



Институт Кибернетики

Направление подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах»

Кафедра Автоматики и компьютерных систем

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы  |
|--|
| Автоматизация технологических процессов поверхностного монтажа изделий |

УДК 621.791.317.8

Студент

| Группа | ФИО             | Подпись | Дата |
|--------|-----------------|---------|------|
| 8AM41  | Дворникова Т.А. |         |      |

Руководитель

| Должность        | ФИО               | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент каф. АиКС | Гайворонский С.А. | к.т.н.                    |         |      |

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность                  | ФИО              | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------------------|------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент<br>каф. менеджмента | Конотопский В.Ю. | к.э.н.                    |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность       | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент каф. ЭБЖ | Анищенко Ю.В. | к.т.н.                    |         |      |

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Зав. кафедрой    | ФИО         | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент каф. АиКС | Фадеев А.С. | к.т.н.                    |         |      |

## **Планируемые результаты обучения**

**Выпускник должен обладать следующими общекультурными компетенциями (ОК):**

- способностью совершенствовать и развивать интеллектуальный и общекультурный уровень (ОК-1);
- способностью к самостоятельному обучению методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности (ОК-2);
- способностью пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения (ОК-3);
- способностью использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом (ОК-4);
- способностью проявлять инициативу, в том числе в случаях риска, брать на себя всю полноту ответственности (ОК-5);
- готовностью к активному общению с коллегами в научной, производственной и социально-общественной сферах (ОК-6);
- способностью адаптироваться к изменяющимся условиям, оценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности (ОК-7);
- способностью положительно воздействовать на окружающих с точки зрения соблюдения норм и рекомендаций здорового образа жизни (ОК-8);
- готовностью использовать знания правовых и этических норм при анализе последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов (ОК-9).

**Выпускник должен обладать следующими общепрофессиональными компетенциями (ПК):**

- способностью использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры (ПК-1);

– способностью демонстрировать навыки работы в научном коллективе, порождать новые идеи (креативность) (ПК-2);

– способностью понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения (ПК-3);

– способностью самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности (ПК-4);

– способностью к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов (в соответствии с целями магистерской программы) (ПК-5);

– готовностью оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы (ПК-6).

#### **Компетенции по видам деятельности:**

##### **–проектно-конструкторская деятельность:**

– способностью применять современный инструментарий проектирования программно-аппаратных средств для решения задач автоматизации и управления (ПК-7);

– способностью проводить патентные исследования и определять показатели технического уровня проектируемых систем автоматизации и управления (ПК-8);

– способностью выбирать методы и разрабатывать алгоритмы решения задач управления в технических системах (ПК-9);

– способностью ставить задачи проектирования программно-аппаратных средств автоматизации и управления, готовить технические задания на выполнение проектных работ (ПК-10);

– способностью использовать современные технологии обработки информации, современные технические средства управления, вычислительную технику, технологии компьютерных сетей и телекоммуникаций при проектировании систем автоматизации и управления (ПК-11);

– готовностью к аргументированной защите, научно-технических проектов в коллективах разработчиков (ПК-12);

– **проектно-технологическая деятельность:**

– способностью разрабатывать нормативно-техническую документацию на проектируемые аппаратно-программные средства (ПК-13);

– способностью разрабатывать технологии изготовления аппаратных средств с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства (ПК-14);

– способностью разрабатывать и применять современные технологии создания программных комплексов (ПК-15);

– способностью к разработке и использованию испытательных стендов на базе современных средств вычислительной техники и информационных технологий для комплексной отладки, испытаний и сдачи в эксплуатацию систем управления (ПК-16);

– способностью осуществлять регламентные испытания аппаратных и программных средств в лабораторных и производственных условиях (ПК-17);

– готовностью к сопровождению разрабатываемых аппаратных и программных средств, систем и комплексов на этапах проектирования и производства (ПК-18);

– **научно-исследовательская деятельность:**

– способностью формулировать цели, задачи научных исследований, выбирать методы и средства решения задач (ПК-19);

– способностью применять современные теоретические и экспериментальные методы разработки математических моделей исследуемых объектов и процессов, относящихся к профессиональной деятельности по направлению подготовки (ПК-20);

– способностью применять современные методы разработки технического, информационного и алгоритмического обеспечения систем автоматизации и управления (ПК-21);

– способностью к организации и проведению экспериментальных исследований и компьютерного моделирования с применением современных средств и методов (ПК-22);

– способностью анализировать результаты теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения (ПК-23);

**–организационно-управленческая деятельность:**

– способностью организовывать работу коллективов исполнителей (ПК-24);

– готовностью участвовать в поддержании единого информационного пространства планирования и управления предприятием на всех этапах жизненного цикла производимой продукции (ПК-25);

– готовностью участвовать в проведении технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта (ПК-26);

– способностью участвовать в подготовке документации для создания и развития системы менеджмента качества предприятия (ПК-27);

– способностью разрабатывать планы и программы инновационной деятельности в подразделении (ПК-28);

**– научно-педагогическая деятельность:**

– способностью проводить лабораторные и практические занятия со студентами, руководить курсовым проектированием и выполнением выпускных квалификационных работ магистров (ПК-29);

– способностью разрабатывать учебно-методические материалы для студентов по отдельным видам учебных занятий (ПК-30).



Институт Кибернетики  
 Направление подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах»  
 Кафедра Автоматики и компьютерных систем

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_ Фадеев А.С.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

|   |
|---|
| Магистерской диссертации<br><small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small> |
|---|

Студенту:

| Группа | ФИО                           |
|--------|-------------------------------|
| 8АМ41  | Дворниковой Татьяне Андреевне |

Тема работы:

|  |                          |
|--|--------------------------|
| Автоматизация технологических процессов поверхностного монтажа изделий |                          |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                            | № 701/с от 04.02.2016 г. |

|  |            |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 31.05.2016 |
|--|------------|

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Исходные данные к работе:</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• объект исследования – технология поверхностного монтажа;</li> <li>• используемое оборудование:                         <ul style="list-style-type: none"> <li>– автомат дозирования DispenseMate D-585, программное обеспечение Fluidmove;</li> <li>– полуавтомат установки компонентов Expert-FPSA, программное обеспечение Expert-Place;</li> <li>– конвейерная печь конвекционного оплавления ErsasHotflow 3/14, программное обеспечение ErsasSoft.</li> </ul> </li> </ul> |
|----------------------------------|--|

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов:</b></p>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области;</li> <li>• постановка задачи исследования и проектирования;</li> <li>• изучение технологических процессов поверхностного монтажа;</li> <li>• разработка специальной оснастки, программы для дозатора и отработка термопрофиля;</li> <li>• написание технологической инструкции по нанесению паяльной пасты на печатные платы на автомате дозирования DispenseMate D-585;</li> <li>• обсуждение результатов выполненной работы;</li> <li>• заключение по работе.</li> </ul>      |
| <p><b>Перечень графического материала</b><br/><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <p>Слайд 1. Название темы.<br/>Слайд 2. Цель и задачи.<br/>Слайд 3. Технологический цикл поверхностного монтажа.<br/>Слайд 4. Automatic materials dispensing system.<br/>Слайд 5. Semi-automatic installation of components.<br/>Слайд 6. Конвекционная система группового оплавления.<br/>Слайд 7. Исследование этапов поверхностного монтажа на основе экспериментальных данных.<br/>Слайд 8. Анализ технологических факторов, влияющих на качество монтажа изделий.<br/>Слайд 9. Выполнение поверхностного монтажа тестовой платы.<br/>Слайды 10, 11. Алгоритм разработки программы для системы автоматического дозирования паяльной пасты.</p> |

|  |  |
|--|--|
|  | Слайд 12. Разработка технологической инструкции по нанесению паяльной пасты.<br>Слайд 13. Техничко-экономическое обоснование НИР.<br>Слайд 14. Заключение.<br>Слайд 15. Название темы. |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br><i>(с указанием разделов)</i> |  |
| <b>Раздел</b>  | <b>Консультант</b>   |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                                    | Доцент кафедры менеджмента, к.э.н.<br>Конотопский Владимир Юрьевич   |
| Социальная ответственность   | Доцент кафедры ЭБЖ, к.т.н.<br>Анищенко Юлия Владимировна   |
| Обязательное приложение на иностранном языке   | Старший преподаватель каф. ИЯИК<br>Логинова Анна Владимировна  |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>            |  |
| Теоретический анализ автоматизированной технологии поверхностного монтажа                          |  |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 14.03.2016 |
|---|------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность  | ФИО                                | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|--|------------------------------------|------------------------|---------|------------|
| Инженер-технолог<br>1 категории<br>АО «НПЦ «Полюс» | Трифонов Афанасий<br>Селиверстович |                        |         | 14.03.2016 |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                          | Подпись | Дата       |
|--------|------------------------------|---------|------------|
| 8AM41  | Дворникова Татьяна Андреевна |         | 14.03.2016 |

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
 высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт Кибернетики  
 Направление подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах»  
 Уровень образования – магистратура  
 Кафедра Автоматики и компьютерных систем  
 Период выполнения осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

|  |
|--|
| <b>Магистерская диссертация</b>  |
| (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация) |

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

|  |            |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 31.05.2016 |
|--|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)           | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 31.05.2016 г. | Основная часть  | 60                                 |
| 07.05.2016 г. | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 15                                 |
| 07.05.2016 г. | Социальная ответственность                                      | 10                                 |
| 25.05.2016 г. | Обязательное приложение на иностранном языке                    | 15                                 |

Составил преподаватель:

| Должность        | ФИО               | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|------------------|-------------------|------------------------|---------|------------|
| Доцент каф. АиКС | Гайворонский С.А. | к.т.н.                 |         | 14.03.2016 |

**СОГЛАСОВАНО:**

| Зав. кафедрой    | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------|------------------------|---------|------|
| Доцент каф. АиКС | Фадеев А.С. | к.т.н.                 |         |      |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ и  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

|               |                               |
|---------------|-------------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                    |
| 8AM41         | Дворниковой Татьяне Андреевне |

|                            |              |                                  |  |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|--|
| <b>Институт</b>            | Кибернетики  | <b>Кафедра</b>                   | АиКС                                       |
| <b>Уровень образования</b> | Магистратура | <b>Направление/специальность</b> | 27.04.04 Управление в технических системах |

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

|  |  |
|--|--|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих |  |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов   |  |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования                                  |  |

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

|   |  |
|---|--|
| 1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ   |  |
| 2. Разработка устава научно-технического проекта  |  |
| 3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок |  |
| 4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности   |  |

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

|   |
|---|
| 1. «Портрет» потребителя результатов НТИ                          |
| 2. Сегментирование рынка  |
| 3. Оценка конкурентоспособности технических решений               |
| 4. Диаграмма FAST   |
| 5. Матрица SWOT   |
| 6. График проведения и бюджет НТИ                                 |
| 7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ |
| 8. Потенциальные риски  |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> | 15.03.2016 |
|---|------------|

**Задание выдал консультант:**

|                         |                  |                               |                |             |
|-------------------------|------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b>        | <b>ФИО</b>       | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Доцент каф. менеджмента | Конотопский В.Ю. | к.э.н.                        |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                              |                |             |
|---------------|------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                   | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 8AM41         | Дворникова Татьяна Андреевна |                |             |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|        |                               |
|--------|-------------------------------|
| Группа | ФИО                           |
| 8AM41  | Дворниковой Татьяне Андреевне |

|                     |              |                           |  |
|---------------------|--------------|---------------------------|--|
| Институт            | Кибернетики  | Кафедра                   | АиКС                                       |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | 27.04.04 Управление в технических системах |

|   |  |
|---|--|
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>  |  |
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.   | <p><i>Характеристика объекта исследования:</i><br/>технология поверхностного монтажа изделий.</p> <p><i>Области применения:</i><br/>производство электронных узлов на печатных платах в области радиоэлектроники и космической техники.</p>  |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>   |  |
| <b>1. Производственная безопасность</b><br>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.<br>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ требований и рекомендаций к уровню электромагнитных и электростатических полей, шума, отклонений показателей микроклимата, освещения рабочей зоны и вредных психофизиологических факторов.</li> <li>– Анализ опасного производственного фактора – электрического тока.</li> <li>– Описание действия факторов на организм человека, приведение допустимых норм с необходимой размерностью.</li> </ul> |
| <b>2. Экологическая безопасность</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы), гидросферу (сбросы), литосферу (отходы).</li> </ul>  |
| <b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.</li> <li>– Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>   |
| <b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>   |

|  |            |
|--|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 15.03.2016 |
|--|------------|

**Задание выдал консультант:**

|                 |               |                        |         |      |
|-----------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Должность       | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент каф. ЭБЖ | Анищенко Ю.В. | к.т.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

|        |                              |         |      |
|--------|------------------------------|---------|------|
| Группа | ФИО                          | Подпись | Дата |
| 8AM41  | Дворникова Татьяна Андреевна |         |      |

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 175 с., 100 рис., 27 табл., 22 источника, 5 прил.

Ключевые слова: поверхностный монтаж, качество монтажа, паяное соединение, температурно-временной профиль пайки, паяльная паста, нанесение паяльной пасты, система автоматического дозирования, система полуавтоматической установки компонентов, конвекционная система группового оплавления.

Объектом исследования является технология поверхностного монтажа, основное применение которой заключается в изготовлении электронных изделий на печатных платах.

Цель работы – автоматизация поверхностного монтажа изделий на печатных платах и разработка технологического процесса нанесения паяльной пасты автоматом дозирования.

В ходе исследований проведено изучение технологических процессов поверхностного монтажа изделий на печатных платах, разработаны алгоритм создания программы для системы автоматического дозирования и методика выбора термопрофиля.

В результате исследования разработана технологическая инструкция по нанесению паяльной пасты на печатные платы на автомате дозирования, которую необходимо использовать при работе с дозатором.

Степень внедрения: результаты работы внедрены в АО «НПЦ «Полюс».

Область применения: производственный процесс на участке поверхностного монтажа и контроль качества изготовления в отделе технического контроля монтажно-сборочного цеха АО «НПЦ «Полюс».

Экономическая эффективность/значимость работы выражается в обеспечении микроминиатюризации аппаратуры при одновременном росте ее функциональной сложности в связи с использованием технологии поверхностного монтажа.

## **Обозначения и сокращения**

КП – контактная площадка;

ПК – персональный компьютер;

ПО – программное обеспечение;

ПП – печатная плата;

ТПМ – технология поверхностного монтажа;

ТУ – технические условия;

УПМ – участок поверхностного монтажа;

ЭРИ – электрорадиоизделие;

SMD – surface-mounted device; компонент, монтируемый на поверхность.

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| Планируемые результаты обучения.....   | 2  |
| Задание .....  | 6  |
| Реферат.....   | 12 |
| Обозначения и сокращения.....  | 13 |
| Введение.....  | 16 |
| 1 Обзор литературы .....   | 19 |
| 2 Технология поверхностного монтажа изделий как объект исследования...                         | 21 |
| 3 Теоретический анализ автоматизированной технологии поверхностного монтажа.....               | 23 |
| 3.1 Автоматизация производственных процессов.....  | 23 |
| 3.2 Технология изготовления электронных изделий на ПП методом поверхностного монтажа.....      | 26 |
| 3.3 Технологический цикл поверхностного монтажа .....  | 27 |
| 3.4 Системы, используемые для поверхностного монтажа.....                                      | 38 |
| 3.4.1 Система автоматического дозирования материалов.....                                      | 38 |
| 3.4.2 Полуавтоматическая система установки компонентов .....                                   | 42 |
| 3.4.3 Конвекционная система группового оплавления .....  | 43 |
| 4 Результаты исследований.....   | 45 |
| 4.1 Исследование этапов поверхностного монтажа на основе экспериментальных данных.....         | 45 |
| 4.2 Анализ технологических факторов, влияющих на качество монтажа изделий .....                | 54 |
| 4.3 Алгоритм разработки программы для системы автоматического дозирования паяльной пасты ..... | 61 |
| 4.4 Разработка технологической инструкции по нанесению паяльной пасты.....                     | 70 |
| 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...                           | 71 |
| 5.1 Организация и планирование работ.....  | 71 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта .....                   | 77  |
| 5.3 Оценка экономической эффективности проекта .....                  | 82  |
| 6 Социальная ответственность .....                                    | 88  |
| Введение.....   | 88  |
| 6.1 Производственная безопасность .....                               | 89  |
| 6.2 Экологическая безопасность.....                                   | 96  |
| 6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....                        | 97  |
| 6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ..... | 99  |
| Заключение .....  | 102 |
| Список публикаций.....  | 103 |
| Список использованных источников .....                                | 104 |
| Приложение А (обязательное) .....                                     | 106 |
| Приложение Б (справочное).....  | 127 |
| Приложение В (справочное) .....                                       | 129 |
| Приложение Г (справочное).....  | 132 |
| Приложение Д (справочное) .....                                       | 175 |

## Введение

В настоящее время поверхностный монтаж электронных компонентов на печатные платы (ПП) – одно из перспективно развивающихся направлений сборки блоков, к которым предъявляются требования миниатюрности и невосприимчивости к низкочастотной вибрации [1].

