

УДК 614.841.48

ОЦЕНКА ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ В ОБЩЕСТВЕННОМ АВТОБУСНОМ ТРАНСПОРТЕ II-III КЛАССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЖАРА

Иваницкий А.Г., к.т.н., доцент, Ботян С.С.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

e-mail: a.ivanitski@gmail.com, aseckis@mail.ru

В работе приведены статистические данные по количеству происшедших пожаров в автобусах, проведен анализ их причин и результатов. Рассмотрено влияние конструктивных особенностей внутренней планировки салона автобуса на процесс эвакуации. Экспериментально определено фактическое время эвакуации пассажиров из салона автобуса, при этом предварительно разработана методика проведения экспериментальных исследований, с учетом специального алгоритма поэтапной эвакуации. Данные результаты исследований сопоставлены с временем достижения предельно допустимых значений опасных факторов пожара, определенным по результатам моделирования динамики развития пожара в автобусе. Определены основные диктующие факторы пожара, представляющие опасность для организма человека.

Research work shows all statistical data related with amount of fires which happened in buses and analysis of its reasons and results. Influence of bus cabin's constructional features on evacuation process was considered. The actual evacuation time from bus cabin was experimentally determined, using the methodology of experimental studies (were previously developed), based on special algorithm of stage-by-stage evacuation. These research results were compared with time of achievement maximum permissible values of dangerous factors of the fire, based on results of fire dynamics modeling in the bus. Were defined the major hazardous fire factors.

(Поступила в редакцию 1 декабря 2014)

Ведение. Автобусный транспорт обеспечивает работу транспортной системы и является неотъемлемой частью как общественного транспорта, так и транспорта для оказания туристических услуг. В Республике Беларусь пассажирооборот составляет порядка 10 миллионов пассажиро-километров в год, при этом автобусным транспортом перевозится порядка 1,5 миллиона человек. Эти данные говорят о том, что автобусный транспорт является преобладающей частью общественного транспорта и активно используются гражданами для перемещений. По сравнению с другими видами транспорта, автобусный требует наименьших капиталовложений и позволяет очень легко организовать экспрессные маршруты. Национальные образовательные системы во всем мире также интенсивно используют автобусный транспорт для образовательных поездок, школьного автобусного сообщения, выездов на спортивные соревнования и т. д.

В результате анализа статистических данных по пожарам, происшедшим в автобусах, установлено, что при пожарах часто имеет место гибель и получение ожогов различных степеней пассажирами (рис. 1).

При этом основной причиной гибели и травмирования пассажиров является проблема эвакуации их из автобусов с высокой пассажироместимостью при возникновении в нем пожара. Пожары, возникающие в автобусах, характеризуются своей быстротечностью, вследствие того, что при эксплуатации и изготовлении автобусов применяется большое количество легковоспламеняющихся и горючих материалов, таких как: моторное топливо (бензин, дизельное топливо, сжиженный газ); смазочные материалы (консистентные смазки и масла), резинотехнические изделия (уплотнения, шины, коврики

и др.); облицовочные, обивочные и изоляционные материалы (органическое стекло, полистирол, пенополиуретан, полиэтилен, винилискожа, бумажно-слоистый пластик и др.). Большинство из применяемых материалов обладают высокой пожарной опасностью.

