ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(10-1):17–28
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 624.63–52:622.44 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_17

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ МЕТРОМОСТА В СЛУЧАЕ ВОЗГОРАНИЯ КАБЕЛЯ С УЧЕТОМ ЗАЩИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСАДКОВ

Н. О. Каледина[1], С. С. Кобылкин[1], А. С. Кобылкин[1,3], Р. С. Кондрев[2], Д. Н. Белецкий[2]

[1] Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Россия;
[2] АО «Метрогипротранс»;
[3] ИПКОН РАН, Москва, Россия

Аннотация: В настоящее время в России нет законодательно утвержденных рекомендаций по порядку, структуре и требованиям к выбору защитных конструкций от климатических осадков для метромостов. Разработкой рекомендаций по конструкциям занимаются научно-исследовательские организации с соответствующей компетенцией в данной области. В целях повышения противоаварийной готовности при эксплуатации метромоста для участка Калининско-Солнцевской линии метрополитена от станции метро «Рассказовка» до станции метро «Внуково» на основании проведенного анализа действующей нормативной документации и научной литературы, а также исследований горючих свойств кабелей, в программном комплексе Ansys CFD были разработаны виртуальные аналоги метромоста и процессов, протекающих при возникновении пожара, связанного с горением кабеля (задымление). Конструкция метромоста принималась с учетом ламелей – элементов, защищающих пути от климатических осадков. Компьютерное моделирование и последующий анализ полученных результатов позволили сформулировать перечень рекомендаций по размещению кабелей. Предложенные подходы могут быть использованы для разработки специальных технических условий других аналогичных объектов.

Ключевые слова: метро, мост, компьютерное моделирование, проветривание, климатические факторы, пожар, задымление.

Для цитирования: *Каледина Н. О., Кобылкин С. С., Кобылкин А. С., Кондрев Р. С., Белецкий Д. Н.* Оценка эффективности естественного проветривания метромоста в случае возгорания кабеля с учетом защитных конструкций от климатических осадков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 10-1. – С. 17–28. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_17.

Evaluation of the effectiveness of natural ventilation of a metro bridge in the event of a cable fire, taking into account protective structures from climatic precipitation

N. O. Kaledina[1], S. S. Kobylkin[1], A. S. Kobylkin[1,3], R. S. Kondrev[2], D. N. Beleckij[2]

[1] Mining Institute NUST "MISiS", Moscow, Russia;
[2] AO Metrogiprotrans;
[3] IPCON RAS, Moscow, Russia

© Н. О. Каледина, С. С. Кобылкин, А. С. Кобылкин, Р. С. Кондрев, Д. Н. Белецкий. 2021

Abstract: Currently in Russia there are no legally approved recommendations on the procedure, structure and requirements for the selection of protective structures from climatic precipitation for metro bridges. The development of design recommendations is carried out by research organizations with the relevant competence in this area. In order to increase emergency preparedness during the operation of the metro bridge for the section of the Kalininsko-Solntsevskaya metro line from the Rasskazovka metro station to the Vnukovo metro station, based on the analysis of the current regulatory documentation and scientific literature, as well as studies of the combustible properties of cables, — in the software package Ansys CFD has developed virtual analogs of the metro bridge and the processes occurring in the event of a fire associated with burning a cable (smoke). In the construction of the metro bridge, lamellas were taken into account — elements that protect the paths from climatic precipitation. Computer simulation and subsequent analysis of the results obtained made it possible to formulate a list of recommendations for the placement of cables. The proposed approaches can be used to develop special technical specifications for other similar objects.

Key words: metro, bridge, computer simulation, ventilation, climatic factors, fire, smoke.

For citation: Kaledina N. O., Kobylkin S. S., Kobylkin A. S., Kondrev R. S., Beleckij D. N. Evaluation of the effectiveness of natural ventilation of a metro bridge in the event of a cable fire, taking into account protective structures from climatic precipitation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(10-1):17—28. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_17.

Введение

Московский метрополитен как вид общественного транспорта характеризуется наибольшими пассажиропотоками, поэтому обеспечение его безопасности является важнейшей задачей. При проектировании линий метро особое внимание должно уделяться предотвращению связанных с массовым поражением пассажиров аварий, к каким, в первую очередь, относятся пожары. Метрополитен на отдельных участках включает наземные линии метро, которые многократно пересекают водные объекты, транспортные коммуникации посредством метромостов, для которых отсутствуют рекомендации по обеспечению пожаробезопасности конструкций, защищающих от осадков. В связи с этим встала задача оценки возможности спасения людей при пожаре во время движения по мосту.

Теоретическая часть

При возникновении пожара задача машиниста поезда довести состав до станции. При этом системой вентиляции должны быть обеспечены условия видимости:

– полное отсутствие дыма на уровне глаз машиниста;

– предельная видимость в дыму на уровне обзора машиниста поезда $l_{пр}$ = 20 м в соответствии со Специальными техническими условиями на проектирование и строительство в части обеспечения пожарной безопасности объекта Калининско-Солнцевская линия метрополитена от станции метро.

Пожарная опасность наземных участков линии метрополитена характеризуется наличием в них горючей нагрузки.

Наземные участки линии метрополитена проектируются с требуемым пределом огнестойкости несущих конструкций не менее R 15, при этом учитываются требования п. 5.4.3 СП 2.13130.2012 [1], согласно которому необходимый предел огнестойкости конструкции (за исключением конструкций в составе противопожарных преград) составляет R 15 (RE 15, REI 15).

