

---

---

# БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

---

---

## ЗАЩИТА ЗАРЯДОВ АЭРОЗОЛЕОБРАЗУЮЩЕГО СОСТАВА ДЛЯ ГЕНЕРАТОРОВ ОБЪЕМНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТА

**А.С. Крутолапов, доктор технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**В.В. Колчин.**

**ООО «Системы Пожаротушения».**

**В.Н. Громов, доктор технических наук, профессор.**

**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**

Приведены результаты исследования по влиянию повышенной влажности на заряды аэрозолеобразующего состава, изготавливаемые методом литья и по технологии глухого прессования. Рассмотрен способ увеличения влагостойкости зарядов аэрозолеобразующего состава путем нанесения лакового покрытия на их поверхность.

*Ключевые слова:* генератор огнетушащего аэрозоля, аэрозолеобразующий состав, кремнийорганическая лаковая композиция КЛК-1, влагостойкость пиротехнических составов

## PROTECTION OF AEROSOL-FORMING CHARGES FOR FIRE EXTINGUISHING GENERATORS FROM EXPOSURE TO INCREASED HUMIDITY ON TRANSPORT OBJECTS

A.S. Krutolapov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

V.V. Kolchin. Fire Extinguishing Systems Ltd.

V.N. Gromov. Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university

The results of a study on the effect of high humidity on charges of an aerosol-forming composition, manufactured by casting and on the technology of deaf pressing are presented in this article. A method of increasing the moisture resistance of an aerosol-forming composition charges by applying a lacquer coating on their surface is considered.

*Keywords:* fire extinguishing aerosol generator, aerosol-forming composition, silicone lacquer, moisture resistance of pyrotechnic compounds

Технология аэрозольного пожаротушения является одной из наиболее эффективных технологий объемного тушения пожаров. С конца XX в. она набирает свою популярность как в России, так и за рубежом. Генераторы огнетушащего аэрозоля (ГОА) находят свое применение для защиты электрических подстанций, архивов, складов, морских судов, локомотивов и вагонов поезда, двигательных отсеков транспортных средств, электрических шкафов.

В конструкцию ГОА входит пиротехнический заряд, состоящий из одной или нескольких шашек, который в процессе своего горения генерирует облако огнетушащего аэрозоля на основе солей калия или других щелочных металлов, способствующее тушению

пожара путем ингибирования цепных реакций горения [1]. Такие аэрозолеобразующие составы (АОС) представляют собой гетерогенные конденсированные смеси кислородсодержащих и горючих веществ с целевыми и технологическими добавками, способные гореть без доступа кислорода воздуха.

В качестве окислителей в таких составах широко используются соли щелочных металлов, преимущественно нитрат калия  $\text{KNO}_3$  и перхлорат калия  $\text{KClO}_4$ , а в качестве горючих – органические смолы (идитол, эпоксидная смола и т.д.).

Используемые окислители – хорошо растворимые в воде соли. Если герметизация корпуса ГОА нарушена или не предусмотрена конструкцией, то при эксплуатации генераторов в условиях повышенной влажности наблюдается образование на поверхности заряда кристаллов окислителя, так называемых высолов. Стоит отметить, что это явление в основном характерно для зарядов с нитратом калия, изготавливаемых по технологии глухого прессования, где содержание жидкого органического связующего (эпоксидной смолы) незначительно.

Целью данной работы является изучение влияния повышенной влажности на заряды АОС и проверка способа увеличения влагостойкости зарядов путем нанесения лакового покрытия.

В работе рассмотрены заряды АОС КЭП [2], изготавливаемые по технологии глухого прессования, и литьевые заряды из состава СЭПТ [3]. В качестве окислителя в шашках из состава КЭП используется  $\text{KNO}_3$  с содержанием 70,4 %, а в качестве связующего-горючего – эпоксидная смола 5,2 %. Для зарядов из состава СЭПТ характерно применение комбинированного окислителя ( $\text{KNO}_3$  и  $\text{KClO}_4$ ), а в качестве связующего-горючего – эпоксидная смола с содержанием 16,5 %.