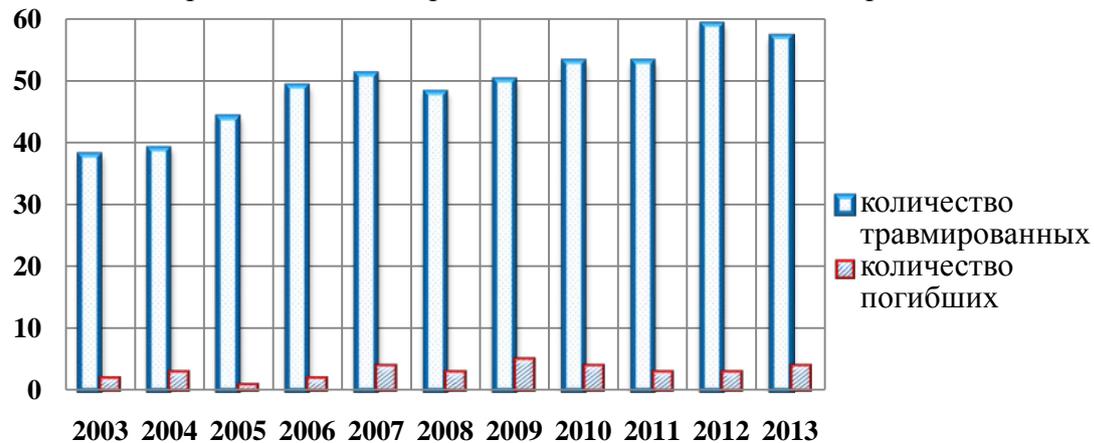


Рисунок 1 – Статистика последствий пожаров в автобусах в Республике Беларусь

Так как в автобусе повышенную пожарную опасность представляет высокая концентрация легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, рассмотрим наиболее распространенные причины воспламенения топлива и паровоздушной смеси развивающей в автобусе:

- перегрев его поступающим извне теплом: перегрев может возникнуть при попадании топлива на нагретые детали двигателя и его систем, отопителей. Горячие выхлопные газы при нарушении герметичности выхлопной системы в непосредственной близости от горючих материалов, детали отопителей при перегреве являются распространенными источниками зажигания. Наиболее напряженный температурный режим в моторном отсеке создается в зоне выпускного тракта от коллектора до выхлопной трубы глушителя. Температура отработавших газов в выхлопном тракте составляет 800-830 °С, температура на поверхности выхлопного тракта ниже и может достигать 710-770 °С;
- тепловое воздействие электрической дуги короткого замыкания, токов перегрузки и повреждения электрической системы автобуса: современный автобус содержит большое количество кабелей и проводов, а также контактных соединений. Поэтому вероятность возникновения пожара в результате короткого замыкания, теплового воздействия электрической дуги короткого замыкания, токов перегрузки и повреждения электрической системы автобуса высока;
- открытое пламя при нарушении правил пользования предпусковым подогревателем, сварочных работах вблизи топливного бака или топливопроводов;
- искры статического электричества (при переливании топлива, заправке, в частности, для топливозаправщиков);
- в результате дорожно-транспортного происшествия возможна разгерметизация топливной системы и воспламенение от искр механического происхождения, возникающих при ударе;
- источник открытого огня, в том числе и от малокалорийного (пламя спички, непотушенной сигареты).

Исходя из конструктивных особенностей автобуса, возможно спрогнозировать места появления источников зажигания, то есть определить вероятную причину воспламенения таких веществ, как моторное топливо, конструкционные и отделочные материалы. Помимо повышенной насыщенности автобусных транспортных средств легковоспламеняющимися и горючими материалами, другим фактором, способствующим быстрому развитию пожара, может являться отсутствие противопожарных преград между моторным отсеком и

салонем, или между салоном и багажным отделением. Кроме того, при анализе обстоятельств пожара следует учитывать и то, что интенсификация процесса горения, вплоть до быстрого полного охвата автобуса горением, может происходить и за счет практически моментального распространения горения по зеркалу топлива, вытекающего в результате нарушения герметичности топливной системы.

Все автобусы, в Республике Беларусь классифицируются следующим образом [1]:

I класс – городские автобусы;

II класс – междугородные автобусы;

III класс – автобусы дальнего следования.

Автобусы II и III класса спроектированы и предназначены главным образом для перевозки сидящих пассажиров, однако их конструкция допускает перевозку стоящих пассажиров в проходе и/или в местах, которые не превышают пространство, предусмотренное для двух двойных мест для сидения. Согласно требованиям, предъявляемым к планировке автобуса, в зависимости от его класса и пассажироместимости, нормируется количество, размеры и конструкция дверей, люков, пассажирских сидений, доступ к проходам и дверям [1]. Доступ к ним проектируется из условий обеспечения прохождения контрольных шаблонов, формы и размеры которых зависят от участка движения и класса автобуса.

Для проведения оценки возможности безопасной эвакуации людей из автобусов, экспериментально определено фактическое время эвакуации пассажиров из салона автобуса и проведено сопоставление полученных значений с необходимым временем эвакуации (временем достижения предельно допустимых значений опасных факторов пожара), определенным по результатам моделирования динамики пожара.