Основной предпосылкой появления технологии поверхностного монтажа (ТПМ) является создание новой элементной базы – компонентов, которые намного меньше, чем традиционные электрорадиоизделия с аксиальными выводами. Появление новой элементной базы обеспечивает:

- более высокую плотность монтажа на единицу площади ПП не только за счет сокращения площади, занимаемой компонентами, но и благодаря устранению монтажных отверстий;

- снижение массогабаритных характеристик при той же функциональной сложности;

- снижение трудовой трудоемкости за счет уменьшения операций формовки и обрезки выводов компонентов;

- унификацию и стандартизацию корпусов элементов, что позволяет автоматизировать технологический процесс с высокой надежностью;

- сокращение расхода материала, улучшение электрических характеристик схем за счет уменьшения длины проводников, исключение операций сверления и металлизации монтажных отверстий, что улучшает и механические характеристики плат;

- применение двухстороннего монтажа компонентов.

За приведенными достоинствами ТПМ скрываются значительные недостатки приведенной технологии:

- устройства, изготовленные по ТПМ менее удобны, чем традиционные, для проверки, испытаний и ремонта из-за малого шага выводов и высокой плотности компонентов;

– возникает проблема теплоотвода, вследствие малого расстояния между корпусами компонентов, когда количество выделяемого тепла на единицу площади ПП резко возрастает;

– при эксплуатации устройств повышается роль несогласованности температурных коэффициентов линейного расширения материалов ПП и компонентов [2].

В связи с применением новой элементной базы в изделиях организации, монтаж которых может быть проведен только по ТПМ, возникла необходимость разработки комплекта технологических документов, объединяющего весь технологический процесс изготовления сборочных единиц с применением ПП.

Целью данной выпускной квалификационной работы (ВКР) является автоматизация поверхностного монтажа изделий на печатных платах и разработка технологического процесса нанесения паяльной пасты на ПП автоматом дозирования.

Научно-исследовательские и экспериментальные работы в рамках ВКР были выполнены в научно-исследовательском отделе общей технологии и на участке поверхностного монтажа монтажно-сборочного цеха Акционерного общества «Научно-производственного центра «Полюс» (далее – АО «НПЦ «Полюс»).

Объектом исследования является ТПМ изделий, а предметом данного исследования – анализ технологических факторов поверхностного монтажа, влияющих на качество изготовления сборочных изделий, и разработка технологической документации нанесения паяльной пасты.

Выполненная работа несет практический вклад, который заключается в непосредственном использовании полученных результатов при монтаже и контроле качества сборочных узлов в АО «НПЦ «Полюс».

Достигнутые в процессе выполнения ВКР результаты были представлены на следующих конференциях:

– апрель 2015 г. XIX научно-техническая конференция «Электронные и электромеханические системы и устройства», АО «НПЦ «Полюс», г. Томск. Представлен доклад «Влияние технологических факторов поверхностного монтажа на качество изготовления сборочных изделий»;

– октябрь 2015 г. Международная научно-техническая конференция «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов», БелГТУ, г. Минск. Представлены тезисы доклада «Система автоматизированного нанесения паяльной пасты на печатные платы. Факторы, влияющие на процесс дозирования»;

– апрель 2016 г. III Молодежная конференция РУСНЦ РАН «Молодежь. Наука. Инновации в оборонно-промышленном комплексе», АО «НПО автоматики», г. Екатеринбург. Представлен доклад «Технология изготовления силовых сборок из SMD-компонентов методом поверхностного монтажа».

## 1 Обзор литературы

На сегодняшний день исследования в области ТПМ становятся особо актуальными, так как это одна из самых интересных и динамично развивающихся сфер производства электронных узлов на ПП в области радиоэлектроники.

ТПМ все больше завоевывает свою популярность на рынке продукции, поскольку эти изделия качественнее своих аналогов, изготовленных по классической технологии. Данное положение направляет предприятия пересмотреть свое производство и сориентировать его на прогрессивную технологию, однако при этом возникает ряд сложностей, основными из которых является отсутствие подготовленных кадров в области ТПМ и практически полное отсутствие в отечественной литературе достаточного количества пособий по данной технологии [2].

Стремительное развитие ТПМ объясняется, прежде всего, экономическими соображениями, так как позволяет в процессе конструирования электронной аппаратуры уменьшить габариты, сократить расход материалов и энергии, объем и массу корпусов и стоек, в которых должны размещаться электронные системы и, следовательно, уменьшить площадь сооружений. Используя ТПМ, можно создавать более быстродействующие, помехоустойчивые и надежные радиоэлектронные и электронно-вычислительные устройства. Эти обстоятельства, а также сложность проблем, связанных с освоением ТПМ, побуждают фирмы и государственные органы проводить различные организационно-технические мероприятия для пропаганды и передачи опыта в освоении новой технологии. К числу таких мероприятий относится создание информационных служб, издающих справочники, руководства, а также периодическую литературу по ТПМ компонентов. На сегодняшний день в нашей стране нет широкомасштабного производства аппаратуры с использованием ТПМ. Однако внедрение данной технологии это объективный процесс, магистральный путь

развития технологии производства электронной аппаратуры в эпоху микроэлектроники.

ТПМ компонентов по сравнению с существующей технологией обладает важнейшим критерием прогрессивности: обеспечение миниатюризации аппаратуры при одновременном росте ее функциональной сложности. Это отвечает требованиям рынка электронных изделий и особенно требованиям рынка вычислительной техники. По этой причине ТПМ будет внедряться в технологию производства новых изделий с такой быстротой, как этого требует рынок, и, с другой стороны, как это позволяют темпы освоения методов поверхностного монтажа.

Процесс поверхностного монтажа охватывает позиционирование и установку компонентов, пайку, контроль, испытание и ремонт. Современное состояние освоения каждого из этих этапов и их совокупности все еще не позволяет получать высокий процент годных изделий при низких затратах, ожидаемых от применения ТПМ [3].

## **2 Технология поверхностного монтажа изделий как объект исследования**

Объектом исследования является ТПМ. Основная функция технологии заключается в применении при изготовлении электронных изделий на ПП, обеспечивая уменьшение массогабаритных характеристик и повышение функциональной сложности изделия.

Разрабатываемая технология состоит из следующих операций: подготовка комплектующих, нанесение паяльной пасты, установка компонентов, оплавление и промывка сборочного узла.

Разработка технологии реализована с применением следующих систем:

– система автоматического дозирования, предназначенная для нанесения необходимого количества паяльной пасты на КП ПП в зависимости от габаритов электрорадиоизделий (ЭРИ) и размера КП для обеспечения качественного монтажа ЭРИ на ПП. Для нанесения паяльной пасты на ПП существуют следующие методы: трафаретная печать, каплеструйная печать и дозирование. Основным преимуществом метода дозирования является простота переналадки оборудования и отсутствие необходимости изготовления трафарета;

– система полуавтоматической установки компонентов поверхностного монтажа, используемая для установки компонентов в ручном или полуавтоматическом режиме с возможностью установки компонентов с малым шагом выводов и исключения ошибки неправильного расположения ЭРИ на ПП. Полуавтомат установки компонентов пригоден для установки компонентов на ПП, на ПП, припрессованные к металлическому основанию с высотой основания не более 7 мм, а также для установки компонентов с мелким шагом выводов на ПП, припрессованные к металлическому основанию с высотой основания не более 45 мм с использованием дополнительного модуля с системой видеокамер;

– конвекционная система группового оплавления, предназначенная для пайки компонентов поверхностного монтажа оплавлением на печатные узлы, а также для отверждения клеящих составов, на которых крепятся компоненты. Существует несколько методов оплавления припойной пасты такие как: инфракрасный нагрев, нагрев в паровой фазе, конвекционный нагрев, кондукционный нагрев. Нагрев монтируемой платы в многозонной печи осуществляется принудительной конвекцией. Для обеспечения плавного прогрева печатного узла печь имеет 7 зон нагрева и 3 зоны охлаждения. Температура в зонах различается и регулируется независимо друг от друга. Подача горячего воздуха осуществляется по всей поверхности печатного узла, что обеспечивает равномерный прогрев.

В период прохождения научно-исследовательских практик в АО «НПЦ «Полнос» были получены следующие результаты:

– исключено влияние присутствия влаги в ЭРИ и ПП на качество изготавливаемой продукции в организации;

– разработана и внедрена в производство технологическая инструкция, описывающая порядок подготовки и хранения комплектующих и сборочных единиц;

– достигнуто повышение качества пайки силовых полупроводниковых приборов в SMD-корпусах (surface-mounted devices) за счет идентичного монтажа сборки транзисторов;

– разработан и внедрен в производство комплект документов технологического процесса, описывающий порядок монтажа сборки транзисторов.

### **3 Теоретический анализ автоматизированной технологии поверхностного монтажа**

#### **3.1 Автоматизация производственных процессов**

В процессе эволюции человек постоянно совершенствовал орудия труда и технологии производства. Упрощение ручного труда, создание более эффективных инструментов и внедрение механизмов позволили техническому прогрессу достичь уровня, который мы наблюдаем на сегодняшний день.

Каждый из случаев использования улучшенных технологий в производственных процессах приводил к серьёзному скачку в уровне и масштабах производства, повышению эффективности и качества. Базовым историческим примером можно выделить блоки и рычаги для подъёма тяжестей, ветряные и водяные мельницы, а также предвестников промышленной революции – прядильные, ткацкие, дерево- и металлообрабатывающие станки.

Поистине революционное влияние на развитие технического прогресса оказало создание двигателей – парового, а затем электрического.

Помимо непосредственного усовершенствования технологий внедрялись и элементы автоматизации – регуляторы скорости паровой машины, регуляторы питания парового котла и т.п. Таким образом, происходил качественный прорыв в производстве, когда человек из непосредственного исполнителя становился контролёром и регулировщиком процесса.

С середины XIX века из классической прикладной механики как науки начало выделяться направление автоматического управления. Большой вклад на этот процесс оказали труды английского физика Дж. К. Максвелла и русского учёного И. А. Вышнеградского.

С появлением электричества стало возможным существенно расширить степень управления и автоматизации станков. Появились многопозиционные

агрегатные станки и автоматические линии. В 30-х годах XX века зародился термин «Автоматизация производства».

Чуть позже, в 50-х годах, начали появляться первые станки с числовым программным управлением, программируемые с помощью перфокарт и перфолент. Затем, в начале 60-х, были созданы первые промышленные роботы-манипуляторы. С этого периода началась эра автоматизации производства.

Автоматизация производства уже давно является основой для развития современной промышленности и на сегодняшний день стала одним из основных направлений технического прогресса. Потребности в автоматизации возникают в различных отраслях промышленности: металлургия, машиностроение, приборостроение, энергетика и т.д. Причин для этого множество: начиная от постоянного стремления к повышению качества предоставляемых услуг, повышению производительности труда, эффективности использования рабочего времени, рациональному использованию площадей и всех ресурсов предприятия до потребности к принятию обоснованных управленческих решений на основе достоверных и актуальных данных о состоянии производства в условиях непрерывно растущей конкуренции.

Степень автоматизации производства можно разделить на три основных типа:

1. *Частичная автоматизация.* Заключается в автоматизации отдельных производственных операций. Применяется в случаях, когда операция представляет собой сложный процесс, который невозможно обеспечить с участием человека или же его выполнение не приводит к заданному уровню качества, производительности или иным производственным показателям.

2. *Комплексная автоматизация.* Охватывает автоматизацию не только отдельных операций, но и обеспечивает взаимосвязь между ними. Роль человека в данном случае заключается в общем контроле и управлении работой комплекса.

3. *Полная автоматизация.* Высшая степень автоматизации, в которой все функции управления и контроля цехом, заводом или предприятием передают автоматическим системам управления. В большинстве случаев целесообразно рассматривать применение полной автоматизации для предприятий с устойчивой рентабельностью и неизменными режимами работы, а также при вредных или опасных условиях для жизни человека.

Задача автоматизации тех или иных производственных процессов вытекает из одной единственной цели – устранение потерь (рисунок 3.1). Это и потери от несоответствующей продукции, потери времени от неэффективного использования оборудования, инструмента, всех ресурсов предприятия, это сокращение простоев оборудования и персонала. Комплексный подход к решению задачи сокращения потерь предоставляет возможность выровнять производственный цикл, уменьшить складские запасы и незавершённое производство, сократить простои оборудования, повысить качество выпускаемой продукции [4].



Рисунок 3.1 – Основные виды потерь, возникающие на производстве

### **3.2 Технология изготовления электронных изделий на ПП методом поверхностного монтажа**

Поверхностный монтаж – технология изготовления электронных изделий на ПП, а также связанные с данной технологией методы конструирования печатных узлов.

Технологию поверхностного монтажа ПП также называют ТМП (технология монтажа на поверхность), SMT (surface mounting technology) и SMD-технология (от surface-mounted device – прибор, монтируемый на поверхность), а компоненты для поверхностного монтажа также называют чип-компонентами. Данная технология является на сегодняшний день наиболее распространенным методом конструирования и сборки электронных узлов на ПП. Основным ее отличием от «традиционной» технологии сквозного монтажа в отверстия является то, что компоненты монтируются на поверхность ПП. Однако преимущества технологии поверхностного монтажа ПП проявляются благодаря сочетанию особенностей элементной базы, методов конструирования и технологических методик изготовления печатных узлов.

ТПМ начала своё развитие в 1960-х и получила широкое применение к концу 1980-х годов. Одним из первопроходцев в этой технологии была компания IBM. Элементы были перепроектированы таким образом, чтобы уменьшить КП или выводы, которые бы предназначались для непосредственной пайки к поверхности ПП. В сравнении с традиционными платы для поверхностного монтажа имеют повышенную плотность размещения электронных элементов, обладают меньшими расстояниями между проводниковыми элементами и КП. Часто припоя достаточно для установки компонента на плату, однако элементы на нижней («второй») стороне платы необходимо дополнительно фиксировать на клей. Компоненты поверхностного монтажа (surface-mounted devices (SMDs)) зачастую имеют небольшой вес и размер. ТПМ зарекомендовала себя в повышении автоматизации производства, уменьшении трудоемкости и увеличении продуктивности. Компоненты

поверхностного монтажа могут быть в 4-10 раз меньше, и на 25-50 % дешевле, чем аналогичные компоненты для монтажа в отверстия [5].

### 3.3 Технологический цикл поверхностного монтажа

Структура технологического процесса ТПМ изделий представлена на рисунке 3.2.

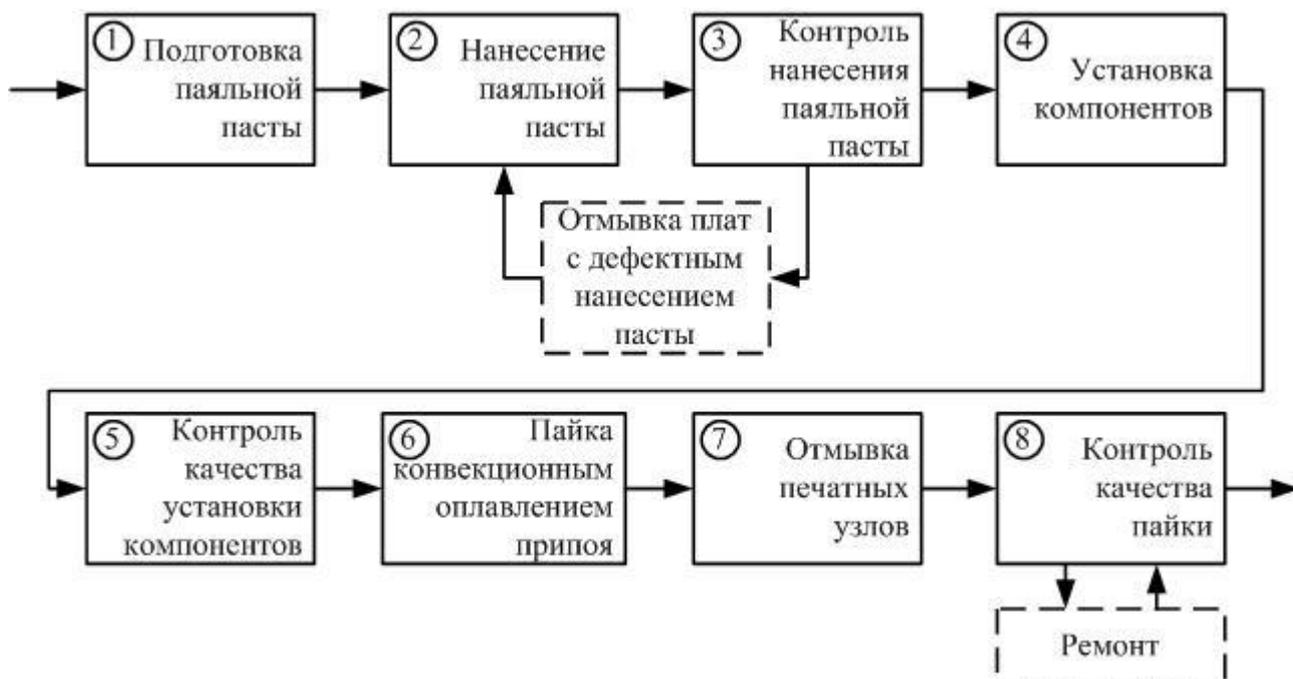


Рисунок 3.2 – Структура технологического процесса поверхностного монтажа

Типовая последовательность операций в ТПМ включает:

- применение системы автоматического дозирования для нанесения паяльной пасты на КП (дозирование в единичном и мелкосерийном производстве, трафаретная печать в серийном и массовом производстве);
- установка компонентов с помощью системы автоматической или полуавтоматической установки;
- пайка методом оплавления пасты в системе группового оплавления (преимущественно методом конвекции, а также инфракрасным нагревом или в паровой фазе);
- отмывание платы (в зависимости от активного флюса) и нанесение защитных покрытий.

