

---

---

# ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

---

---

## ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛИВКИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СТЕКЛОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПАЕВ ТОКОПРОВОДЯЩИХ УСТРОЙСТВ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

**А.А. Кузьмин, кандидат педагогических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**А.А. Кузьмин, кандидат технических наук.  
Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)**

Необходимым условием сохранения работоспособности токопроводящих устройств в условиях пожара является отсутствие влаги внутри изоляции. Наиболее надежный способ герметизации – заливка торцевой части стеклом. В настоящей работе исследовалось влияние глубины заливки на прочность заделки токопроводящего стержня. Установлено, что изменение геометрии спае не влияет на его прочность, показан пластичный характер разрушения. Представлены результаты контрольного эксперимента на реальном изделии.

*Ключевые слова:* кабель, токопроводящий стержень, припоечное стекло, прочность спае, бусинковый спай, влажность, герметизация, заливка, нагрузочная способность

## THE INFLUENCE OF DEPTH OF FILL ON THE PERFORMANCE STEKLOKERAMICHESKAJA THE JUNCTIONS OF THE CONDUCTING DEVICES IN FIRE CONDITIONS

**A.A. Kuzmin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.  
A.A. Kuzmin. Saint-Petersburg state technological institute (technical university)**

A prerequisite for the performance of conductive devices is the lack of moisture inside the insulation. The most reliable method of sealing is to pour the front part with glass. In the present work, the effect of the embedment depth on the strength of the sealing of a conductive rod was investigated. It is shown that a change in the geometry of a junction does not affect its strength, and the plastic nature of fracture is shown. A control experiment was conducted on a real product.

*Keywords:* cable, conductive rod, solder glass, bond strength, bead junction, humidity, sealing, fill, load capacity

Кабели, токовводы и различные токопроводящие устройства широко используются в судостроении, химической технологии, энергетике и других отраслях промышленности. Токопроводящие устройства подразделяются на силовые (рис. 1 а) и управляющие (рис. 1 б).

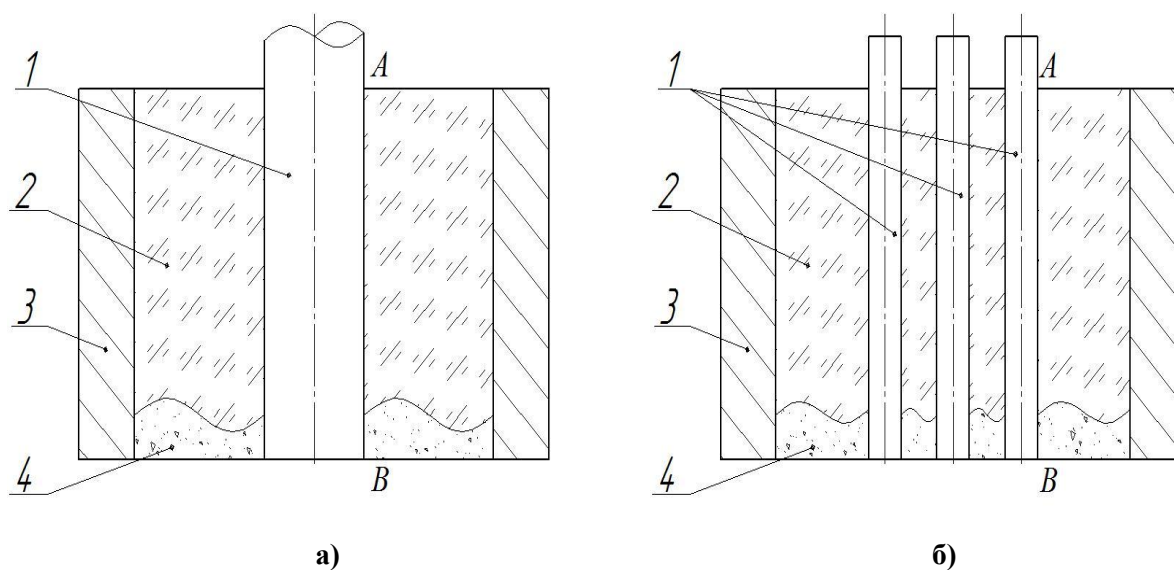


Рис. 1. Конструкции токопроводящих кабелей:  
 а) – одножильный; б) – многожильный; 1 – токопроводящий стержень;  
 2 – стеклянная заливка; 3 – медная оболочка; 4 – магnezия