«Точки гигроскопичности» для нитрата и перхлората калия практически идентичны и составляют 92,5 % и 94 % соответственно [4]. Существенная разница между окислителями наблюдается в их растворимости в воде и зависимости растворимости от температуры (рис. 1).

В силу присутствия в АОС СЭПТ комбинированного окислителя, содержащего перхлорат калия, растворимость которого в воде значительно ниже, чем нитрата калия, а также трехкратного содержания эпоксидной смолы по сравнению с составом КЭП, можно предположить, что заряды из состава СЭПТ менее подвержены воздействию повышенной влажности, чем заряды из состава КЭП. Большее количество эпоксидной смолы в АОС СЭПТ снижает смачиваемость водой поверхности заряда. К недостаткам зарядов из состава СЭПТ можно отнести высокую температуру горения 1 700 К (КЭП – 1 430 К), низкую ( $55 \text{ г/м}^3$ ) по сравнению с зарядами из состава КЭП ( $32 \text{ г/м}^3$ ) пожаротушающую эффективность, а также высокие экономические затраты при производстве шашек СЭПТ, связанные с более сложной технологией изготовления.

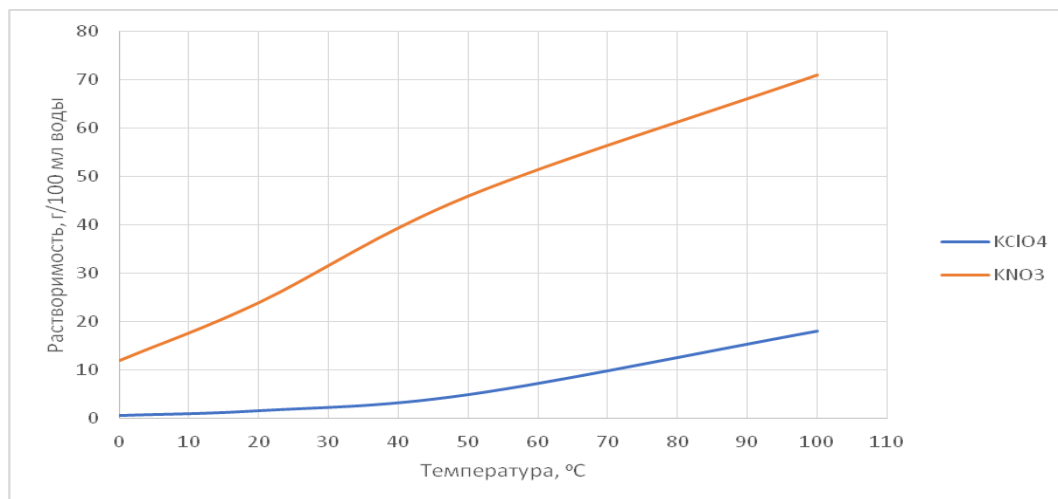


Рис. 1. Влияние температуры на растворимость в воде нитрата и перхлората калия [4]

Получить заряды АОС, стойкие к действию повышенной влажности, можно следующими способами:

- 1) изначальное создание влагостойкого АОС – рецептурный метод;
- 2) создание на поверхности заряда АОС влагоизоляционного покрытия – изменение конструкции заряда физико-химическим методом;
- 3) герметизация заряда соответствующей пленкой – изменение конструкции заряда физическим методом.

В рамках данной работы рассматривается второй способ повышения влагостойкости зарядов АОС.

Основные требования, предъявляемые к лакокрасочному покрытию (ЛКПк), могут быть сформулированы следующим образом:

- ЛКПк должно быть влагостойким;
- ЛКПк должно образовывать тонкую пленку на поверхности заряда и не препятствовать его воспламенению;
- ЛКПк должно обладать хорошей адгезией к поверхности заряда;
- формирование лакокрасочного покрытия должно происходить при комнатной температуре, время высыхания перед нанесением следующего слоя не должно превышать два–три часа;
- стоимость лакокрасочного материала не должна быть слишком высокой.

Из этих соображений для защиты зарядов АОС от воздействия повышенной влажности были выбраны альтернативные варианты: фторопластовый лак ЛФ-32ЛН, фторопласт-эпоксидный лак ЛФЭ-32ЛНХ и кремнийорганическая лаковая композиция КЛК-1 [5, 6].

