

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАНЕТАРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СМЕШИВАНИЯ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ ЗАЛИВОЧНЫХ КОМПАУНДОВ И ГЕРМЕТИКОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОДУКЦИИ

В. В. Беляев, О. В. Орлова

В контексте обусловленной временем тенденции, направленной на импортозамещение, с учетом накопленного практического опыта, применительно к допустимым рамкам действующей конструкторской документации, рассмотрена возможность и показаны целесообразность и перспективность перехода от преимущественно ручного (нивелирование влияния человеческого фактора и условий внешней среды) к машинному (на базе отечественных планетарных смесителей) гомогенному смешиванию компонентов заливочных компаундов и герметиков, используемых при герметизации электронных изделий специального назначения.

Ключевые слова: заливочные компаунды и герметики, гомогенное смешивание, ручной труд, человеческий фактор, планетарные смесители, герметизация электронной продукции.

Усиливающееся внешнее санкционное давление, прекращение поставок зарубежных материалов и комплектующих, обуславливающее необходимость их замещения производимыми в стране аналогами, требуют расширения номенклатуры соответствующих российских производств и дальнейшей модернизации технологических процессов, обеспечивающих на основе инновационных решений качественный рост изготовления отечественной электронной продукции специального назначения.

В Госкорпорации «Роскосмос» (в состав которой входит АО «Корпорация «ВНИИЭМ») обозначено смещение текущих акцентов в сторону индустриальной модели производства космических аппаратов на принципах унификации и стандартизации, развития российской электронной компонентной базы и независимого космического приборостроения [1].

На современном этапе научно-технического развития герметизация элементов конструкций, агрегатов и узлов изделий специальной электронной техники является необходимым условием для обеспечения ее текущей работоспособности и длительного ресурса при эксплуатации, в том числе в меняющихся условиях окружающей среды.

Используемые для герметизации отечественные заливочные компаунды и герметики, многие из которых неоднократно проверены, одобрены для применения и зарекомендовали себя на практике, предусматривают их предварительное приготовление, технология которого строго регламентируется технической документацией.

Так, к примеру, приготовление компаунда эпоксидного облегченного, имеющего широкое применение, включает в себя: подготовку наполнителей (микроффер, аэросила и нитрида бора гексагонально-

го) для придания компаунду дополнительных свойств; введение в каждую навеску модифицированной эпоксидной смолы СЭДМ-2 или СЭДМ-6, нагретой до установленного интервала температур (60 ± 5 °С) ранее подготовленных наполнителей; смешивание всех компонентов до образования однородной массы; введение (посредством опять-таки смешивания) в полученную композицию (из смолы и наполнителей) отвердителя Л-20.

При приготовлении герметика Виксинт У-4-21 смешиваются до однородной по составу массы два компонента, один из которых содержит низкомолекулярный каучук (паста У-4), второй – катализатор № 21 холодного отверждения для сшивки полимерных цепей.

Приготовление теплопроводного герметика на основе синтетического каучука термостойкого низкомолекулярного (СКТН), в зависимости от установленной рецептуры, предусматривает его смешивание до однородной массы с наполнителем (нитридом бора гексагональным или нитридом кремния), разбавителем ПМС-50 и катализатором № 18.

По причине специфики осуществляемых технологических операций, а также по большей части токсичности используемых веществ заливка и герметизация осуществляются в обособленных помещениях, что установлено нормативными документами, на специально выделяемом для этих целей производственном участке. Особенность такого участка, сохраняющаяся до настоящего времени, – выполнение операций приготовления компаундов и герметиков преимущественно вручную, а потому неизбежная зависимость их качественных параметров (совокупности свойств в соответствии с назначением) от человеческого фактора [2 – 8].

Как показывает практика, при ручном способе выполнения операций сохраняется возможность (присутствуют риски):

- нарушения температурных режимов, пропорций смешивания компонентов и однородности (гомогенности) полученной смеси, что ведет к неравномерному или частичному отверждению (в некоторых случаях полимеризация материала оказывается вообще невозможной);

- несоответствия конечных свойств герметизирующего материала требуемым эксплуатационным характеристикам (адгезия, прочность, твердость, эластичность, теплопроводность);

- попадания в подготовленную смесь значительного количества влаги и воздуха, которые, оставаясь в полимеризованном материале, в дальнейшем могут привести к отказам при эксплуатации оборудования [2, 5, 6].

