$ – объем жидкости, м³; f_p – коэффициент разлития, значение которого зависит от характеристик поверхности, м⁻¹.

Длина пламени L (м) определяется по формулам:

при $u_* \geq 1$

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21},$$

при $u_* < 1$

$$L = 42 \cdot d \cdot \left[\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right]^{0,61}$$

Угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра θ рассчитывается по формуле:

$$\cos \theta = \begin{cases} 1, & \text{при } u_* < 1 \\ u_*^{-0,5}, & \text{при } u_* \geq 1 \end{cases}$$

где m' - удельная массовая скорость выгорания топлива, кг/(м²·с); ρ_a - плотность окружающего воздуха, кг/м³; g - ускорение свободного падения (9,81 м/с²); d - диаметр пролива, м.

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\text{п}}}}}$$

где: w_0 - скорость ветра, м/с; m' - удельная массовая скорость выгорания топлива, кг/(м²·с); g - ускорение свободного падения (9,81 м/с²); $\rho_{\text{п}}$ - плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения, кг/м³.

Результаты и обсуждение

В качестве наихудшего сценария пожара для случая максимальной скорости тепловыделения принимается полная разгерметизация автомобильного топливного бака легкового автомобиля и последующее воспламенение пролива бензина с тепловым воздействием на фасад соседнего жилого дома (рис. 1). В качестве значения критической плотности потока на фасаде здания примем нормативное значение $q_{\text{кр}} = 12,5$ кВт/м² [6].

Для топливного бака легкового автомобиля емкостью 60 л (45,6 кг) эффективный диаметр пролива на бетонное или асфальтовое покрытие при полной разгерметизации составит 3,38 м. Массовая скорость выгорания бензина составляет

0,06 кг/(м²·с) [20], среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени пролива бензина – 60 кВт/м². При скорости ветра 0 м/с расчетная длина факела составит 7,75 м, при скоростях 5 м/с и 10 м/с – соответственно 12,3 м и 12,9 м.

Полученный по формуле (2) график интенсивности теплового излучения q (кВт/м²) в зависимости от расстояния при различных значениях ветра в направлении фасада здания приведен на рис. 2.

Как видно из полученных результатов, величина теплового потока существенно зависит от скорости ветра в направлении облучаемой поверхности. При скоростях ветра в направлении фасада здания более 5 м/с критическое значение потока 12,5 кВт/м² может быть превышено на расстояниях более 10 м от горящего автомобиля.

Вместе с тем следует учитывать, что рассмотренный случай пролива полного топливного бака является предельным, а указанное превышение критического потока относительно непродолжительно по времени.

С учетом скорости выгорания продолжительность горения такого пролива составит всего около 2 минут, что может быть недостаточно для вскрытия остекления в здании или воспламенения горючих материалов, заполняющих оконный проем.

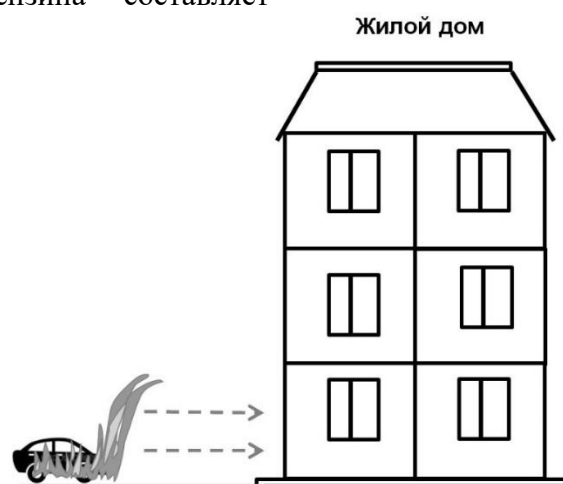


Рисунок. 1. Расчетная схема определения падающего теплового потока от горящего автомобиля на жилое здание