Силовые кабели, как правило, содержат токопроводящий стержень 1 диаметром несколько миллиметров, электроизоляцию 2, оболочку 3, необходима также герметизация торцевой части 4. Управляющие кабели имеют такую же конструкцию, но содержат несколько жил меньшего диаметра [1]. Основными критериями работоспособности подобных изделий в условиях пожара, когда на изделия могут воздействовать продукты горения и потоки воды, являются прочность, герметичность, термостойкость [2]. В качестве материала токопроводящих стержней ввиду малого сопротивления используется медь. Корпуса и оболочки кабелей могут быть изготовлены из нержавеющей стали, меди и других материалов. Работоспособность токопроводящих устройств в наибольшей степени обеспечивает электроизоляция. Для обеспечения гибкости кабеля в качестве электроизоляции используют полимеры, порошкообразную засыпку и другие материалы. Хотя засыпка и более термостойка, чем пластмасса, она набирает влагу, поэтому необходима герметизация торцевой части кабеля [3]. Наиболее технологичным способом решения поставленной задачи представляется применение тех же пластмасс, однако, помимо недостаточной прочности и термостойкости, их газопроницаемость и склонность к старению накладывают свои ограничения [4]. Разработанные в последнее время клеи способны выдерживать высокие нагрузки в тяжелых эксплуатационных условиях [5]. На основе синтетических каучуков созданы устойчивые к агрессивным средам защитные покрытия [6]. В работе [7] показано, что прочность клеевых соединений можно повысить ультразвуковой обработкой. Модификация композиций на основе фенольных олигомеров позволяет значительно повысить их долговечность [8]. Введением наполнителей можно снизить газопроницаемость полимерных композиций [9]. Перечисленные и другие меры позволяют расширить диапазоны применения полимерных изоляторов, однако тепло- и термостойкость, влаго- и газонепроницаемость, прочность полимерных материалов несопоставима с силикатами. В работе [2] рекомендуется применять механически обрабатываемый слюдоситалл. Поскольку обычные машиностроительные технологии распространяются на диаметры от 3 мм и обеспечивают точность от 6 качества [10], собирать по посадке ситалловые изоляторы и медные стержни малых диаметров затруднительно. Поэтому наиболее универсальным способом герметизации токопроводящих устройств представляется заливка стеклом. Целью настоящей работы является отработка технологии герметизации

токопроводящих устройств стеклянной заливкой и определение оптимальной глубины этой заливки. Попутно представляется целесообразным исследовать влияние глубины заливки и геометрии контакта на прочность заделки токопроводящего стержня в корпусе. В качестве объекта исследований был выбран силовой кабель с токопроводящим медным стержнем диаметром 10 мм (рис. 2), медной оболочкой и электроизоляцией порошком магнезии на основе окиси магния.

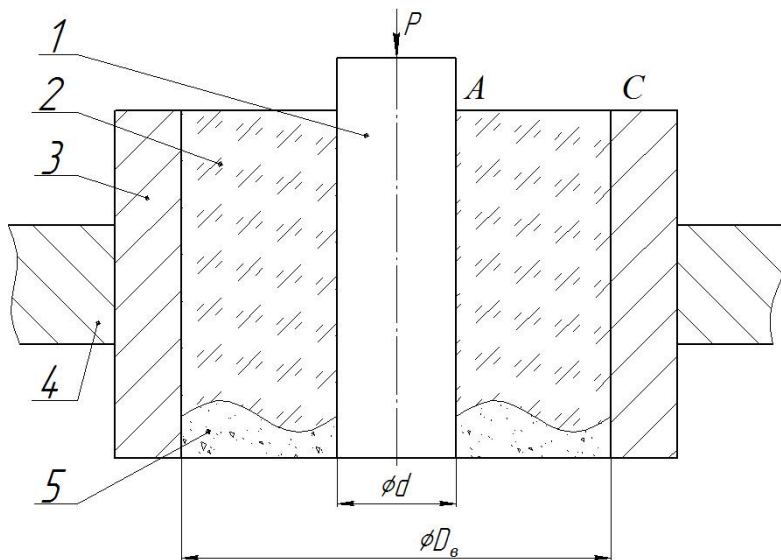


Рис. 2. Узел герметизации:

- 1 – токопроводящий стержень; 2 – стеклянная заливка; 3 – медная оболочка;  
 4 – корпус; 5 – магнезия;  $D_{в}$  – внутренний диаметр медной оболочки кабеля;  
 $d$  – диаметр токопроводящего стержня

Поскольку магнезия впитывает влагу, герметизация торцевой части необходима. Рекомендуемая технология должна содержать состав стекла, способ и режимы герметизации, а также глубину стеклянного слоя (рис. 3).

В качестве исходного было выбрано применяемое ранее для герметизации стекло следующего состава:  $PbO$  – 72 %;  $CuO$  – 2,5 %;  $B_2O_3$  – 18 %;  $CeO_2$  – 1,5 %;  $TiO_2$  – 6 %.

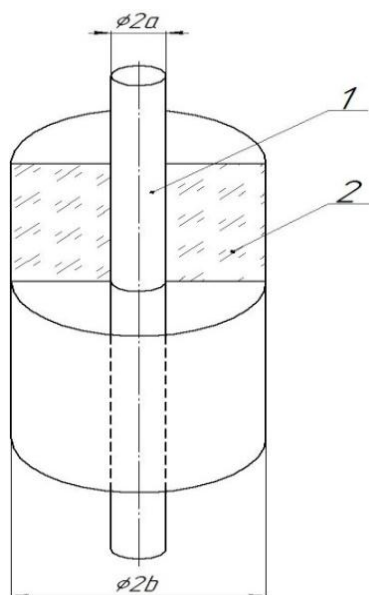


Рис. 3. Бусиновый спай:

- 1 – токопроводящий стержень; 2 – стеклянный цилиндр

Было испробовано три способа герметизации: таблеткой, засыпкой и заливкой. В первом случае торцовую часть кабеля очищали от магнезии, в свободное пространство помещали спрессованную таблетку указанного состава и верхнюю часть кабеля устанавливали в шахтной печи, плавно поднимали температуру до 550–570 °С, выдерживали при этой температуре в течение 15 мин, затем отключали печь и охлаждали спай вместе с печью. Спай получался пузырчатый, предварительное прокачивание, сушка, варьирование временем и температурами положительных результатов не дали.

Кроме того, применение таблеток для многожильных тоководов и кабелей создает дополнительные сложности при сборке, поэтому следующая попытка герметизации была основана на засыпке в очищенную от магнезии зону спаивания стеклянного порошка с его последующим оплавлением и спаиванием. В результате снова получался стеклянный спай, содержащий поры и пузыри. При герметизации заливкой прокатанные пластинки стекла помещали в корундовые тигли и нагревали в печи до температуры 1 000÷1 050 °С. Торцы кабеля очищали от магнезии на необходимую глубину и сушили в течение 15 мин при температуре 550 °С. Просушенный торец кабеля заливали расплавом стекла и выдерживали в течение двух часов при температуре 570 °С, затем охлаждали вместе с печью. Выбор температур обусловлен ситаллизацией при температуре 570 °С. В результате получался однородный беспузырный спай. Далее встала задача определения оптимальной глубины спаивания, то есть той глубины заливки стекла, при которой прочность достигает своего наибольшего значения.

Поскольку толщина наружной оболочки кабеля составляет десятые доли миллиметра, ее жесткостью можно пренебречь и в качестве расчетной схемы принять бусинковый спай (рис. 3) и оценить осевое усилие выдавливания медного токопроводящего стержня из сформировавшегося при остывании стеклянного цилиндра.

