

УДК 629.45

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ
С ОЦЕНКОЙ ЕЕ ТОКСИКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАТУРНЫХ ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ**

**A STUDY OF THE GAS-AIR ENVIRONMENT
WITH AN ASSESSMENT OF ITS TOXICOLOGICAL HAZARD
WHEN CONDUCTING FULL-SCALE FIRE TESTS**

О.С. САЧКОВА, В.Ю. НАВЦЕНЯ, В.М. ФЕДИН, Н.Ю. СТАСЕВИЧ, В.Б. ПРОСТОМОЛотоВА
O.S. SACHKOVA, V.YU. NAVTSENYA, V.M. FEDIN, N.YU. STASEVISH, V.B. PROSTOMOLOTOVA

(Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожной гигиены Роспотребнадзора,
Российский университет транспорта (МИИТ))
(All-Russian Scientific Research Institute of Railway Hygiene of Rospotrebnadzor,
Russian University of Transport (MIIT))
E-mail: vnijg@yandex.ru

Изучена проблема обеспечения санитарно-гигиенической, токсикологической и противопожарной безопасности помещений пассажирских вагонов локомотивной тяги, проведены исследования современных полимерсодержащих и текстильных технических материалов, предназначенных для использования в подвижном составе железнодорожного транспорта.

The problem of ensuring sanitary and hygienic, toxicological and fire safety of the rooms of passenger cars of locomotive traction has been studied, studies of modern polymer-containing and textile technical materials for use in railway rolling stock have been carried out.

Ключевые слова: пассажирские вагоны железнодорожного транспорта, гигиеническая и противопожарная безопасность, полимерсодержащие конструкционные и отделочные материалы, технические текстильные материалы для транспорта.

Keywords: passenger railroad cars, hygienic and fire safety, polymer-containing structural and finishing materials, technical textile materials for transport.

В ОАО "ТВЗ" был разработан полноразмерный фрагмент вагона пассажирского двухэтажного штабного с местами для сидения модели 61-4503, конструкция которого должна соответствовать нормам пожарной безопасности (ГОСТ Р 55183–2012. "Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Требования пожарной безопасности") и санитарно-гигиенической безопасности (СП 2.5.1198–03. "Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте").

Так как данная модель является базовой для серийного производства и дальнейших перспективных разработок ОАО "ТВЗ", то в соответствии с п.9 ГОСТ Р 55183–2012 и СП 2.5.1198-03 его пожарная безопасность определялась по результатам натурных огневых испытаний с оценкой газовой среды и токсикологических испытаний [1...4].

Ущерб от пожаров определяется не только большими материальными потерями, но и тяжелыми социальными последствиями, и прежде всего – гибелью и травматизмом людей. Гибель людей при пожарах происходит главным образом в результате отравления летучими продуктами горения материалов. Интенсивное образование и быстрое распределение токсичных газов по помещениям и путям эвакуации пассажирских вагонов происходит уже в начальной стадии пожара. Эти газы представляют большую опасность даже при кратковременном вдыхании. Смеси летучих веществ, выделяющихся при их горении, сложны по составу и неоднородны по агрегатному состоянию компонентов. В составе смесей обнаруживаются химические соединения с различной биологической активностью, в том числе и чрезвычайно токсичные.

С учетом изложенного в современных разработках концепций обеспечения безопасности пассажиров и обслуживающего персонала на железнодорожном транспорте при возникновении пожара важное значение придается оценке токсичности продуктов горения конструкционных и отделочных материалов.

Испытания проводили в соответствии с утвержденной программой и методикой "Проведение натурных огневых испытаний полноразмерного фрагмента вагона пассажирского двухэтажного штабного с местами для сидения модели 61-4503 с целью определения безопасного времени эвакуации пассажиров до наступления опасных факторов пожара".

Основной целью натурных испытаний являлось определение времени возможного безопасного нахождения людей внутри вагона при наступлении опасных факторов пожара. Это время должно определяться совокупным воздействием температуры и токсичных компонентов газообразных продуктов горения и разложения материалов [5], [6].

Целью данных огневых испытаний являлась оценка газовой среды (термоокислительная деструкция от конструкционных и отделочных материалов) в полноразмерном фрагменте вагона пассажирского двухэтажного штабного с местами для сидения модели 61-4503 и на путях эвакуации (коридоры):

- продукты термоокислительной деструкции (концентрации токсичных веществ);
- определение интегрального показателя токсичности продуктов термоокислительной деструкции;
- выживаемость подопытных животных, наблюдаемые изменения их поведения и общего состояния – как во время экспозиции, так и в последующие 10 суток (оценка физической работоспособности);
- расчет времени безопасного пребывания обслуживающего персонала при наступлении в вагоне пожара.