Кроме того, стоит отметить, что наличие лакового покрытия не должно оказывать влияния на такой важный параметр зарядов АОС, как скорость горения.

За основу для проведения испытания зарядов АОС на воздействие повышенной влажности взята методика, изложенная в ГОСТ РВ 20.57.306–98 [7], которая предполагает непрерывное циклическое воздействие температуры и влажности на исследуемые образцы в течение 10 сут. Критерием оценки стойкости зарядов АОС к действию повышенной влажности является потеря массы за счет выщелачивания единственного растворимого в воде компонента АОС – окислителя.

Для эксперимента использовались цилиндрические без внутреннего канала заряды из состава КЭП и СЭПТ диаметром 20 мм и высотой 20 мм. Критерием отбора зарядов АОС для эксперимента являлась плотность, которая для шашек из состава КЭП составляет  $1,62 \pm 0,01$  г/см<sup>3</sup>, для шашек из состава СЭПТ –  $1,83 \pm 0,02$  г/см<sup>3</sup>. В первом случае плотность ниже на 0,2 г/см<sup>3</sup>, что может повлечь более высокое поглощение влаги зарядами из состава КЭП.

Вышеупомянутые лакокрасочные материалы могут быть нанесены поливом, окунанием, кистью или пневматическим распылением. Так как некоторые шашки в составе определенных конструкций генераторов огнетушащего аэрозоля имеют сложную геометрическую форму (узкий канал), то нанесение лака кистью и пневматическим распылением не рассматривалось.

Заряды АОС покрывались в три слоя окунанием в лак. Экспериментально установленное время выдержки зарядов в ванне с лаком составляет 10 мин. Сушка каждого слоя лака КЛК-1 – не менее двух часов, лаков ЛФ-32ЛН и ЛФЭ-32ЛНХ – не менее трех часов. Перед проведением климатических испытаний лакированные заряды выдерживались при нормальных климатических условиях в течение 10 сут при температуре  $(22 \pm 3)$  °С и относительной влажности воздуха не более 80 % в соответствии с ГОСТ 9.401–91 [8].

Лакированные заряды АОС взвешивались, и рассчитывалось количество лака на единицу поверхности (табл. 1).

Таблица 1. Количество лака на единицу поверхности

Лак	Количество на ед. поверхности
КЛК-1	$7,8 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^2$
ЛФ-32ЛН	$5,9 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^2$
ЛФЭ-32ЛНХ	$6,7 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^2$

Полученные данные могут косвенно свидетельствовать о толщине лаковых покрытий.

Для проведения климатических испытаний использовалась камера тепла и холода КТХ-74-65/165 с принудительной циркуляцией нагреваемого воздуха.

Экспериментальные образцы зарядов КЭП и СЭПТ помещались в эксикатор с насыщенным раствором сульфата калия, с помощью которого создавалась относительная влажность 96 % и подвергались циклическому воздействию температуры в камере тепла и холода. Продолжительность одного цикла составляла 24 ч.

На первом этапе температура в камере повышалась до  $+40 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение трех часов, относительная влажность воздуха в эксикаторе изменялась от 97 % до 96 %. При температуре  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха 96 % образцы выдерживались в течение 12 ч, затем шел процесс охлаждения до температуры  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение четырех часов и пятичасовая выдержка при этой температуре и относительной влажности воздуха 97 %. Общая продолжительность испытания составила 10 циклов (240 ч).

По истечению 10 циклов образцы были изъяты из КТХ и эксикатора, взвешивались на аналитических весах, выдерживались при нормальных климатических условиях в течение 24 ч и снова взвешивались. После этого они подвергались термостатированию в сушильном шкафу при температуре  $89 \text{ }^\circ\text{C}$  до постоянной массы. Термостатированные образцы взвешивались, и рассчитывался процент потери массы заряда по формуле:

$$\Delta m = \frac{m_3 - m_{\text{ПК}}}{m_0} \cdot 100\% ,$$

где  $\Delta m$  – потеря массы, %;  $m_0$  – начальная масса заряда, г;  $m_{\text{ПК}}$  – масса лакированного заряда, г;  $m_3$  – масса заряда после сушки, г.

