

УДК 614.841.3

Прогнозная оценка последствий пожара в подземной автостоянке для соседних объектов

Седов Д.В.¹, к.т.н.; Шубкин Р.Г.², к.т.н.; Никулин М.А.³

¹ ООО «Пожэксспертиза»;

² Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

³ ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья

Аннотация. С помощью математического моделирования проводится прогнозная оценка пожарной опасности частично заглубленной подземной автостоянки для соседнего деревянного дома, между которыми не выдержан противопожарный разрыв. Моделируются последствия пожара внутри подземной автостоянки и определяются значения температуры на внешней поверхности стены автостоянки и соседнего деревянного дома. С помощью стандартных расчетных методов определяется возможность распространения пожара на деревянный дом и величина пожарного риска для людей, находящихся на соседнем участке.

Ключевые слова: подземная автостоянка, противопожарный разрыв, моделирование пожара, пожарный риск, теплопередача.

Forecast assessment of fire consequences in underground parking for the adjacent facilities

Sedov D.V.¹, Ph.D. of Engineering Sciences; Shubkin R.G.², Ph.D. of Engineering Sciences; Nikulin M.A.³

¹ LLC «Pozhekspertiza»;

² Siberian Fire and Rescue Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia

³ FSBEI HE Northern Trans-Urals SAU

Annotation. With the help of mathematical modeling, a predictive assessment of the fire hazard of a partially buried underground parking lot for a neighboring wooden house, between which the fire gap has not been sustained, is carried out. The consequences of a fire inside an underground car park are simulated and the temperature values on the outer surface of the car park wall and the adjacent wooden house are determined. Using standard calculation methods, the possibility of a fire spreading to a wooden house and the magnitude of the fire risk for people in the neighboring area are determined.

Key words: underground car park, fire break, fire simulation, fire risk, heat transfer.

Введение

В настоящее время развивается строительство жилых кварталов с подземным (закрытым) размещением автопарковок. Однако в случаях, когда закрытые автопарковки заглублены в землю частично, возникают спорные ситуации, связанные с их расположением относительно существующих построек. Автостоянки, как места сосредоточения транспортных средств, представляют определенную пожарную опасность, и анализ статистики показывает, что в России ежегодно сгорает около 11 тыс. легковых автомобилей, 3 тыс. грузовых, 1 тыс. автобусов, троллейбусов и трамваев, в этих пожарах гибнет около 200 чел., около 680 получают увечья, ущерб оценивается в 170 млн. руб. в год [1]. Пожары происходят в результате ДТП (61 %), ремонтных работ (19 %), поджогов (13 %), неисправностей электропроводки на автостоянках (6 %). В связи с этим для обоснования безопасности соседства закрытых автостоянок и существующих строений необходимо проведение прогнозных оценок последствий пожара, в том числе оценка пожарного риска согласно [2].

В настоящей статье рассматривается спорная ситуация – соседство подземной автостоянки и частного деревянного дома V степени огнестойкости (рис. 1). Требуемый противопожарный разрыв нарушен:

фактически он составляет 1,5 м, по нормам требуется 12 м (п. 4.19 СП 113.13330.2016 [3], п. 4.3 и табл. 1 СП 4.13130.2013 [4]). Стена автостоянки выполнена противопожарной 1-го типа, но заглублена в грунт частично. В связи с этим требуется обоснование того, что в случае пожара внутри автостоянки прогрев данной стены не будет представлять опасность для деревянного строения.



Рис. 1. Взаимное расположение объектов

Анализ пожарной опасности соседствующих объектов

Рассматриваемая частично заглубленная подземная автостоянка рассчитана на 56 машиномест, расположена на отм. – 4.200 в пожарном отсеке высотой 3,2 м. Автостоянка имеет II степень огнестойкости, класс функциональной пожарной опасности Ф5.2, категорию по пожарной опасности В2. Вблизи от автостоянки располагается участок с 2-этажным частным жилым домом V степень огнестойкости размерами 15,4×19 м² и хозяйственными строениями.

Анализ конструктивных особенностей автостоянки показал, что ее стена, обращенная к жилому дому, имеет несколько слоев. Внутренний слой представляет собой железобетон толщиной 250 мм; средний – плиты пенополистирольные толщиной 100 мм; наружный – кирпич облицовочный толщиной 100 мм на цементно-песчаном растворе.

