

# О промышленной безопасности в мостостроении



Анатолий ЛУКЬЯНОВ  
Anatoly M. LUKIANOV

Андрей АГАПОВ  
Andrey G. AGAPOV



*Лукьянов Анатолий Михайлович – доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.  
Агапов Андрей Геннадьевич – кандидат технических наук, руководитель проектов по строительству и реконструкции аэродромов компании «Аэроком», Москва, Россия.*

## On Industrial Safety in Bridge Construction

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 194)

**Система промышленной безопасности складывалась на железных дорогах десятилетиями. В новых экономических условиях многие ее базовые принципы сохранились, но появились и те факторы, которые требуют научного анализа, экспериментальной проверки, современных технико-технологических средств. На примере строительства и обслуживания мостовых сооружений авторы исследуют и оценивают ситуацию с безопасностью труда, травматизмом, пожароопасностью на объектах железнодорожного транспорта.**

*Ключевые слова:* транспорт, безопасность, мостостроение, картограмма условий труда, травматизм, пожароопасность, факторы среды.

**Н**а всех этапах реформирования железнодорожного транспорта и создания ОАО «РЖД» особое внимание уделялось и уделяется сохранению всех связей и принципов, обеспечивающих функционирование отрасли как единого, бесперебойного действующего механизма. В числе таких принципов и поддержание высокого уровня пожарной и промышленной безопасности.

В железнодорожной отрасли работает более 1,2 млн человек, поэтому обеспечение их безопасности и создание комфортных условий деятельности является задачей национального масштаба [1].

В постреформенных условиях удалось сохранить накопленный опыт и отраслевую организационно-материальную базу. Так, коэффициент частоты общего травматизма (количество случаев на 1000 работающих) в ОАО «РЖД» на фоне других отраслей экономики минимален и составляет 0,75 единицы, в то время, например, как в сельском хозяйстве он достигает величины 7,2. Коэффициент частоты производственного травматизма со смертельным исходом на железных дорогах также минимален – 0,08 единицы, а на авиационном



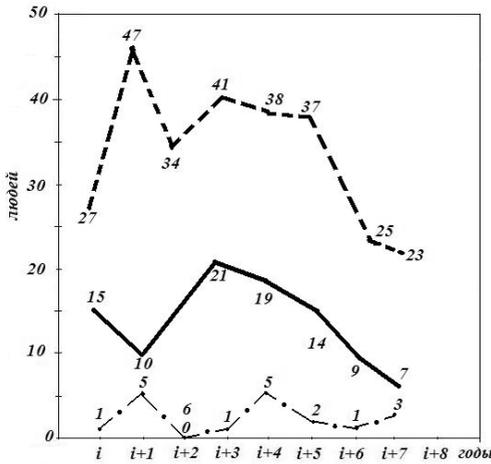


Рис. 3. Количество людей, травмированных на пожарах:

■■■■ всего людей;  
 ■■■■■ работников железных дорог;  
 —●— сотрудников пожарной охраны.

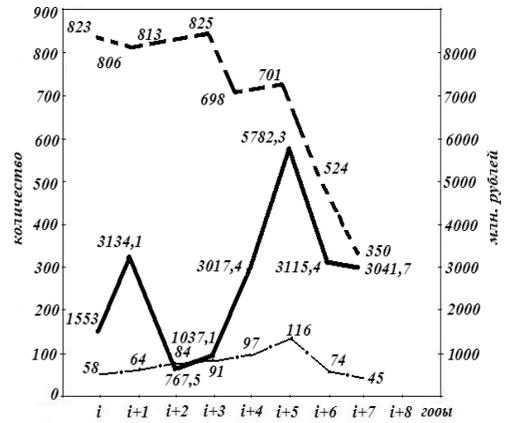


Рис. 4. Распределение пожаров, материального ущерба и гибели людей на стационарных объектах железнодорожного транспорта:

■■■■ количество пожаров;  
 ■■■■■ материальный ущерб;  
 —●— число погибших людей.