Среди потенциальных источников возгорания можно выделить только кабельные линии. Предусматривается групповая прокладка кабельных линий с закреплением на кронштейнах по каждой внутренней продольной стороне наземно-надземного участка линии.

Типом кабельных линий является нг(А)-HF, что согласно таблице 2 ГОСТ 31565—2012 [2] соответствует классу пожарной опасности П1б.8.1.2.1 (показатель дымообразования от 0 до 40 вкл. — таблица 1 ГОСТ 31565—2012). Горение кабельных линий с типом исполнения нг(А)-HF возможно только под напряжением. При снятии напряжения самостоятельное горение кабельных линий с указанным типом исполнения прекращается.

Для кабелей (НГ) линейная скорость распространения горения в среднем составляет 0,02 м/мин (или 0,00033 м/с), скорость выгорания — 0,4 кг/(м^2·мин) (или 0,0067 кг/(м^2·с)), низшая теплота сгорания изоляции — 22,5—25,2 МДж/кг и 32 МДж/кг. При проведении расчетов значение линейной скорости распространения пламени для горизонтально проложенных кабелей принимается с запасом: с учетом скорости распространения пламени по вертикально расположенным пучкам кабелей в соответствии с испытаниями от горелки по ГОСТ IEC 60332—3-22—2011 (длина обугленной части — не более 2,5 м, время воздействия — 40 мин, тогда скорость распространения пламени составит 2,5/40 = 0,0625 м/мин = 0,00104 м/с).

Изоляция новых кабелей состоит из усовершенствованного каучукового материала — этилен-пропилена. Срок службы такого электропровода — 40 лет, что на 15 лет больше предыдущих образцов [3, 4]. Возможное их горение рассматривается с точки зрения появления задымления при тлении.

Дымообразующая способность — это способность веществ и материалов выделять дым при горении или термическом разложении. Она связана с потерей видимости при пожаре и является одним из основных опасных факторов пожара. Дымообразующую способность оценивают по коэффициенту дымообразования (единица измерения м^2/кг), определяемому экспериментально в дымовой камере [5].

Место начало горения кабеля возможно в точке излома (перегиба) при постоянном напряжении. После отключения напряжения горение прекращается, так как кабель не горючий. Горение кабеля по всей длине единовременно не рассматривается, так как контроль напряжения осуществляется постоянно, и его превышение невозможно.

Конструкции метромоста сохраняют несущие способности в течение 15 минут при воздействии на них температуры 500^{0}С, поэтому расчётное время при динамическом расчёте принимается равным 15 минутам (900 с).

Поскольку линейная скорость распространения пламени v = 0,00104 м/с (или 1 мм/с), то за 15 минут (900 с) пламя распространится максимум на 0,9 м. Это значение как максимально худший вариант принимается за начальное условие размеров области выделения дыма по горизонтали.

При этом горение может распространяться и по вертикали (вверх и вниз) при условии, что кабели будет уложены друг на друга. По нормам это недопустимо, однако при моделировании учитывается: за 15 минут (900 с) горение по вертикали также будет составлять 0,9 м.

Следовательно, дым будет выделяться с поверхности 0,9 м на 0,9 м.

По исходным данным оптическая плотность дыма μ = 0,12 Нп·м$^{-1}$, тогда

предельная видимость в условиях пожара по ГОСТ 12.1.004 [6] будет равна

$$l_{пр} = \frac{2,38}{\mu} = \frac{2,38}{0,12} = 19,8 \text{ м}.$$

При наихудшем сценарии безразмерная характеристика «тип светоотражающего объекта, рассматриваемого в дыму» будет равна C = 4. Исходя из этого можно определить коэффициент ослабления оптического излучения (k, м$^{-1}$) [4]:

$$k = \frac{C}{l_{пр}} = \frac{4}{19,8} = 0,202 \text{ м}^{-1}.$$

Зная коэффициент ослабления оптического излучения и величину удельного массового показателя экстинкции σ_s = 8700 м^2/кг [4], можно определить массовую концентрацию дыма C_m (кг/м^3):

$$C_m = \frac{k}{\sigma_s} = \frac{0,202}{8700} = 0,000023 \text{ кг/м}^3.$$

Скорость выгорания кабеля, согласно исходным данным, составляет $v_в$ = 0,0067 кг/(м^2·с). Кабельный лоток выступает на длину, равную 0,184 м. Средний диаметр кабеля 0,04 м. При условии полного заложения кабельного лотка и его горении в течение 15 минут (на длину 0,9 м) площадь поверхности горения составит

$$C_{гор.} = ((0,04 \cdot 0,9) + (0,184 \cdot 0,9)) \cdot 2 = \\ = 0,4032 \text{ м}^2.$$

Соответственно массовый расход дыма составит

$$q_д = v_в \cdot S_{гор.} = 0,0067 \cdot 0,4032 = \\ = 0,0027 \text{ кг/с}.$$

Рассмотренные выше параметры были использованы как начальные и граничные условия при компьютерном моделировании. Для проведения расчетного обоснования технических решений по противопожарной защите наземно-надземных участков линии метрополитена с покрытием для защиты от атмосферных осадков был выбран полевой метод [7], реализованный в программном комплексе Ansys CFD [8]. Данное программное обеспечение в настоящее время активно используется при расследовании аварий [9, 10] и для обоснования проектных решений [11—14]. За рубежом для проведения научных работ также достаточно широко применяют трехмерное компьютерное моделирование [15—18].