Возможные дефекты заливки и герметизации даже при налаженном техническом контроле трудно обнаружить, а в случае обнаружения крайне сложно и трудоемко или невозможно устранить [2, 6].

Повышение качества заливки и герметизации связывается с механизацией и автоматизацией и в перспективе с роботизацией соответствующих технологических процессов [2 – 4, 6 – 11]. Важным шагом на этом пути является переход от трудоемкого ручного (длительностью обычно от 5 до 60 мин) к машинному способу смешивания (использованию технических средств смешивания компонентов компаундов и герметиков), тем более что механическое смешивание действующими инструкциями допускается и к сегодняшнему времени для отечественной практики находится в области технической реализуемости.

Смешивание, понимаемое как процесс равномерного распределения отдельных компонентов во всем объеме смеси под действием внешних сил, широко используется во многих отраслях современного хозяйства. При этом основным принципом, реализуемым при механическом смешивании, является доминирование (приоритет) установленных технологических требований, предъявляемых к свойствам получаемой смеси, над возможностями их технического достижения (движение от технологии – к технике, а не от техники – к технологии) [3, 4].

Технические сложности использования механического смешивания, осуществляемого при приготовлении компаундов и герметиков, обуславливаются количеством (два и более), пропорциями и исходными параметрами (физико-химическими характеристиками) смешиваемых компонентов, к основным из которых относят: соотношение ком-

понентов смеси; различия в вязкости компонентов; плотность каждого компонента; взаимную растворимость компонентов; химическую стабильность и агрессивность; абразивность (наличие наполнителей с относительно крупными частицами и высокой твердостью) [11].

Так, в процессе приготовления упомянутого компаунда эпоксидного облегченного смешиваются пять компонентов в следующих пропорциях: смола СЭДМ-2 (СЭДМ-6) – 100 вес. ч., микросферы – 14 – 18, аэросил – 4, нитрид бора – 3, смола Л-20 – 50 (40) вес. ч. При этом отметим, что смола СЭДМ-2 (СЭДМ-6) и смола Л-20 по вязкости в разы различаются между собой.

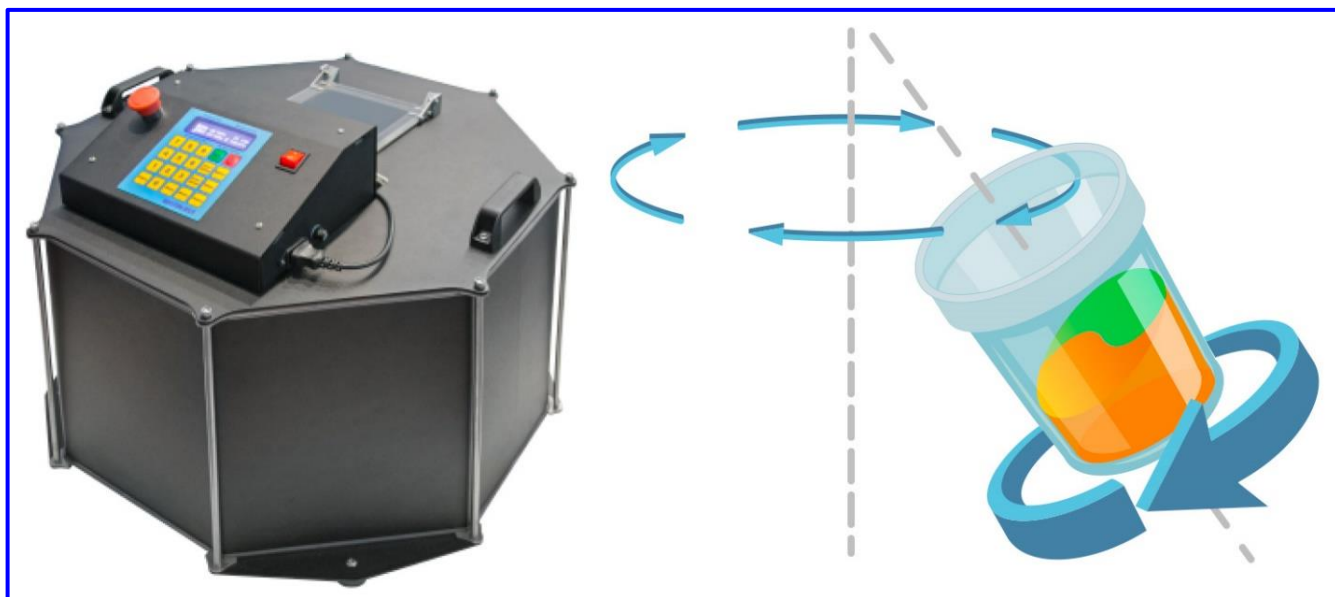
При приготовлении герметика Виксинт У-4-21 смешиваются два компонента в соотношении: паста У-4 (основа) – 100 масс. ч. и катализатор № 21 – 1,5 – 2,5 масс. ч.