Пожарная нагрузка автомобилей составляет порядка 40 кг/м². Около 60 % горючих материалов в автомобилях составляют резинотехнические изделия, примерно 30 % приходится на пластиковые детали, обшивку и отделку, около 10 % приходится на горюче-смазочные, лакокрасочные и отделочные материалы. Интегральные характеристики пожарной нагрузки автомобилей по Ю.А. Кошмарову [5] представлены в таблице.

Таблица. Интегральные параметры пожарной нагрузки автомобиля

Параметр	Ед. изм.	Значение
Q_n — низшая теплота сгорания	МДж/кг	31,7
ψ — удельная массовая скорость выгорания	кг/(м ² ·с)	0,0233
v — линейная скорость распространения пламени	м/с	0,0068
L_{O_2} — удельный расход кислорода	кг/кг	2,64
D_m — дымообразующая способность горящего материала	Нп·м ² /кг	487
L_{CO_2} — удельный выход CO ₂	кг/кг	1,295
L_{CO} — удельный выход CO	кг/кг	0,097
L_{HCl} — удельный выход HCl	кг/кг	0,0109

Источниками зажигания являются искры коротких замыканий, раскаленная электропроводка в период перегрузки, нагретые поверхности выхлопного тракта и предпускового подогревателя [6], [7].

В автостоянке предусмотрено устройство автоматической установки пожарной сигнализации, которая при пожаре обеспечивает открытие ворот, включение системы оповещения и управления эвакуацией 3-го типа. Автостоянка оборудуется также автоматической спринклерной установкой пожаротушения, автоматической системой противодымной защиты.

Наиболее опасным сценарием пожара является возгорание внутри автомобиля на участке около стены, непосредственно за которой расположен частный жилой дом.

Методы и материалы

Для описания термогазодинамических параметров пожара наиболее целесообразно применять полевой метод, который предполагает моделирование в трехмерной расчетной области. Полевая модель реализована в программе PyroSim [8], которая имеет сертификат соответствия нормативной методике [9]. В программе PyroSim была построена расчетная модель рассматриваемых объектов (рис. 2).

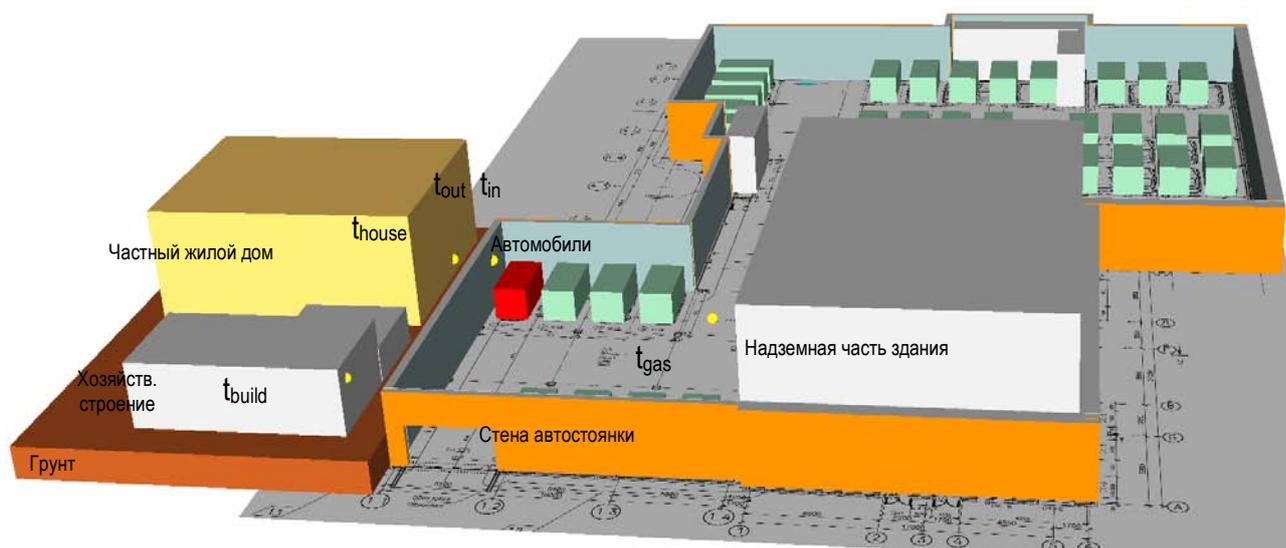


Рис. 2. Расчетная схема для моделирования динамики пожара в подземной автостоянке

При моделировании было учтено, что из-за близкого расположения автомобилей друг к другу возможно распространение пламени от одного автомобиля к другому и увеличение масштабов пожара.