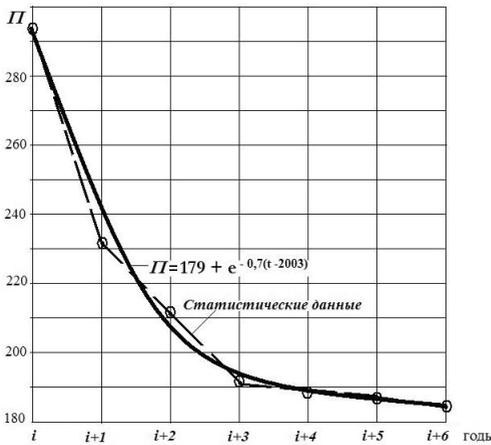


Рис. 5. Динамика пожаров на объектах инфраструктуры ОАО «РЖД».

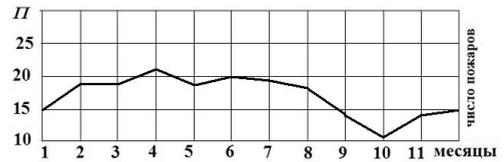


Рис. 6. Динамика пожаров по месяцам года.

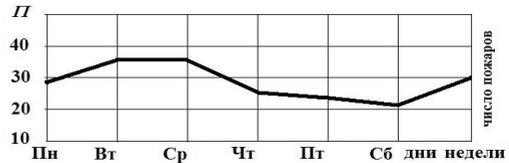


Рис. 7. Динамика пожаров по дням недели.

ЧП. Проанализированы финансовые вложения за пять лет. Произведенные затраты аппроксимированы уравнением линейной регрессии:

$$P^{выч} = 194 - 0,025 \times S. \quad (2)$$

Адекватность модели (2) была оценена по критерию Фишера с доверительной вероятностью 95%. Модель дала приемлемые результаты.

По имеющимся статистическим данным представляется возможным оценить влияние дней недели и месяцев года на частоту пожаров на объектах инфраструктуры ОАО «РЖД».

Графически динамика всех пожаров по месяцам года представлена на рис. 6, а на рис. 7 аналогичная зависимость дана по дням недели.

Поскольку динамика числа пожаров носит выраженный случайный характер, целесообразно найти законы распределения частоты пожаров.

Обработка статистических данных о пожарах (см. рис. 8) позволила установить, что наилучшими показателями приближения обеспечивают законы распределения Пуассона и Паскаля имеющие вид:

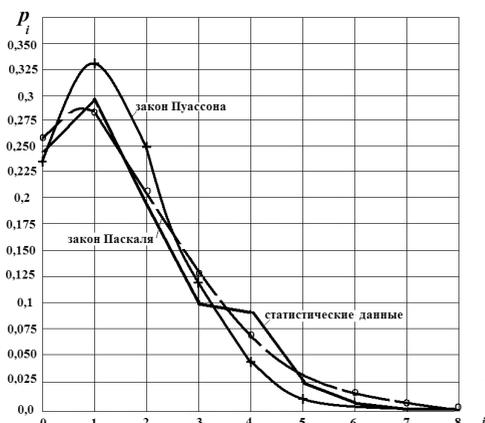


Рис. 8. Оценка статистических данных о пожарах на объектах инфраструктуры ОАО «РЖД».



Рис. 9. Распределение времени задержек поездов по вине работников, обслуживающих мостовые сооружения.

Таблица 1

Среднесписочная численность персонала путевого комплекса

Должность, профессия	Списочный состав (количество чел.)
Монтёры пути	81 304
Бригадиры пути и ИССО	15 455
Дорожные мастера	5 314
Старшие дорожные мастера	1 385
Машинисты и водители ССПС	4 569
Машинисты железнодорожно-строительных машин	3 777
Операторы дефектоскопных тележек	9 712
Операторы по путевым измерениям	722
Ремонтники ИССО	5 406
Дежурные по переездам	9 718
Другие профессии	64 545

для закона Пуассона –  

$$p_i = 1,452^i e^{-1,452/i}; \quad (3)$$

для закона Паскаля –  

$$p_i = C_{i+2}^i \times 0,632^3 \times 0,368^i = (i+1) \times (i+2) \times 0,1262 \times 0,368^i. \quad (4)$$

**ТРАВМАТИЗМ У МОСТОВИКОВ**

Путевое хозяйство является крупнейшим в ОАО «РЖД» департаментом и включает в себя 395 структурных подразделений.