Приготовление теплопроводного герметика на основе СКТН предусматривает смешивание четырех компонентов: СКТН – 100 вес. ч., нитрида бора – 50, разбавителя ПМС-50 – 50 и катализатора № 18 – 1,0 – 2,5 вес. ч.

В каждом приведенном случае соотношение смешивания (масса одного компонента смеси по отношению к массе всех остальных компонентов), составляющее 100:2, 100:3 и 100:0,5, существенно отличается от его наиболее популярных значений (1:1 и 10:1 по массе), при которых считается возможным получить качественную смесь ручным способом, а потому для гомогенного смешивания требует использования специального технологического оборудования [11].

На возможность внедрения и целесообразность использования технических средств (что немало важно) оказывают влияние их стоимостные характеристики (единовременные капитальные вложения и текущие эксплуатационные расходы). Влияют также требуемые объемы приготовления компаундов и герметиков [2]. При опытном и мелкосерийном производстве затраты, связанные с использованием средств механизации и автоматизации, покрываются за счет повышения качества конечной продукции.

Наряду с технико-технологическими, экономическими и организационно-производственными заслуживают внимания факторы и условия, сопутствующие внедрению специального технологического оборудования: доступность сервисного обслуживания и технической поддержки, обеспеченность запасными частями (прежде всего, отечественного производства), сложившиеся и требуемые компетенции работников.



Внешний вид и оси вращения центрифуги планетарного смесителя

В мировой практике машинное смешивание находит все большее распространение. Среди предлагаемых и используемых технических решений применительно к электронному производству выделяется планетарная технология смешивания [3, 5, 10].

Схема планетарного смешивания

Принцип работы смесителя (рисунок) заключается в следующем. Цилиндрическая емкость помещается в планетарную центрифугу и под воздействием центробежных сил, возникающих при вращении емкости вокруг своей оси, а также при одновременном вращении емкости вокруг вертикальной оси центрифуги, осуществляется постепенное перемешивание компонентов, содержащихся в емкости.

До недавнего времени на российском рынке присутствовали (предлагались) планетарные смесители зарубежных (в том числе недружественных стран – Германии, Японии, Испании [5, 6]) и отечественных производителей. При этом иностранные смесители требовали адаптации к российским условиям их эксплуатации.

Неоспоримым преимуществом отечественных технических решений и разработок в рассматриваемой области заключается в том, что они изначально осуществлялись и продолжают осуществляться применительно к особенностям состава и технологии приготовления отечественных заливочных компаундов и герметиков.

При выборе специального технологического оборудования, предназначенного для смешивания, ориентиром может служить планетарный смеситель (см. рис.) линии «БИ-МИКС» по смешиванию

и заливке герметиков, клеев и компаундов Научно-технической фирмы «Техно-Альянс Электроникс», замещающей импортное оборудование, имеющий исходные (выделяющие его) особенности и определенные заявленные характеристики.

Смеситель позиционируется как:

- полностью российская разработка, выполненная с учетом недостатков имеющихся зарубежных решений;

- универсальное эффективное решение для получения гомогенной смеси (без включения пузырьков воздуха) в необходимом объеме (удобными порциями) и повторяемом качестве при приготовлении двух- и многокомпонентных компаундов и герметиков различных типов с любой вязкостью и наполнителями (включая абразивные и теплопроводящие добавки) в пропорции (соотношении смешивания) от 1:1 до 500:1.

Смеситель прост в обращении и обслуживании. Переналаживается с одного компаунда или герметика на другой за несколько минут. Текущее техническое обслуживание сводится к промывке тары. Осваивается без специальной подготовки работников. Предусматривает цифровое программное управление соответственно задаваемым режимам. Оснащен блокирующими устройствами и другими средствами безопасного использования. Дополнительная опция – смешивание под вакуумом.