Для замера температуры на поверхности конструкций и внутри автостоянки использовались виртуальные датчики:

t_{in} – на внутренней поверхности стены около горящего автомобиля;

t_{out} – на внешней поверхности стены напротив датчика t_{in} ;

t_{house} – на жилом доме датчиков t_{in} и t_{out} ;

t_{build} – на стене хозяйственного строения;

t_{gas} – внутри автостоянки на высоте 2 м от пола.

Стена автостоянки задавалась как многослойная конструкция со следующими характеристиками слоев. Бетон: плотность – 2280 кг/м³, удельная теплоемкость – 1,04 кДж/(кг·К), проводимость – 1,8 Вт/(м·К), коэффициент излучения – 0,9, коэффициент поглощения – $5 \cdot 10^4$ м⁻¹. Утеплитель: плотность – 208 кг/м³, удельная теплоемкость при 20 °С – 0,8 кДж/(кг·К), при 677 °С – 2 кДж/(кг·К), теплопроводность при 20 °С – 0,05 Вт/(м·К), при 377 °С – 0,1 Вт/(м·К), при 677 °С – 0,2 Вт/(м·К), коэффициент излучения – 0,9, коэффициент поглощения – $5 \cdot 10^4$ м⁻¹. Кирпич плотность – 750 кг/м³, удельная теплоемкость – 1,04 кДж/(кг·К), теплопроводность – 1,8 Вт/(м·К), коэффициент излучения – 0,8, коэффициент поглощения – $5 \cdot 10^4$ м⁻¹.

Период моделирования принят равным времени прибытия противопожарных формирований (10 мин [2]). Начальная температура воздуха снаружи и внутри автостоянки принята равной 20 °С. Концентрации токсичных продуктов горения в начальный момент времени приняты равными нулю, концентрация кислорода – 0,26 кг·м⁻³, начальная освещенность – 50 лк [9]. Учтено, что после срабатывания

системы обнаружения пожара и автоматическом открывании создаются условия для газообмена с окружающей средой и поддержания горения в течение длительного времени. Часть продуктов горения может выходить через ворота в окружающее пространство.

Результаты и обсуждение

Из рис. 3 видно, что пожар развивается внутри автомобиля, но из-за работы системы автоматического пожаротушения распространение горения на соседние автомобили не происходит. Сгораемые материалы внутри автомобиля выгорают достаточно интенсивно с выделением большого количества дыма, который заполняет припотолочное пространство автостоянки. Часть дыма удаляется системой противодымной защиты, некоторая часть удаляется через открытые ворота.