Были выполнены стационарные расчеты на наихудшие условия, и динамический расчет нестационарного процесса, позволяющего отследить процесс рассеивания дыма при движении поезда. Рассмотрены наиболее характерные участки моста — двухпутный (когда пути встречных направлений максимально сближены) и однопутный (при расхождении путей на максимальное расстояние). Наиболее пожароопасным периодом является лето; на основе анализа среднегодовых температур средняя температура воздуха в расчетах принята +26°С.

По методике [19] определения параметров сетки по полученным в первом разделе значениям (краевым условиям) были определены размеры ячеек для проведения численных расчётов — 0,2 м, между ламелями — 0,05 м.

Расчётная область представляет собой прямоугольный участок, в котором расположен метромост (рис. 1). Поскольку метромост расположен на высоте, то со всех сторон расчётной области задавались открытые границы с нулевым избыточным значением. Опорами метромоста в исследованиях пренебрегали.

Расчёт производится с учётом физических свойств дыма (концентрации и плотности), а также с учетом температуры. Модель турбулентности для расчёта выбрана $k-\varepsilon$.

Наиболее сложная ситуация с точки зрения задымления возникает при безветрии, т.к. ветер, вследствие проницаемости ламелей, будет сдувать дым, что существенно снизит его концентрацию в зоне видимости машиниста. Поэтому именно при условии отсутствия ветра следует определять максимальное расстояние, на которое распространяется дым по метромосту, и предельную видимость.

Обсуждение результатов

По результатам расчётов (рис. 1) видно, что дым распределяется по участку метромоста на расстояние, равное 15 м. Низкие концентрации дыма заполняют всё сечение метромоста, большая часть дыма скапливается под верхним перекрытием (рис. 2).

Графики распределения концентрации дыма на высоте 3 м от цоколя метромоста (средний уровень глаз машиниста поезда) по длине расчётного участка метромоста показаны на рис. 3: по центру сечения и на расстоянии 1 метр от центра в обе стороны.

По результатам расчётов можно сделать вывод о том, что дым распространяется на расстояние до 20 м. Для дальнейшего проведения расчётов с целью сокращения машинного времени длину моделей при безветрии рационально выбирать равной 30 м.

При динамическом расчёте распределения дыма рассматривалось в течение 15 минут, массовая концентрация дыма в данном расчёте была увеличена до 1 кг/м^3 с целью определения наихудшего сценария развития аварийной ситуации.

Для данного расчёта была выбрана трехмерная модель двух отдельных участков метромоста, расположенных на максимальном удалении друг от друга (12,9 м).

Как видно из представленных расчётов (рис. 4) задымление происхо-

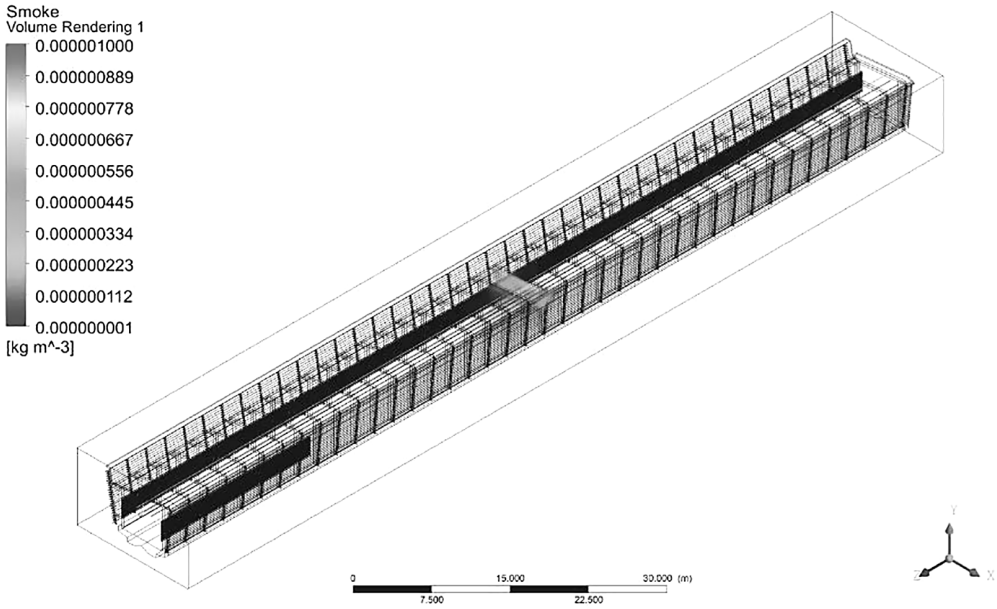


Рис. 1. Результаты расчёта распределения дыма по однопутному участку при его длине 100 м (аксонометрический вид)
Fig. 1. The results of calculating the spread of smoke on a single-track section 100 m long (axonometric view)