Процесс заливки и герметизации, включая приготовление компаундов и герметиков, на каждом отдельно взятом предприятии, выпускающем продукцию специального назначения, по-своему уникален [10], а потому при модернизации производства

необходим предварительный технологический аудит с участием представителей непосредственного изготовителя оборудования для установления того, что нужно и реально можно в техническом отношении сделать [7]. Предлагаемое к использованию оборудование требует апробирования (испытания).

Внедрение планетарного способа смешивания строится на принципе эволюционного развития процессов заливки и герметизации и предусматривает плавный переход от существующего физически тяжелого ручного к более совершенному машинному смешиванию без нарушения требований конструкторской документации и технологических процессов. Такой подход, когда устанавливаемое технологическое оборудование по назначению понятно персоналу предприятия, не требует переподготовки работников участка заливки и герметизации, должен сократить время освоения и ввода оборудования в эксплуатацию. При этом изначально существующая технология заливки и герметизации не меняется, а лишь модернизируется в допустимых рамках конструкторской документации.

Заключение

Исходя из изложенного (учитывая при этом сложную международную обстановку и необходимость импортозамещения в сфере выпуска в стране электронной продукции специального назначения), можно сделать следующие выводы:

1. Сдерживающим фактором роста качества (улучшения эксплуатационных характеристик) электронных изделий специального назначения является сохраняющееся масштабное использование ручного труда на ряде важных операций технологического процесса их изготовления. К таким операциям, где присутствие человеческого фактора особенно ощутимо, относится герметизация элементов конструкций и узлов электронных изделий, включая приготовление (смешивание компонентов) заливочных компаундов и герметизирующих материалов.

2. Переход от ручного (с ограниченными возможностями) к машинному способу смешивания компонентов при приготовлении отечественных компаундов и герметиков обуславливается тенденциями поступательного развития современного наукоемкого производства, технологически оправдан и технически реализуем.

3. Планетарная технология смешивания, зарекомендовавшая себя и реализуемая в современных зарубежных и отечественных смесителях, по качественным параметрам получаемой гомогенной смеси и заявленным эксплуатационным характеристикам оборудования может быть использована

при приготовлении заливочных компаундов и герметиков в условиях опытного и мелкосерийного производства.

4. Рассмотренные в статье заливочный компаунд и герметики и входящие в их состав компоненты, а также предлагаемые для смешивания компонентов планетарные смесители на 100 процентов являются продуктами отечественного изготовления, что исключает зависимость процесса приготовления герметизирующих материалов для электронной продукции специального назначения от внешних (импортных) поставок, в том числе из недружественных для российских производителей стран.

Механизация процесса смешивания на основе планетарной технологии может послужить условием (предпосылкой) модернизации других, технологически связанных между собой процессов герметизации, оснащения их техническими средствами в контексте общей стратегии последовательной автоматизации производства.

Литература

1. Интервью генерального директора Госкорпорации «Роскосмос» Юрия Борисова телеканалу «Россия 24» 29 июля 2022 года // Новости авиации и космонавтики : сайт. – URL : www.avia news.info.
2. Еремин А. Новейшие решения в области подготовки компаундов и заливки / А. Еремин // Технологии в электронной промышленности. – 2020. – № 3 (119). – С. 34 – 37.
3. Горбач А. Отечественные решения для радиоэлектронной промышленности: поверхностный монтаж и жгутовое производство / А. Горбач // Технологии в электронной промышленности. – 2019. – № 1 (109). – С. 60–63.
4. Горбач А. Модернизация жгутового производства для изделий специального назначения: итоги 2019 года / А. Горбач // Технологии в электронной промышленности. – 2020. – № 1 (117). – С. 12–15.
5. Землянухина К. Герметизация – современная защита жгутовых сборок / К. Землянухина // Производство электроники. – 2017. – № 4. – С. 104–105.
6. Петров А. Участок заливки и герметизации: назревшая необходимость модернизации / А. Петров // Технологии в электронной промышленности. – 2014. – № 8 (76). – С. 36–38.
7. Сидоров С. Инновационный подход к роботизации производства кабельных сборок и жгутов / С. Сидоров, Д. Полторыхин // Технологии в электронной промышленности. – 2019. – № 1 (109). – С. 64–69.
8. Горбач А. Модернизация жгутовых производств предприятий / А. Горбач, Е. Набокова // Технологии в электронной промышленности. – 2019. – № 7 (115). – С. 52–56.
9. Гладких А. Европейские технологические решения для производства кабельных сборок и жгутов / А. Гладких, Ю. Воложбенский // Технологии в электронной промышленности. – 2020. – № 4 (120). – С. 38–40.