Очевидно, что это усилие выдавливания должно соответствовать сумме сил адгезии на поверхности стержня и сил трения, создаваемых радиальными напряжениями в стеклянном цилиндре. Радиальные напряжения в бусинковых спаиваниях принято рассчитывать по формулам Халла и Бергера [11]:

$$\sigma_r = \frac{-E_c \cdot \delta}{1 + C + C \cdot \beta \cdot R} \cdot \left( \frac{a^2}{b^2} - \frac{a^2}{r^2} \right),$$

где  $\delta = \int_{T_1}^{T_2} \alpha_c \cdot dT - \int_{T_1}^{T_2} \alpha_m \cdot dT$  – дифференциальное сжатие;  $\alpha_c$  – температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) припоечного стекла;  $\alpha_m$  – ТКЛР токопроводящего стержня;  $a$  – радиус медного стержня;  $b$  – радиус стеклянного цилиндра (внутренний радиус медной оболочки кабеля);  $r$  – расстояние от рассматриваемой точки до оси спаивания;  $C = a^2(1 - 2\nu_m)/b^2$ ;  $\beta = a^2(1 - 2\nu_m)/b^2 - 1$ ;  $R = E_c/E_m$ ;  $E_c$  – модуль упругости стекла;  $E_m$  – модуль упругости металлического стержня;  $\nu$  – коэффициент Пуассона (стекла и металла принимаем равным 0,3).

Поскольку для применяемых припоечных стекол  $\alpha_c < \alpha_m$ , то  $\delta < 0$  и в стеклянном цилиндре на границе с медным стержнем будут действовать растягивающие радиальные напряжения  $\sigma_r$ . Если стеклянный цилиндр не сжимает медный стержень, то последний удерживается исключительно за счет сил адгезии, которые следует определять экспериментально.

Первым этапом было необходимо определить влияние изоляции на прочность всей конструкции. Исследовались образцы описанного выше токопроводящего кабеля (рис. 2) длиной  $L = 10, 15, 20, 30$  мм. Определялось усилие выдавливания токопроводящего стержня  $F$  из массива. Далее определялась погонная разрушающая нагрузка  $N = F/L$  и разрушающее напряжение сдвига  $\tau = F/(\pi \cdot d \cdot L)$ . Испытания производились в соответствии с приведенной на рис. 4 схемой.

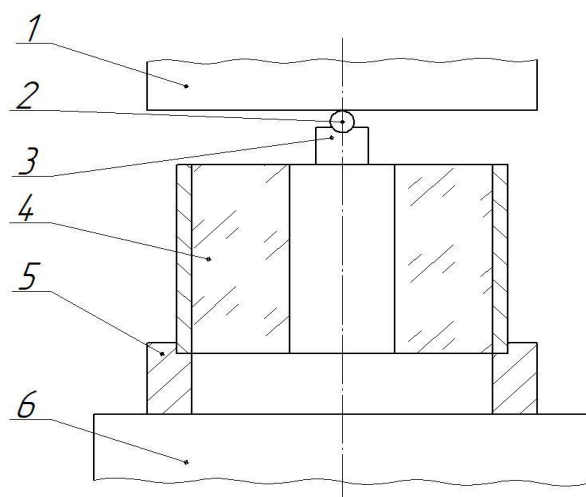


Рис. 4. Схема установки:

1, 6 – захваты испытательной машины; 2 – центрующий шарик;  
3 – упор для фиксации шарика; 4 – образец для испытаний; 5 – стакан

Результаты испытаний представлены в табл. 1, где  $\Delta\tau$  – доверительный интервал при пятипроцентном уровне значимости, а  $V_x$  – коэффициент вариации.

Таблица 1. Результаты испытаний образцов с магнием

Уровень значимости q		q=10 %		q=5 %		q=1 %	
L, мм	$F_{cp.},$ Н	$\Delta F,$ Н	$F_{min.},$ Н	$\Delta F,$ Н	$F_{min.},$ Н	$\Delta F,$ Н	$F_{min.},$ Н
10	890	260	630	250	640	420	470
15	1 210	330	880	375	835	510	700
20	1 690	320	1 370	372	1 318	500	1 190
30	1 990	580	1 410	660	1 330	1 030	960