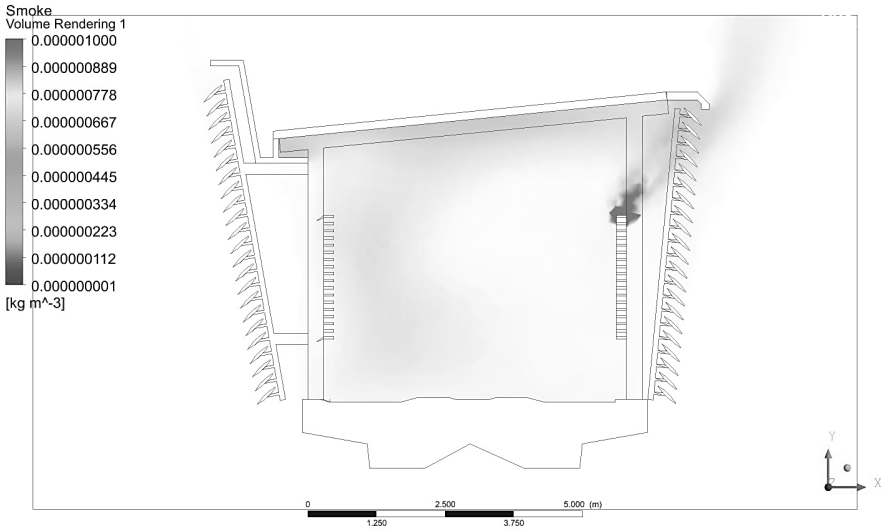


Рис. 2. Результаты расчёта распределения дыма по однопутному участку при его длине 100 м (фронтальный вид)
Fig. 2. The results of calculating the distribution of smoke over a single-track section with its length of 100 m (frontal view)

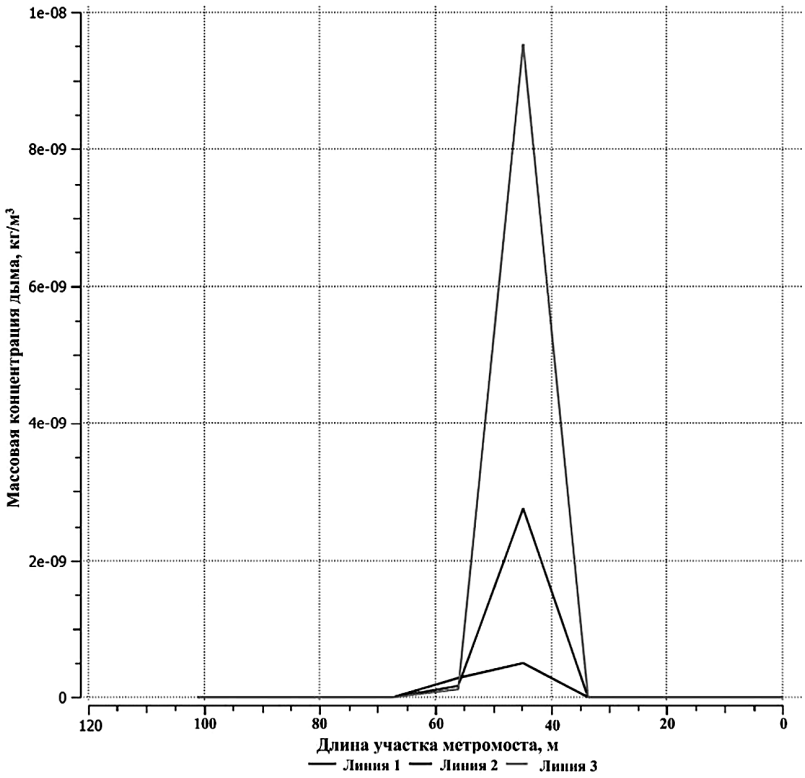


Рис. 3. Распределения концентрации дыма по длине участка метромоста
Fig. 3. Graphs of distribution of smoke concentration along the length of the metro bridge section

дит также на ограниченном участке до 15 м, при этом часть дыма попадает на соседний участок метромоста.

Результаты динамического расчёта распространения дыма представлены на рис. 5. По ним видно, что распространение дыма на участке происходит следующим образом:

1. Дым с температурой 500 °С при интенсивности выделения 0,1 м/с поднимается под верхнее перекрытие, заполняя подкровельное пространство;

2. Далее дым выходит через пространство между ламелями в атмосферу за аварийный участок;

3. Дым, остывая, частично рассеивается, а частично опускается, поскольку температура наружного воздуха принята 26 °С;

4. Часть дыма заполняет соседний участок — второй путь, причем максимальная концентрация дыма на втором участке меньше, чем в первом, но распределяется дым по сечению более равномерно, так как его температура ниже, чем у источника выделения.

Конструкция крыши (уклон в сторону, противоположную от второго участка) также оказывает влияние на распределение дыма.

По результатам расчёта нестационарного процесса развития задымления можно сделать вывод о том, что к 15 минутам динамика распространения дыма не изменяется по сравнению со стационарным расчётом. Следовательно, в дальнейшем при расчетах можно использовать стационарную модель непрекращающегося горения при наихудших исходных условиях.