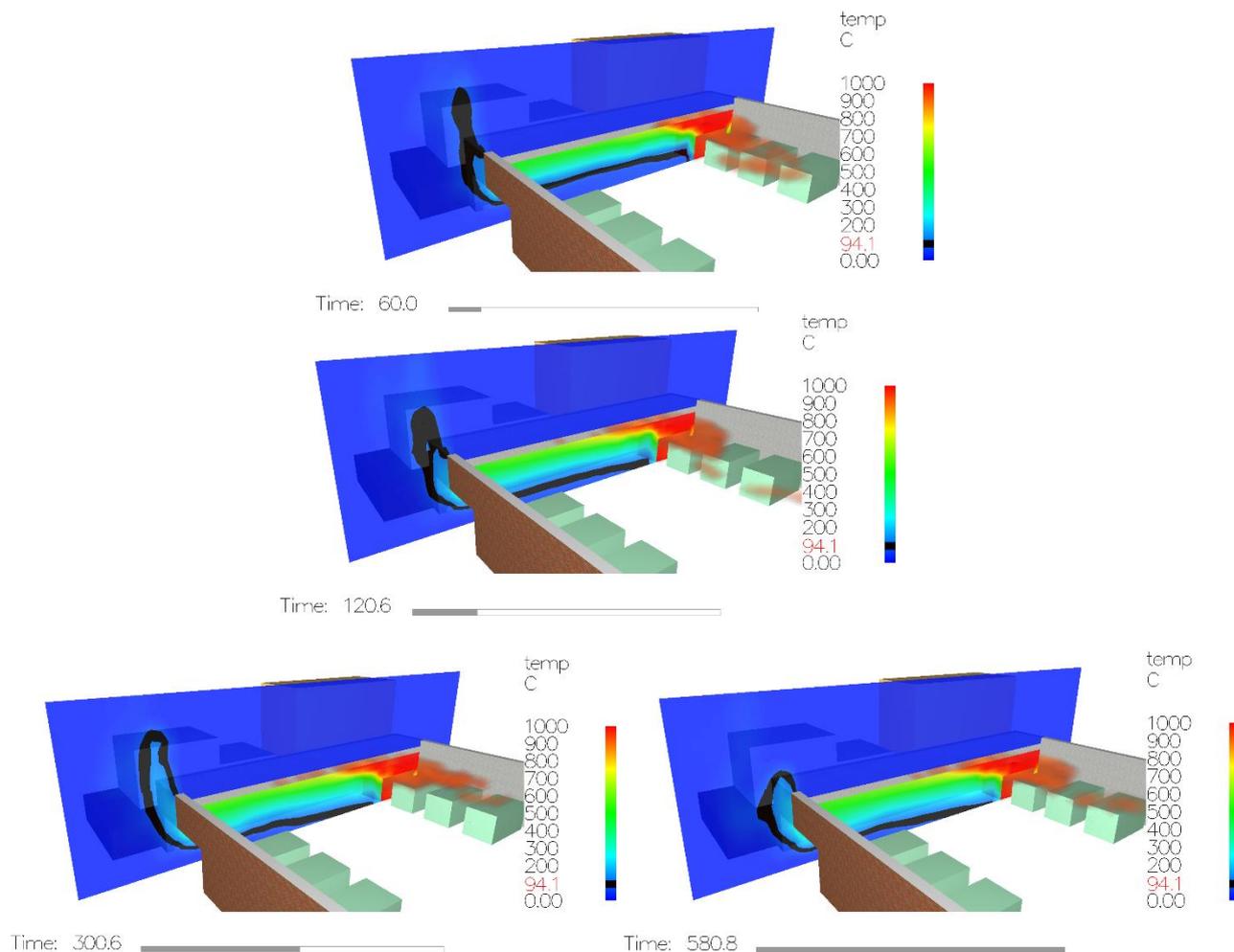


Рис. 3. Значения температуры газовой среды в вертикальной плоскости, проходящей через ворота

Через 1–2 мин температура выходящих газов в районе ворот составляет 90–95 °С. Температура газов в зоне горения достигает 1000 °С. Основная часть нагретых продуктов удаляется системой противодымной защиты. Внутри автостоянки термическое воздействие осуществляется, в первую очередь, на верхнюю часть стены и перекрытие, где скапливаются раскаленные продукты горения. Температура конструкций у потолка достигает 950 °С. В нижней части стены температура составляет максимум 250 °С.

Через 10 мин максимальная температура на поверхности стены на уровне очага пожара составляет 420 °С. Снаружи автостоянки максимальная температура отмечается над воротами, где нагретые продукты горения обтекают внешние конструкции. Здесь поверхность стены нагревается до 100 °С. Температура поверхности стены со стороны жилого дома составляет 20 °С.

На рис. 4 показано, как с течением времени меняется температура на поверхности стены внутри автостоянки около горящего автомобиля (датчик « t_{in} »). Из графика видно, что после 100 с горения температура на поверхности стены составляет около 750 °С, и дальнейший процесс увеличения температуры

замедляется. К нагреву приводит лучистый теплообмен от зоны горения, конвективный теплообмен со стороны раскаленных газов. В течение 10 мин температура увеличивается до 950 °С.