Среднесписочная численность персонала этого комплекса представлена в таблице 1, в хозяйстве трудятся 201 тыс. 907 чел., или примерно 15% от всех работающих в ОАО «РЖД». И хотя среди них ремонтники ИССО составляют лишь менее 1/40, травматизм они имеют самый высокий, что заставляет искать возможности к его сокращению, находить все

новые способы и средства обеспечения безопасности, сохранения здоровья работников [2].

Детально проанализируем травматизм, произошедший при строительстве железнодорожных мостов, путепроводов, транспортных развязок различных систем и сложности.

По критериям надежности мостовые сооружения относятся к первой группе, то есть это устройства, не имеющие резерва, повреждения на них, как правило, приводят к нарушению (прекращению или ограничению) движения. Распределение времени задержек поездов по вине работников, обслуживающих мостовые сооружения, показано на рис. 9, из которого видно, что в основном они характерны для наиболее грузонапряженных участков.





Рис. 10. Коэффициент частоты несчастных случаев.

Таблица 2

Данные о травматизме по категориям работающих

№ п/п	Должность (профессия) пострадавшего	В процентах к общему числу пострадавших
1.	Монтажник ЖБК и м/к	40
2.	Водитель	9
3.	Электросварщик	7
4.	Плотник	10
5.	Слесарь	2
6.	Руководители и специалисты	6
7.	Машинист крана	6
8.	Арматурщик	4
9.	Подсобный рабочий	6
10.	Бетонщик	6
11.	Токарь	2
12.	Стропальщик	2
	Всего	100

Таблица 3

Травматизм и стаж работы пострадавших

№ п/п	Стаж работ (годы)	Число пострадавших, %
1.	до 1 года	11,9
2.	1	26,19
3.	2–5	14,2
4.	5–10	28,57
5.	Свыше 10	19,14
	Всего	100

В таблице 2 представлены данные о производственном травматизме, из которых следует, что основная доля несчастных случаев падает на монтажников железобетонных и металлических конструкций.

Травматизм с учетом стажа и возраста работников иллюстрируют таблицы 3, 4.

Анализ общего травматизма показывает (рис. 10), что в последние годы тя-

жесть последствий травм продолжает оставаться на высоком уровне, и это объясняется усложнением технологии строительно-монтажных работ, резким повышением темпов строительства, снижением уровня организации производства, недостаточной профессиональной подготовкой руководителей и исполнителей.

Таблица 4

## Травматизм по возрасту пострадавших

№ п/п	Возраст (лет)	Число пострадавших, %
1.	до 28	11,9
2.	28–35	16,66
3.	35–45	21,42
4.	45–50	21,42
5.	50–55	9,52
6.	55–60	11,9
7.	свыше 60	7,18
	Всего	100

Характерный пример – последствия отказов на мостовых сооружениях в пиковый летний период (рис. 11), когда усугубляющими причинами травмоопасных ситуаций становятся как раз обстоятельства организационного характера [3].

В это время года наблюдается значительное увеличение объема работ, проводимых, как правило, с нехваткой обслуживающего персонала. Чтобы покрыть дефицит рабочих рук, привлекаются малообученные люди, и необходимо вести их подготовку с детальным разбором типичных несчастных случаев. Чаше проверять порядок выдачи и оформления нарядов, наличие удостоверений по технике безопасности. Кроме того, несомненную пользу принесут тренировочные занятия, дополнительный контроль технологической и трудовой дисциплины, а также предписаний и замечаний, сделанных вышестоящими организациями, общественными инспекторами. То есть стремиться своевременно устранять предпосылки травмирования.

В рамках изучения зависимостей между уровнем травматизма (Т) и протяженностью (L) искусственных сооружений с использованием метода парной корреляции проведена оценка наличия, тесноты и направления связи Т и L. Значимость коэффициента корреляции определялась с помощью преобразования Фишера.