Полученные результаты моделирования не противоречат общепринятым из теории и практики фактам. Также подтверждением результатов моделирования является полная сходимость по невязкам при расчёте. Проведение верификации и натурных исследований в настоящее время не проводилось,

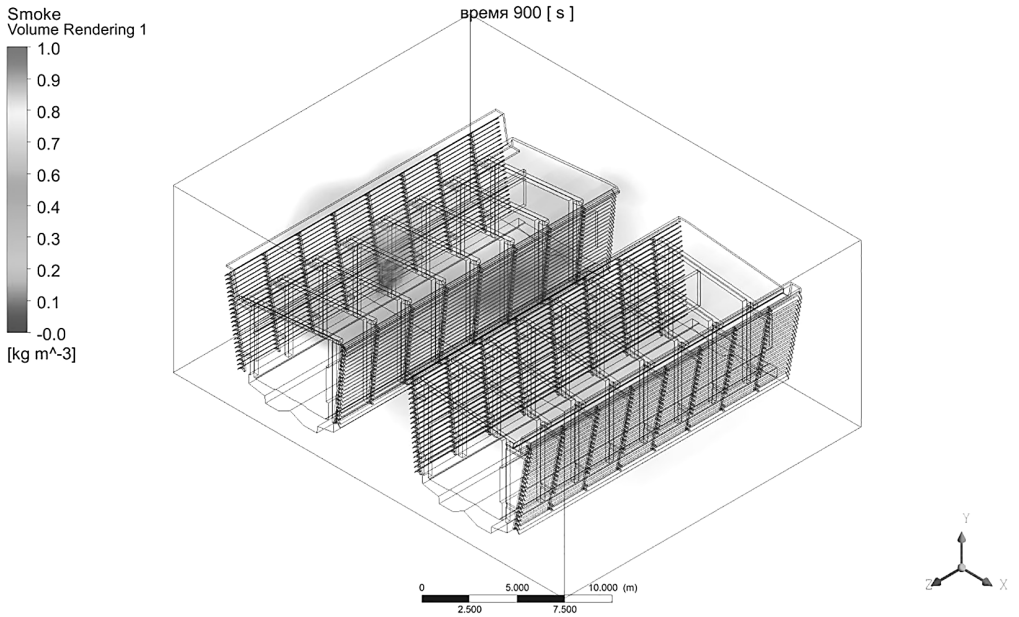
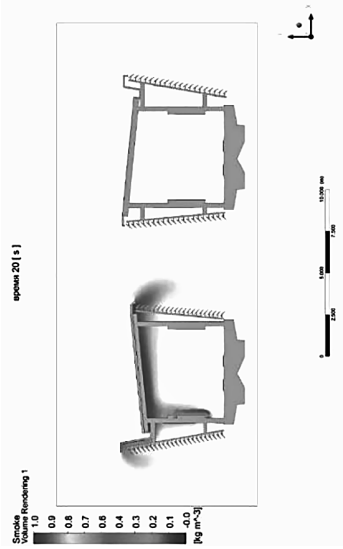
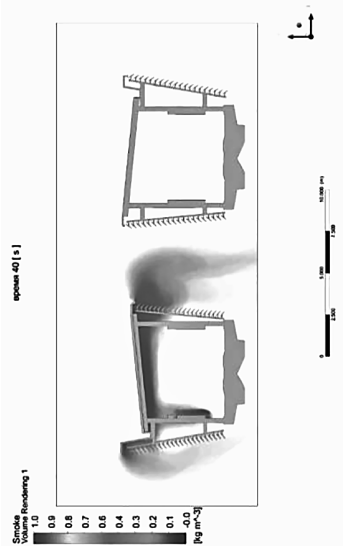
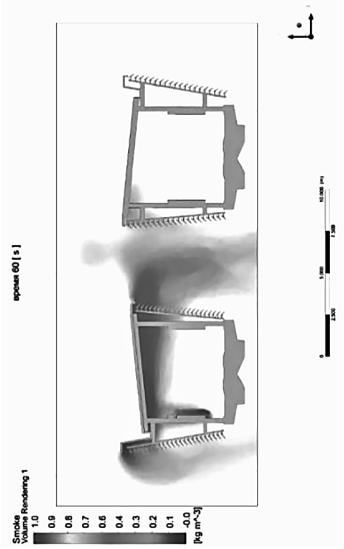
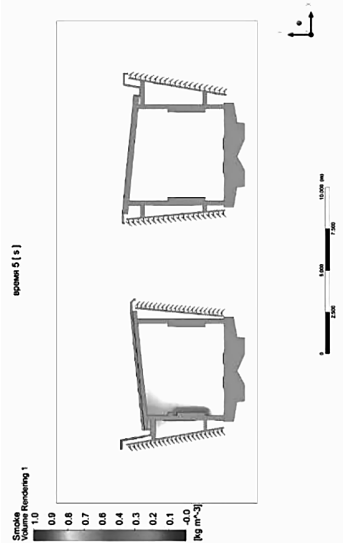


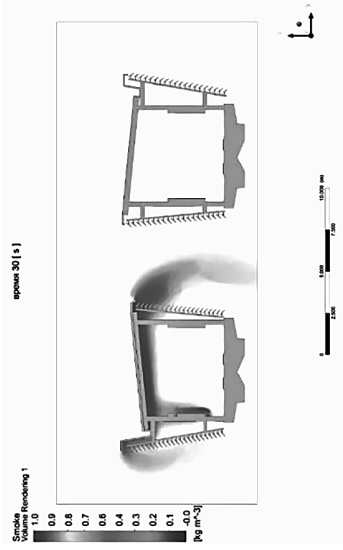
Рис. 4. Результаты расчёта распределения дыма за 15 минут (900 с)
Fig. 4. The results of calculating the distribution of smoke for 15 minutes (900 s)