10. Горбач А. Диверсификация трансфера технологий и современного оборудования для опытного и мелкосерийного жгутового производства ОПК России / А. Горбач // Технологии в электронной промышленности. – 2017. – № 6 (98). – С. 6–12.
11. Савельев А. Автоматизация смешивания и дозирования отечественных силиконовых компаундов – миф или реальность? / А. Савельев, Д. Поцелуев // Вектор высоких технологий. – 2021. – № 1 (51). – С. 40–45.

Поступила в редакцию 15.08.2023

Виктор Васильевич Беляев, заместитель начальника – начальник цеха, т. 8 (916) 686-63-46, e-mail: belyaevvv@hq.vniiem.ru.
Ольга Викторовна Орлова, инженер-технолог 1 категории, т. 8 (926) 205-11-15, e-mail: olga2906@list.ru.
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

POSSIBILITIES AND PERSPECTIVES OF APPLICATION OF PLANETARY MIXING TECHNOLOGY DURING THE PREPARATION OF FILLING COMPOUNDS AND SEALANTS IN MANUFACTURING OF ELECTRONIC PRODUCTS

V. V. Belyaev, O.V. Orlova

In the context of the current import substitution trend and taking into account the practical experience, in accordance with the established requirements to design documentation, the possibility, practicability and prospectivity of transfer from the hand (decreasing of human factor and external environment conditions) to machine (on the basis of the domestic planetary mixers) homogeneous mixing of components of the filling compounds and sealants used during the sealing of special purpose electronic products are demonstrated.

Key words: filling compounds and sealants, homogeneous mixing, hand work, human factor, planetary mixers, sealing of electronic products.

References

1. Interview of Yuri Borisov, Director General of State Corporation ‘Roscosmos’, to the channel ‘Russia 24’ dated 29 July 2022 // News of Aeronautics and Space : website. – URL : www.avia news.info.
2. Eremin A. Latest solutions in the area of preparation of compounds and sealing / A. Eremin // Technologies in Electronic Industry – 2020. – No. 3 (119). – P. 34–37.
3. Gorbach A. Domestic solutions for radio-electronic industry: surface mounting and harness manufacturing / A. Gorbach // Technologies in Electronic Industry – 2019. – No. 1 (109). – P. 60–63.
4. Gorbach A. Modernization of harness manufacturing for special purpose products: summary of 2019 year / A. Gorbach // Technologies in Electronic Industry. – 2020. – No. 1 (117). – P. 12–15.
5. Zemlyanukhina K. Sealing – modern protection of the harness assemblies / K. Zemlyanukhina // Manufacturing of Electronic Products. – 2017. – No. 4. – P. 104–105.
6. Petrov A. Pouring and sealing area: long-felt needs for modernization / A. Petrov // Technologies in Electronic Industry. – 2014. – No. 8 (76) – P. 36–18.
7. Sidorov S. Innovative approach to robotization of cable assemblies and harness // S. Sidorov, D. Poltorikhin // Technologies in Electronic Industry – 2019. – No. 1 (109). – P. 64–69.
8. Gorbach A. Modernization of harness manufacturing of enterprises / A. Gorbach, E. Nabokova // Technologies in Electronic Industry. – 2019. – No. 7 (115) – P. 52–56.
9. Gladkikh A. European technological solutions for manufacturing of cable assemblies and harnesses / A. Gladkikh, Yu. Volozhbenskiy // Technologies in Electronic Industry – 2020. – No. 4 (120). – P. 38–40.
10. Gorbach A. Diversification of transfer of technologies and modern equipment for pilot and low-volume harness production of the russian military-industrial complex // Technologies in Electronic Industry – 2017. – No. 6 (98). – P. 6–12.
11. Savelyev A. Automation of mixing and dosing of domestic silicone compounds – myth or reality? / A. Savelyev, D. Potseluev // Vector of High Technologies. – 2021. – No. 1 (51). – P. 40–45.

Viktor Vasilievich Belyaev, Deputy Head – Head of Workshop, t. +7 (916) 686-63-46, e-mail: belyaevvv@hq.vniiem.ru.

Olga Viktorovna Orlova, 1st Category Process Engineer, t. +7 (926) 205-11-15, e-mail: olga2906@list.ru.
(JC «VNIEM Corporation»).