Изменение массы зарядов относительно начальной массы после циклического воздействия температуры и влажности и выдержки в течение 24 ч при нормальных климатических условиях представлено в табл. 2.

Таблица 2. Процент изменения массы зарядов АОС

Заряд + лак	После 10 циклов воздействия температуры и влажности	После 24 часов при н.к.у.
КЭП + КЛК-1	+2,26 %	+1,32 %
КЭП + ЛФ-32ЛН	+2,43 %	+1,52 %
КЭП + ЛФЭ-32ЛНХ	+1,65 %	+1,27 %
КЭП	+0,89 %	-1,69 %
СЭПТ	+0,42 %	+0,29 %

Полученные данные можно объяснить следующим образом. Влага воздуха адсорбируется на поверхности и в порах зарядов АОС, что приводит к увеличению массы последних. Так как в составе СЭПТ содержание эпоксидной смолы выше, то вода будет смачивать поверхность шашек и пор меньше. Следовательно, масса зарядов из состава СЭПТ увеличиться незначительно (+0,42 %).

После завершения температурно-влажностного воздействия на дне чашки Петри, в которой находились нелакированные заряды КЭП, были зафиксированы следы окислителя,

то есть выщелачивание окислителя начинало происходить во время проведения эксперимента.

Наличие лака на поверхности образцов препятствует выщелачиванию окислителя в процессе термоциклирования при повышенной влажности. Влага может проникать через дефекты лакового покрытия. Особенно уязвимым местом в данном случае являются грани шашки между боковой поверхностью и торцом, где толщина ЛКПк может быть значительно ниже, чем на поверхности. Это подтверждается наличием высолов нитрата калия на гранях после термостатирования образцов, прошедших испытание.

На рис. 2 представлена потеря массы лакированными зарядами из состава КЭП и нелакированными зарядами из состава КЭП и СЭПТ, подвергавшимся циклическому воздействию температуры и повышенной влажности в течение 240 ч, после термостатирования при температуре 89 °С.

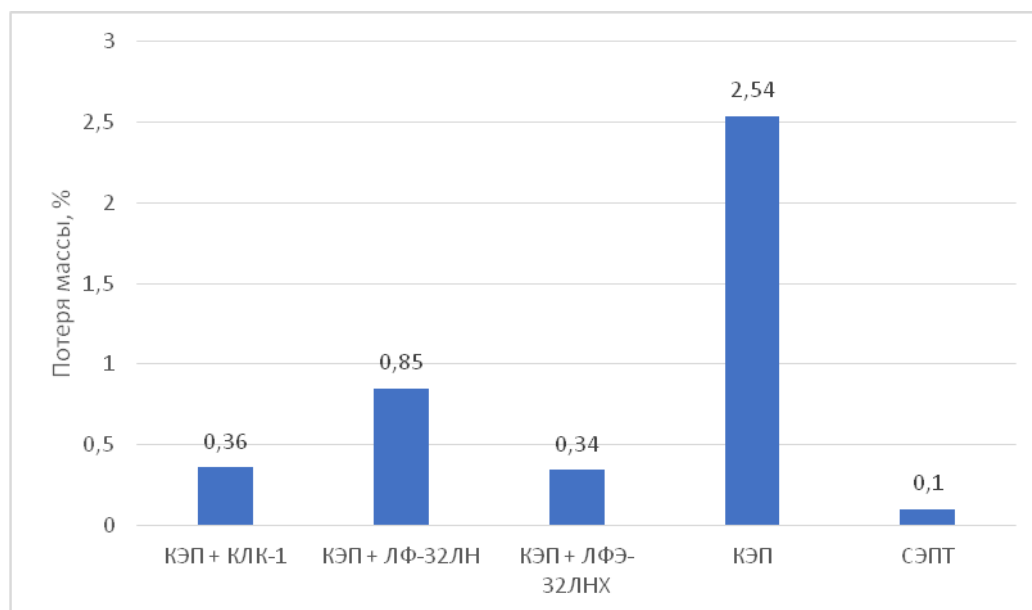


Рис. 2. Потеря массы образцами после термостатирования при температуре 89 °С

Из рис. 2 видно, что при использовании кремнийорганической лаковой композиции КЛК-1 и фторопласт-эпоксидного лака ЛФЭ-32ЛНХ для защиты зарядов из состава КЭП удастся снизить потери окислителя (нитрата калия) в семь раз с 2,54 % до 0,34 % (0,36 % для лака ЛФЭ-32ЛНХ).