Поскольку герметизирующим слоем является стеклянная заливка, то именно разрушение стекло-металлического спая приводит к потере работоспособности всего изделия. Оценка прочности стекло-металлических образцов производилась по той же схеме (рис. 4). Дюнышко из магнелии толщиной 5 мм служило для заливки стекла и вряд ли влияло на прочность образца. Результаты испытаний стекло-металлических образцов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний стекло-металлических образцов

Уровень значимости q		q=10 %		q=5 %		q=1 %		$V_x, \%$
L, мм	$F_{cp.},$ Н	$\Delta F,$ Н	$F_{min.},$ Н	$\Delta F,$ Н	$F_{min.},$ Н	$\Delta F,$ Н	$F_{min.},$ Н	
5	715	270	445	336	379	480	230	74
10	2 100	440	1 660	546	1 554	740	1 360	50
15	2 870	290	2 580	373	2 497	480	2 390	39
25	7 270	1 160	6 110	1 527	5 743	2 040	5 230	34
35	7 230	620	6 610	723	6 507	1 050	6 180	26

В процессе проведения эксперимента было обнаружено, что при постепенном нагружении образцов до величины  $F$  сначала слышался слабый треск, а затем наблюдалось плавное и монотонное снижение нагрузки. Это свидетельствует о пластичном характере разрушения. Выдавленный в результате испытаний из образца отрезок медного стержня представлял собой ровный гладкий остеклованный цилиндр зеленого цвета (цвет стекла)

диаметром 10 мм. Это означает, что разрушение происходило по поверхности стержня и адгезия была такова, что разрушался поверхностный слой стекла, а не сам спай. Из табл. 1 следует, что имеет место большой разброс результатов и можно говорить лишь о тенденции, согласно которой усилие выдавливания стержня  $F$  из изоляции при  $L/d$  более 3 не возрастает. Это было подтверждено дополнительными экспериментами. Похожие результаты были получены и при испытании стекло-металлических образцов. Из табл. 2 следует, что, как и в случае образцов с магнезией, при  $L/d > 3$  усилие выдавливания медного стержня стабилизируется и далее не растет. Однако при  $L/d$  около 3 наблюдается лучшая воспроизводимость результатов, о чем свидетельствует снижение коэффициента вариации. Следует также отметить, что при  $L/d > 3$  нагрузочная способность стеклянной заделки в разы больше, чем нагрузочная способность образца, заполненного магнезией. Это позволяет не учитывать влияние магнезии при оценке прочности реальных изделий. Контрольный эксперимент, проведенный на образце кабеля общей длиной 200 мм при глубине заливки 35 мм, показал, что усилие отрыва медного стержня составило 7300 Н. Это позволяет пренебречь влиянием магнезии. Повышение воспроизводимости какого-либо свойства снижает доверительный интервал, и, следовательно, повышает нижнюю границу, в данном случае величину минимального усилия выдавливания стержня  $F_{min}$ . Из табл. 2 и рис. 5 видно, что для глубин заливки 25 мм и 35 мм средние значения усилий выдавливания практически равны, а минимальное усилие во втором случае ощутимо выше.