В единичном производстве, при ремонте изделий и при монтаже компонентов, требующих особой точности, как правило, в мелкосерийном производстве также применяется индивидуальная пайка струей нагретого воздуха или азота [5].

### **Нанесение паяльной пасты**

Паяльная паста наносится на КП либо с помощью дозатора, либо через трафарет. При выполнении данной операции необходимо получение отпечатков, содержащих определенный объем пасты. Недостаток пасты может приводить к отсутствию соединения, избыток – к перемычкам и низкой прочности соединения. Объем наносимой пасты зависит от конструкции конкретного компонента и размера КП.

Использование дозатора – более гибкий, но менее точный и производительный метод, обычно применяющийся при опытном производстве. Пасты для дозирования поставляются в стандартных шприцах, совместимых с большинством оборудования. На шприц устанавливаются иглы различного диаметра, обеспечивающие нанесение определенного объема пасты. Также объем пасты может регулироваться давлением и временем нанесения. При длительном дозировании паста нагревается, что изменяет ее реологические свойства и может приводить к ухудшению качества печати. Дозирование может проводиться вручную либо на автоматическом оборудовании [6].

На рисунке 3.3 представлены факторы, которые необходимо учитывать для качественного выполнения дозирования. Факторы разделены по категориям: оборудование, технологические параметры, материалы, окружающая среда и персонал. Внутри каждой категории указаны источники, влияющие на качество [7].

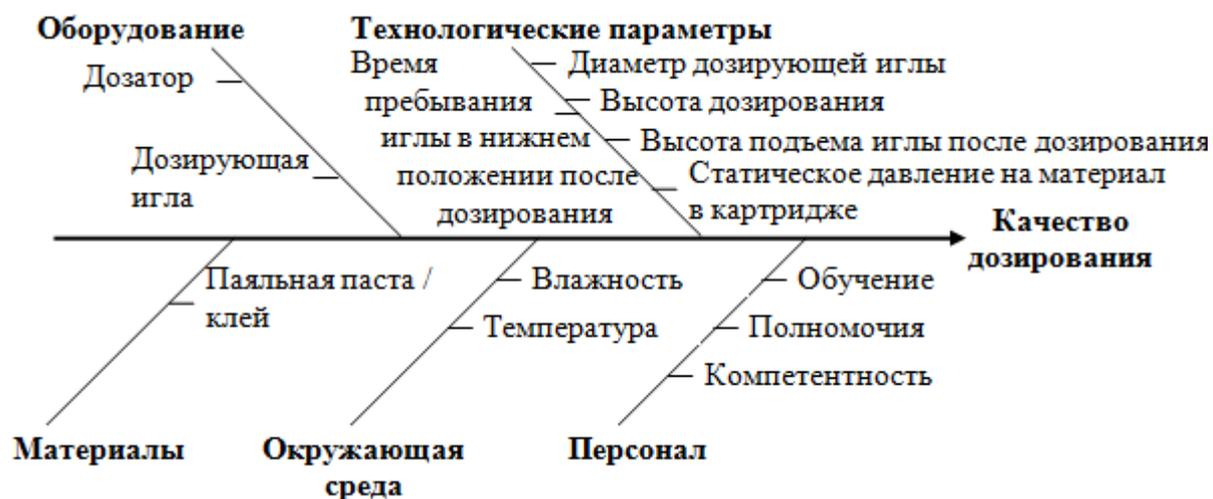


Рисунок 3.3 – Факторы, влияющие на качество дозирования

На сегодняшний день существует несколько конкурирующих между собой методов дозирования паяльной пасты. Среди них можно выделить следующие виды дозаторов, отличающихся между собой скоростью, точностью и повторяемостью нанесения доз, а также конструкцией и технологическими возможностями:

– *пневматические* представляют собой шприц с иглой на конце, в который нагнетается воздух. Давление на материал осуществляется через специальный поршень (плунжер), который плотно прилегает к стенкам шприца и эффективно распределяет давление на материал. В основном применяются там, где не требуется высокая точность нанесения. Одним из основных недостатков пневматического дозатора является изменение результатов дозирования с изменением уровня материала в шприце;

– *поршневые*. Принцип действия: при подъеме поршня вверх материал под действием давления, приложенного к картриджу, затекает в рабочую камеру. Затем поршень под действием давления перемещается в рабочую камеру и выдавливает материал через присоединенную к ней дозирующую иглу. Объем дозы зависит от объема камеры, вида поршня, величины хода поршня, который регулируется специальным винтом. Преимущество: малая зависимость или полное отсутствие зависимости производительности от размера точки. Основные недостатки: сложность в обслуживании,

непригодность под нанесение маленьких доз, зависимость объема дозы от вязкости наносимого материала;

– *шнековые* применяются в тех случаях, когда важны качество, точность и повторяемость доз. Они нашли широкое применение для задач нанесения паяльной пасты и клея. С их помощью можно получить дозы диаметром 200 мкм и меньше с очень высокой повторяемостью. Основным элементом, влияющим на качество формирования дозы, является шнек или архимедов винт. Материал подается из шприца в канал со шнеком с помощью сжатого воздуха. Далее с помощью нормированного вращения шнека материал продавливается через иглу на ПП. Угол поворота шнека и внутренний диаметр иглы будут определять объем дозы. Принцип работы шнековых дозаторов показан на рисунке 3.4. Обладают единственным недостатком: механический контакт с платой во время дозирования (при работе с иглой со стопором);

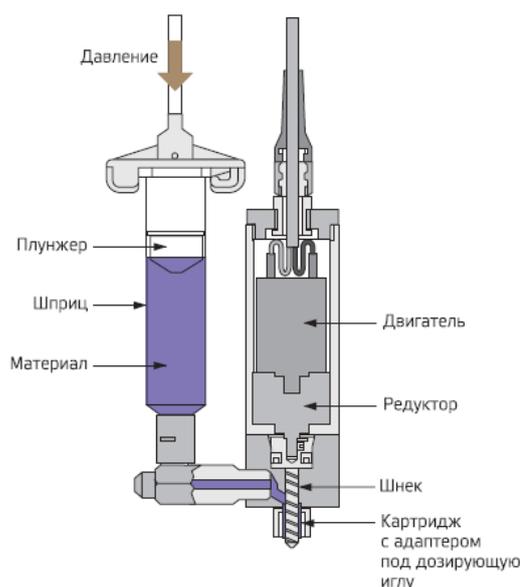


Рисунок 3.4 – Принцип работы шнековых дозаторов

– *пьезоэлектрические*. Отличительной особенностью является быстрый и надежный пьезоактюатор, который приводит в движение механизм подачи материала. Пьезоэлектрический механизм совмещает и разъединяет канал подачи материала с иглой. Время совмещения будет определять объем материала, проходящего по 2 каналам, и, следовательно, будет влиять на размер получаемой дозы. Пьезоэлектрический механизм может смещаться и

разъединяться с частотой до 10 Гц. Минимальное время совмещения в 2 мс позволяет получить объемы доз до 10 нл. Недостатки: более трудоемки в обслуживании, чувствительны к платам с короблениями;

– *струйные* (каплеструйные). Материал находится в шприце под давлением. Он подается в камеру, в которой бегаёт поршень, продавливая материал через специальную насадку. Основное отличие состоит в использовании специальной насадки (вместо иглы), в которую упирается поршень при продавливании материала. Требуют использования специальных паяльных паст и трудоемки при настройке параметров [8].

Одним из важнейших технологических материалов, применяемых при поверхностном монтаже, является паяльная паста (также иногда называемая припойной пастой), представляющая собой смесь порошкообразного припоя с органическими наполнителями, содержащими флюс (рисунок 3.5). Помимо обеспечения процесса пайки припоем и подготовки поверхностей паяльная паста также выполняет задачу фиксирования компонентов до пайки за счёт клеящих свойств [5].

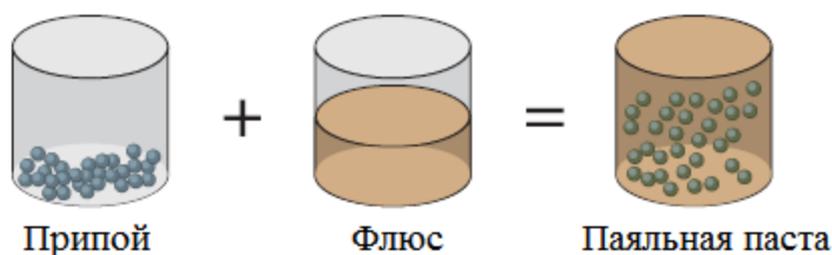


Рисунок 3.5 – Схематичное изображение состава паяльной пасты

В зависимости от задач применяются разные типы припоя и флюсов, входящих в состав паяльных паст. В настоящее время наиболее широко используются свинцовые и бессвинцовые припои. Флюс, который входит в состав паяльных паст, играет важную роль в процессе сборки электроники. Он удаляет окислы, обеспечивает адгезию к ПП и компонентам. Помимо этого он влияет на реологию пасты (определяет, как будет вести себя паста при нанесении и формировании дозы), а также выступает в роли смазки при прохождении пасты через механизмы дозирующей головки и иглу. Плотность

флюса заметно меньше плотности припоя, в среднем около  $1 \text{ г/см}^3$ . В пасте больше припоя по массе, а по объему больше флюса.

Еще одним важным показателем при дозировании является вязкость материала. Паяльные пасты – тиксотропные материалы, для которых характерно изменение вязкости при воздействии на пасту внешнего усилия. Когда на паяльную пасту оказывается давление, она становится более жидкой и продавливается сквозь узкое отверстие дозирующей насадки. После того как давление убирают, паста снова становится густой и формирует необходимый отпечаток на КП. Эта особенность влияет на поведение пасты во время дозирования и формирования дозы. Если паста изначально слишком жидкая – отпечаток будет растекаться на ПП, а если слишком густая – её сложно продавливать через иглу или головку для дозирования. Обычно паяльные пасты для дозирования имеют вязкость в пределах  $300\,000 - 600\,000 \text{ сПз}$ .

Паяльные пасты классифицируют по размеру частиц припоя в соответствии со стандартами IPC/EIA J-STD-005 и ASTM-B214. По размеру частиц пасты делятся на 6 типов (таблица 3.1). Каждому типу соответствует свой размер частиц. Паяльные пасты разных типов получают путем просеивания частиц припоя через сито с разным шагом ячеек. Шаг ячеек определяется как количество отверстий на квадратный дюйм ( $1 \text{ кв. д.} = 6,45 \text{ кв. см}$ ). Внутренний диаметр иглы должен в 7–10 раз превышать максимальный размер частиц пасты. В противном случае дозирующая игла может быть закупорена через несколько секунд после начала дозирования [8].

Таблица 3.1 – Выбор паяльной пасты согласно размерам частиц и внутреннего диаметра иглы

| Тип паяльной пасты | Диаметр 80 % частиц припоя, мкм | Диаметр частицы не более, мкм | Рекомендуемый внутренний диаметр иглы, мкм |
|--------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|
| Тип 1              | 150-75                          | 160                           | Не применяются для дозирования             |
| Тип 2              | 75-45                           | 80                            |  |
| Тип 3              | 45-25                           | 50                            | 510 и более                                |
| Тип 4              | 38-20                           | 40                            | 330 и более                                |
| Тип 5              | 25-15                           | 25                            | 250 и более                                |
| Тип 6              | 15-5                            | 20                            | 150 и более                                |

При выполнении экспериментальных работ в рамках ВКР была использована паста Sn62 NC-SMQ90, представляющая собой сплавы олова (Sn), свинца (Pb) и серебра (Ag). Сплав в соотношении 62, 36 и 2 % соответственно обозначается Sn62 (Sn62/Pb36/Ag2) и имеет температуру плавления 179 °С. Серебро добавляют для улучшения прочности паяного соединения и для уменьшения эффекта «растворения примесей», при котором жидкое олово растворяет серебро, содержащееся на КП элементов, что влечет повышение хрупкости соединения [2].

### **Установка компонентов**

Установка компонентов осуществляется, как правило, по программе на системах автоматической установки из стандартных упаковок, в которых компоненты поставляются заводом-изготовителем, но при единичном и мелкосерийном производстве может применяться ручная установка с помощью вакуумного пинцета или манипулятора, а также автоматизированная установка на полуавтомате (манипуляторе с указателем места установки компонента по программе).

Производительность при ручной установке может составлять несколько сотен компонентов в час в зависимости от квалификации сборщика и сложности платы. При полуавтоматической установке производительность лежит в пределах примерно 400-700 компонентов в час.

Производительность при применении автомата в значительной степени зависит от типа автомата, сложности платы и оптимальности программы установки. Типичная производительность автоматов начального уровня лежит в пределах 1500-5000 компонентов в час. Типичная производительность серийных автоматов составляет 10-50 тыс. компонентов в год. Однако следует отметить, что максимальная производительность на практике не достигается. Для реальной оценки производительности автомата необходимо его максимальную производительность умножить на эмпирический коэффициент, зависящий от сложности устройств, выпускаемых на предприятии. В большинстве случаев данный коэффициент лежит в пределах 0,5-0,6.

В современном оборудовании захват компонентов осуществляется вакуумной головкой. Для захвата тяжелых компонентов применяются специальные насадки. Разработчики компонентов для обеспечения возможности вакуумного захвата создают сбалансированные компоненты с определенным центром масс.

Можно выделить три группы компонентов по сложности установки:

– обычные компоненты (чип-компоненты в корпусах 0402 включительно, микросхемы с шагом выводов до 0,8 мм и т.п.);

– компоненты с мелким шагом, также называемые Fine-Pitch-компоненты, шаг выводов которых менее 0,8 мм, а также чип-компоненты в корпусах 0201 и менее;

– микросхемы с матричным расположением выводов (BGA,  $\mu$ -BGA и др.).

Точность установки компонентов первой группы и мелких чип-компонентов на паяльную пасту должна обеспечивать попадание вывода или контактной поверхности компонента своей большей частью (порядка 80 %) на

КП и отсутствие попадания на соседнюю площадку. Высокой точности установки не требуется, поскольку при оплавлении силы поверхностного натяжения пасты центрируют компонент. В мелкосерийном и единичном производстве для установки компонентов с мелким шагом и матричным расположением выводов применяются специальные прецизионные установки с оптической системой совмещения [6].

### **Пайка оплавлением**

Процесс оплавления припоя, содержащегося в паяльной пасте, выполняется в печах путем нагрева ПП с компонентами. Нагрев может осуществляться различными способами: инфракрасный, конвекционный нагрев и нагрев в паровой фазе. Наиболее широкое распространение получил конвекционный нагрев [6].

Конвекционная пайка проводится в камерных или конвейерных печах. В первом случае отработка профиля пайки осуществляется путем изменения температуры внутри камеры со временем, а во втором – перемещением платы по конвейеру через несколько зон печи: зоны предварительного нагрева, зоны пайки и охлаждения, каждая из которых имеет свою температуру. Плата находится в печи при максимальной температуре в течение нескольких десятков секунд, после чего проводится ее охлаждение.

В ряде случаев используется пайка в инертной среде, при которой происходит выпуск азота в рабочую область печи для сведения к минимуму процесса окисления.

Пайка оплавлением выполняется путем изменения температуры по заданному закону, называемому температурным профилем (термопрофилем) пайки. На формирование температурного профиля пайки оказывают влияние следующие факторы:

- паяльная паста;
- технологическое оборудование;

- компоненты;
- печатные платы.

В конвекционных конвейерных печах термопрофиль задается температурами зон нагрева (охлаждения) и скоростью конвейера (рисунок 3.6).