Расчеты показали отсутствие корреляционной зависимости между общим травматизмом и протяженностью железнодорожных линий на мостовых сооружениях. Это дает основание заключить, что в целом на сети дорог профилактические мероприятия позволяют нейтрализовать влияние роста протяженности искусственных сооружений на травматизм (рис. 12). Вместе с тем весьма характерны различия в изменении уровня травматизма при обслуживании мостов разного вида.

Несмотря на увеличение протяженности железобетонных мостов, имеет место непрерывное уменьшение числа травм при их обслуживании. Об этом свидетельствует существенная отрицательная корреляция  $r = -0,48$ . В то же время наличие слабой положительной корреляции  $r = 0,2$  указывает на имеющуюся тенденцию некоторого

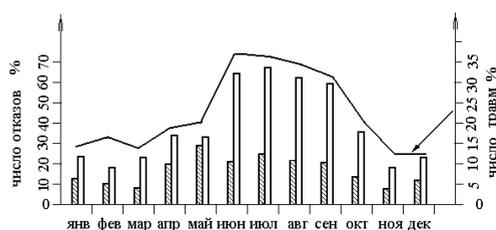


Рис. 11. Динамика отказов и травматизма на мостовых сооружениях в зависимости от времени года:

□ – для больших и средних мостов;  
 ▨ – для малых мостов и труб.

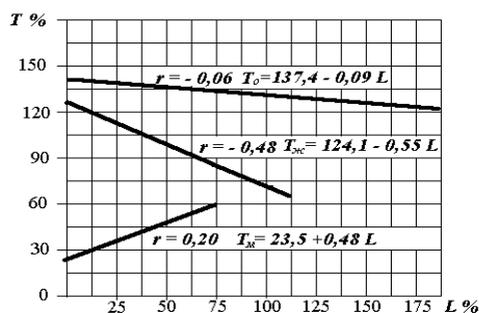


Рис. 12. Поле корреляции между травматизмом и протяженностью мостовых сооружений.

роста числа травм с ростом объема работ на металлических пролетных строениях.

## ФАКТОРЫ СРЕДЫ

Известно, что условия среды, в которых выполняется та или иная работа, могут быть оптимальными, допустимыми, вредными или экстремальными [4]. Оценка производственной среды базируется на основных законодательных и санитарных документах.

На основании проведенного анализа требований к выполнению работ и требо-



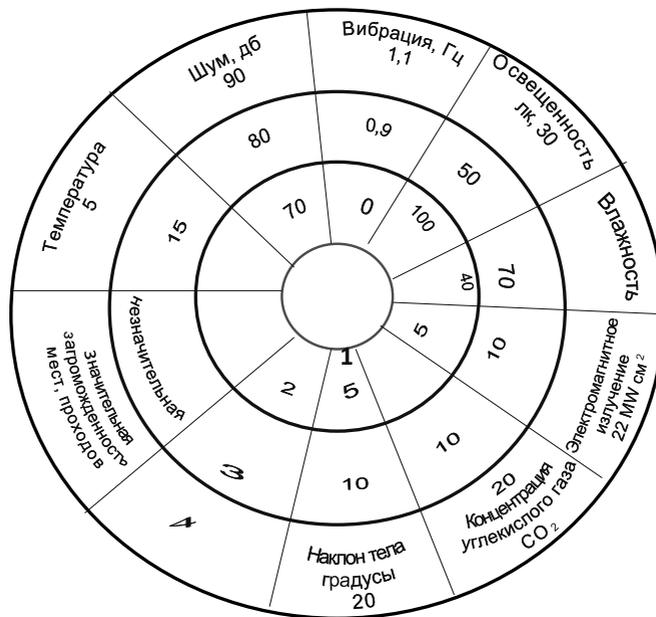


Рис. 13. Картограмма условий труда ремонтных рабочих-мостовиков: 1 – зона высшего комфорта; 2 – комфортная зона; 3 – некомфортная зона; 4 – недопустимая зона.

ваний санитарной гигиены составлена картограмма условий труда ремонтных рабочих на мостовых сооружениях (см. рис. 13).

По мере удаления от центра указаны показатели, свидетельствующие об ухудшении состояния производственной среды, увеличении тяжести и напряженности труда работника. Такая характеристика позволяет легко выявить, на оптимизацию каких факторов следует в первую очередь направить внимание (оздоровление производственной среды, снижение тяжести, уменьшение напряженности труда), или же создавать комплексную систему мер, обеспечивающих оптимизацию всех сторон трудовой деятельности мостовых рабочих.