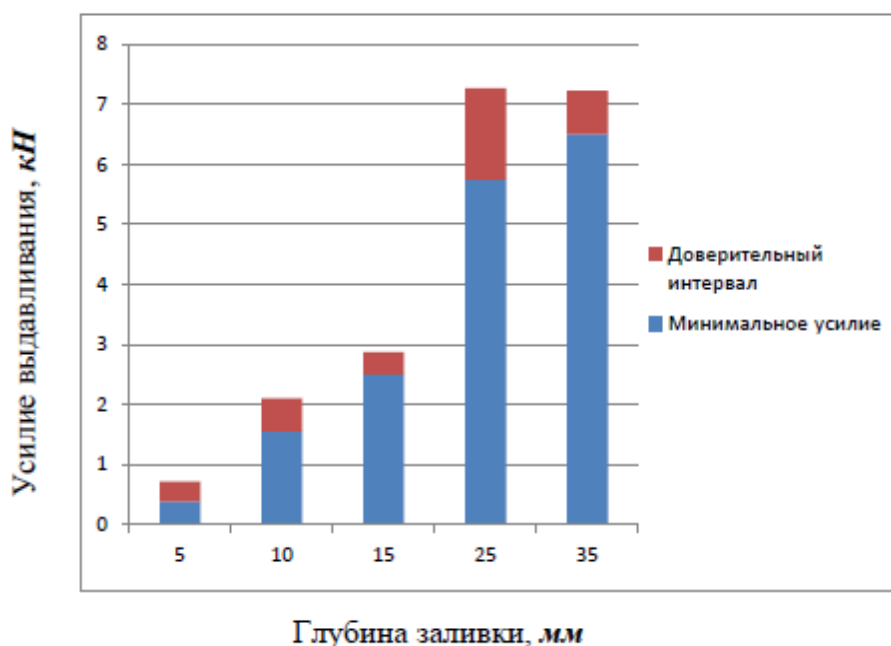


Рис. 5. Диаграмма зависимости усилия выдавливания медного стержня от глубины заливки стекла

Как правило, слабым местом любых соединений является стык сопряженных поверхностей. Представляется целесообразным увеличение площади сопрягаемых поверхностей усложнением геометрической формы. С этой целью были изготовлены две партии образцов: с плавной выточкой и кольцевыми канавками (рис. 6).

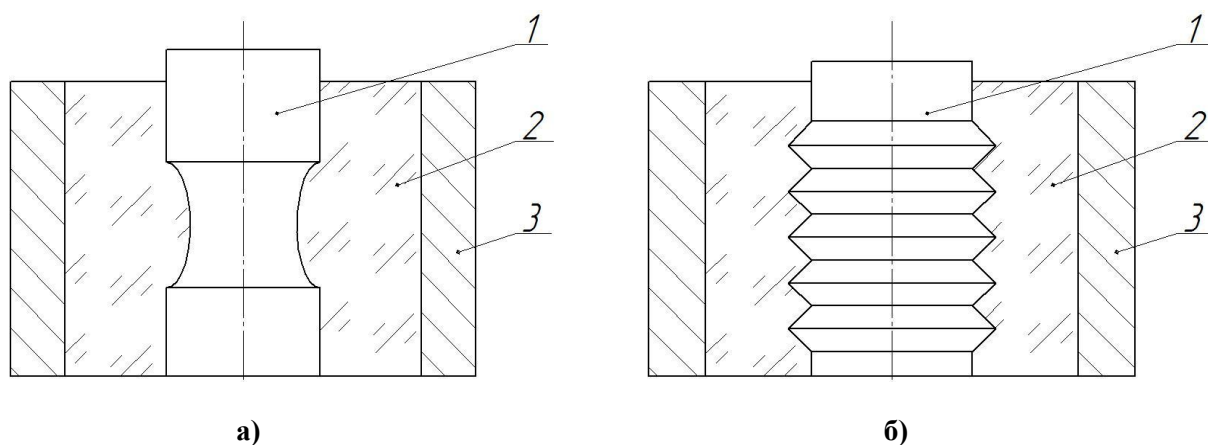


Рис. 6. Кабели со стержнями усложненной геометрической формы:

а) – с плавной выточкой; б) – с кольцевыми канавками;

1 – токопроводящий стержень; 2 – стеклянная заливка; 3 – медная оболочка

Обе конструкции позволяют увеличить площадь спая, при этом первый вариант не содержит концентраторов напряжений. Результаты испытаний обеих партий приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты испытания образцов усложненной формы

Форма контакта	$L$ , мм	$F_{ср}$ , Н	$V_x$ , %
Плавная выточка	25	5 750	33
Кольцевые канавки	25	7 060	36

Из данных табл. 3 следует, что изменение геометрии спая не изменило стабильности прочностных характеристик. Увеличения нагрузочной способности также не произошло. В процессе нагружения наблюдалась описанная ранее картина: слабый треск и плавное без скачков снижение нагрузки. Выдавленный медный стержень также имел гладкую цилиндрическую остеклованную поверхность, что говорит о хорошей адгезии применяемого стекла. На основании выполненных работ можно сделать следующие выводы:

- магнезия не оказывает существенного влияния на усилие выдавливания токопроводящего стержня из кабеля;
- прочность заделки медного стержня определяется адгезией припоечного стекла и не зависит от геометрической формы спая;
- несмотря на то, что при глубине заливки стекла в три диаметра стержня прочность заделки достигает максимума, целесообразно увеличить глубину заливки до  $3,5 \div 4,0$  диаметров, так как при этом повышается стабильность прочностных характеристик.