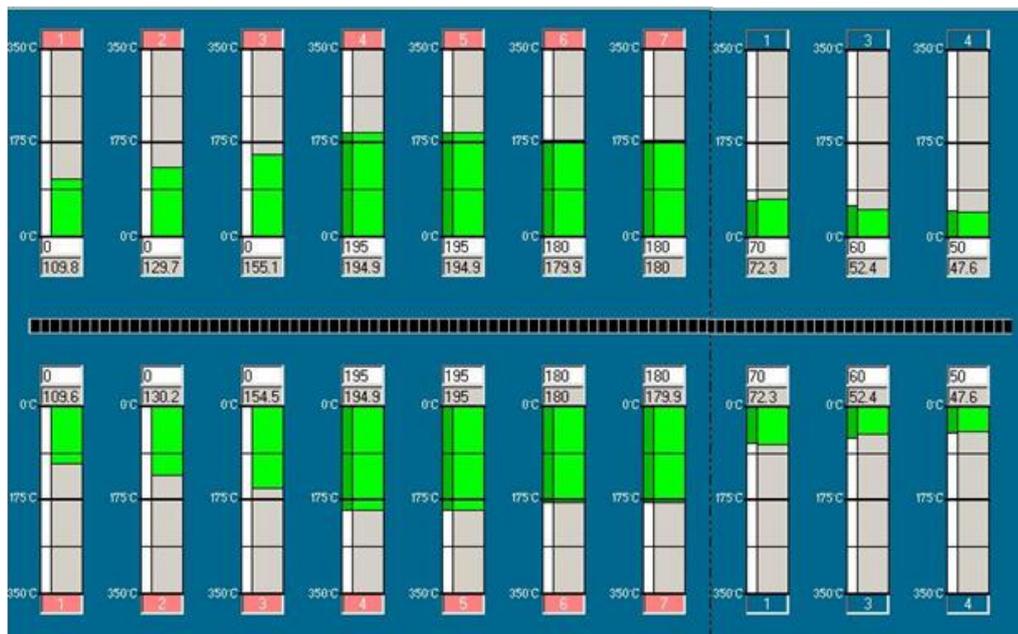


Рисунок 3.6 – Отображение температур в зонах печи

Температурный профиль пайки состоит из четырех стадий: предварительный нагрев, стабилизация (зона температурного выравнивания), оплавление и охлаждение (рисунок 3.7).

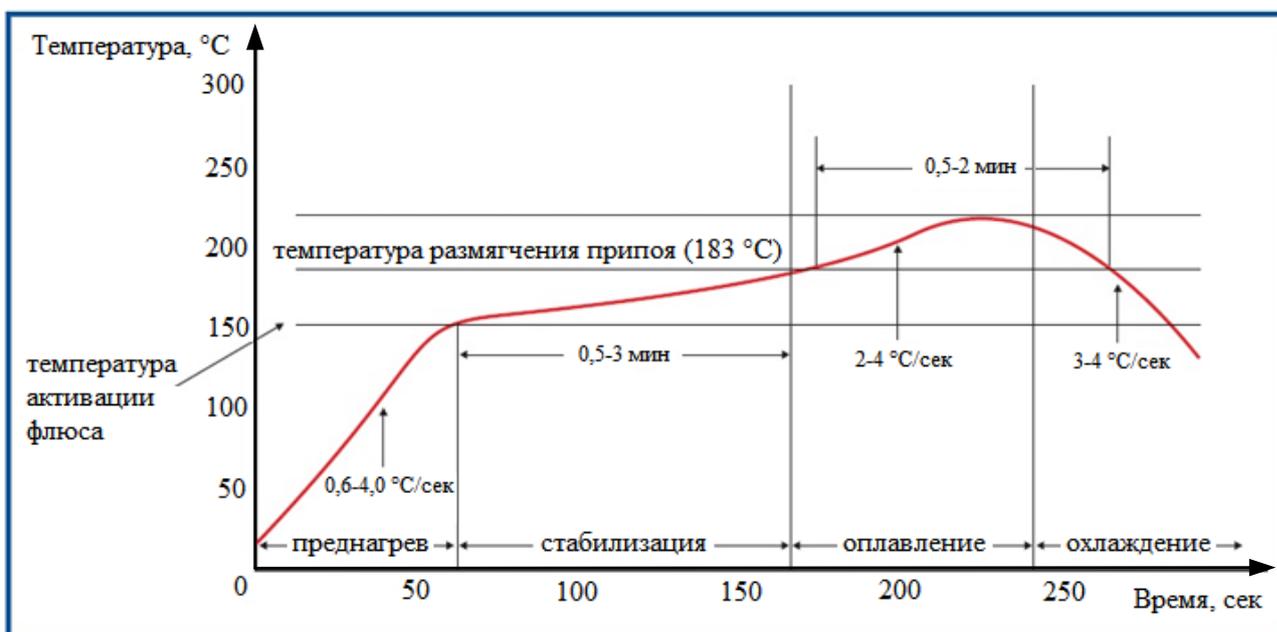


Рисунок 3.7 – Типовой температурный профиль пайки

*Стадия предварительного нагрева* необходима для снижения теплового удара по электронным компонентам и ПП. На этой стадии происходит испарение растворителя из паяльной пасты. Температура предварительного нагрева лежит в пределах 95-130 °С, а скорость изменения температуры для традиционного профиля пайки составляет от 0,6-4,0 °С/сек. Заметим, что высокая скорость предварительного нагрева может вызывать повреждение компонентов, разбрызгивание шариков припоя, образование перемычек. Однако если скорость предварительного нагрева низка, то может происходить окисление контактных поверхностей и частиц припоя.

*Стадия стабилизации*, также называемая «стадия температурного выравнивания», позволяет активизировать флюсующую составляющую и удалить жидкость из паяльной пасты. Повышение температуры на этой стадии происходит очень медленно. Максимальная активация флюса происходит при температуре около 150 °С. Время стабилизации лежит в пределах от 30 до 180 сек. В конце зоны стабилизации температура обычно достигает 150-170 °С.

*Стадия оплавления.* Для исключения чрезмерного роста интерметаллического соединения температура пайки должна не более чем на 30-40 °С превышать точку плавления паяльной пасты. Например, для наиболее распространенных сплавов Sn62/Pb36/Ag2 и Sn63/Pb37 температура пайки должна находиться в пределах 205-225 °С. Низкая температура пайки (195-205 °С) обеспечивает слабую смачиваемость, особенно для компонентов с плохой паяемостью. Поэтому температуру на стадии оплавления устанавливают немного выше – в пределах 215-225 °С при скорости повышения температуры 2-4 °С/сек. Рекомендуемое время выше точки плавления составляет 30-60 сек. Для массивных плат время выше точки плавления может быть увеличено до 90-120 сек. Высокая температура (240-260 °С) и время пайки (более 120 сек.) способствуют росту интерметаллического соединения. Чрезмерный рост интерметаллического соединения увеличивает хрупкость паяного соединения и ухудшает его внешний вид.

*Стадия охлаждения.* Для обеспечения максимальной прочности паяных соединений скорость охлаждения должна быть максимальной. В то же время высокая скорость охлаждения может вызывать термоудар по электронным компонентам. С другой стороны, медленное охлаждение приведет к интенсивному росту интерметаллического соединения, таким образом, паяное соединение становится более твердым, но хрупким. Рекомендуется проводить охлаждение со скоростью 3-4 °С/сек. до температуры ниже 130 °С, после чего скорость охлаждения может быть меньше, так как она уже не влияет ни на качество паяных соединений, ни на электронные компоненты.

Таким образом, окончательный выбор режимов проводится технологом, исходя из конструкции и материала ПП, типа и размеров компонентов, количества и плотности размещения компонентов на ПП, а также типа паяльной пасты. При выборе профиля пайки следует учитывать, что реальная температура на плате в процессе пайки будет ниже заданной в печи. Разница между реальной и заданной температурами зависит от конструкции печи, количества слоев и размера платы, размера и плотности размещения компонентов [9].

### **3.4 Системы, используемые для поверхностного монтажа**

Экспериментальные работы были проведены на участке поверхностного монтажа (УПМ) монтажно-сборочного цеха. Операции, выполняемые на УПМ: подготовка, установка и пайка поверхностно-монтируемых ЭРИ на ПП и контроль правильности монтажа. Планировка участка и требования к помещению для работы с оборудованием приведены в приложении Б.

#### **3.4.1 Система автоматического дозирования материалов**

Дозатор DispenseMate серии 585 состоит из системы позиционирования и компьютера (рисунок 3.8). Трехкоординатная система (X, Y и Z) перемещает

и устанавливает дозирующую головку в точное положение над обрабатываемым изделием. Дозирующая головка перемещается по осям X и Z. Столик для фиксации перемещается по оси Y. Программы дозирования разработаны с применением модуля Fluidmove компании Asymtek для операционной системы Windows XP [10].



Рисунок 3.8 – Автомат дозирования DispenseMate

Основные технические характеристики:

- потребляемая мощность: 1 кВт;
- габаритные размеры (Д×Ш×В): 770×885×630 мм.;
- вес: 70 кг;
- рабочая область: 525×525 мм;
- максимальный вес платы: 2 кг;
- пневмопитание: 620 кПа [10].

Дозатор предназначен для нанесения необходимого количества паяльной пасты на КППП в зависимости от габаритов ЭРИ и размера КП для обеспечения качественного монтажа ЭРИ на ПП.

ПО FluidMove for Windows XP (далее – FmXP) обладает следующими преимуществами:

- интуитивно понятный интерфейс;

- универсальное ПО для широкого применения и различных задач: дозирование, заливка, герметизация и другие;
- простые и понятные настройки оборудования;
- встроенная система видео с различными алгоритмами распознавания образов;
- система прослеживаемости и сохранения информации;
- подробный файл помощи;
- возможность создания и редактирования программ без CAD данных.

Также имеются дополнительные возможности:

- верификация точек;
- отслеживание и сигнализация низкого уровня материала;
- сигнализация об окончании срока жизни материала;
- ограничение доступа по паролю;
- автоматическая чистка насадки;
- библиотека шаблонов и элементов для быстрого программирования;
- возможности мультиплицирования;
- возможность работы с маркерами отбраковки;
- работа со штрих- и 2D-кодами [8].

При создании программы дозирования необходимо стремиться к максимальной эффективности производства без какого-либо ухудшения качества. Программирование должно выполняться максимально эффективным образом. Ограничение количества поисков реперных знаков, измерений величины расхода, продувки, или иных производимых процессов может увеличить производительность; однако, такие факторы, как тип, качество и повторяемость материала тоже должны учитываться. Структура программы должна быть логичной, понятной и удобной для редактирования.

Все программы FmXP состоят из:

- Пред-реперный блок;
- Главная программа;
- Шаблон обрабатываемой детали.

Вдобавок к шаблону обрабатываемой детали, вы можете включить дополнительные шаблоны. Однако, все программы содержат главную программу и шаблон обрабатываемой детали, как минимум.

*Пред-реперный блок* выполняется до главной программы. Данный блок позволяет перед этапом определения реперных знаков, выполняемым в начале программы дозирования, исключить все программы действий, не относящиеся к процессу дозирования. Например, до нахождения реперного знака может быть выполнена проверка входных сигналов или настройка выходных сигналов. Программа может быть прервана при неправильном значении входного сигнала.

*Главная программа* – это набор команд, обычно не показываемых в окне программирования. Главная программа начинает и заканчивает программу и содержит:

- Комментарии по работе программы;
- Команды установки режима (быстрый режим по оси Z (Zfast), контроль высоты (heightsensing), и т. д.);
- Программы технологического процесса;
- Настройки технологического процесса, добавленные пользователем;
- Вызов шаблона обрабатываемой детали;
- Команда окончания программы.

FmXP создает главную программу автоматически на основании настроек системы.

Все программы FmXP содержат *шаблон обрабатываемой детали*. Обычно эти шаблоны производятся из шаблона обрабатываемой детали, однако вы можете произвести шаблон из другого шаблона (вложенные один в другой шаблоны или вспомогательный шаблон).

Обычно в состав шаблона обрабатываемой детали входят:

- Программа действий по шаблону;
- Программа действий процесса дозирования/Команды процесса;
- Процедуры;

- Вызовы вспомогательного шаблона;
- Команда окончания программы шаблона.

На рисунке 3.9 приведена типовая архитектура программы FmXP. Шаблоны «Точки» и «Линии» являются дополнительными шаблонами дозирования, выполняемые из шаблона обрабатываемой детали [11].

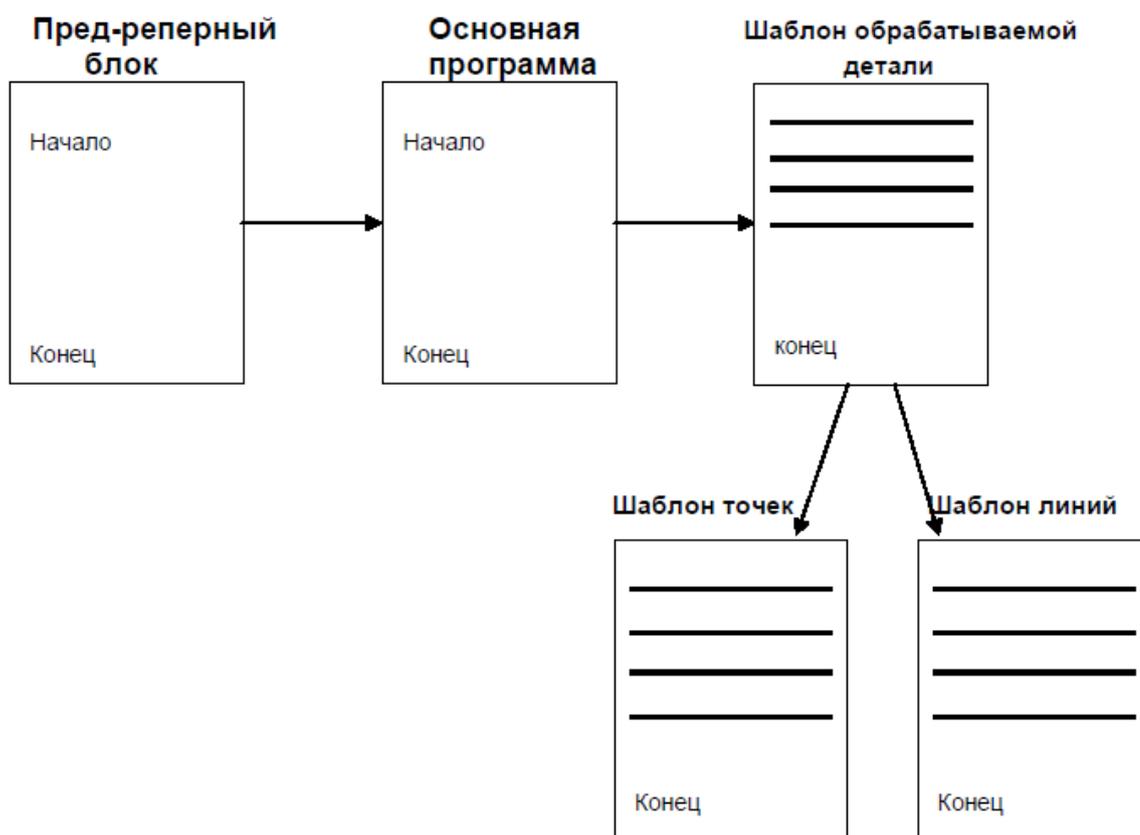


Рисунок 3.9 – Типовая архитектура программы

### 3.4.2 Полуавтоматическая система установки компонентов

Система полуавтоматической установки компонентов ExpertLine (рисунок 3.10) представляет собой модульную систему, удовлетворяющую потребностям современной электронной промышленности в изготовлении прототипов или мелкосерийном производстве. Используется для установки компонентов в ручном или полуавтоматическом режиме с возможностью установки компонентов с малым шагом выводов и исключения ошибки неправильного расположения ЭРИ на ПП.

ПО ExpertPlace позволяет эксплуатировать системы серии ExpertLine для ручной установки компонентов как полуавтоматические устройства. ПО ExpertPlace позволяет указывать оператору правильное положение захвата компонентов, а также правильное положение установки. Благодаря фактическому отображению элементов машины и компонентов, можно вовремя заметить повернутые компоненты и избежать ошибок [12].

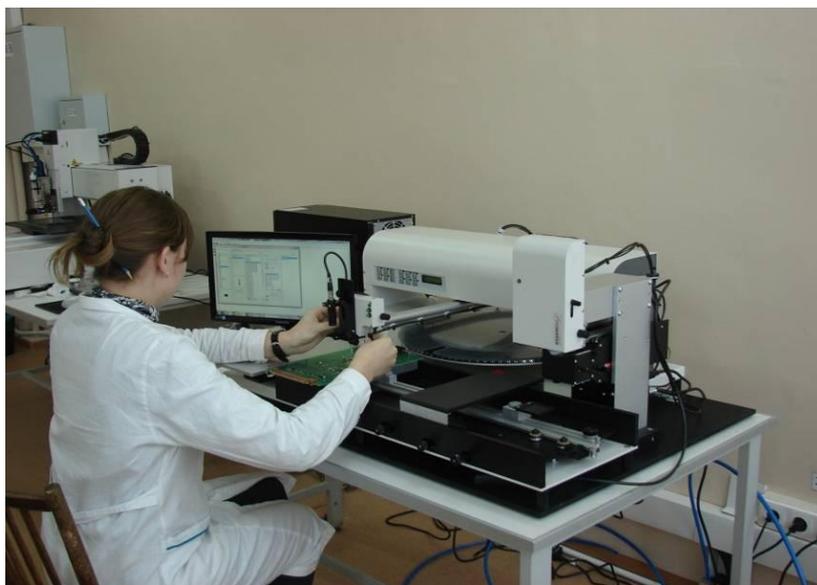


Рисунок 3.10 – Система установки компонентов ExpertLine

Основные технические характеристики:

- электропитание: 220В, 50 Гц;
- габаритные размеры (Д×Ш×В): 750×715×310 мм;
- вес: 22 кг;
- минимальный размер ПП: 20×25 мм;
- максимальный размер ПП: 425×253 мм;
- производительность: 600÷800 комп/час;
- пневмопитание: 5÷7 Бар [12].