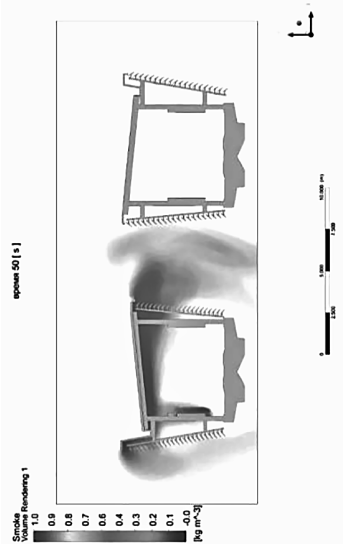

spaus 20 [s]
Smoke
Volume Rendering 1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
-0.0
[kg m^-3]


spaus 40 [s]
Smoke
Volume Rendering 1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
-0.0
[kg m^-3]


spaus 60 [s]
Smoke
Volume Rendering 1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
-0.0
[kg m^-3]


spaus 5 [s]
Smoke
Volume Rendering 1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
-0.0
[kg m^-3]


spaus 30 [s]
Smoke
Volume Rendering 1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
-0.0
[kg m^-3]


spaus 50 [s]
Smoke
Volume Rendering 1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
-0.0
[kg m^-3]

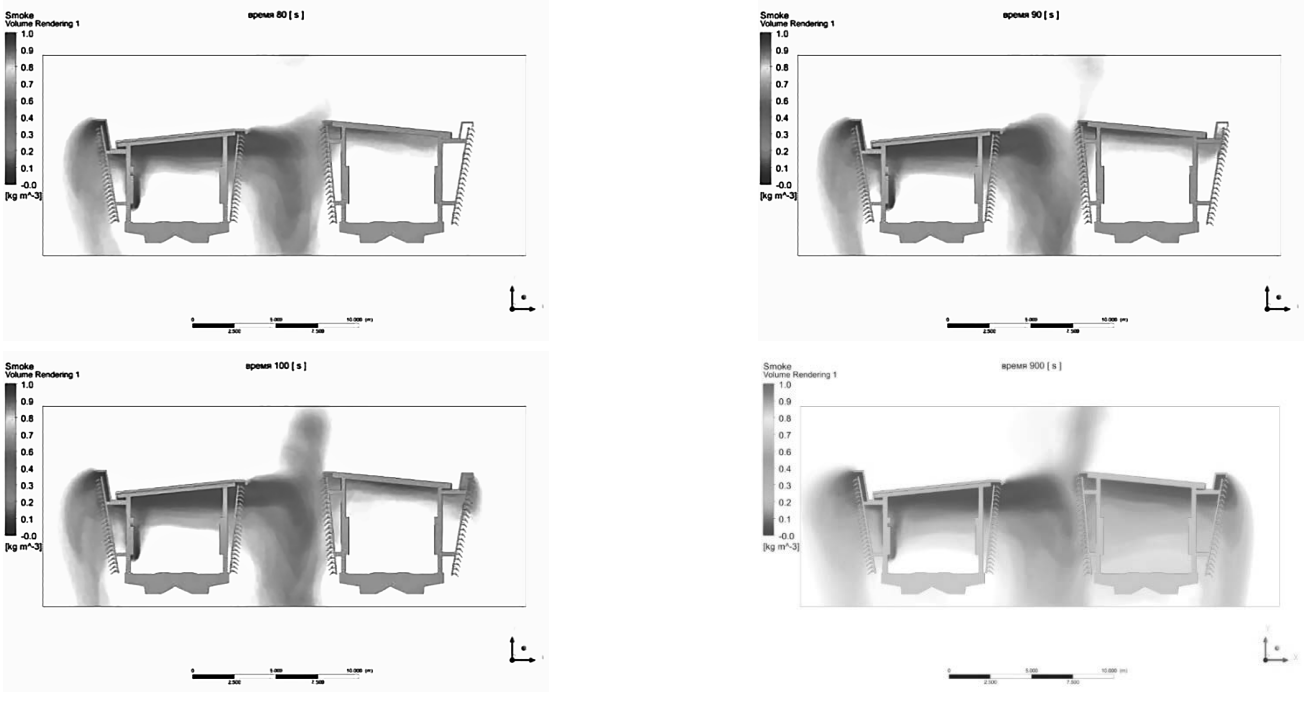


Рис. 5. Раскадровка с 1-й по 900-ю секунду динамического расчёта распределения дыма
Fig. 5. Storyboard from the 1st to the 900th second of the dynamic calculation of the smoke distribution

так как метромост находится в стадии строительства.

Заключение

По результатам расчётов можно сделать вывод о том, что дым распространяется на небольшое расстояние, поэтому для дальнейшего исследования с целью сокращения машинного времени длины моделей рационально выбирать равным 30 м (при безветрии).

Проведенный нестационарный расчёт, описывающий распределение дыма и пожарных газов в движении, показал, что процесс задымления приобретает стабильную динамику, т.е. через 12—15 мин выходит на достаточно стабильное распределение дыма, которое можно характеризовать как квазистационарное.

Это позволило принять решение о возможности (достаточности) проведения стационарного расчёта при допущении непрекращающегося горения и, соответственно, выделения дыма с постоянной величиной массовой концентрации со всей поверхности горения до отключения напряжения.