Огневые испытания с оценкой газовой среды и токсикологической безопасности подвергался полноразмерный фрагмент вагона пассажирского двухэтажного штабного с местами для сидения модели 61-4503. Макет был предоставлен ОАО "ТВЗ".

Макет состоял из части салона, полностью изготовленного из сертифицированных материалов, диванов, полок, боковых

стен, потолка, пола, а также установленной лестницей с первого на второй этаж.

Анализ составов всех отделочных материалов, используемых в конструкциях вагонов, возможность загрязнений и выявление на основе такого изучения потенциальных источников опасных химических веществ показали, что имеет место при возгорании вагонов опасность ингаляционного воздействия на пассажиров, а также попадание веществ через кожные покровы и проникновение через них.

Суммационным эффектом обладают продукты термоокислительной деструкции полимерных материалов: оксид углерода, цианистый водород, хлористый водород, диизоцианаты, винилхлорид, хлорированные углеводороды.

Установлено, что при действии токсических веществ на уровнях, близких к ПДК и порогам хронического действия, чаще отмечается простая суммация, и лишь в присутствии оксида углерода выявляется некоторое потенцирование.

Во всех случаях, когда в воздухе имеется комплекс токсических веществ на уровнях, близких к ПДК, оценивать их потенциальную опасность необходимо с учетом их суммационного эффекта, независимо от характера токсического действия веществ. Сочетанное действие на организм

химических веществ в комплексе с высокой температурой усиливает эффект их действия. Так, повышение температуры выше 25°C ведет к усилению их действия в 2...3 раза. Это касается анилина, гомологов бензола и анилина, окислов азота.

Таким образом, все вышесказанное характеризует, сколь значим анализ всего комплекса химических веществ, поступающих в воздушную среду вагона при горении и тлении отделочных материалов.

Известно, что при высокотемпературном воздействии на полимерные материалы, полученные на основе поливинилхлорида (ПВХ), выделяется комплекс летучих токсичных веществ.

При возникновении пожара в пассажирском вагоне ведущими факторами являются температура и концентрации продуктов горения (химический фактор), так как они влияют на формирование токсического эффекта.

Опасность полимерных материалов, применяемых в пассажирских вагонах, в условиях пожара определяется главным образом образованием большого количества дыма, токсичных продуктов, дефицитом кислорода, большим тепловыделением и высокой скоростью процесса. Макет вагона представлен на рис. 1.



Рис. 1

Анализ результатов определения индекса токсичности проб воздушной среды

был осуществлен на основании проведенных четырех опытов (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Показатели токсичности	Норма, %	Фактическое значение, %					
		Точка №1	Степень токсичности	Точка №2	Степень токсичности	Точка №3	Степень токсичности
Индекс токсичности	меньше 20 – допустимая степень токсичности; от 20 до 50 – образец токсичен; равно или больше 50 – образец сильно токсичен	Опыт №1					
		10,45	допустимая	9,1	допустимая	2,8	допустимая
		Опыт №2					
		19,8	допустимая	14,7	допустимая	10,3	допустимая
		Опыт №3					
		68,9	Высоко-токсичная проба	65,5	Высоко-токсичная проба	40,9	Высоко-токсичная проба
		Опыт №4					
		19,8	допустимая	19,6	допустимая	17,8	допустимая

По результатам определения индекса токсичности проб воздушной среды в соответствии с МР 01.020–07. "Определение токсичности воздушной среды с помощью биотеста "Эколюм"" можно сделать следующие выводы.

- В опытах 1, 2, 4 показатель индекса токсичности не превышал допустимого значения 20%; в опыте 3 показатель токсичности находился в пределах 40,9...68,9 – высокотоксичные пробы.

Индекс токсичности по данной методике оценивался по степени проявления вредного действия разнообразных химических соединений и их смесей. Методика основана на определении изменения интенсивности биолюминесценции бактерий при воздействии как отдельных компонентов токсических веществ, так и их смесей, часто неизвестной природы и не выявляемых другими методами анализа. Люминесцентные бактерии оптимальным образом сочетают в себе различные типы чувствительных структур, ответственных за генерацию биоповреждения, с экспрессностью, объективным и количественным характером отклика целостной системы на интегральное воздействие токсикантов.