### **3.4.3 Конвекционная система группового оплавления**

Печь конвекционного оплавления Ersahotflow 3/14 (рисунок 3.11) предназначена для пайки компонентов поверхностного монтажа оплавлением

на печатные узлы, а также для отверждения клеящих составов, на которых крепятся компоненты. Конструкция печи и использование соответствующих материалов обеспечивают передачу тепловой энергии путем конвекции [13].



Рисунок 3.11 – Система конвекционного нагрева ErsasHotflow 3/14

Основные технические характеристики [13]:

- тип нагрева: конвекционный;
- максимальная потребляемая мощность: 53÷86 кВт;
- габаритные размеры (Д×Ш×В): 5190×1530×1580 мм;
- вес: 2500 кг;
- ширина конвейера: 50÷536 мм;
- длина рабочей зоны: 3750 мм;
- диапазон регулирования температуры в зоне оплавления: 180÷350 °С.

Пакет ПО позволяет выполнять следующие действия: управление процессом, документирование технологических параметров и автопрофилирование для создания программ пайки в режиме оффлайн. Задачи улучшенного комплекта ПО: упрощение эксплуатации, визуализированный мониторинг процесса и снижение времени на конфигурирование параметров, подбор необходимого профиля, обработка и управление данными, а также документирование и архивирование всей информации о процессах и работе машины для последующего отслеживания [14].

## **4 Результаты исследования**

### **4.1 Исследование этапов поверхностного монтажа на основе экспериментальных данных**

В процессе проведения экспериментальных работ по освоению ТПМ изделий были проведены следующие работы:

- подбор оптимального термопрофиля с применением конвекционной системы группового оплавления;
- нанесение паяльной пасты с применением системы автоматического дозирования;
- установка компонентов на ПП с применением полуавтоматической системы установки;
- монтаж сборочного узла в конвекционной системе группового оплавления;
- анализ выявленных дефектов, влияющих на качество монтажа.

#### **Процедура определения оптимального термопрофиля**

При освоении и отработке технологии автоматизированного метода монтажа компонентов на ПП для каждого нового типа ПП проводится отработка термопрофиля, отвечающего требованиям поставщика компонента и обеспечивающего надежную и качественную пайку. Такая отработка производится на макетных образцах.

Термопрофиль определяется исходя из температуры плавления паяльной пасты, конструкции и материала ПП, типа и размеров компонентов, количества и плотности компонентов на ПП. Также при задании термопрофиля учитываются рекомендации поставщика компонентов. Термопрофиль пайки состоит из четырех стадий пайки (рисунок 4.1):

- 1 стадия предварительного нагрева (подогрева);

- 2 стадия стабилизации (температурного выравнивания);
- 3 стадия оплавления (пайки);
- 4 стадия охлаждения.

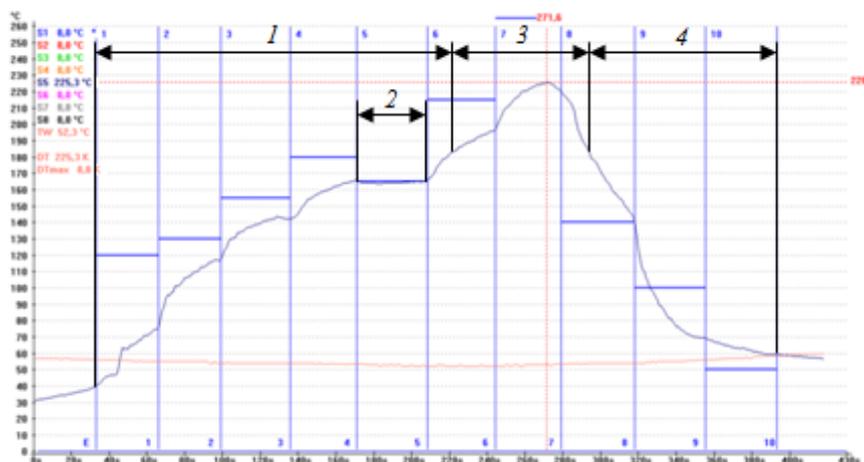


Рисунок 4.1 – Термопрофиль оплавления пасты NC-SMQ<sup>®</sup> 90 Sn62/Pb36/Ag2

Параметры термопрофиля (скорость нагрева/охлаждения, температура) в каждой стадии должны соответствовать требованиям, указанным в 3.3.

Скорректировать требуемый термопрофиль позволяют следующие методы:

- увеличение времени предварительного нагрева. Следует учитывать, что при увеличении времени происходит испарение флюса, что приводит к ухудшению смачиваемости из-за окисления спаиваемых поверхностей;

- увеличение температуры предварительного нагрева. Обычно температура преднагрева 140-160 °С, однако в исключительных случаях она может быть увеличена до 170-190 °С, что уменьшает разницу температур между этапом предварительного нагрева и оплавлением. Недостаток этого метода, как и предыдущего, заключается в быстром испарении флюса, что сказывается на надежности пайки.

Для определения режима пайки на плату под компонентом, рядом с компонентом или в других интересующих точках устанавливаются термопары, которые подключаются к датчику измерения температур (рисунки 4.2, 4.3).

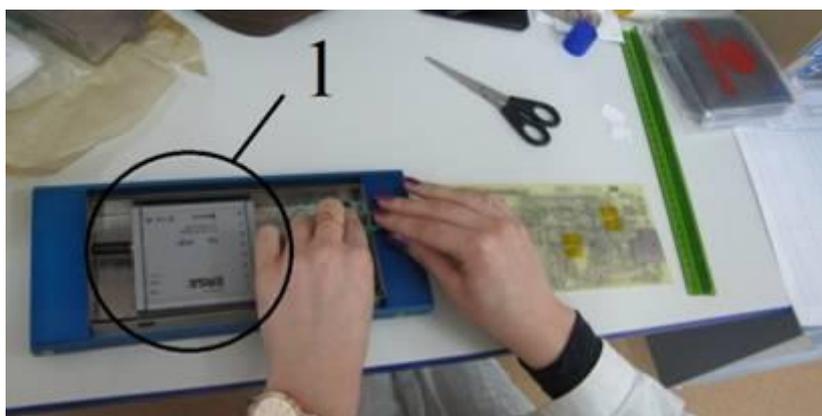


Рисунок 4.2 – Подключение термопар к датчику измерения температуры:

1 – датчик

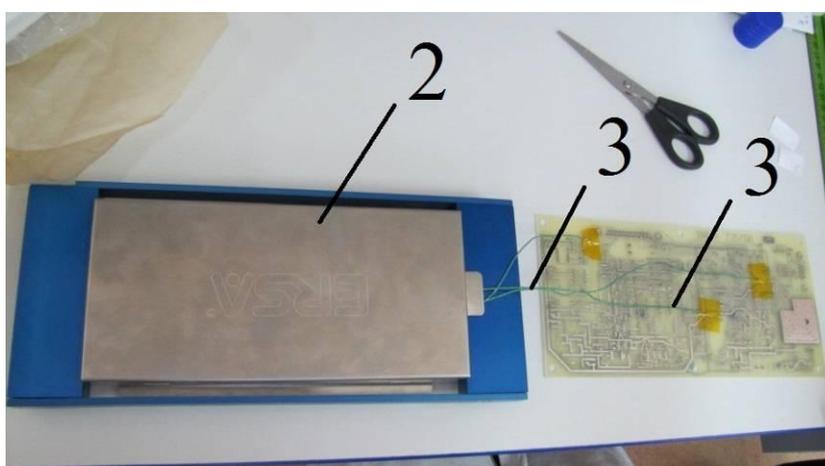


Рисунок 4.3 – Подключение термопар к датчику измерения температуры:

2 – приспособление для прохождения датчика через печь; 3 – термопары

Затем тестовую плату и датчик пропускают через печь (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Установка платы и датчика в печь для снятия температурного профиля

После извлечения платы из печи на мониторе пульта управления появляется окно с созданным температурным профилем (рисунок 4.5).

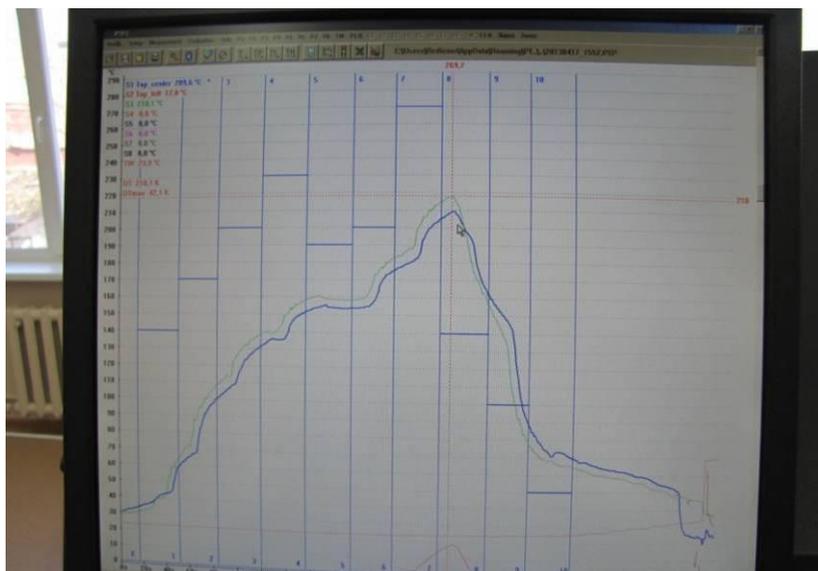


Рисунок 4.5 – Температурный профиль на мониторе печи:  
синяя линия – температура, которая фиксируется на КП,  
зеленая линия – температура на ПП

Если обнаружены несоответствия температурного профиля заданным требованиям, то температурные, временные и другие значения термопрофиля корректируются и операция проводится повторно, пока не будет получен оптимальный термопрофиль, который должен способствовать исключению образования дефектов паяных соединений и температурного влияния на применяемые ЭРИ и ПП. Когда получен оптимальный термопрофиль, его следует заносить в журнал регистрации температурных профилей.

### **Операция нанесения паяльной пасты на автоматическом дозаторе**

Для отработки ТПМ была выбрана паста Sn62 NC-SMQ90 ТУ 26300-101075 18266-2011. Паста NC-SMQ90 должна храниться в холодильнике при температуре 0-10 °С. Перед применением пасту необходимо выдержать при комнатной температуре 2-4 часа. Хранить и транспортировать паяльную пасту, расфасованную в шприцы, нужно в положении упаковки наконечником вниз.

Использование холодной паяльной пасты может вызвать изменение параметров технологического процесса дозирования и получение плохих результатов. При начале работы со шприцом необходимо его маркировать датой начала использования. По истечении срока годности использовать пасту не рекомендуется.

Для нанесения паяльной пасты на КП плата устанавливается и закрепляется на платформе дозатора (рисунок 4.6).

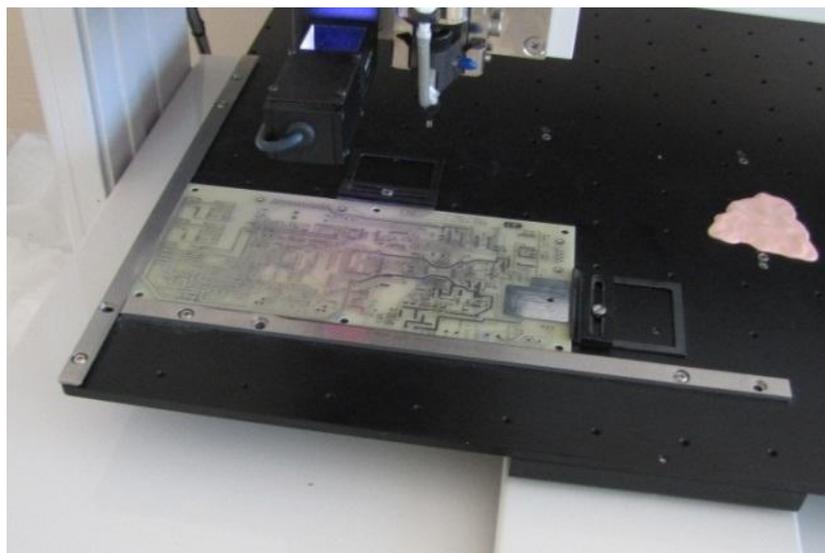


Рисунок 4.6 – Установка ПП на платформу дозатора пасты

Так как габариты и конструкция комплектующих (маленькие размеры ПП, припрессованная плата к основанию и др.) не всегда позволяют наносить паяльную пасту на автоматическом дозаторе непосредственно на ПП, то возможно возникновение необходимости использования дополнительной оснастки для установки комплектующих на стол автомата дозированного нанесения паяльной пасты, для сборки и монтажа.

После изготовления приспособлений (при необходимости) оператор разрабатывает программу для нанесения пасты, указывая реперный знак данной ПП (есть возможность создания программы без реперных знаков) и выбирая опытным путем количество пасты, которое будет нанесено на каждую КП. Количество наносимой пасты определяется скоростью вращения шнека, скоростью движения иглы и временем продавливания пасты из иглы.

Перед созданием программы необходимо провести калибровку дозатора. Эта операция требуется при смене иглы или картриджа, также при наличии смещения относительно КП. В процессе калибровки задаются следующие параметры: безопасная высота головки дозатора, при которой игла не касается элементов и платы; смещение иглы; местоположение отверстия для слива пасты; точность нанесения точек пасты.

В зависимости от размеров и формы КП платы и компонентов выбирается шаблон дозирования программы Fluidmove: точки или линии (рисунок 4.7).

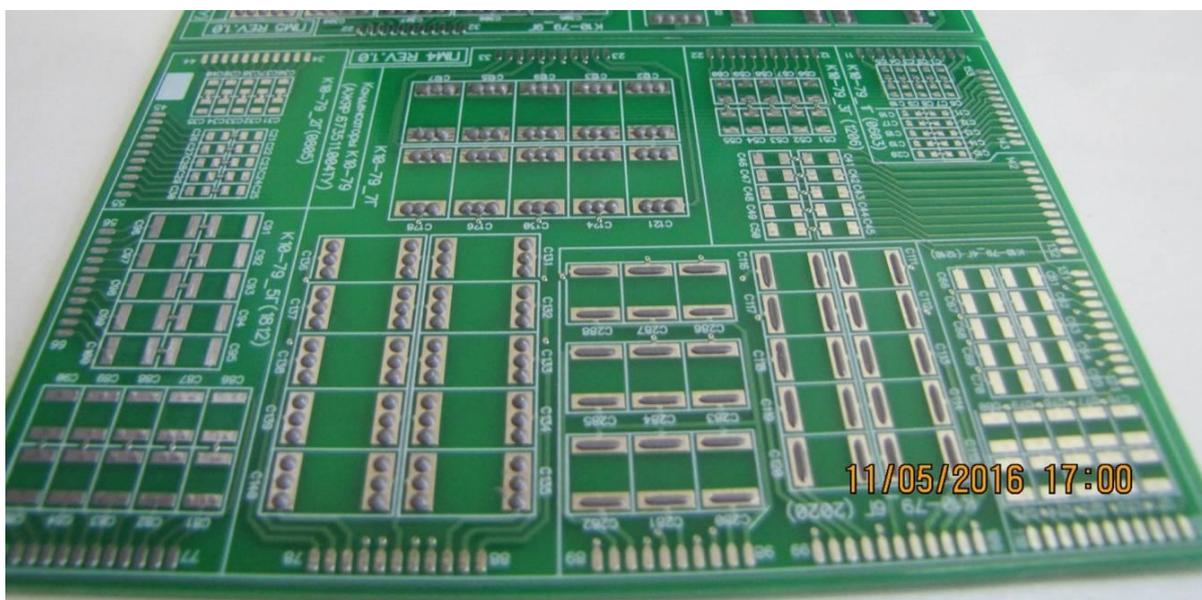


Рисунок 4.7 – Тестовая плата с нанесенной пастой (точками и линиями)

ПО Fluidmove обеспечивает точное, быстрое и одинаковое нанесение точек. Точки используются в различных техниках дозирования. Возможно регулирование размеров точек и параметров их нанесения. Для программирования линии достаточно запрограммировать ее начальную и конечную точки. Ширина линий и параметры их нанесения регулируются. На рисунке 4.8 представлен вариант программирования для задания типовых шаблонов: точек (Dot), линий (Line) и др.