Данная ситуация присуща всем типовым сечениям метромоста, для которых проводились исследования.

При этом вследствие низкой массовой концентрации дыма предельная видимость у машиниста поезда будет более 20 м.

В результате проведенных исследований разработаны рекомендации по размещению кабеля на рассматриваемом участке метромоста с учетом возможности образования дымовых газов:

1) линии кабеля должны располагаться не соприкасаясь друг с другом, что позволит избежать их группового возгорания;

2) при размещении кабеля рекомендуется рассмотреть возможность исключения сплошных конструкций (по которым возможно распространение пламени на соседние линии кабеля) у группы кабелей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23—01—99* (с Изменениями N 1, 2) / НИИСФ РААСН. М.: — 2012. — 113 с.
2. ГОСТ 31565—2012 Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности / ГОСТ от 22 ноября 2012 г. № 31565—2012. М.: — 2014. — 11 с.
3. Безопасное движение: какие кабели прокладывают в тоннелях метро // https://www.mos.ru/news/item/47860073/ 2018
4. *Суриков А. В.*, *Лешенюк Н. С.* Расчет видимости в помещениях в условиях пожара с применением программного комплекса FDS // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. — Т. 2. — № 2. — 2018. — С. 147—160.
5. *Красюк А. М.* Тоннельная вентиляция метрополитенов. Новосибирск: Наука, 2006. — 164 с.
6. ГОСТ 12.1.004 Пожарная безопасность. Общие требования / ГОСТ от 01.07.1997. — М. — 2006. — 68 с.
7. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: Методические рекомендации. — М.: ВНИИПО, — 2003. — 35 с.
8. ANSYS FLUENT Theory Guide. Release 18.0. ANSYS, Inc. 2017. 1034 p.
9. *Кобылкин С. С.*, *Кобылкин А. С.* Трехмерное моделирование при проведении инженерных расчетов по тактике горноспасательных работ // Горный журнал. — 2018. — №5. — С. 82—85. — DOI: 10.17580/gzh.2018.05.13
10. *Левин Л. Ю.*, *Кормщиков Д. С.*, *Гришин Е. Л.* Исследование процессов изменения рудничной атмосферы для определения причин произошедшего группового несчастного случая на одном из рудников РФ / Горное эхо. — 2020. — № 3 (80). — С. 115—119.

11. *Казаков Б. П.*, *Колесов Е. В.*, *Накаряков Е. В.*, *Исаевич А. Г.* Обзор моделей и методов расчета аэрогазодинамических процессов в вентиляционных сетях шахт и рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 6. — С. 5—33. DOI: 10.25018/0236—1493—2021—6-0—5.

12. Levin, L.Yu., Semin, M. A., Klyukin, Yu.A. Estimation of wall roughness functions acceptability in CFD simulation of mine ventilation networks // Proceedings of Summer School-Conference «Advanced Problems in Mechanics 2014». — 2014. — pp. 25—32.

13. *Gendler S. G.* Principles of the Gimrinsky road tunnel ventilation modernization // BHR Group — 14th International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Tunnels. — 2011. — pp. 43—53.

14. *Трушко В. Л.*, *Гендлер С. Г.*, *Яковенко А. А.* Управление качеством воздуха при строительстве подземных сооружений // Записки Горного института. 2012. — Т. 197. — С. 256—261.

15. Dynamic CFD simulations for rail tunnel ventilation URL: https://www.computationalfluiddynamics.com.au/dynamic-cfd-simulations-rail-tunnel-ventilation/ (дата обращения 19.06.2021)

16. *Yi Zhebg, Jerry C. Tien, Ying Li.* Comparison of diffuser assisted ventilation and Push-pull systems for DPM Control in a Dead-end Entry 16th North American Mine Ventilation symposium. Colorado USA. — 2017. — pp. 149—158.

17. *Wachowicz J., Laczny J. M., Iwaczenko S., Janoszek T., Cempa-Balewicz M.* Modelling of underground coal gasification process using CFD methods. Arch Min. Sci., 2015 — Vol. 60, № 3. — pp. — 663—676.

18. *Acuna E. I., Hurtado J. P.* A summary of the Comoutational fluid dynamic application to the new level mine project of El teniente // 10th Internrtional Mine Ventilation Congress, IMVC2014. The Mine Ventilation Society of South Africa. — 2014. — 91—97 p.

19. *Кобылкин С. С.*, *Тимченко А. Н.*, *Кобылкин А. С.* Применение компьютерного моделирования при выборе параметров работы пылеотсоса, встраиваемого в проходческие комбайны// Безопасность труда в промышленности. — 2021. — № 3. — С. 21—27. — DOI: 10.24000/0409—2961—2021—3-21—27 ГИАБ

REFERENCES

1. *GOST 31565—2012* Kabel'nye izdeliya. Trebovaniya pozharnoj bezopasnosti / GOST ot 22 noyabrya 2012 g. no. 31565—2012. Moscow: 2014. 11 p. [In Russ]

2. *SP 131.13330.2012* Stroitel'naya klimatologiya. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 23—01—99* (s Izmeneniyami N 1, 2) / NIISF RAASN. Moscow: 2012. 113 p. [In Russ]

3. *Bezopasnoe dvizhenie: kakie kabeli prokladyvayut v tonnelyah metro* [Safe traffic: which cables are laid in metro tunnels]. https://www.mos.ru/news/item/47860073/ 2018 [In Russ]

4. Surikov A. V., Leshenyuk N. S. Calculation of visibility in premises under fire conditions using the FDS software package. *Vestnik Universiteta grazhdanskoj zashchity MCHS Belarusi*, Vol. 2, no. 2, 2018. pp. 147—160.