Мостостроение – одна из наиболее трудоемких отраслей строительства. Доля «живого» труда в затратах на строительномонтажные работы значительно выше, а темпы роста производительности труда – ниже. Это объясняется особенностями строительства и прежде всего сложностью организации производства.

Для получения надежной информации относительно степени зависимости производительности труда от внешних и внутренних факторов стоит воспользоваться данными Мостотреста, в которых фигурируют материалы 65 наблюдений за десять

лет по 14 мостоотрядам России. При этом введены переменные:

1. Объем работ, выполненных собственными силами мостостроительными организациями за год.
2. Фонд оплаты труда.
3. Среднесписочная численность работников в штате организации.
4. Среднегодовая стоимость производственных фондов.
5. Прибыль организации.
6. Объем работ, выполненных в регионе за год.
7. Средняя зарплата в регионе, где находится мостостроительная организация.
8. Курс иностранной валюты.
9. Среднегодовая заработная плата специалистов в отрасли мостостроения.
10. Размер прожиточного минимума.
11. Среднегодовой уровень безработицы.

Получена аналитическая зависимость производительности труда от параметров, характеризующих проделанную работу:

$$Y_i = 104,89 + 0,523X_1 - 1,5057X_2 - 0,1764X_3 + 1,8429X_4 + 0,504X_5 - 0,017X_6 + 0,141X_7 + 4,84X_8 - 0,0285X_9 + 0,101X_{10} + 0,002X_{11}$$

Исследования показали, что, планируя объем труда на будущий период и численность рабочих, можно спрогнозировать их уровень производительности. Точно так же, приняв определенный уровень производительности предыдущего периода

Вероятность безопасной работы бригад в зависимости от периода времени

№ п/п	Должность (профессия) рабочих	Рабочее время $T_3$ , мес.			
		24	12	6	3
1.	Монтажник ЖБК и м/к	0,62	0,64	0,73	0,82
2.	Водитель	0,83	0,86	0,88	0,905
3.	Электросварщик	0,65	0,68	0,72	0,81
4.	Плотник	0,75	0,77	0,887	0,93
5.	Слесарь	0,89	0,91	0,92	0,94
6.	Машинист крана	0,9	0,93	0,95	0,96
7.	Машинист бульдозера	0,87	0,89	0,92	0,94
8.	Арматурщик	0,75	0,76	0,873	0,919
9.	Электромонтер	0,82	0,84	0,93	0,95
10.	Тракторист	0,87	0,88	0,89	0,95

и зная планируемый объем труда, появляется возможность прогнозировать численность рабочих.

Изучена вероятность безопасной работы бригады мостовиков. Если в период наблюдений за их деятельностью выявлено, что случаи травмирования происходят примерно через равные промежутки времени, то вероятность безопасности в течение заданного срока может быть вычислена по формуле:

$$P = (1 - T_3 / NT)^n, \quad (6)$$

где  $P$  – вероятность безопасной работы;

$T_3$  – заданный промежуток времени, в течение которого определяется величина  $P$ ;

$N$  – количество бригад или участков мостоотряда;

$n$  – число случаев травмирования в  $N$  бригадах за время  $T$ .

Результаты вычислений считаются достоверными, обеспечивающими главное условие – безопасность работы в период  $T_3$ , в том случае, когда значение величины  $P$  соответствует безопасности труда, т. е.  $P \geq 0,95$ . Если же вероятность будет меньше величины 0,95, то полной уверенности в безопасности для этой категории работников за период  $T_3$  быть не может.

Показатели вероятности безопасной работы различных бригад мостоотрядов приведены в таблице 5.