После термостатирования образцов из состава КЭП, покрытых лаком ЛФ-32ЛН, наблюдается отслаивание ЛКПк за счет низкой адгезии фторопластового лака и образования под пленкой высолов калийной селитры.

Внешний вид образцов изменился; на гранях между боковой поверхностью и торцом лакированных зарядов зафиксированы незначительные следы нитрата калия.

Как было отмечено выше, одной из важных характеристик зарядов АОС является скорость горения. В данном случае этот параметр определяется по методике, предложенной производителем зарядов, которая изложена в технических условиях [1, 2].

Перед тем, как подвергнуть заряды АОС воздействию повышенной влажности, из каждой группы были отобраны по два образца и определена их скорость горения. Для образцов, подвергавшихся воздействию повышенной влажности с последующим термостатированием, также определялась скорость горения по соответствующей методике. Результаты представлены в табл. 3 и на рис. 3.

Таблица 3. Скорость горения лакированных и нелакированных зарядов АОС до воздействия повышенной влажности

Заряд + лак	Скорость горения зарядов до температурно-влажностного воздействия, мм/с	Скорость горения зарядов после температурно-влажностного воздействия, мм/с
КЭП + КЛК-1	1,86	1,94
КЭП + ЛФ-32ЛН	1,83	2,04
КЭП + ЛФЭ-32ЛНХ	1,80	1,99
КЭП	1,97	1,94
СЭПТ	0,89	1,48

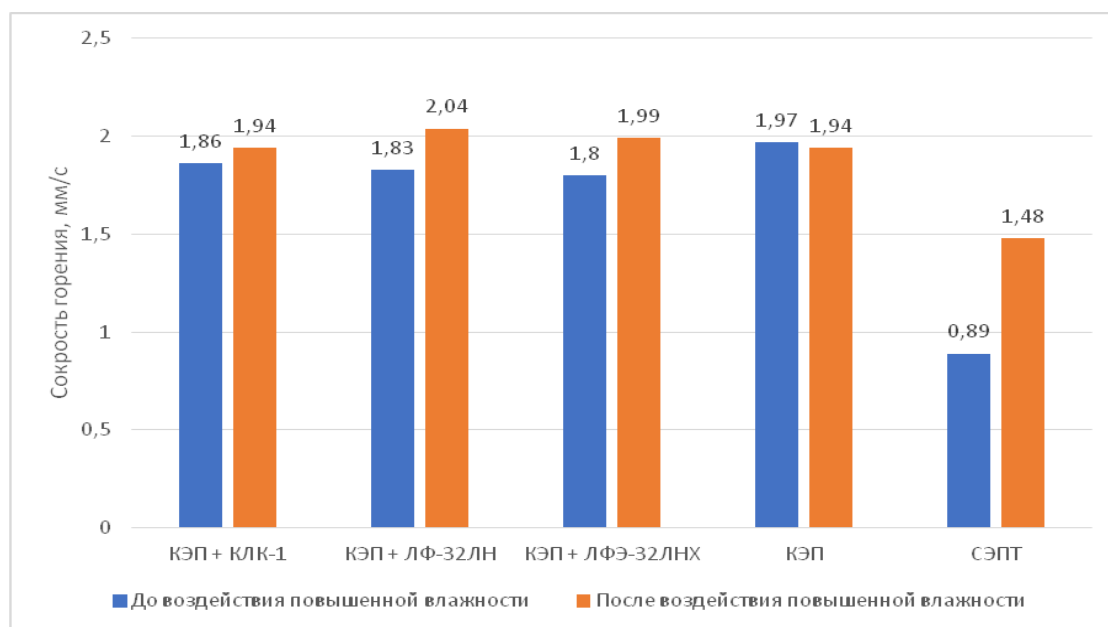


Рис. 3. Скорость горения зарядов АОС до и после температурно-влажностного воздействия

По результатам проведенной работы могут быть сделаны следующие выводы:

1. На основании экспериментальных данных подтверждено, что заряды из АОС СЭПТ менее подвержены воздействию повышенной влажности (что характерно для условий, создаваемых на объектах транспорта), чем заряды из состава КЭП.