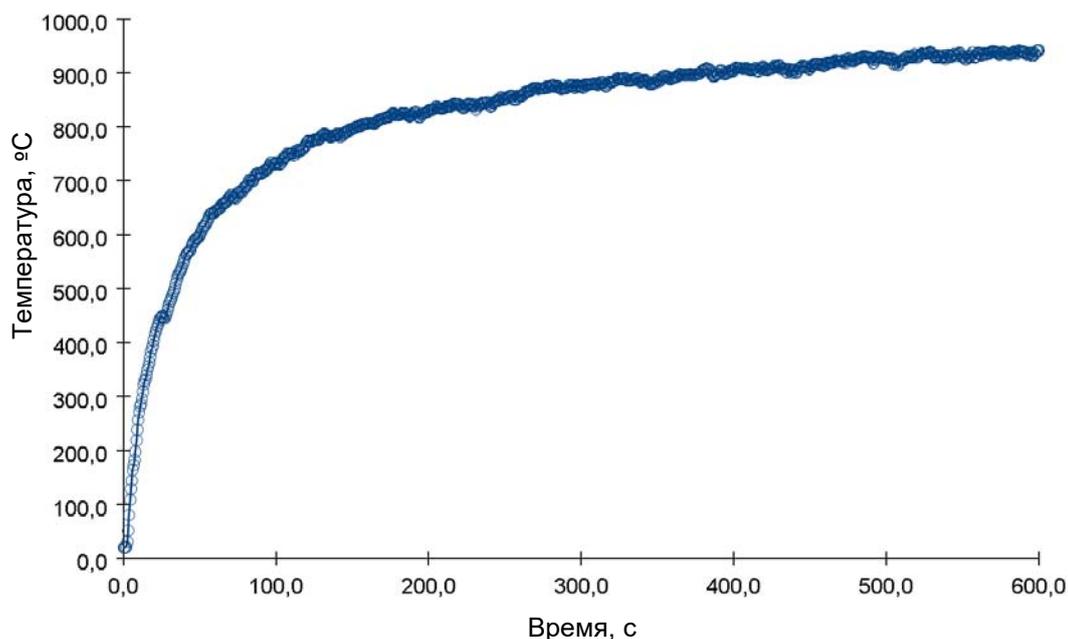


Рис. 4. Изменение температуры на поверхности стены внутри автостоянки

На рис. 5 показан график изменения температуры газов внутри автостоянки на высоте 2 м от пола (датчик « t_{gas} »). Как видно из графика, после достижения пожаром внутри автомобиля максимальной площади температура в автостоянке увеличивается приблизительно до 350 °С. После этого она поддерживается примерно на одном уровне.

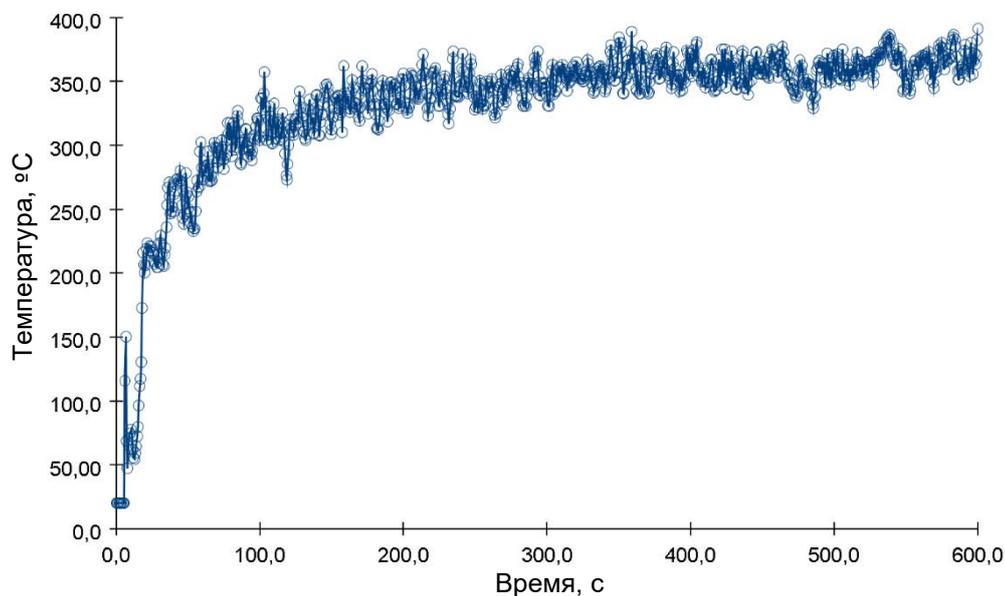


Рис. 5. Изменение температуры газов внутри автостоянки

На рис. 6 показана динамика температуры наружной поверхности стены подземной автостоянки (датчик « t_{out} »). Как видно, поверхность стены практически не нагревается (температура увеличивается на тысячные доли градуса). Наружная поверхность стены прогревается незначительно благодаря наличию слоя бетона, слоя утеплителя и слоя кирпича (100 мм).