*Эти данные позволяют заключить, что рабочие различных профессий имеют неодинаковую вероятность безопасного труда в определенный период времени. Имея такие ориентиры для отдельной бригады, ответственные за промышленную безопасность в мостотресте получают возможность*

*своевременно проводить адресные профилактические мероприятия.*

*При отсутствии четко выраженных интервалов между случаями травм или профессиональных заболеваний следует увеличить объем изучаемых случаев за счет привлечения дополнительных материалов по родственным бригадам, однако период со случаями травматизма не должен быть более трех лет.*

*Данные о накапливающейся опасности травмирования в течение года и знание существующих опасных ситуаций позволяют точнее распределить средства на проведение номенклатурных оздоровительных мероприятий и проводить их в обоснованные расчетами сроки.*

## ОПАСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Как ранее было установлено, наиболее опасными с пожарной точки зрения являются железобетонные мостовые конструкции, поскольку при их возведении используются многие горючие строительные материалы. В том числе всевозможные грунтовки, краски, мастики, а самое главное – древесина.

В соответствии со СНиП 21-01-97\* пожарную опасность строительных материалов определяют пожарно-техническими характеристиками. В отечественные стандарты с момента их принятия не вносилось никаких изменений и дополнений. Например, ГОСТ 12.1.044-89 не пересматривался в течение почти двадцати лет. В то же время значительно углублены знания о процессах воспламенения и горения строительных материалов в условиях реальных пожаров.



Результаты определения воспламеняемости древесины

Наименование покрытий	Величина критического падающего теплового потока, кВт/м <sup>2</sup>							
	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0
Древесина незащищенная	580*	220	145	90	85	70	50	45
МПВО	нв**	140	125	120	110	100	100	90
Асфор	нв	210	150	145	120	90	70	65
Огракс-В-СК	нв	нв	220	110	55	30	20	15
Негорин	нв	нв	370	60	55	50	50	45
Асфор-Экстра	нв	нв	нв	730	230	150	125	110
СГК-1	нв	нв	нв	220	120	80	60	60
Огракс-ПД-1	нв	нв	нв	450	320	240	175	125
ОЗК-45Д	нв	нв	нв	660	300	140	85	60
Пирилакс	нв	нв	нв	780	255	200	130	80

Примечания: \*Цифры показывают время (с) до воспламенения образцов. Они являются средней арифметической величиной трех измерений.

\*\* Образцы не воспламенялись в течение 900 с воздействия теплового потока.

Исследователями постоянно вносятся уточнения в процедуру стандартных испытаний, которые позволяют использовать получаемые данные в качестве исходных величин для моделирования ожидаемых рисков и противодействия им.

При строительстве мостовых сооружений используются различные изделия из древесины. Возьмем, к примеру, сосну, которая является наиболее распространенным материалом на возводимых мостовых объектах; она рекомендована в НПБ 251-98 в качестве эталонного материала при оценке эффективности средств огнезащиты.

Сухая древесина сосны содержит 49,5% углерода, 6,3 – водорода; 44,1 – кислорода, 0,1 – азота. Химические ее компоненты: целлюлоза и лигнин. Остальные составные элементы: гемицеллюлозы, пектиновые и минеральные (главным образом – соли кальция) вещества [5].

Перед опытами со средствами огнезащиты нами были экспериментально определены показатели пожарной опасности сосновой древесины: группы горючести, воспламеняемости, распространения пламени по поверхности, дымообразующей способности, токсичности продуктов горения.

Результаты опытов использованы в качестве базовых для оценки влияния огне-

защитных составов на пожарную опасность древесины. При обработке данных рассчитывались максимальная температура дымовых газов, продолжительность самостоятельного горения, степень повреждения по длине, степень повреждения по массе.

Температуру дымовых газов  $T$  (°C) и продолжительность самостоятельного горения  $T_{cr}$  (с) фиксировали как среднее арифметическое значение результатов трех испытаний.

Степень повреждения по длине  $S_L$  (%) определяли процентным отношением длины повреждения образцов к их первоначальной длине и рассчитывали как среднее арифметическое значение этого отношения по данным каждого испытания.

Степень повреждения по массе  $S_m$  (%) определяли процентным отношением массы поврежденной части образцов к начальной (по результатам одного испытания) и рассчитывали как среднее арифметическое значение этого отношения по данным каждого испытания.

Оценку воспламеняемости древесных материалов проводили по методике ГОСТ 30402-96, идентичной международному стандарту ISO 5657. Методика помогает уточнить исследуемые параметры при заданных уровнях воздействия на поверхность образца лучистого теплового потока и пламени от источника зажигания.