При проведении испытаний проб воздушной среды люминесцентный бактериальный тест показывает хорошую корреляцию с их действием на животных, культуры клеток человека и другие известные биотесты.

Методика предусматривает три пороговых уровня индекса токсичности:

- допустимая степень токсичности образца (индекс токсичности меньше 20%);
- образец токсичен (индекс токсичности равен 20 и меньше 50%);
- образец высокотоксичен (индекс токсичности равен или больше 50%).

Опасное для здоровья и жизни людей токсическое действие продуктов горения вблизи очага пожара усугубляется влиянием повышенной температуры газовой среды и пониженным содержанием в ней кислорода, что при определенных уровнях становится поражающим фактором для человека и делает невозможным организацию процесса эвакуации.

Токсикологические исследования с регистрацией общего состояния подопытных животных проведены на группе самцов (12 групп по 8 особей) белых мышей с массой тела 18...25 г. Выборки подопытных животных формировали из внешне здоровых особей одного пола. В день проведения испытаний животные были взвешены натошак. Испытания проведены совместно со специалистами ИПЭЭ РАН.

В каждом опыте участвовали 3 группы мышей (по 8 особей), размещенных в клетках напротив оцениваемых помещений (2 клетки) и на путях эвакуации (1 клетка).

В процессе испытаний наблюдали за поведением животных, обращая внимание на

изменение их естественного положения, устойчивость при передвижении, двигательную активность, наличие или отсутствие судорожных сокращений мышц, одышки, признаков раздражающего действия и поведенческой адаптации. По окончании экспозиции специалист-токсиколог провел дополнительный осмотр животных, отмечая наличие выделений из глаз, носа, ротовой полости, шума при дыхании, с последующим установлением летального исхода у мышей в каждой группе подопытных животных.

Особей, перенесших кратковременное воздействие продуктов термодеструкции, равно как и комбинаций последних с продуктами термического разложения, оставили для наблюдения в течение 10 суток.

Животных содержали при температуре воздуха 20 °С и относительной влажности 50% на сухом стандартном корме для грызунов в свободном доступе к воде с последующей регистрацией фактов постэкспозиционной гибели, времени ее наступления и общей по группе выживаемости животных (в процентах).

По результатам проведенного первого опыта гибели животных не установлено как во время проведения натуральных экспериментов, так и после 10 дней содержания их в виварии.

Результаты испытаний приведены в табл. 2...5: табл. 2 – опыт №1 (300 г газетной навески), табл. 3 – опыт №2 (100 г газетной навески), табл. 4 – опыт №3 (300 г газетной навески), табл. 5 – опыт №4 (300 г газетной навески).

Т а б л и ц а 2

№ группы	Количество лабораторных животных в опыте	Летальность животных, количество (%) / время экспозиции
1 В зоне отдыха, на высоте 1,5 м (2-й этаж)	8	0 / 5 мин
2 В коридоре, напротив зоны отдыха, на высоте 1,5 м (2-й этаж)	8	0 / 10 мин
3 На путях эвакуации (2-й этаж)	8	0 / 15 мин

П р и м е ч а н и е. В течение 10 дней содержания в виварии гибели животных, участвовавших в опыте №1 (группы № 1, 2, 3), не установлено.

Т а б л и ц а 3

№ группы	Количество лабораторных животных в опыте	Летальность животных, количество (%) / время экспозиции
1 В купе инвалида, на высоте 1,5 м (1-й этаж)	8	0 / 5 мин
2 В коридоре, напротив купе инвалида, на высоте 1,5 м (1-й этаж)	8	0 / 10 мин
3 На путях эвакуации (1-й этаж)	8	0 / 15 мин

П р и м е ч а н и е. В течение 10 дней содержания в виварии гибели животных, участвовавших в опыте №2 (группы № 1, 2, 3), не установлено.

Т а б л и ц а 4

№ группы	Количество лабораторных животных в опыте	Летальность животных, количество (%) / время экспозиции
1 В купе инвалида на диване с СМИ, на высоте 1,5 м (1-й этаж)	8	0 / 4 мин
2 Напротив купе инвалида, на высоте 1,5 м (2-й этаж)	8	8 / 6 мин
3 На путях эвакуации	8	8 / 6 мин

П р и м е ч а н и е. В течение 10 дней содержания в виварии гибели животных, участвовавших в опыте №3, не установлено.

