

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОТВЕРДЕВШЕГО КОМПАУНДА В ЗАДАЧАХ ЗАЛИВКИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

**А.Г. Коробейников**, д-р техн. наук, профессор

**Н.В. Пенюгалова**, магистрант

**Я.В. Груничева**, магистрант

**Д.В. Керенков**, магистрант

**Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики**  
(Россия, г. Санкт-Петербург)

***Аннотация.** Разработка и изготовление аналоговой, цифровой и смешанной высоконадёжной вычислительной техники требует повышения качества на всех этапах производства. Данная работа посвящена исследованию и совершенствованию технологии заливки компаундом элементов высоковольтной техники, работающей в составе высоконадёжных изделий приборостроения.*

Объектом исследования является режимы заливки компаунда типа 10-200.

Целью исследования является повышение качества производства и анализа причин отказов, улучшения качества заливки компаунда, применяемого для заливки высоковольтной аппаратуры. Задачи работы: выявление причин и методов снижения образования пузырей в процессе полимеризации или при климатических испытаниях. В ходе исследований определены наилучшие технологические режимы заливки и отверждения компаунда 10-200.

***Ключевые слова:** заливка, компаунд, токопроводящие элементы, высоковольтная аппаратура, защита от влаги, процесс отверждения, вакуумирование, ускорители, сборочная единица, остаточное давление, прочность, растяжение компаунда.*

На сегодняшний день для многих производителей электроники важен вопрос качества заливки высоковольтных источников питания. Для заливки высоковольтных источников питания используются компаунды. Компаунды – это наполненные или ненаполненные полимерные материалы, предназначенные для заливки или пропитки элементов и узлов электроаппаратуры и радиоаппаратуры. В зависимости от типа аппаратуры компаунды выполняют различные функции – воспринимают механические нагрузки, играют роль диэлектрика, объединяют элементы конструк-

ции в одно целое, защищают конструкции от влаги и т.д.

### **Предмет и методы исследования**

Особенностями разрабатываемой на предприятиях высоковольтной аппаратуры являются малые габаритные размеры и минимальные зазоры: порядка 1,5-2 мм - между токопроводящими элементами конструкции [1], порядка 1 мм – между радиоэлементами, на изображении (Рис.1) приведён пример высоковольтного изделия. Потенциал между токоведущими элементами – до 15 кВ.



Рис. 1. Высоковольтный источник питания, вид сверху.

Анализ качества заливки высоковольтных источников питания компаундом обычно производится при помощи:

- математического моделирования [2-7];
- обработки результатов реальных экспериментов по заливке.

В данной работе, для решения задач улучшения качества заливки, повыше-

ние качества производства и анализа причин отказов было проведено исследование компаунда типа 10-200, применяемого для заливки высоковольтной аппаратуры (ОСТ 4ГО.029.206 [8], ОСТ 4ГО.054.213 [9]). Компаунд играет роль диэлектрика, объединяет элементы конструкции в одно целое, защищает от влаги. В таблице 1, приведен состав компаунда типа 10-200.

Таблица 1. Состав компаунда типа 10-200

Состав компаунда 10-200	ГОСТ(ТУ)	Вес.ч.
Продукт 10-000 [10]	ТУ 84-566-75	100
Эпихлоргидрин	ГОСТ 12844-74	1,5
Диметилбензиламин	ТУ 6-09-2974-78	1,1

Компаунд должен обеспечивать полноту заполнения объема вокруг элементов без воздушных пузырьков, полостей, что является необходимым условием высокого сопротивления изоляции [11] и исключает возможность пробоя, при высоком напряжении, и выхода аппаратуры из строя.

При работе с компаундом 10-200 был обнаружен ряд недостатков. Вследствие длительного вакуумирования из компа-

унда улетучивались ускорители затвердевания – эпихлоргидрин [12] и диметилбензиламин [13]. Процесс отверждения замедлялся и по режимам ОСТ 4ГО.054.213 компаунд не отверждался с достаточной скоростью, что явилось причиной вздутий в процессе полимеризации или при климатических испытаниях. На изображении (Рис. 2) представлен подготовленный для заливки компаунд.