5. Krasyuk A. M. *Tonnel'naya ventilyaciya metropolitenov* [Tunnel ventilation of subways]. Novosibirsk: Nauka, 2006. 164 p. [In Russ]

6. *GOST 12.1.004* Pozharnaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya / GOST ot 01.07.1997. Moscow, 2006. 68 p. [In Russ]

7. *Primenenie polevogo metoda matematicheskogo modelirovaniya pozharov v pomeshcheniyah: Metodicheskie rekomendacii* [Application of the field method of mathematical modeling of fires in premises: Methodological recommendations]. Moscow: VNIIPO, 2003. 35 p. [In Russ]

8. ANSYS FLUENT Theory Guide. Release 18.0. ANSYS, Inc. 2017. 1034 p. [In Russ]

9. Kobylkin, S. S., Kobylkin, A. S. 3D modeling in engineering design of mine rescue work tactics. *Gornyi Zhurnal* 2018 (5), pp. 82—85 DOI: 10.17580/gzh.2018.05.13 [In Russ]

10. Levin L.YU., Kormshchikov D. S., Grishin E. L. Investigation of the processes of changing the mine atmosphere to determine the causes of a group accident at one of the mines of the Russian Federation. *Gornoe ekho*. 2020. no. 3 (80). pp. 115—119. [In Russ]

11. Kazakov B. P., Kolesov E. V., Nakaryakov E. V., Isaevich A. G. Review of models and methods of calculation of aerogasodynamic processes in ventilation networks of mines and mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021. no. 6. pp. 5 — 33. DOI: 10.25018/0236 — 1493 — 2021 — 6-0 — 5. [In Russ]

12. Levin, L.Yu., Semin, M. A., Klyukin, Yu.A. Estimation of wall roughness functions acceptability in CFD simulation of mine ventilation networks. Proceedings of Summer School-Conference «Advanced Problems in Mechanics 2014». 2014. pp. 25 — 32.

13. Gendler S. G. Principles of the Gimrinsky road tunnel ventilation modernization. BHR Group 14th International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Tunnels. 2011. pp. 43 — 53.

14. Trushko V. L., Gendler S. G., YAkovenko A. A. Air quality management in the construction of underground structures. *Zapiski Gornogo instituta.* 2012. T. 197. pp. 256 — 261. [In Russ]

15. Dynamic CFD simulations for rail tunnel ventilation URL: https://www.computationalfluiddynamics.com.au/dynamic-cfd-simulations-rail-tunnel-ventilation/ (дата обращения 19.06.2021).

16. Yi Zhebg, Jerry C. Tien, Ying Li Comparison of diffuser assisted ventilation and Push-pull systems for DPM Control in a Dead-end Entry 16th North American Mine Ventilation symposium. Colorado USA. 2017. pp. 149 — 158.

17. Wachowicz, J., Laczny, J. M., Iwaczenko, S., Janoszek T., Cempa-Balewicz M. Modelling of underground coal gasification process using CFD methods. Arch Min. Sci., 2015 Vol. 60, no. 3. pp. 663 — 676.

18. Acuna, E. I., Hurtado, J. P. A summary of the Comoutational fluid dynamic application to the new level mine project of El teniente. 10th Internrtional Mine Ventilation Congress, IMVC2014. The Mine Ventilation Society of South Africa. 2014. 91 — 97 p.

19. Kobylkin S. S., Timchenko A. N., Kobylkin A. S. Use of Computer Simulation in the Selection of Operating Parameters for the Dust Extractor Built into the Roadheader. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti*, 2021, no. 3, pp. 21 — 27. DOI: 10.24000/0409 — 2961 — 2021 — 3-21 — 27 [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Каледина Нина Олеговна[1] — докт. техн. наук, профессор кафедры БЭГ;
Кобылкин Сергей Сергеевич[1,3] — докт. техн. наук, профессор кафедры БЭГП, kobylkin.s@misis.ru;
Кобылкин Александр Сергеевич[1] — канд. техн. наук, доцент кафедры БЭГП;
Кондрев Роман Сергеевич[2] — главный инженер проекта;
Белецкий Дминтрий Николаевич[2] — заместитель главного инженера проекта;
[1] Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Россия;
[2] АО «Метрогипротранс»;
[3] ИПКОН РАН, Москва, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kaledina N. O.[1], *Dr.* Sci. (Eng.), professor;
Kobylkin S. S.[1], Dr. Sci. (Eng.), professor, kobylkin.s@misis.ru;
Kobylkin A. S.[1,3], Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor;
Kondrev R. S.[2], chief Engineer of the Project;
Beleckij D. N.[2], deputy chief Engineer of the Project;
[1] Mining Institute NUST “MISiS”, Moscow, Russia;
[2] AO Metrogiprotrans;
[3] IPCON RAS, Moscow, Russia.

Получена редакцией 30.06.2021; получена после рецензии 03.08.2021; принята к печати 10.09.2021.
Received by the editors 30.06.2021; received after the review 03.08.2021; accepted for printing 10.09.2021.