Т а б л и ц а 5

№ группы	Количество лабораторных животных в опыте	Летальность животных, количество (%) / время экспозиции
1 В купе инвалида на верхней полке с СМИ, на высоте 1,5 м (1-й этаж)	8	0 / 5 мин
2 Напротив купе инвалида, на высоте 1,5 м (2-й этаж)	8	0 / 10 мин
3 На путях эвакуации	8	0 / 15 мин

П р и м е ч а н и е. В течение 10 дней содержания в виварии гибели животных, участвовавших в опыте №4, не установлено.

Обобщенные данные испытаний представлены в табл. 6.

Критерии оценки опасности продуктов термического разложения полимерсодержа-

щих конструкционных и отделочных материалов при проведении натурных огневых испытаний макета вагона сведены в табл. 7.

Т а б л и ц а 6

Степень опасности	Базовая характеристика	Обобщенные данные испытаний	Токсикологический регламент
1	В начале эксперимента формируется газоаэрозольная среда, которая может оказывать непереносимое токсическое воздействие уже в первые минуты пребывания в ней человека	Величина I_{ad} равна или больше 2,00. То же, если величина I_{ad} меньше 2,00, но при 5-минутной экспозиции животных регистрируются эффекты летального или сублетального действия	Воздействие такой среды на человека, не имеющего средств защиты, должно быть исключено
2	При проведении эксперимента формируется газоаэрозольная среда, которая может вызывать критические для выживания и нарушения состояния организма при продолжительности пребывания в ней человека 5 мин и более	Величина I_{ad} меньше 2,00, эффекты летального или сублетального действия проявляются при экспозиции, равной 15 мин, но не проявляются при экспозиции продолжительностью 5 мин	Допустимое в экстремальной ситуации время воздействия такой среды на человека не должно превышать 2 мин
3	При проведении эксперимента формируется газоаэрозольная среда, которая позволяет обеспечивать в течение определенного времени сохранение жизни и возможностей человека покинуть опасную зону	Величина I_{ad} меньше или равна 1,50. Эффекты летального или сублетального действия не регистрируются при экспозиции продолжительностью 15 мин и более	Допустимое в экстремальной ситуации время воздействия такой среды на человека не должно превышать 5 мин (если I_{ad} находится в пределах 1,00...1,50) 10 мин (если I_{ad} меньше 1,00)

Т а б л и ц а 7

Вещество	Концентрации химических веществ, допустимые в аварийных условиях, мг/м ³ (величины при 15-минутной экспозиции)	Концентрации химических веществ; * в расчетах учитывались максимальные концентрации			
		опыт №1	опыт №2	опыт №3	опыт №4
Оксид углерода	600	16,7	59,1	79	17,4
Оксиды азота (в пересчете на NO ₂)	10	9,06	19,9	21,5	14,2
Циановодород	20	5,1	4,2	12,5	2,6
Аммиак	10	8,03	14,0	14,1	18,0
Сернистый газ	10	5,9	3,6	11,3	3,09
Хлористый водород	25	7,13	9,15	13,6	8,43

Акролеин	0,5	0,6	0,19	0,59	0,12
Формальдегид	1	2,14	1,28	1,14	0,9
Стирол	40	9,05	10,9	17,7	12,7
Суммарный индекс опасности:	$I_{зд} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{эф,i}}{C_{тох,i}}$	0,0889	0,17	0,239	0,108
Летальность/сублетальность:					
5 мин		100%-ная выживаемость	100%-ная выживаемость	гибель одной группы животных	100%-ная выживаемость
10 мин		100%-ная выживаемость	100%-ная выживаемость	гибель одной группы животных	100%-ная выживаемость
15 мин		100%-ная выживаемость	100%-ная выживаемость	-	100%-ная выживаемость
Расчетное время эвакуации					
Расчетное время безопасного пребывания (эвакуации) пассажиров при наступлении опасных факторов пожара, мин		опыт №1	опыт №2	опыт №3	опыт №4
		10...12	10...12	не более 4 минут	10...12

ВЫВОДЫ

1. По результатам расчетных данных суммарного индекса опасности можно заключить следующее. В первом, втором и четвертом эксперименте при испытании 100 и 300 г навески расчетное время безопасного пребывания (эвакуации) пассажиров при наступлении опасных факторов пожара не должно превышать 10...12 мин с учетом повышенной населенности вагона.

2. В третьем эксперименте при испытании 300 г навески расчетное время безопасного пребывания (эвакуации) пассажиров при наступлении опасных факторов пожара не должно превышать 4 мин с учетом повышенной населенности вагона.