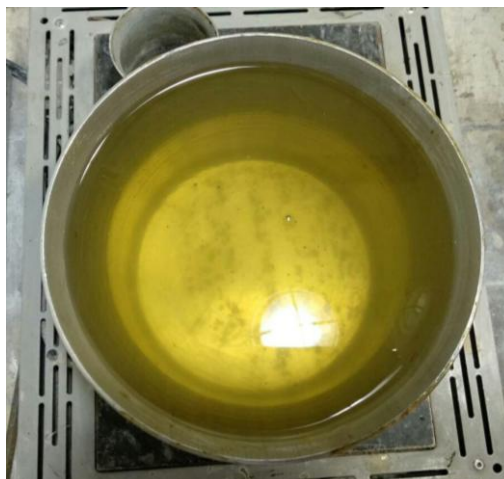


Рис. 2. Подготовленный для заливки компаунд типа 10-200

### Устранение недостатков при заливке компаунда

Путём испытаний были выявлены режимы, при которых образование воздушных пузырьков, в отверждённом компаунде, было снижено до допустимого уровня.

Недостатки были устранены, при следующих режимах заливки:

Вакуумирование компаунда 0-15мин;

Вакуумирование сборочной единицы 30-40мин;

Заливка сборочной единицы компаундом 5-10 мин;

Вакуумирование компаунда, залитого в корпус сборочной единицы

Остаточное давление при заливке 0,2-0,26 МПа;

Температура 70°C (343К);

Общее время приготовления компаунда при остаточном давлении не более 40-45 мин (во избежание улетучивания ускорителей). Заливка производилась в нормальных условиях, на изображении (Рис. 3) приведен пример.



Рис. 3. Заливка высоковольтного источника питания

Необходимое качество заливки достигается также при отверждении компаунда при режимах: 1) температура  $60 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $335 \pm 5\text{K}$ ) [14] и давление 0,2-0,22 МПа в течение 17-24 ч.; 2) темпе-

ратуре  $18-25^\circ\text{C}$  ( $291-298\text{K}$ ) и нормальном давлении в течение 10 суток.

В таблице 2 приведены типовые дефекты при работе с компаундами.

Таблица 2. Типовые дефекты при работе с компаундами и способы их устранения

Виды дефектов	Типовые дефекты при работе с компаундами и способы их устранения	Наличие влаги в подложке	Неправильное соотношение смешивания компонентов	Не завершена дегазация залитого компаунда
Описание дефекта	Техпроцесс настроен правильно	Наличие влаги в подложке	Неправильное соотношение смешивания компонентов	Не завершена дегазация залитого компаунда
Решение проблемы	-	Тщательно просушить изделие перед заливкой	Выдерживать заданное соотношение основы и отвердителя [15]	Для лучшей дегазации использовать вакуумную камеру

### Физико-химические свойства компаунда показали следующее

1. Прочность при растяжении компаунда:

- отвержденного под давлением, составляет  $127,53 \cdot 10^4$  Па (13 кгс/см<sup>2</sup>),
- отвержденного при нормальном давлении  $245,25 \cdot 10^4$  Па (25 кгс/см<sup>2</sup>).

2. Отверждение компаунда происходит полнее при нормальном давлении,

его механическая прочность в два раза выше, чем при отверждении под давлением.

Ранее исследованные результаты диэлектрических параметров компаунда типа 10-200 представлены в таблице 3. Верхняя строка-компаунд полимеризованный под давлением, нижняя-полимеризованный при нормальном давлении.

Таблица 3. Диэлектрическая характеристика компаунда 10-200

Параметр	В исходном состоянии	После климатических условий		
		Циклическим воздействием температуры - 60-60 <sup>0</sup> С	Воздействием относительной влажности 95+3% при температуре 40 <sup>0</sup> С в течение 56суток	Повышенной предельной температурой среды (60 <sup>0</sup> С в течение 3000ч)
Удельное объемное сопротивление, МОм*см	4,5 *10 <sup>7</sup>	3,5 *10 <sup>7</sup>	10 *10 <sup>3</sup>	10*10 <sup>6</sup>
	3,5 *10 <sup>7</sup>	2,2 *10 <sup>7</sup>	2 *10 <sup>5</sup>	5 *10 <sup>7</sup>
Диэлектрическая проницаемость при радиочастоте 10 <sup>6</sup> Гц	7,5-8	7,5-8	7,5-8	3,8-4
	7,5-8	7,5-8	7,5-8	3,5-3,6
Тангенс угла диэлектрических потерь 10 <sup>-4</sup>	100-110	100-110	160-170	280
	100-110	100-110	120-125	100
Электрическая прочность кВ/мм	22	22	20	22
	22	22	20	22

При длительном воздействии относительной влажности удельное сопротивление компаунда уменьшается на несколько порядков и составляет для компаунда, отвержденного под давлением, величину в 50 раз меньшую, чем для компаунда, отвержденного при нормальном давлении. Тангенс угла диэлектрических потерь компаунда, отвержденного под давлением, в 1.5 раза повышается, а отвержденного при нормальном давлении не меняется. Диэлектрическая проницаемость и электрическая прочность компаунда неизменны и от режима отверждения не зависят.