2. Использование трехслойного лакового покрытия КЛК-1 и ЛФЭ-32ЛНХ позволяет снизить потерю массы зарядов из состава КЭП в семь раз. Более предпочтительным является использование кремнийорганической лаковой композиции КЛК-1, так как применение фторопласт-эпоксидного лака для зарядов, имеющих внутренний канал, связано с высокими экономическими затратами, так как время жизни лака с введенным отвердителем составляет не более 24 ч.

3. Наличие лакового покрытия не оказывает значительного влияния на скорость горения зарядов из состава КЭП. Однако стоит отметить, что для зарядов из состава СЭПТ после термоциклирования при повышенной влажности с последующим термостатированием характерно увеличение скорости горения в 1,7 раза. Данное явление может привести к нестабильности работы генератора огнетушащего аэрозоля.

### Литература

1. Родионов В.А., Крауклиш И.В., Родионов И.Ю. Исследование взаимосвязи огнетушащей эффективности различных аэрозолей с их физико-химическими характеристиками // Проблемы управления рисками в техносфере. 2011. № 3 (19). С. 46–50.

2. ТУ 4854-006-69229756-2013. Шашки из аэрозолеобразующего состава КЭП. Технические условия (введ. июнь 2013 г.). СПб.: ООО «Огнетушащие Составы», 2013. 13 с.
3. ТУ 4854-028-69229756-2016. Шашки из аэрозолеобразующего состава СЭПТ-2. Технические условия (введ. нояб. 2016 г.). СПб.: ООО «Огнетушащие Составы», 2016. 14 с.
4. Шидловский А.А. Основы пиротехники. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1973. 320 с.
5. Влагозащитные лаки. Кремнийорганические лаковые композиции (КЛК) // Гамма Ресурс. URL: <http://gamma-resurs.ru/produktsiya/vlagozashchitnye-laki-klk> (дата обращения: 03.06.2017).
6. Николаев В., Мыслевский И. Новые отечественные лаковые композиции марок АЛК-1 и КЛК-1 для влагозащиты электронных модулей // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 3. С. 82–83.
7. ГОСТ РВ 20.57.306–98. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Методы испытаний на воздействие климатических факторов. М.: Стандартиформ, 2015. 26 с.
8. ГОСТ 9.401–91. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов. М.: Стандартиформ, 2007. 103 с.

### References

1. Rodionov V.A., Krauklish I.V., Rodionov I.Yu. Issledovanie vzaimosvyazi ognetushashchej ehffektivnosti razlichnyh aehrozolej s ih fiziko-himicheskimi harakteristikami // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2011. № 3. S. 46–50.
2. ТУ 4854-006-69229756-2013. Шашки из аэрозолеобразующего состава КЭП. Технические условия (введ. июнь 2013 г.). СПб.: ООО «Огнетушащие Составы», 2013. 13 с.
3. ТУ 4854-028-69229756-2016. Шашки из аэрозолеобразующего состава СЭПТ-2. Технические условия (введ. нояб. 2016 г.). СПб.: ООО «Огнетушащие Составы», 2016. 14 с.
4. Шидловский А.А. Основы пиротехники. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1973. 320 с.
5. Влагозащитные лаки. Кремнийорганические лаковые композиции (КЛК) // Гамма Ресурс. URL: <http://gamma-resurs.ru/produktsiya/vlagozashchitnye-laki-klk> (дата обращения: 03.06.2017).
6. Николаев В., Мыслевский И. Новые отечественные лаковые композиции марок АЛК-1 и КЛК-1 для влагозащиты электронных модулей // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 3. С. 82–83.
7. ГОСТ РВ 20.57.306–98. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Методы испытаний на воздействие климатических факторов. М.: Стандартиформ, 2015. 26 с.
8. ГОСТ 9.401–91. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов. М.: Стандартиформ, 2007. 103 с.