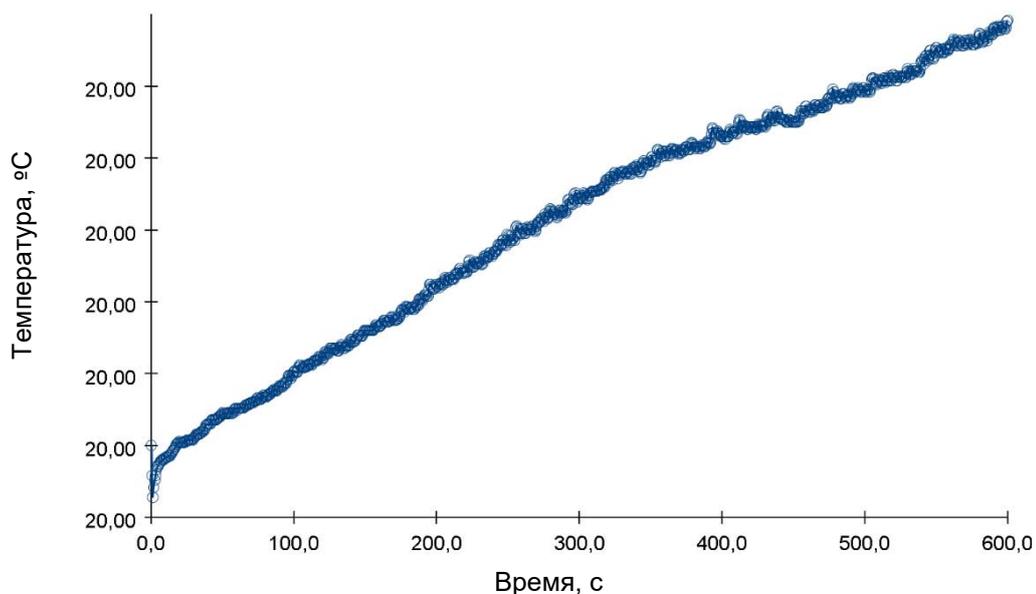


Рис. 6. Изменение температуры на наружной поверхности стены автостоянки

На рис. 7 показана температура поверхности стены жилого дома в точке напротив горящего автомобиля внутри автостоянки (датчик «t_{house}»). Как видно из графика, температура стены дома равна температуре окружающей среды (20 °C).

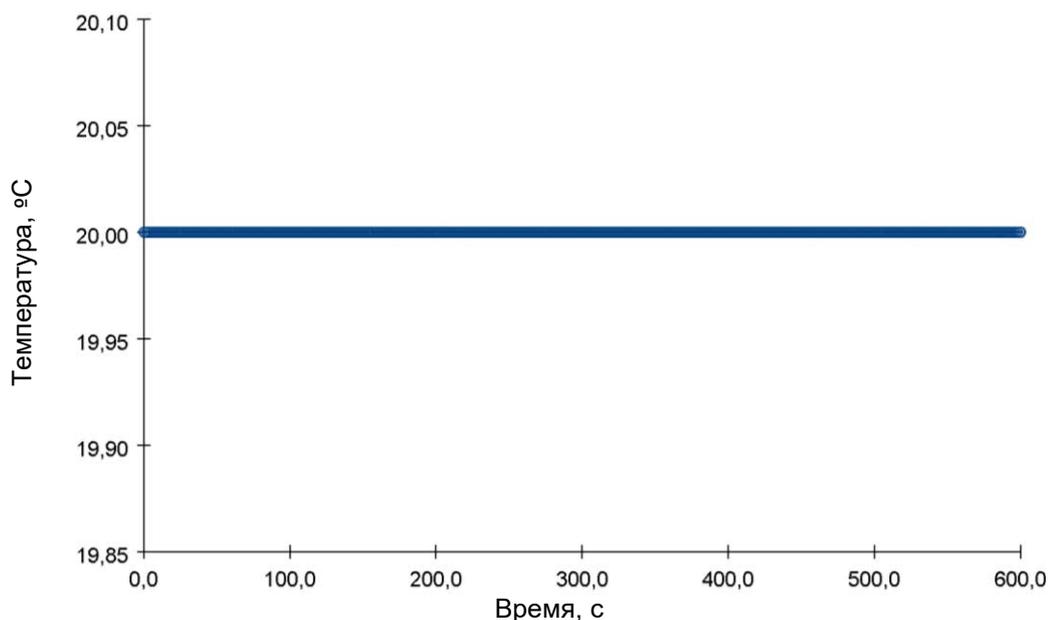


Рис. 7. Изменение температуры на поверхности стены жилого дома

На рис. 8 показана динамика температуры на поверхности стены хозяйственного строения в точке, расположенной напротив ворот (датчик «t build»). Как видно из графика, температура стены хозяйственного строения через 10 мин увеличивается до 23 °C. Поверхность стены разогревается из-за теплового излучения со стороны конвективной колонки, образованной нагретыми продуктами горения, выходящими из ворот автостоянки.