#### **Выводы:**

Компаунд типа 10-200 независимо от режима отверждения имеет высокие диэлектрические свойства. Компаунд, отвержденный под давлением, в большей степени подвержен влиянию климатических факторов, но как показала практика, это не сказывается на работоспособности изделия. Высокая прозрачность компаунда, позволяет обеспечить визуальный контроль качества заливки и упрощает анализ причин отказов аппаратуры. Оба режима отверждения признаны годными.

#### **Библиографический список**

1. *Кофанов Ю. Н.* Теоретические основы конструирования технологии и надежности РЭС // М.: Радио и связь, 2001. – 360 с.
2. *Коробейников А.Г.* Разработка и анализ математических моделей с использованием MATLAB и Maple. Учебное пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. 144 с.
3. *Коробейников А.Г.* Проектирование и исследование математических моделей в средах MATLAB и Maple. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2012. – 160 с.
4. *Гатчин Ю.А., Коробейников А.Г.* Проектирование интегрированных автоматизированных технологических комплексов. – СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2000. – 171 с.
5. *Гришенцев А.Ю., Гурьянов А.В., Кузнецова О.В., Шукалов А.В., Коробейников А.Г.* Математическое обеспечение в системах автоматизированного проектирования. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 88 с.
6. *Коробейников А.Г., Гришенцев А.Ю.* Разработка и исследование многомерных математических моделей с использованием систем компьютерной алгебры. – СПб: НИУ ИТМО, 2014. – 100 с.  
[https://elibrary.ru/download/elibrary\\_26121279\\_54604165.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_26121279_54604165.pdf)
7. *Гурьянов А.В., Коробейников А.Г., Федосовский М.Е., Шукалов А.В., Жаринов И.О.* Автоматизация проектирования сложных технических комплексов на основе теории категорий // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2017. № 3-4 (105-106). С. 9-16.
8. *ОСТ 4ГО.029.206* Материалы полимерные для герметизации изделий радиоэлектронной аппаратуры. Основные свойства и применение. Редакция 1-78, 1980. - 158 с.
9. *ОСТ 4ГО.054.213* Герметизация изделий радиоэлектронной аппаратуры полимерными материалами. Типовые технологические процессы, 1977. - 285 с.
10. *Продукт 10-000*, ТУ 84-566-75, 1976. – 53 с.
11. *Достанко А.П., Пикуль М.И., Хмыль А.А.* Технология производства ЭВМ // Мн.: Высшая школа, 2004. – 260 с.
12. *Эпихлоргидрин ГОСТ 12844-74*, М. И. Горель, В. Ф. Илюшина, Л. И. Киссина, 1975. – 18 с.
13. *Диметилбензиламин*, ТУ 6-09-2974-78, - 45 с.
14. *Глудкин О.П.* Методы и устройства испытания РЭС и ЭВС. - М.: Высш. Школа., 2001. - 335 с.
15. *Достанко А. П., Ланин В. Л., Хмыль А. А., Ануфриев Л.П.* Технология радиоэлектронных устройств и автоматизация производства: Учебник // Мн.: Высш. шк., 2002. – 416 с.

---

**INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF CURED COMPOUND IN THE FILLING PROBLEMS OF HIGH-VOLTAGE SOURCE OF NUTRITION**

**A.G. Korobeynikov**, *doctor of technical sciences, professor*

**N.V. Penyugalova**, *graduate student*

**Ya.V. Grunicheva**, *graduate student*

**D.V. Kerenkov**, *graduate student*

**St. Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics**

**(Russia, Saint Petersburg)**

**Abstract.** *Development and production of analog, digital and mixed high-reliability computing equipment requires improvement of quality at all stages of production. This work is devoted to research and improvement of technology of filling with a compound of elements of high-voltage equipment working as a part of highly reliable products of instrument-making.*

*The object of the study is the modes of filling compound type 10-200.*

*The aim of the study is to improve the quality of production and analysis of the causes of failures, improve the quality of filling compound used for filling high-voltage equipment. Objectives: to identify the causes and methods of reducing the formation of bubbles during polymerization or climatic tests. In the course of researches the best technological modes of filling and curing of compound 10-200 are determined.*

**Keywords:** *pouring, compound, conductive elements, high-voltage equipment, protection against moisture, curing process, vacuuming, accelerators, Assembly unit, residual pressure, strength, stretching compound.*