В качестве объекта исследований принимался автобус наиболее распространенный на территории Республики Беларусь для междугородней и международной перевозки пассажиров. Для определения экспериментального времени эвакуации людей из автобуса для различных расчетных схем и условий движения людей:

- разработана методика проведения экспериментальных исследований величины времени эвакуации людей из автобусов;
- определены сценарии эвакуации пассажиров из автобуса;
- определены фактические значения времени эвакуации пассажиров из автобуса при проведении эвакуации по различным сценариям, проведена обработка результатов экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования проведены на основании данных о конструкции автобуса, а также на основании алгоритма поэтапной эвакуации, который включает в себя:

- разработку расчетных схем эвакуации с учетом возможного слияния потоков;
- обоснование и определение количества эвакуирующихся людей;
- определение протяженности путей эвакуации в зависимости от сценария проведения исследования.

При разработке сценариев проведения эвакуации, учитывались следующие наихудшие варианты развития событий:

- эвакуация проводится через один эвакуационный выход (предполагается, что второй подвергся механическому повреждению в результате пожара или дорожно-транспортного происшествия);
- эвакуация проводится при разложенных в боковом направлении сиденьях (учитывается, что сиденья в автобусе разложены для максимального удобства пассажиров);
- эвакуация проводится при разложенных в боковом направлении сиденьях, при этом также разложено сиденье для второго водителя, пассажиры при эвакуации берут свою ручную кладь из салона (учитывается что сиденья, включая сиденья для дополнительного водителя в автобусе, разложены для максимального удобства пассажиров).

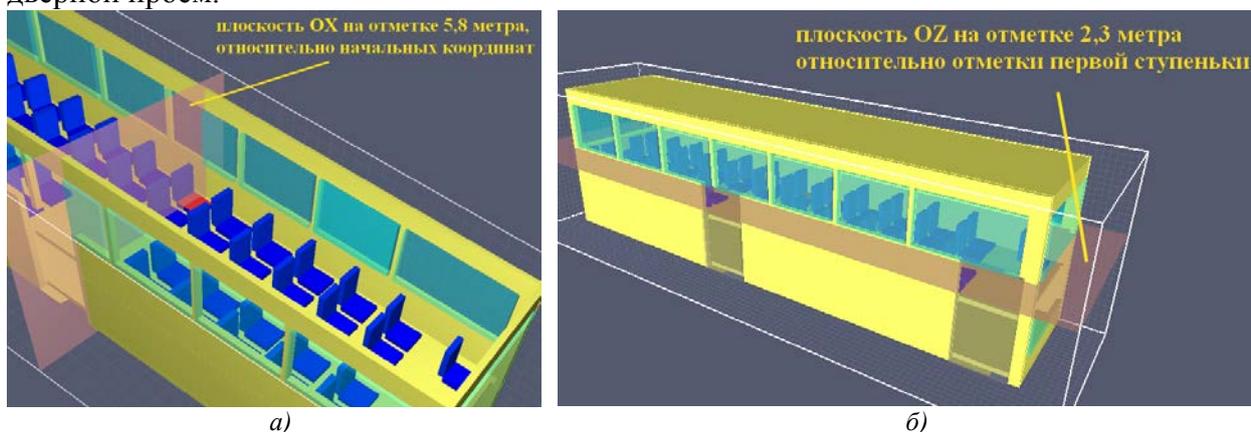
В ходе эксперимента регистрировали время выхода пассажиров из автобуса непосредственно наружу. Полученные результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 1 с учетом значений доверительного интервала, полученного в результате статистической обработки результатов эксперимента согласно [2].