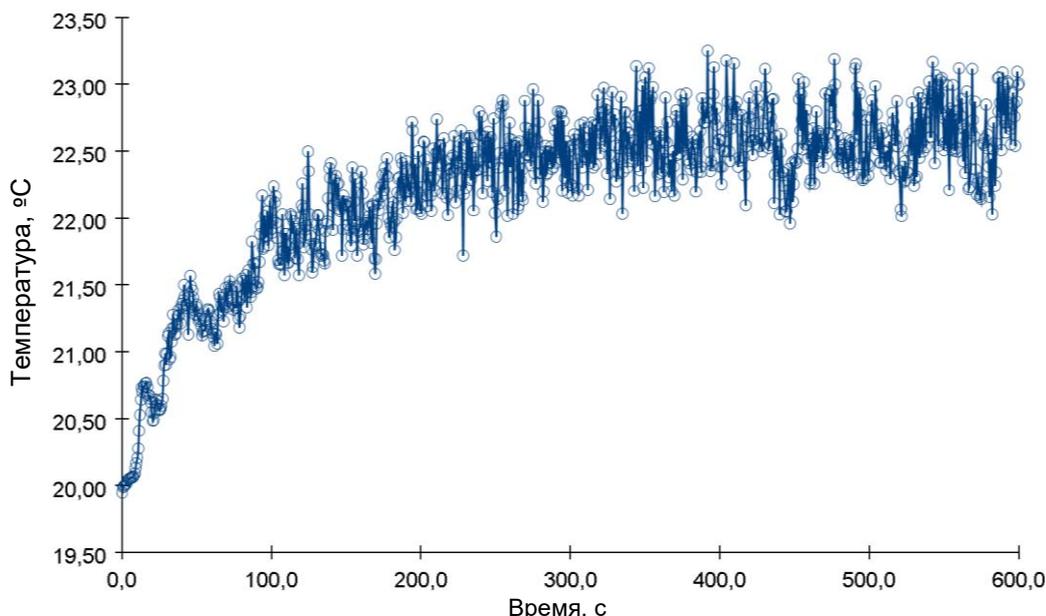


Рис. 8. Изменение температуры на поверхности стены хозяйственного строения

Теплопередаче через стену при пожаре в автостоянке препятствуют два основных фактора. Во-первых, монолитные железобетонные плиты обладают высокой теплопроводностью и значительной теплоемкостью, и для их прогрева требуется сравнительно большое количество тепла, которого при пожаре недостаточно. Во-вторых, в ограждающей стене автостоянки предусмотрен слой утеплителя, который препятствует теплопередаче между слоями.

Таким образом, при пожаре температура на поверхности соседних строений, находящихся поблизости от подземной автостоянки может составить 23 °С. В частности, температура стены жилого дома не нагревается выше 20 °С.

Стандартизированные расчеты по ГОСТ 12.1.004-91 [10] позволили провести оценку возможности распространения пламени между подземной автостоянкой и жилым домом. Тепловое излучение зависит от температуры стены и характеризуется интенсивностью q . Интенсивность теплового излучения q (Вт/м²) можно определить по закону Стефана – Больцмана:

$$q = 5,7 \varepsilon_1 \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 = 5,7 \cdot 0,93 \cdot \left(\frac{293}{100} \right)^4 = 391 \text{ Вт/м}^2 = 0,39 \text{ кВт/м}^2.$$

где 5,7 — коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт·м⁻²·К⁻⁴;

ε_1 — степень черноты излучающей поверхности (для кирпича 0,93 [11]);

T_1 — температура излучающей поверхности, К (максимальная температура поверхности стены автостоянки при пожаре составляет 20 °С или 293 К).