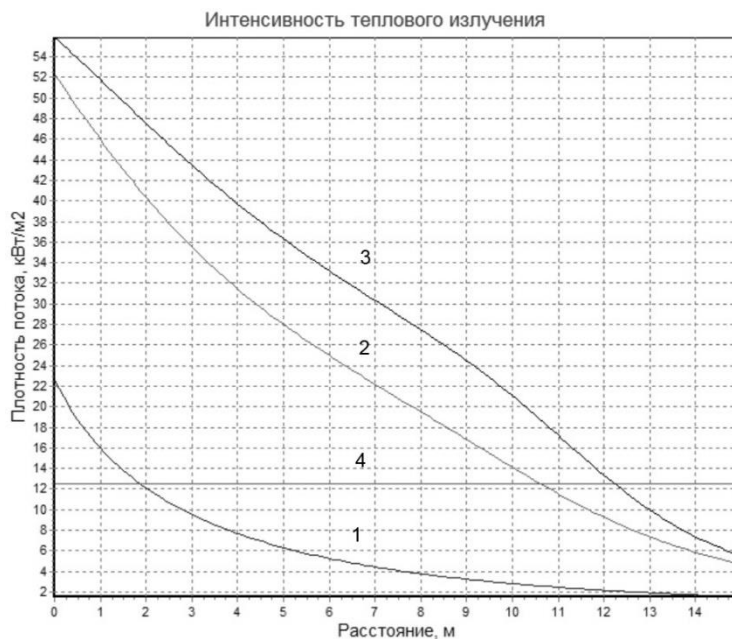


Рисунок. 2. Интенсивность теплового излучения от горящего пролива бензина: 1 – скорость ветра 0 м/с; 2 – скорость ветра 5 м/с; 3 – скорость ветра 10 м/с; 4 – критический поток 12,5 кВт/м²

Выводы

В настоящей работе изучены особенности теплового воздействия пожара автомобиля на жилые здания. Максимальное значение теплового потока при пожаре легкового автомобиля будет наблюдаться в случае полной разгерметизации топливного бака и последующего возгорания пролива бензина. Эффективный диаметр пролива бензина на бетонное или асфальтовое покрытие при полной разгерметизации топливного бака емкостью 60 л составит 3,38 м, площадь пролива – около 9 м².

В результате проведенных расчетов получены интенсивности теплового излучения в зависимости от расстояния при различных значениях ветра. Установлено, что при ветре более 5 м/с в направлении

фасада жилого здания предельное значение падающего теплового потока от горящего пролива бензина может быть превышено на расстоянии 10 м от парковки.

Рассмотренный сценарий пролива полного топливного бака легкового автомобиля является предельным, а указанное превышение критического потока относительно непродолжительно по времени (2 мин).

Таким образом, при расстоянии от жилого здания до автостоянки менее 10 м может потребоваться необходимость устройства огнестойких наружных стен здания с противопожарной защитой оконных проемов и применением негорючей облицовки фасада.

Литература

1. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». М., 2012. 148 с.
2. СП 4.13130.2013 Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям (с Изм. № 1). М., 2020. 114 с.
3. СП 113.13330.2016 Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99*. М., 2017. 24 с.
4. СП 506.1311500.2021 Стоянки автомобилей. Требования пожарной безопасности (Приказ МЧС России от 17.12.2021 № 880). 2021. 30 с.

5. Approved Document B: Fire safety. Vol. 1. Dwellings. London, United Kingdom: Department for Communities and Local Government. 2019. 174 p.
6. NFPA 80A: Recommended Practice for Protection of Buildings from Exterior Fire Exposures. National Fire Protection Association. 2017. 23 p.
7. IBC 2018 – International Building Code 2018 Edition. International Code Council (ICC). 2018. 726 p.
8. Shintani Y., Kakae N., Harada K. Experimental Investigation of Burning Behavior of Automobiles // 6th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology. 2004. Pp. 43–51.
9. Shipp M., Spearpoint M. Measurements of the severity of fires involving private motor vehicles // Fire and Materials. 1995. Vol. 19. No. 3. Pp. 143–151.
10. Okamoto K., Watanabe N., Hagimoto Y., Chigira T. Burning behavior of sedan passenger cars // Fire Safety Journal. 2009. Vol. 44. No. 3. Pp. 301–310.
11. Song Bo, Zhao Li-zeng, Bai Dian-tao. Experimental Study on Combustion Characteristic of Ordinary Car // China Safety Science Journal. 2013. Vol. 23. No. 7. Pp. 26–31.
12. Xiao-hui JIANG, Guo-qing ZHU, Hui ZHU, Da-yan LI. Full-scale Experimental Study of Fire Spread Behavior of Cars // Procedia Engineering. 2018. No. 211. Pp. 297–305.
13. Younggi Park, JaiyoungRyu, Hong Sun Ryou. Experimental Study on the Fire-Spreading Characteristics and Heat Release Rates of Burning Vehicles Using a Large-Scale Calorimeter // Energies. 2019. Vol. 12. No. 1465. 16 p.
14. Кошмаров Ю. А., Башкирцев М. П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. М., 1987. 440 с.
15. Ройтман М. Я. Пожарная профилактика в строительстве. М., 1985. 590 с.
16. EN 1991-1-2. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1–2: General actions – Actions on structures exposed to fire. CEN. 2002. 59 p.
17. Пастухов С. М., Жамойдик С. М., Тетерюков А. В. Анализ подходов по оценке минимально допустимых расстояний между зданиями при воздействии пожара // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2014. № 2. С. 23–31.
18. Гоман П. Н., Соболевская Е. С. Разработка программы расчета интенсивности теплового излучения при пожаре // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 1. С. 250–257.
19. Хасанов И. Р., Зуев С. А., Абашкин А. А., Зуева А. С. Оценка безопасных противопожарных расстояний от лесных насаждений до зданий и сооружений // Пожарная безопасность. 2021. № 2. С. 36–43.
20. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. М., 2009. 77 с.