### Литература

1. Тепляков М.В., Хазиева М.Д. Гермоввод как элемент корабельной электроэнергетической системы // Новый университет. 2014. № 11. С. 37–42.
2. Кузьмин А.А., Яблокова М.А. Герметизация токовводов слюдоситаллом // Фундаментальные исследования. 2018. № 3. С. 13–18.
3. Лазаревский Н.А., Тепляков М.В. Нормативные требования по величинам протечек для устройств уплотнения и результаты опытов с некоторыми уплотнительными материалами // Судостроение. 2013. № 3. С. 38–39.
4. Тепляков М.В. О применении электроосмоса при изготовлении и ремонте токовводов в судовом электромонтажном производстве // Судостроение. 2013. № 6. С. 80–84.
5. Кравцова Е.А., Феськов С.А. Области применения клеящих веществ // Пластические массы. 2016. № 3-4. С. 51–53.

6. Защитные покрытия на основе синтетических каучуков / К.В. Сухарева [и др.] // Пластические массы. 2015. № 11-12. С. 57–62.
7. Попов В.М., Дворник О.Р., Латынин А.В. К созданию клеевых соединений повышенной прочности на основе полимерных клеев, модифицированных воздействием комбинированных физических полей // Пластические массы. 2017. № 3-4. С. 55–59.
8. Амирсланова М.Н. Лакокрасочные и клеевые композиции на основе фенольных олигомеров // Пластические массы. 2014. № 11-12. С. 51–53.
9. Газонепроницаемость смесей полиолефинов, содержащих стеклянный пластинчатый наполнитель / А.И. Ермилова [и др.] // Пластические массы. 2016. № 7-8. С. 41–45.
10. Общетехнический справочник / Е.А. Скороходов [и др.]. 4-е изд., испр. М.: Машиностроение, 1990. 496 с.
11. Мазурин О.В. Отжиг спаев стекла с металлом. Л.: Энергия, 1980. 140 с.

## **ПОЖАРНЫЕ ПЕНОПОДЪЕМНИКИ: ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ, КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ, ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ**

**А.И. Преснов, кандидат технических наук, доцент;  
А.А. Печурин, кандидат технических наук, доцент;  
А.В. Данилевич.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Приводится историческая справка и сведения о современном типаже пожарных пеноподъемников. Проанализированы их технические характеристики. Рассмотрены конструктивные особенности отечественных и зарубежных моделей. Поставлены проблемные вопросы.

*Ключевые слова:* пожарный пеноподъемник, стрела, пожарный насос, технические характеристики, конструкция, высота, вылет

## **FIRE TRAILERS: HISTORICAL ASPECT, CURRENT STATE, TECHNICAL SPECIFICATIONS, CONSTRUCTIVE SOLUTION, PROBLEMATIC ISSUE**

**A.I. Presnov; A.A. Pechurin; A.V. Danilevich.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**

Contains historical information and information about a modern type of fire trailers. Analyzed their characteristics. The authors consider the structural features of the Russian and foreign models. Put the problematic issues.

*Keywords:* fire foam lifter, jib, fire pump, specifications, design, height, offset

Пожарные пеноподъемники (ППП) относятся к основным пожарным автомобилям и обеспечивают подачу на высоту огнетушащих веществ. Они наиболее востребованы при тушении пожаров на предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности и объектах топливно-энергетического комплекса.

В соответствии с ГОСТ Р 53247–2009 [1] ППП – пожарный автомобиль, оборудованный стационарной механизированной поворотной коленчатой или телескопической подъемной стрелой с пеногенераторами и предназначенный для доставки личного состава, пожарно-технического вооружения и оборудования к месту пожара и проведения действий по тушению пожаров пеной на высоте.