Интенсивность теплового излучения 0,39 кВт/м² не представляет опасности для соседних объектов, поскольку критическое значение интенсивности теплового излучения для плит ДСП составляет 12 кВт/м², плит ДВП — 13 кВт/м², сосновой древесины — 13,9 кВт/м², слоистого пластика — 15,4 кВт/м², рулонной кровли — 17,4 кВт/м² [9]. Иными словами, для возникновения возгорания, деревянных объектов интенсивность теплового излучения от наружной стены автостоянки должна быть в 31–45 раз больше, чем в рассматриваемом сценарии.

Расчеты по Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [9] показали, что интенсивность теплового излучения 0,39 кВт/м² не достигает порогового значения для человека 4 кВт/м² [9]. Заметим, что человек в течение длительного времени может без негативных последствий выносить тепловое излучение в размере 1,4 кВт/м² [9]. Таким образом, непосредственно за стеной автостоянки человек находится в безопасности и не подвергается риску поражения. В связи с этим индивидуальный пожарный риск для человека, находящегося за стеной автостоянки, равен нулю. Социальный пожарный риск также равен нулю в силу отсутствия критических значений опасных факторов пожара.

Заключение и выводы

Таким образом, в результате проведенного моделирования процесса теплопередачи через стену подземной автостоянки при пожаре автомобиля внутри нее было получено, что максимальная температура, до которой нагревается внешняя поверхность стены, составляет 100 °С (над воротами). Со стороны жилого дома температура стены практически не прогревается выше 20 °С. Система противодымной защиты удаляет часть продуктов горения, однако некоторая часть дыма (с температурой 95–100 °С) выходит через открытые ворота, что вызывает нагрев стены соседнего хозяйственного строения до 23 °С. Тепловое излучение со стороны стены автостоянки в сторону деревянного жилого дома происходит с интенсивностью 0,39 кВт/м², чего недостаточно для распространения горения на соседние объекты (в 31–45 раз меньше критического значения для строительных материалов) и поражения человека, находящегося около стены автостоянки (в 10 раз меньше критического значения для человека). Значение индивидуального пожарного риска и социального пожарного риска для людей, находящихся в жилой зоне вблизи объекта, равны нулю (не превышают нормативное значение 10⁻⁶ в год), следовательно, согласно статье 6 Технического регламента о требованиях пожарной безопасности [2] пожарная безопасность рассматриваемой подземной автостоянки считается обеспеченной.

Литература

1. Елисеев Ю.Н., Чешко И.Д. Экспериментальные исследования закономерностей разлива горючей жидкости при поджоге автомобиля // Расследование пожаров. – М.: Изд-во ВНИИПО, 2005. Вып. 1. – С. 40–48.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 27 декабря 2018 г.): Федеральный закон РФ от 22 июля 2008 г. № 123–ФЗ. Принят Государственной Думой 04.07.2008, одобрен Советом Федерации 11.07.2008 // Российская газета, № 163, 01.08.2008.
3. СП 113.13330.2016 Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99* (с Изменением № 1). Принят Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации 07.11.2016. Дата редакции 17.09.2019. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2017.
4. СП 4.13130.2013 Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям (с Изменением № 1). Принят МЧС России 24.04.2013. Дата редакции 14.02.2020.
5. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учеб. пособие / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
6. Лобаев И.А., Плешаков В.В., Вечтомов Д.А., Данилов А.М. О пожарной опасности нагретых деталей выхлопного тракта легкового автомобиля // Технологии техносферной безопасности. 2014. Вып. 1 (53) URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-1/05-01-14.ttb.pdf> (20.01.2021).
7. Голяев В.Г., Ефимов С.Г. Рекомендации по расследованию пожаров на автомобильном транспорте. СПб.: ИПЛ УГПС Санкт-Петербурга и Ленинградской области, 2001. – 98 с.
8. Программное обеспечение для расчетов в области пожарной безопасности // FireCat. – URL: <http://pygosim.ru/> (Дата обращения: 20.01.2021).
9. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (с изменениями на 14.12.2010). – Утв. приказом МЧС России № от 10.07.2009 № 404. // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти, № 37, 14.09.2009.
10. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением № 1). Утв. Постановлением Государственного комитета по управлению качеством продукции и стандартам от 14.06.1991 № 875. Дата редакции 01.09.2006. – М.: Стандартинформ, 2006.
11. Башкирцев М. П., Бубырь Н. Ф., Минаев Н.А. и др. Основы пожарной теплофизики. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1978. – 200 с.