References

1. Federal Law «Technical Regulations on Fire Safety Requirements». М., 2012. 148 p.
2. Code of rules of SP 4.13130.2013 Fire protection systems. Limiting the spread of fire on the protection elements. Requirements for space-planning and structural solutions (with Change No. 1). М., 2020. 114 p.
3. SP 113.13330.2016 Car parking. Updated edition of SNiP 21-02-99*. М., 2017. 24 p.
4. SP 506.1311500.2021 «Parking lots. Fire safety requirements» (Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated 17.12.2021 No. 880). М., 2021. 30 p.
5. Approved Document B: Fire safety. Vol. 1. Dwellings. London, United Kingdom: Department for Communities and Local Government. 2019. 174 p.
6. NFPA 80A: Recommended Practice for Protection of Buildings from Exterior Fire Exposures. National Fire Protection Association. 2017. 23 p.
7. IBC 2018 – International Building Code 2018 Edition. International Code Council (ICC). 2018. 726 p.
8. Shintani Y., Kakae N., Harada K. Experimental Investigation of Burning Behavior of Automobiles // 6th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology. 2004. Pp. 43–51.
9. Shipp M., Spearpoint M. Measurements of the severity of fires involving private motor vehicles // Fire and Materials. 1995. Vol. 19. No. 3. Pp. 143–151.
10. Okamoto K., Watanabe N., Hagimoto Y., Chigira T. Burning behavior of sedan passenger cars // Fire Safety Journal. 2009. Vol. 44. No. 3. Pp. 301–310.
11. Song Bo, Zhao Li-zeng, Bai Dian-tao. Experimental Study on Combustion Characteristic of Ordinary Car // China Safety Science Journal. 2013. Vol. 23. No. 7. Pp. 26–31.
12. Xiao-hui JIANG, Guo-qing ZHU, Hui ZHU, Da-yan LI. Full-scale Experimental Study of Fire Spread Behavior of Cars // Procedia Engineering. 2018. No. 211. Pp. 297–305.
13. Younggi Park, JaiyoungRyu, Hong Sun Ryou. Experimental Study on the Fire-Spreading Characteristics and Heat Release Rates of Burning Vehicles Using a Large-Scale Calorimeter // Energies. 2019. Vol. 12. No. 1465. 16 p.
14. Koshmarov Yu. A., Bashkirtsev M. P. Thermodynamics and heat transfer in the fire business. М., 1987. 440 p.

15. Roytman M. Ya. Fire prevention in construction. M., 1985. 590 p.
16. EN 1991-1-2. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1–2: General actions – Actions on structures exposed to fire. CEN, 2002. 59 p
17. Pastukhov S. M., Zhamoydik S. M., Teteryukov A. V. Analysis of approaches for assessing the minimum allowable distances between buildings when exposed to fire // Bulletin of the Command and engineering Institute of the Ministry of emergency situations of the Republic of Belarus. 2014. No. 2 (20). Pp. 23–31.
18. Goman P. N., Sobolevskaya E. S. Development of a program for calculating the intensity of thermal radiation in a fire // Technosphere Safety Technologies. 2016. No. 1 (65). Pp. 250–257.
19. Khasanov I. R., Zuev S. A., Abashkin A. A., Zueva A. S. Assessment of safe fire-fighting distances from forest plantations to buildings and structures // Fire safety. 2021. No. 2. Pp. 36–43.
20. Method for determining the calculated values of fire risk at production facilities. M., 2009. 77 p.