Результаты испытаний показали, что у всех взятых на изучение огнезащитных составов ожидаемый от них эффект проявляется в снижении тепловыделения (по сравнению с образцами незащищенной древесины). Причем в каждом отдельном случае повторялась одна и та же картина: распространение пламени происходило по всей длине образцов.

В работе [7] отмечено, что по критерию своей эффективности все огнезащитные составы могут быть разделены на три группы: классические средства огнезащиты, условно новые средства, средства нового поколения.

Условно новые средства обеспечивают группу горючести Г2 при условии создания в поверхностных слоях древесины насыщенного слоя антипиренов. Они имеют более длительные сроки сохранения огнезащитных свойств, но у них есть и отрицательные качества: наличие неприятных запахов, агрессивность к материалам, входящим в состав строительных конструкций.

Средства нового поколения обладают высокими показателями качества по огнезащите, соответствующими группе горючести Г1. Они совместимы с большинством атмосферостойких лакокрасочных покрытий.

Образцы для исследования готовились в соответствии с рекомендациями ГОСТ 30244-94. Огнезащитные составы наносили кистью с соблюдением технологий, указанных производителями [6, 7]. Полученные экспериментальные данные представлены в таблице 6.

Результаты экспериментов свидетельствуют, что незащищенная древесина воспламеняется при величине падающего теплового потока  $12,5 \text{ кВт/м}^2$ . Все огнезащитные составы (пропитки, лаки, краски) увеличивают предельное значение падающего теплового потока, который приводит к таким же по характеру последствиям.

При увеличении плотности теплового потока до  $15,0 \text{ кВт/м}^2$  воспламеняется древесина, обработанная составами МПВО и Асфор; при  $17,5 \text{ кВт/м}^2$  – составами

Негорин и Огракс-В-СК; при  $20,0 \text{ кВт/м}^2$  – составами SGK, Огракс-ПД-1, ОЗК-45, Пирилакс, Асфор-Экстра.

При плотности  $20,0 \text{ кВт/м}^2$  воспламенялись все испытанные образцы. При этом в зависимости от типа покрытий за время от 90 до 780 с (исключение – лак Негорин). При больших значениях плотности теплового потока период времени до воспламенения необработанной и защищенной древесины отличается незначительно.

*В ходе экспериментов подтверждены предварительные выводы о влиянии огнезащиты на воспламеняемость древесины: ожидаемый эффект, помимо прочего, проявляется в более интенсивном обугливание поверхностного слоя, создающего барьер для прогрева нижележащих слоев, и в снижении концентрации горючих газообразных продуктов термического разложения.*

Результаты опытов позволяют определить направления совершенствования огнезащитных составов, в том числе за счет применения добавок, максимально увеличивающих степень вспучивания (терморасширения), покрытий. При использовании таких освоенных промышленностью составов, как Пирилакс, ОЗК-45Д и Асфор, может быть рекомендовано увеличение нормы их расхода на защищаемую поверхность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарев В. М. Обоснование понятий безопасности // Мир транспорта. – 2008. – № 3. – С. 16–23.
2. Круглов В. М., Осипов В. О. Мостам – повышенное внимание // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 1. – С. 50–53.
3. Агапов А. Г. Безопасность труда и экология при реконструкции мостов // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – № 7. – С. 18–20.
4. Эмерсон Г. Двенадцать принципов производительности: Пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Экономика, 1992. – 386 с.
5. Бельцова Т. Г., Корольченко О. Н. Показатели воспламеняемости огнезащитной древесины. // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – Т. 17. – № 4. – С. 31–33.
6. Корольченко А. Я., Трушкин Д. В. Пожарная опасность строительных материалов. – М.: Пожнзуча, 2005. – 232 с.
7. Трушкин Д. В., Корольченко О. Н., Бельцова Т. Г. Горючесть древесины, обработанной огнезащитными свойствами // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – Т. 17, № 1. – С. 29–33. ●

Координаты авторов:

Лукьянов А. М. – +7 (495) 6842156, Агапов А. Г. – andrei5551@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 20.10.2014, принята к публикации 05.02.2015.