Таблица 1 - Результаты экспериментальных исследований

Сценарий проведения экспериментальных исследований	Время с учетом доверительного интервала, с
Пассажиры эвакуируются из автобуса через два эвакуационных выхода	31,2±0,8
Пассажиры эвакуируются из автобуса через один эвакуационный выход, расположенный около водителя	78,4±4,9
Пассажиры эвакуируются из автобуса через два эвакуационных выхода, при максимально возможном разложении сидений в боковом направлении	63,2±4,2
Пассажиры эвакуируются из автобуса через один эвакуационный выход, при максимально возможном разложении сидений в боковом направлении	110,4±2,1
Пассажиры с ручной кладью эвакуируются из автобуса через один эвакуационный выход, при максимально возможном разложении сидений в боковом направлении, при этом разложено сиденье для посадки второго водителя	157,4±6,8

Для проверки выполнения условия безопасной эвакуации пассажиров из автобуса проведено моделирование возникновения в нем пожара, а также распространение его опасных факторов с помощью программного обеспечения вычислительной программы FDS (Fire Dynamics Simulator) версии 5, которая реализует вычислительную гидродинамическую модель (computational fluid dynamics) тепломассопереноса при горении.

В процессе развития пожара параметры состояния газовой среды (температура среды, парциальные плотности (концентрации) токсичных газов и кислорода, оптическая плотность дыма), заполняющие объем салона автобуса при пожаре непрерывно изменяются во времени. В модели были заданы две плоскости для измерения параметров состояния газовой среды (рис. 2 а, б). Рассматриваемые плоскости выбраны исходя из наиболее вероятных зон размещения органов дыхания. При данном расположении плоскостей реализуется наихудший сценарий развития пожара, при котором первоначально опасным факторам пожара будут подвергаться проход непосредственно у эвакуационного выхода и дверной проем.



а – плоскость OX на уровне расположения двери и места возникновения пожара;
 б – плоскость OZ на высоте 2,3 метра от отметки расположения первой ступеньки

Рисунок 2 – Модель с указанием плоскостей, выбранных для измерения параметров состояния среды

Время достижения предельно допустимых значений опасных факторов пожара при моделировании пожара в автобусе в контрольных плоскостях представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Время достижения пороговых значений опасными факторами пожара

Вид ОФП	Предельно допустимое значение	Время достижения, с (плоскость OZ)	Время достижения, с (плоскость OX)
Температура в салоне автобуса	70 °С	564	271
Концентрация оксида углерода в воздухе салона автобуса	$1,16 \cdot 10^{-3}$ кг·м ⁻³	303	131,6
Концентрация диоксида углерода в воздухе салона автобуса	0,11 кг·м ⁻³	441,6	211,4
Концентрация хлористого водорода	$23 \cdot 10^{-6}$ кг·м ⁻³	459,6	257,2

Результаты моделирования возникновения и распространения опасных факторов пожара показали, что главным фактором, ограничивающим безопасную эвакуацию пассажиров из салона автобуса, без учета теплообмена излучением, является рост концентрации оксида углерода измеренной в плоскости, расположенной относительно прохода к эвакуационному выходу. При этом необходимое время эвакуации пассажиров должно составлять не более [3]:

$$t_{\text{нб}} = 0,8 \cdot t_{\text{кр}} = 0,8 \cdot 131,6 = 105,3 \text{ с}, \quad (1)$$

где $t_{\text{кр}}$ – критическое значение продолжительности пожара, с; $t_{\text{нб}}$ – необходимое время эвакуации из помещения.

При проведении сопоставления фактического времени эвакуации пассажиров из салона автобуса (таблица 1), со временем достижения опасными факторами пожара предельно допустимых значений (таблица 2) установлено, что условия безопасной эвакуации для сценариев эвакуации № 4 и 5 не выполняются.

Закключение. В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

анализ динамики развития дымовых зон в зависимости от открытых либо закрытых крышных люков и дверей в автобусе показал, что открытые крышные люки в 1,98 раз уменьшают оптическую плотность дыма, создаваемую в салоне автобуса при пожаре. Последнее свидетельствует об эффективности использования крышных люков автобуса для удаления дыма из салона автобуса при пожаре;

диктующим ОФП при свободном развитии пожара в случае горения твердых горючих материалов в салоне автобуса является оксид углерода;

в результате девятиминутного развития пожара в автобусе огнем охвачен весь салон автобуса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения пассажирских транспортных средств большой вместимости в отношении общей конструкции. Правила ЕЭК ООН N 36(03)/Пересмотр 2 – Введ. 30.09.2008 – Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2008. – 112 с.
2. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения: ГОСТ 8.207–76. – Введ. 01.01.77. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 9 с.
3. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. – Введ. 01.07.92. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР: Изд-во стандартов, 1992. – 78 с.