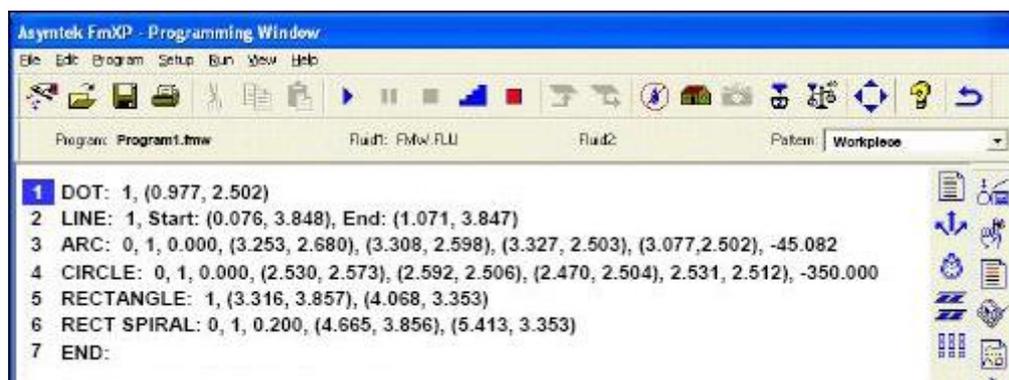


Рисунок 4.8 – Программирование основных шаблонов дозирования

Для создания программы задаются нулевая точка на ПП и параметры нанесения точек пасты (рисунок 4.9). В программе можно одновременно работать с 10 типами точек, которые отличаются временем нанесения (ValveOnTime) и высотой дозы (DispenseGap).

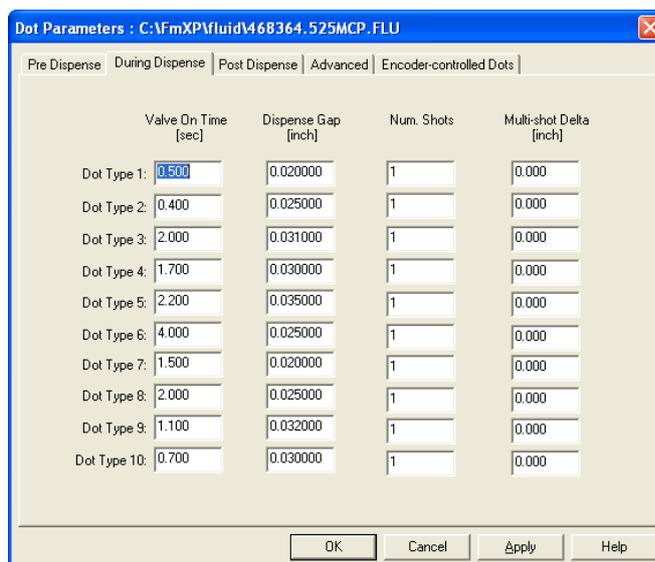


Рисунок 4.9 – Окно задания параметров нанесения пасты

После запуска программы дозатор автоматически наносит пасту (рисунок 4.10). Результат дозирования оценивается визуально. Если качество или количество нанесенной пасты оказалось недостаточным для образования качественного соединения, паста удаляется с платы, в программу вносятся изменения и дозатор наносит пасту повторно.

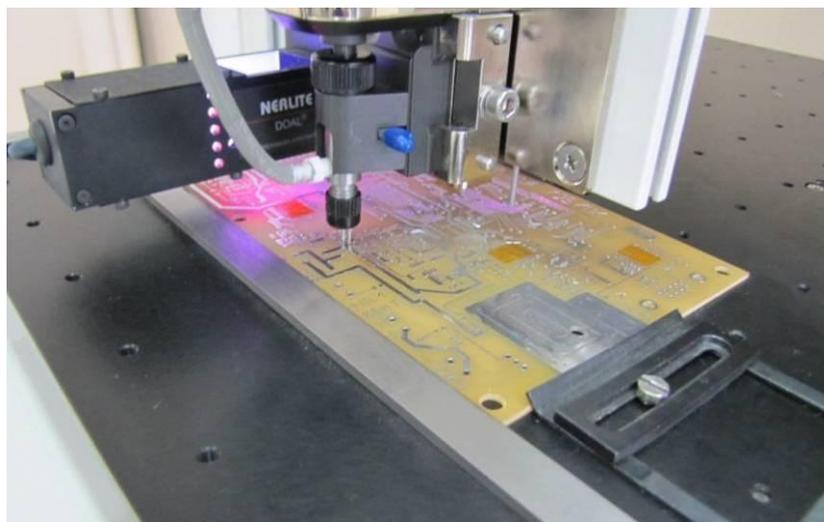


Рисунок 4.10 – Нанесение пасты на КП ПП

### **Операция установки компонентов на полуавтоматической системе установки**

Компоненты устанавливаются в соответствии с конструкторской документацией и техпроцессом с помощью полуавтоматической системы установки компонентов на ПП с нанесенной паяльной пастой. Имеется возможность работы с компонентами в виде ленточных, кассетных питателей и россыпью.

При определении последовательности установки необходимо предусмотреть пространство для того, чтобы установка могла осуществляться, не смещая и не повреждая уже установленные компоненты. Кроме того, тип платы или структура соединений также может играть значительную роль в избрании последовательности установки.

Для того чтобы установить ЭРИ на плату с нанесенной паяльной пастой, ПП устанавливается на держатель установщика компонентов (рисунок 4.11).

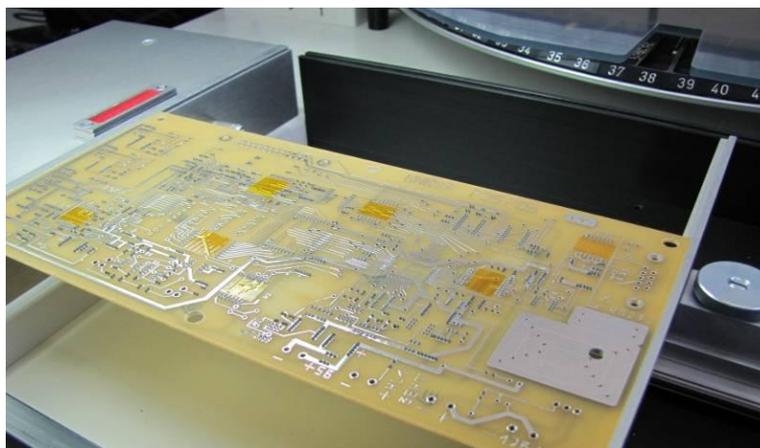


Рисунок 4.11 – Установка ПП на держателе установщика компонентов

После чего оператор разрабатывает программу установки элементов на ПП, указывая расположение ПП на держателе установки. После запуска программы, полуавтоматическая система установки выводит на монитор номер ячейки, из которой нужно взять компонент и указывает место на ПП, куда его нужно установить. Компонент захватывается вакуумным пинцетом и устанавливается на ПП (рисунок 4.12). При наведении пинцета в нужное место установщик подает сигнал, подтверждающий правильность выбранных для установки координат, исключая ошибку оператора. Таким образом, каждый компонент безошибочно устанавливается на нужное место.

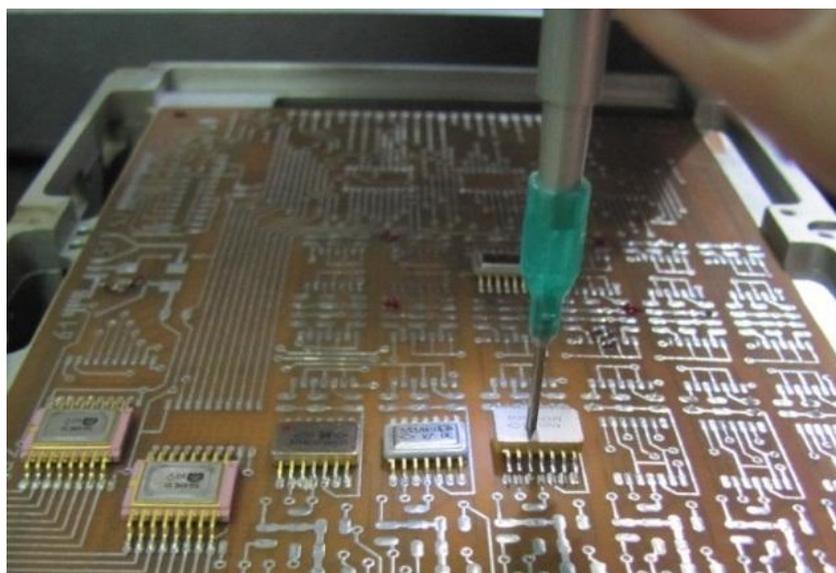


Рисунок 4.12 – Установка компонента на ПП

При установке полупроводниковых компонентов и интегральных микросхем обязательно используется антистатический браслет в соответствии с

технологической инструкцией по защите от воздействия статического электричества, действующей в организации.

Результат установки компонентов оценивается визуально отделом технического контроля на рабочем месте, не снимая платы с системы полуавтоматической установки. Проводится контроль правильности установки ЭРИ согласно требованиям чертежа и совпадения выводов и КП ЭРИ с КП ПП. Выводы и КП ЭРИ должны лежать на пасте. При контроле следует использовать лупу и фиксировать данную операцию на фотоаппарат.

#### **4.2 Анализ технологических факторов, влияющих на качество монтажа изделий**

Нарушение или несоблюдение технологических процессов изготовления сборочных единиц приводит к ухудшению качества изготовленных сборочных единиц. Основные нарушения связаны с:

- хранением и применением паяльной пасты;
- подготовкой ЭРИ к монтажу;
- выбором температурного профиля пайки и несоблюдением его в процессе монтажа;
- конструктивными особенностями сборочного узла.

#### **Образование шариков припоя**

При проведении испытаний по отработке режимов пайки, в результате визуального контроля, были обнаружены излишки припоя, которые выступили в переходных отверстиях и рядом с ними (рисунки 4.13, 4.14).



Рисунок 4.13 – Шарик припоя в переходном отверстии

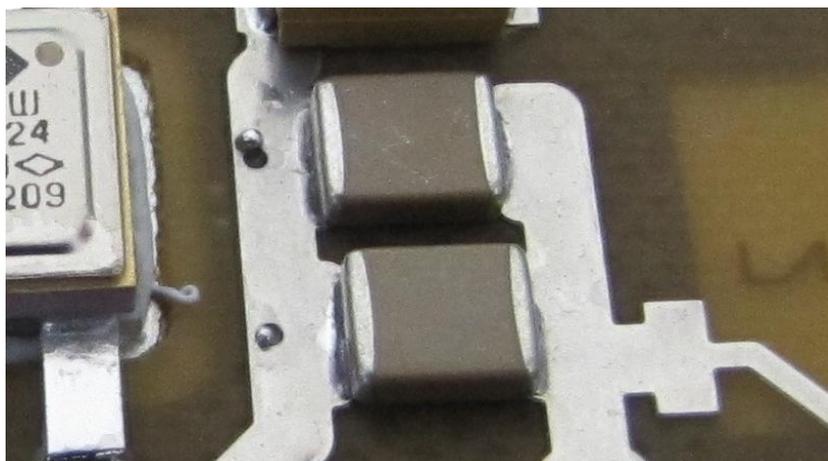


Рисунок 4.14 – Шарики припоя рядом с переходными отверстиями

Рядом и под бескорпусными конденсаторами и резисторами (рисунки 4.15, 4.16) в виде шариков припоя.

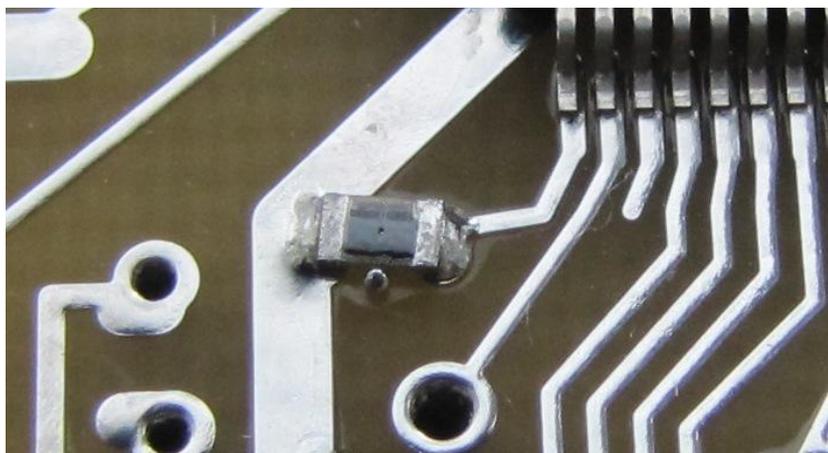


Рисунок 4.15 – Шарики припоя рядом с ЭРИ



Рисунок 4.16 – Шарики припоя рядом с ЭРИ

Образование шариков припоя может быть вызвано следующими факторами: нанесением слишком большого количества паяльной пасты на КП, несоблюдением требований к подготовке компонентов и ПП к пайке или слишком высокой скоростью нарастания температуры в первой зоне.

**Вывод:** для того чтобы избежать образования шариков припоя при оплавлении в конвекционной печи нужно обеспечивать скорость нарастания температуры в зоне предварительного нагрева  $0,5-1,0^{\circ}\text{C}/\text{с}$ . Для того чтобы избежать появления шариков припоя под корпусом компонента влагочувствительные ЭРИ перед установкой должны быть просушены с обязательным соблюдением требований на данный элемент и технологическими рекомендациями № 2614-545-09 от 05.05.09 г., утвержденными Генеральным директором ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс». При проведении эксперимента пайки бескорпусных конденсаторов и резисторов была проведена их сушка и ПП в течение 4 часов при температуре  $80\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

#### **Требования по подготовке комплектующих к монтажу**

Эксперимент по пайке элементов с окисленными выводами показал, что припой пузырится и пайка получается некачественная (рисунки 4.17). Окисление выводов элементов является следствием нарушения условий и

превышения сроков хранения элементов, указанных в технических условиях (ТУ).

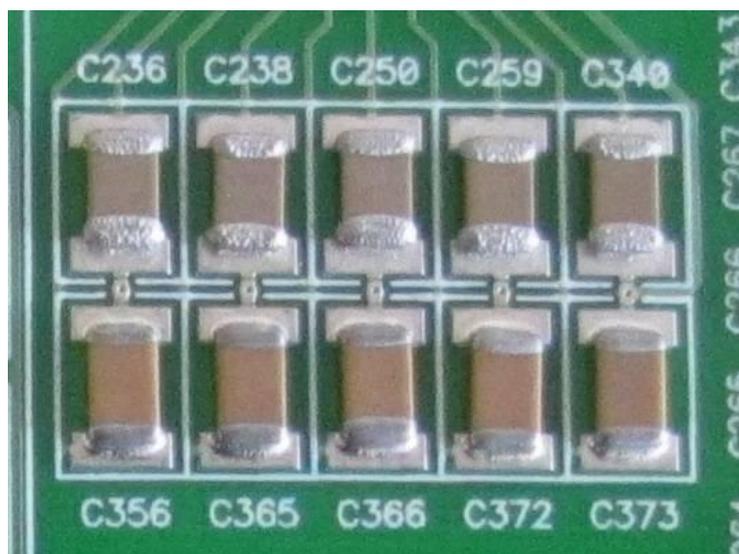


Рисунок 4.17 – Результат пайки конденсаторов с окисленными выводами

**Вывод:** перед пайкой необходимо убедиться, что КП на ПП и выводы элементов не окислены, позолоченные выводы микросхем перед монтажом облужены и сроки хранения элементов соответствуют требованиям ТУ.

### **Конвекционная пайка корпусных элементов**

Монтаж корпусных ЭРИ предполагает, что корпус элемента должен находиться на определенном расстоянии от платы. Поэтому монтаж корпусных ЭРИ в конвекционной печи возможен только при условии, что корпус элемента будет закреплен, а его выводы будут стоять на КП платы.

Для того чтобы проводить монтаж корпусных ЭРИ на ПП был проведен эксперимент с использованием клея HERAEUS PD955M. На КП была нанесена паяльная паста, в центр между двумя КП нанесен клей. Корпус конденсатора ставится на клей так, чтобы выводы касались КП (рисунки 4.18). После прохождения через печь корпус элемента не лежит на ПП, а держится на клее, а выводы элемента припаяны к КП – пайка качественная (рисунок 4.19).