3. Проведенные натурные огневые испытания фрагмента вагона пассажирского двухэтажного штабного с местами для сидения модели 61-4503 с целью определения безопасного времени эвакуации пассажиров до наступления опасных факторов пожара позволили установить следующее:

- используемые в конструкции макета купе полимерсодержащие конструкционные и отделочные материалы полностью удовлетворяют требованиям санитарно-гигиенической, токсикологической и противопожарной безопасности за исключением материала из арамидных волокон;

- в третьем опыте при использовании в конструкции дивана огнезащитного материала из арамидных волокон произошло частичное сгорание подушки с наволочкой; практически полное сгорание простыни; частичное сгорание пледа с пододеяльником; обугливание и растрескивание пластика на перегородке в зоне очага загорания; полное прогорание спинки и подушки дивана. По результатам качественной и количественной идентификации отобранных проб воздушной среды из помещений купе установлено превышение аварийных предельно допустимых концентраций следующих химических веществ: цианистый водород, оксиды азота, сернистый газ, хлористый водород, акролеин, формальдегид. Обнаруженные концентрации химических веществ превышали допустимые концентрации, установленные для аварийных условий. Также установлена 100%-ная гибель 2 групп животных на 6-й минуте эксперимента;

- на основании третьего и четвертого опытов рекомендуется для дивана инвалида и спальное место купе инвалида применять материалы, по результатам испытаний которых получены положительные санитарно-химические и токсикологические характеристики, а также установлена 100%-ная выживаемость животных (материалы, примененные в четвертом опыте);

- съемное мягкое имущество (СМИ) компании ООО "Риквэст-Сервис" по результатам натуральных огневых испытаний санитарно-химических и токсикологических показателей соответствует требованиям СП 2.5.1198–03. "Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте";

- расчетное время безопасного пребывания (эвакуации) пассажиров из вагона пассажирского двухэтажного штабного с местами для сидения модели 61-4503 при наступлении опасных факторов пожара с учетом суммарного индекса опасности составит не более 10 минут.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 55183–2012. "Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Требования пожарной безопасности".
2. СП 2.5.1198–03. "Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте".
3. ТМ 25-001–91. Типовая методика натуральных огневых испытаний подвижного состава.
4. МР 4252–87 От 23.01.1987г. Методические рекомендации по оценке потенциальной биологической опасности материалов, используемых в пассажирском вагонеостроении.
5. Юдаева О.С., Гречушникова Д.В. Обеспечение санитарно-гигиенической и экологической безопасности пассажирских вагонов локомотивной

тяги в условиях эксплуатации // Безопасность жизнедеятельности. – 2017, № 3 (195). С. 22...27.

6. Вильк М.Ф., Юдаева О.С. Санитарно-гигиенические мероприятия по обеспечению безопасных условий труда проводников пассажирских вагонов // Мат. XII Всероссийск. съезда гигиенистов и санитарных врачей: Российская гигиена – развивая традиции, устремляемся в будущее. – 2017. С. 474...476.

REFERENCES

1. GOST R 55183–2012. "Vagony passazhirskie lokomotivnoy tyagi. Trebovaniya pozharnoy bezopasnosti".
2. SP 2.5.1198–03. "Sanitarnye pravila po organizatsii passazhirskikh perevozok na zheleznodorozhnom transporte".
3. TM 25-001–91. Tipovaya metodika naturnykh ognevnykh ispytaniy podvizhnogo sostava.
4. MR 4252–87 Ot 23.01.1987g. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke potentsial'noy biologicheskoy opasnosti materialov, ispol'zuemykh v passazhirskom vagonostroenii.
5. Yudaeva O.S., Grechushnikova D.V. Obespechenie sanitarno-gigienicheskoy i ekologicheskoy bezopasnosti passazhirskikh vagonov lokomotivnoy tyagi v usloviyakh ekspluatatsii // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. – 2017, № 3 (195). S. 22...27.
6. Vil'k M.F., Yudaeva O.S. Sanitarno-gigienicheskie meropriyatiya po obespecheniyu bezopasnykh usloviy truda provodnikov passazhirskikh vagonov // Mat. XII Vserossiysk. s"ezda gigienistov i sanitarnykh vrachey: Rossiyskaya gigiena – razvivaya traditsii, ustremlyayemya v budushchee. – 2017. S. 474...476.

Рекомендована кафедрой техносферной безопасности РУТ (МИИТ). Поступила 18.10.18.