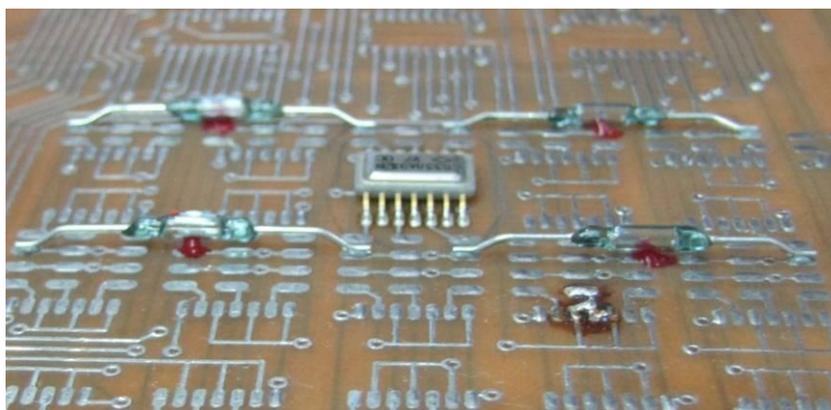


Рисунок 4.18 – Корпусные элементы, установленные на клей

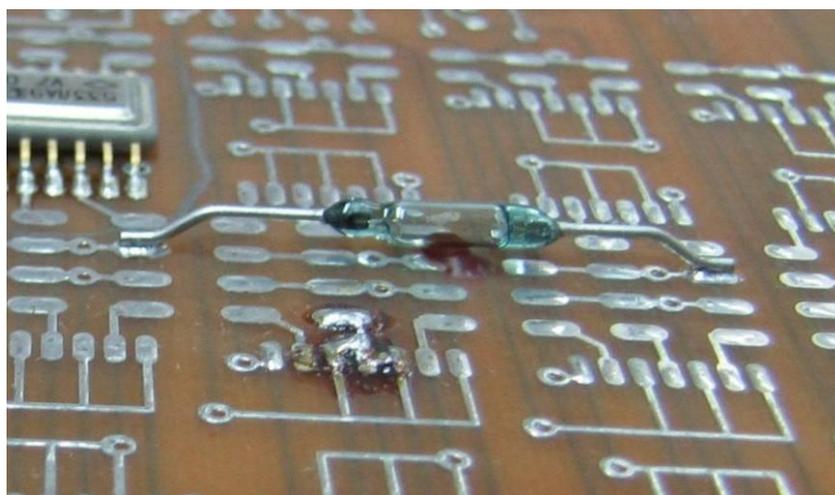


Рисунок 4.19 – Корпусные элементы, опаянные в конвекционной печи

**Вывод:** качественный монтаж корпусных элементов можно проводить в конвекционной системе группового оплавления.

### **Выполнение поверхностного монтажа тестовой платы**

Для согласования конвекционного метода поверхностного монтажа были проведены тестовые работы по монтажу конденсаторов типа К10-79 (рисунок 4.20).

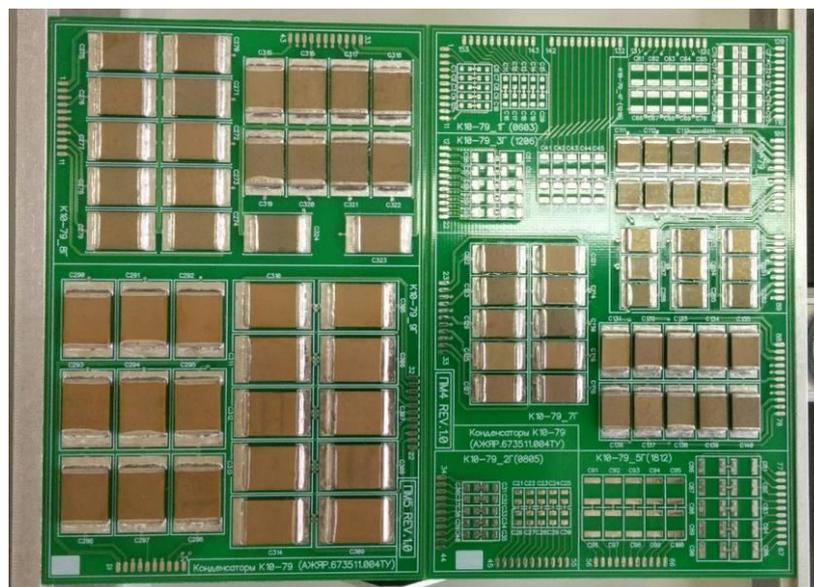


Рисунок 4.20 – Тестовая плата. Конденсаторы К10-79

Задачей являлось выяснить, как влияет метод конвекционной пайки на электрические параметры элементов. Для того чтобы избежать образования шариков припоя на платах при изготовлении на них была нанесена защитная паяльная маска. После проведения работ по подбору термопрофиля были замерены электрические параметры элементов до монтажа и после монтажа, протокол проверки параметров приведен в приложении В. Пайка получилась качественной. Шариков припоя не обнаружено.

**Вывод:** для качественного проведения поверхностного монтажа нужно покрывать платы защитной паяльной маской. Замеры электрических параметров ЭРИ после монтажа показали, что параметры не вышли за пределы требований ТУ.

### **Общие выводы по отработке технологии поверхностного монтажа**

Данный технологический процесс необходим при широком использовании ЭРИ ИП, в том числе в корпусах типа BGA и чип-элементов.

Для получения качественной пайки методом поверхностного монтажа с применением системы автоматического дозирования DispenseMate серии 585, системы полуавтоматической установки компонентов ExpertLine и

конвекционной системы группового оплавления Ersahotflow 3/14 необходимо выполнять следующие требования:

- должны быть оговорены зоны, не занятые монтажом, куда невозможно нанести паяльную пасту автоматически;

- элементная база должна быть пригодна для поверхностного монтажа конвекционным методом;

- ПП должна иметь защитную паяльную маску;

- выводы компонентов и контактные поверхности бескорпусных элементов должны быть облужены перед пайкой. Облуживание должно быть равномерным и не иметь излишков припоя. Сроки хранения компонентов должны соответствовать требованиям ТУ;

- прогибы и коробления ПП не должны выходить за пределы требований ГОСТ Р МЭК 61191-1, ГОСТ Р 53429-2009;

- ПП должны иметь реперные знаки;

- компоненты в керамических корпусах и ПП должны быть просушены в соответствии с рекомендациями АФЕК.005.900 [15];

- условия хранения пасты и ее использование должны соответствовать требованиям ТУ;

- конструкция ПП и установка компонентов на ней должна быть выполнена в соответствии с рекомендациями АФЕК.005.900 [15];

Нарушение вышеуказанных требований приводит к некачественному изготовлению сборочного узла, выражающееся пережиганием КП, образованием шариков припоя и пузырей в припое, плохим формированием галтели паяного соединения, отсутствием контакта паяного соединения и др.

### 4.3 Алгоритм разработки программы для системы автоматического дозирования паяльной пасты

#### Порядок работы

Разработка программы нанесения паяльной пасты на печатные платы на автомате дозирования выполняется в следующей последовательности:

1 Включить компьютер и дозатор.

2 Убедиться, что камера дозатора загружена.

3 Запустить программу FmXP двойным нажатием на значок  на рабочем столе Windows XP.

4 Установить давление воздуха регулятором давления, оно должно быть 9,5–10,5 Па.

Во время запуска программы FmXP автоматически осуществляется проверка наличия и правильности обмена данными между устройствами ввода-вывода системы дозирования и программой FmXP. Следует помнить, что пока программа не выдаст соответствующие указания не нужно нажимать на клавиатуру и кнопки мыши.

5 При появлении сообщения 30416 (Dispenser Motor References Not Found – Не найдены данные о приводе дозатора) нажать кнопку «ОК», чтобы вернуть дозатор в исходное положение. Откроется главное окно FmXP (рисунок 4.21).

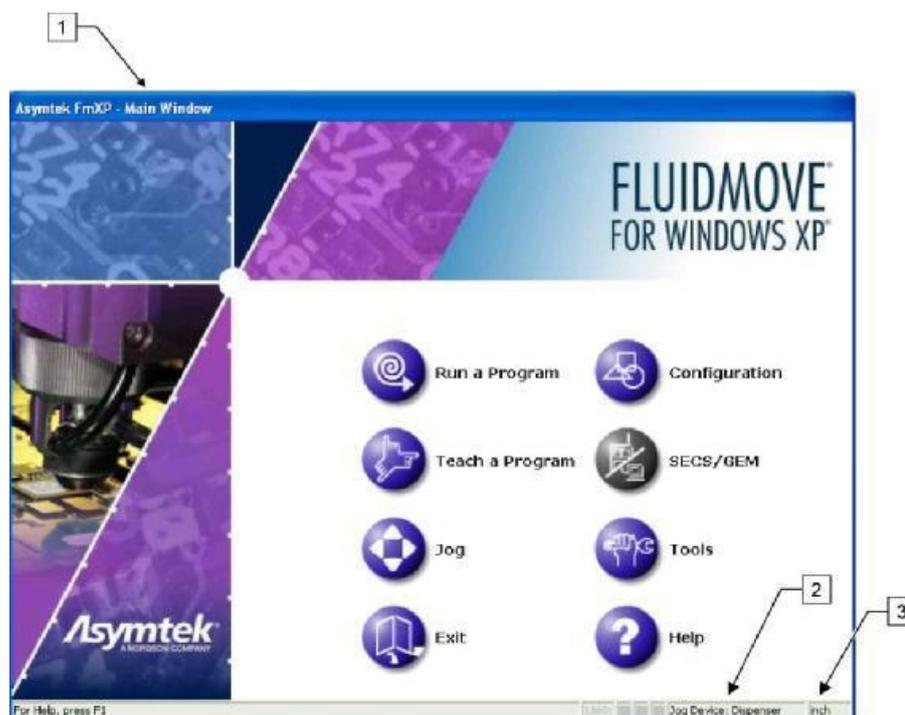


Рисунок 4.21 – Главное окно FmXP:

1 – версия программы/наименование окна; 2 – выбранное рабочее устройство (головка/конвейер); 3 – выбранная единица измерения

6 В главном окне программы FmXP выбрать значок  . Откроется окно программирования.

7 С помощью команд управления переместить столик для фиксации в удобное положение для установки ПП и закрепить плату в левый нижний угол столика для фиксации.

8 Для создания новой программы нанесения пасты необходимо выполнить следующие действия:

8.1 При создании программы без реперных знаков:

- в меню «File» окна программы выбрать пункт «New»;
- откроется окно «CreateWorkpiece» (рисунок 4.22), нажать кнопку «OK»;

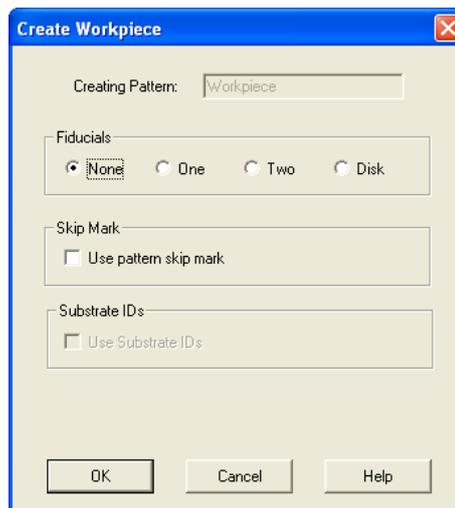


Рисунок 4.22 – Окно «CreateWorkpiece»

– откроется окно «Teach First Point Defining Axis», в котором необходимо задать две крайние точки верхней горизонтальной стороны платы. Эта процедура нужна для избегания смещения координат наносимых доз.

– установить перекрестие камеры с помощью команд управления на первую крайнюю точку, нажать «Teach»;

– указать вторую точку, нажать «Teach»;

– откроется окно «Teach Workpiece Origin». Задать начальную точку любым из предложенных способов.

8.2 При создании программы с двумя реперными знаками:

– в меню «File» окна программы выбрать пункт «New»;

– откроется окно «CreateWorkpiece». Установить значение «Fiducials» на «Two»;

– затем выполнить аналогичные действия по определению двух крайних точек, как описано в п. 8.1;

– откроется окно «Select Method To Find Fid1, Then Press Next»;

– выбрать метод Model Finder, нажать «Next»;

– в новом окне «Adjust Parameters For Fid 1, Then Press Teach» задать параметры первого реперного знака;

– в графе Model Size отрегулировать размеры внутреннего квадрата так, чтобы реперный знак входил в его область;

- в графе Search Window изменить размеры внешнего квадрата так, чтобы в его область не входили другие объекты, например, контактные площадки. Нажать «Teach»;

- в следующем окне проверить результаты тестирования, нажать Next;

- выбрать второй реперный знак в верхнем правом углу и проделать аналогичные операции, как для первого реперного знака, нажать Next;

- откроется окно «Teachworkpieceorigin»;

- перекрестием камеры с помощью команд управления выбрать нулевую точку ПП, нажать последовательно кнопки «Teach» и «Done».

9 Пропустить пасту или смазку одним из следующих способов.

9.1 В меню «Setup» окна программы выбрать пункт «Purge Needle Infinite»;

- дозирующая головка переместится в место для слива пасты, появится окно слива пасты;

- когда паста продавится, нажать на кнопку «Cancel».

9.2 В главном меню программы выбрать раздел «Tools»;

- в открывшемся меню выбрать раздел «I/O Test», затем перейти в подпункт «Dispenser»;

- откроется окно «I/O Test Dialog»;

- во вкладке «Outputs 0-31» в столбце «Channel 0» (левый верхний) сначала изменить четвертую строку с «0» на «1» для подачи сжатого воздуха, затем – первую строку с «0» на «1» для вращения шнека;

- для остановки потока сжатого воздуха в окне «I/O Test Dialog» сначала изменить первую строку с «1» на «0», затем – аналогично четвертую.

10 Выполнить калибровку дозатора. Если калибровка не требуется, перейти к разделу создания программы.

## Калибровка дозатора

Калибровку дозатора необходимо выполнять, если меняется игла или картридж, или идет смещение относительно контактной площадки. Следует учитывать, что при нажатии кнопки «Cancel» в любом окне, произойдет возврат в главное окно программы FmXP, при этом новые параметры не сохранятся.

1 В меню «Setup» окна программы выбрать пункт «Scripted Valve Offsets», откроется диалоговое окно «MachineSetup»;

– нажать кнопку «Run to End» для запуска программы калибровки.

2 Калибровку дозатора выполнить в следующем порядке.

2.1 Определить безопасную высоту, когда игла проходит над рабочей поверхностью, не касаясь элементов конструкции, для этого необходимо следующее:

– с помощью команд управления опустить (поднять) камеру на безопасную высоту, нажать последовательно кнопки «Teach» и «Done».

2.2 Сделать отпечаток иглы на герметике.

2.3 Сделать отпечаток стоппера на герметике.

2.4 Настроить смещение иглы.

2.5 Настроить местоположение отверстия для слива пасты.

3 Провести калибровку нанесения точек.

4 После нанесения точек пасты необходимо выполнить следующее:

– с помощью камеры скорректировать центры точек нанесенной пасты, подтверждая последовательным нажатием на кнопки «Teach» и «Done»;

– нажать кнопку «ОК», подтверждая, что дозатор откалиброван и готов к работе;

– в окне калибровки дозатора нажать кнопку «Exit».

## Создание программы для нанесения пасты на ПП

1 С помощью программы CADImport получить файл ПП в соответствии с документом 643.05776739.31057-01 34.

2 Импортировать CAD-данные в программу FmXP, для этого:

– в меню «File» окна программы выбрать пункт «Open CADImport File».

Появится сообщение 07601;

– нажать кнопку «ОК», откроется диалоговое окно «SelectCADImport File»;

– в открывшемся окне перейти в папку по адресу «Диск D/номер заказа/обозначение сборочной единицы» и выбрать файл, конвертированный в программе CAD Import с расширением \*.FMC. Нажать последовательно кнопки «Open» и «ОК».

3 Программа FmXP выдаст указание задать нулевую точку на ПП, для чего выполнить следующее:

– с помощью команд управления переместить камеру дозатора в нулевую точку ПП, которую задал разработчик, и нажать кнопку «Teach»;

– в окне программы отобразятся данные с координатами контактных площадок ПП (рисунок 4.23).

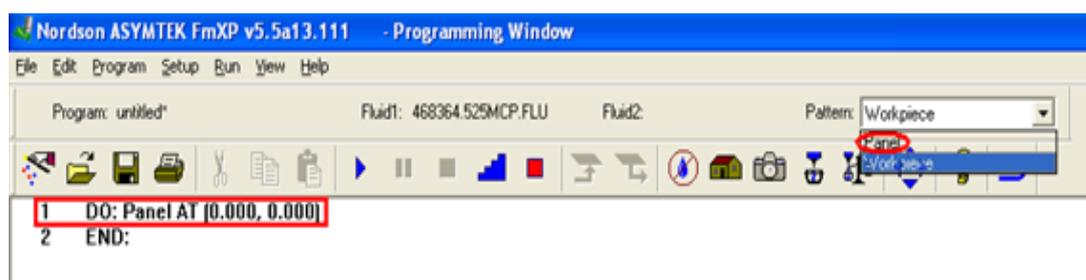


Рисунок 4.23 – Окно программирования

4 В окне программы FmXP из выпадающего списка шаблонов «Pattern» выбрать «Panel», как показано на рисунке 4.23.

5 Проверить совпадение координат контактных площадок, импортированных в программу FmXP, для этого:

– отменить нанесение пасты, нажав на значок  ;

– включить пошаговый просмотр, нажав на значок  .

Если при пошаговом просмотре видно, что координаты КП не совпадают с местонахождением контактных площадок ПП, то необходимо откорректировать значения нулевой точки или вернуть файл исполнителю для его доработки.

Если при пошаговом просмотре видно, что координаты КП совпадают с местонахождением контактных площадок ПП, то можно приступать к подготовке нанесения пасты.

6 Для нанесения пасты необходимо задать параметры нанесения точек, скорость вращения шнека и скорость движения иглы.

7 Параметры нанесения точек выполнить следующим образом:

– в меню «Edit» окна программы выбрать пункт «Edit Dot Parameters» (рисунок 4.24), появится окно задания параметров точки;

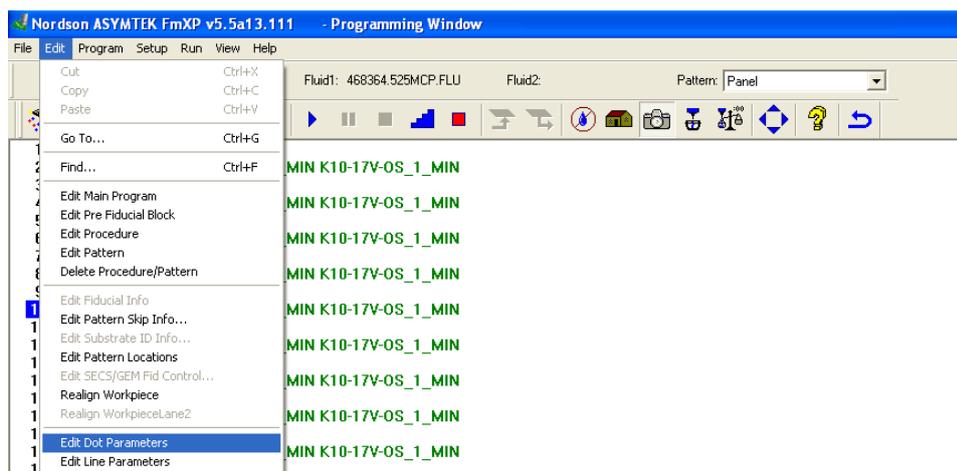


Рисунок 4.24 – Пункт «EditDotParameters» окна программы

– открыть вкладку «During Dispense», ввести значения в поля «ValveOnTime» (время нанесения) и «DispenseGap» (высота дозы) для необходимого «DotType» (тип точки). Нажать последовательно на кнопки «Apply» и «OK».

8 Установить скорость вращения шнека.

## Программа нанесения пасты на ПП для микросхемы

1 В окне программы FmXP на панели команд программирования нажать значок , появится меню, где выбрать пункт «Create Patten» (рисунок 4.25).

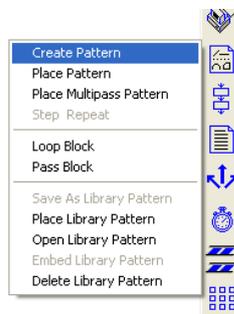


Рисунок 4.25 – Пункт «Create Patten» окна программы

Откроется окно «Create Pattern» в строке «New Pattern» ввести имя элемента, например, «microshema». Нажать кнопку «ОК». Откроется окно «Teach Patten Origin» (нулевая точка элемента).

2 Перекрестием камеры указать крайний левый угол крайнего левого вывода. Нажать последовательно кнопки «Teach» и «Done».

3 В панели шаблонов выбрать имя «microshema».

4 На панели команд программирования нажать значок  и в появившемся окне нажать кнопку «Dot».

Перекрестием камеры поставить две точки на первую контактную площадку микросхемы. После каждой выбранной точки нажать кнопку «Teach».

5 На вторую контактную площадку нанести также две точки в шахматном порядке относительно первой контактной площадки. В конце операции нажать кнопку «Done». В программу добавятся 4 координаты точек, которые сохранятся в «microshema».

6 В окне программы FmXP на панели шаблонов выбрать строку «Workpiece» и вставить «microshema», для этого:

– на панели команд программирования нажать значок , из выпадающего меню выбрать пункт «Place Pattern».

Программа будет выглядеть, как показано на рисунке 4.26.

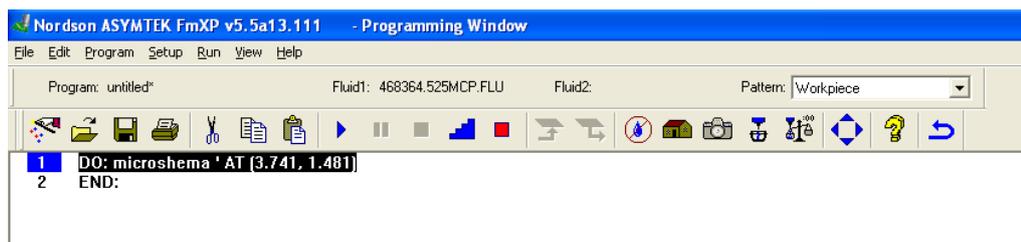


Рисунок 4.26 – Вид программы со вставленным шаблоном

7 Выделить строку, как показано на рисунке 4.26, на панели команд программирования и нажать значок  .

Появится окно задания параметров функции «Step and Repeat», вписать в строке «Pattern Name» имя элемента. Указать количество столбцов и строк.

8 В поле для ввода значений «First Position» (первая позиция) с помощью команд управления переместить камеру в нулевую точку элемента, которая будет являться первой позицией. Нажать кнопку «Teach», курсор перейдет в поле «End of Row Offset».

9 В поле «End of Row Offset» (смещение конца строки) с помощью команд управления переместить камеру к последней контактной площадке, которая будет являться последней позицией. Так как в данном случае точки располагаются в шахматном порядке и запрограммированы две контактные площадки, необходимо указать предпоследнюю контактную площадку. Нажать кнопку «Teach», курсор перейдет в поле «End of Col. Offset».

10 В поле «End of Col. Offset» (смещение конца столбца) с помощью команд управления переместить камеру в нулевую точку первой контактной площадки второй строки. Нажать кнопку «Teach», затем нажать кнопку «Done». В окне программы отобразятся данные с координатами контактных площадок микросхемы (рисунок 4.27).

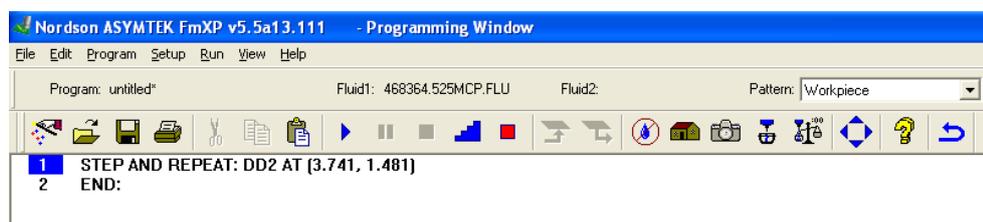


Рисунок 4.27 – Вид программы со вставленной функцией «Step and Repeat»

#### **4.4 Разработка технологической инструкции по нанесению паяльной пасты**

В процессе выполнения магистерской диссертации была разработана технологическая инструкция 0217149.25088.00044 «Нанесение паяльной пасты автоматом дозирования DispenseMate 585», определяющая порядок создания программы нанесения паяльной пасты на печатные платы с применением системы автоматического дозирования. Данная технологическая инструкция позволяет сотрудникам организации приобрести практические навыки по выполнению операции нанесения паяльной пасты на автоматическом дозаторе.

В инструкции приводятся: требования безопасности труда, технологическое оснащение, общие требования к выполнению работ, требования по подготовке к работе, порядок работы, алгоритм калибровки дозатора, порядок создания программы для нанесения паяльной пасты на ПП, в том числе и для микросхем, операция контроля отдела технического контроля, команды управления перемещения дозирующей головки (в приложении) и лист регистрации изменений.

Полный текст технологической инструкции представлен в приложении Г данной магистерской диссертации. Инструкция внедрена в организации актом внедрения № 12/1-15 (приложение Д).

## 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 5.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо оптимально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

На данном этапе составляется полный перечень проводимых работ, и определяются их исполнители и оптимальная продолжительность. Результатом планирования работ является сетевой либо линейный график реализации проекта. Для его построения составим перечень работ и соответствие работ исполнителям, продолжительность выполнения этих работ и сведем их в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

| Этапы работы   | Исполнители | Загрузка исполнителей |
|--|-------------|-----------------------|
| Постановка целей и задач, получение исходных данных            | НР          | НР – 100%             |
| Подбор и изучение материалов по тематике                       | НР, И       | НР – 10%<br>И – 100%  |
| Разработка календарного плана                                  | НР, И       | НР – 100%<br>И – 10%  |
| Обсуждение литературы  | НР, И       | НР – 30%<br>И – 100%  |
| Разработка программы для дозатора и отработка термопрофиля     | НР, И       | НР - 20 %<br>И – 100% |
| Отработка технологии поверхностного монтажа ЭРИ на ПП          | НР, И       | НР - 10 %<br>И – 100% |
| Разработка технологической инструкции нанесения паяльной пасты | И           | И – 100%              |
| Оформление расчетно-пояснительной записки                      | И           | И – 100%              |
| Оформление графического материала                              | И           | И – 100%              |
| Подведение итогов  | НР, И       | НР – 60%<br>И – 100%  |

### 5.1.1 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

В данном случае используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Для определения ожидаемого значения продолжительности работ  $t_{ож}$  применяется экспертный метод – метод двух оценок  $t_{min}$  и  $t_{max}$  по формуле (1).

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (1)$$

где  $t_{min}$  – минимальная продолжительность работы, дн.;

$t_{max}$  – максимальная продолжительность работы, дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 5.1 работ требуются специалисты:

- инженер;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ( $T_{РД}$ ) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (2)$$

где  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ ( $K_{ВН} = 1$ );

$K_{Д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ( $K_{Д} = 1,2$ ).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}}, \quad (3)$$

где  $T_{\text{КД}}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{\text{РД}}$  – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{\text{К}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{КАЛ}}$  – календарные дни ( $T_{\text{КАЛ}} = 366$ );

$T_{\text{ВД}}$  – выходные дни ( $T_{\text{ВД}} = 52$ );

$T_{\text{ПД}}$  – праздничные дни ( $T_{\text{ПД}} = 10$ ).

$$T_{\text{К}} = \frac{366}{366 - 52 - 10} = 1,204.$$

В таблице 5.2 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Величины трудоемкости этапов по исполнителям  $T_{\text{КД}}$  позволяют построить линейный график осуществления проекта, который представлен в таблице 5.3.

Таблица 5.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

| №  | Этапы работы   | Исполнители | Продолжительность работ, дни |           |          | Длительность работ, чел/дн. |       |          |       |
|----|--|-------------|------------------------------|-----------|----------|-----------------------------|-------|----------|-------|
|    |  |             | $t_{min}$                    | $t_{max}$ | $t_{ож}$ | $T_{РД}$                    |       | $T_{КД}$ |       |
|    |  |             |                              |           |          | НР                          | И     | НР       | И     |
| 1  | Постановка целей и задач, получение исходных данных            | НР          | 2                            | 4         | 2,8      | 3,36                        | –     | 4,05     | –     |
| 2  | Подбор и изучение материалов по тематике                       | НР, И       | 12                           | 15        | 13,2     | 1,58                        | 15,84 | 1,91     | 19,07 |
| 3  | Разработка календарного плана                                  | НР, И       | 2                            | 4         | 2,8      | 3,36                        | 0,34  | 4,05     | 0,40  |
| 4  | Обсуждение литературы  | НР, И       | 3                            | 5         | 3,8      | 1,37                        | 4,56  | 1,65     | 5,49  |
| 5  | Разработка программы для дозатора и отработка термопрофиля     | НР, И       | 5                            | 7         | 5,8      | 1,39                        | 6,96  | 1,68     | 8,38  |
| 6  | Отработка технологии поверхностного монтажа ЭРИ на ПП          | НР, И       | 10                           | 15        | 12       | 1,44                        | 14,4  | 1,73     | 17,34 |
| 7  | Разработка технологической инструкции нанесения паяльной пасты | И           | 10                           | 13        | 11,2     | –                           | 13,44 | –        | 16,18 |
| 8  | Оформление расчетно-пояснительной записки                      | И           | 8                            | 10        | 8,8      | –                           | 10,56 | –        | 12,71 |
| 9  | Оформление графического материала                              | И           | 5                            | 7         | 5,8      | –                           | 6,96  | –        | 8,38  |
| 10 | Подведение итогов  | НР, И       | 5                            | 8         | 6,2      | 4,46                        | 7,44  | 5,37     | 8,96  |
|    | <b>Итого:</b>  |             |                              |           | 72,4     | 16,97                       | 80,5  | 20,43    | 96,92 |

Таблица 5.3 – Линейный график работ

| Этап | НР   | И     | март |    |    | апрель |    |    | май |    |    | июнь |     |
|------|------|-------|------|----|----|--------|----|----|-----|----|----|------|-----|
|      |      |       | 10   | 20 | 30 | 40     | 50 | 60 | 70  | 80 | 90 | 100  | 110 |
| 1    | 4,05 | –     | ■    |    |    |        |    |    |     |    |    |      |     |
| 2    | 1,91 | 19,07 | ■    | ■  | ■  |        |    |    |     |    |    |      |     |
| 3    | 4,05 | 0,40  |      |    | ■  |        |    |    |     |    |    |      |     |
| 4    | 1,65 | 5,49  |      |    | ■  | ■      |    |    |     |    |    |      |     |
| 5    | 1,68 | 8,38  |      |    |    | ■      | ■  |    |     |    |    |      |     |
| 6    | 1,73 | 17,34 |      |    |    |        | ■  | ■  | ■   |    |    |      |     |
| 7    | –    | 16,18 |      |    |    |        |    | ■  | ■   | ■  |    |      |     |
| 8    | –    | 12,71 |      |    |    |        |    |    |     | ■  | ■  |      |     |
| 9    | –    | 8,38  |      |    |    |        |    |    |     |    | ■  | ■    |     |
| 10   | 5,37 | 8,96  |      |    |    |        |    |    |     |    |    | ■    | ■   |

### 5.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Степень готовности определяется формулой:

$$СГ_i = \frac{ТР_i^H}{ТР_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i ТР_k}{ТР_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m ТР_{km}}{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m ТР_{km}}, \quad (5)$$

где  $ТР_i^H$  – накопленная трудоемкость  $i$ -ого этапа проекта по его завершении;

$ТР_{общ.}$  – общая трудоемкость проекта;

$ТР_i$  ( $ТР_k$ ) – трудоемкость  $i$ -го ( $k$ -го) этапа проекта,  $i$ ;

$ТР_{ij}$  ( $ТР_{kj}$ ) – трудоемкость работ, выполняемых  $j$ -м участником на  $i$ -м этапе, здесь  $j = \overline{1, m}$  – индекс исполнителя ( $m = 2$ ).

Таблица 5.4 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

| Этап   | ТР <sub>i</sub> , % | СГ <sub>i</sub> , % |
|--|---------------------|---------------------|
| Постановка целей и задач, получение исходных данных            | 3,45                | 3,45                |
| Подбор и изучение материалов по тематике                       | 17,88               | 21,32               |
| Разработка календарного плана                                  | 3,79                | 25,12               |
| Обсуждение литературы  | 6,08                | 31,20               |
| Разработка программы для дозатора и отработка термопрофиля     | 8,57                | 39,77               |
| Отработка технологии поверхностного монтажа ЭРИ на ПП          | 16,25               | 56,02               |
| Разработка технологической инструкции нанесения паяльной пасты | 13,79               | 69,81               |
| Оформление расчетно-пояснительной записки                      | 10,83               | 80,64               |
| Оформление графического материала                              | 7,14                | 87,78               |
| Подведение итогов  | 12,21               | 100,00              |

## 5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные расходы;
- прочие расходы.

### 5.2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам и приведена в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Расходные материалы

| Наименование материалов        | Цена за ед., руб. | Количество | Сумма, руб. |
|--------------------------------|-------------------|------------|-------------|
| Тетрадь                        | 8                 | 1 шт.      | 8           |
| Ручка шариковая                | 10                | 1 шт.      | 10          |
| Картридж для принтера          | 1550              | 1 шт.      | 1550        |
| Бумага для принтера формата А4 | 190               | 1 уп.      | 190         |
| Паяльная паста                 | 1800              | 1 шт.      | 1800        |
| <b>Итого:</b>                  |                   |            | <b>3558</b> |

С учетом транспортно-заготовительных расходов (5 % от отпускной цены материалов) расходы на материалы равны  $C_{\text{мат}} = 3558 * 1,05 = 3735,9$  руб.

## 5.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-г}} = \frac{\text{Месячный оклад}}{24,83 \text{ дней}}. \quad (6)$$

Расчеты затрат на полную заработную плату приведены в таблице 5.6. При расчете учитывалось, что в году 300 рабочих дня и, следовательно, в месяце в среднем 25 рабочих дня. Затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю взяты из таблицы 5.2. Для учета премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:  $K_{\text{ПР}} = 1,1$ ;  $K_{\text{доп ЗП}} = 1,188$ ;  $K_{\text{Р}} = 1,3$ . Таким образом, для перехода от тарифной суммы заработка исполнителя к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент  $K_{\text{И}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$ .

Таблица 5.6 – Затраты на заработную плату

| Исполнитель   | Оклад, руб./мес. | Среднедневная ставка, руб./день | Затраты времени, дни | Коэффициент | Фонд з/платы, руб. |
|---------------|------------------|---------------------------------|----------------------|-------------|--------------------|
| НР            | 23 264,86        | 930,59                          | 17                   | 1,699       | 26 878,23          |
| И             | 14 584,32        | 583,37                          | 81                   | 1,699       | 80 282,80          |
| <b>Итого:</b> |                  |                                 |                      |             | <b>107 161,03</b>  |

Таким образом, затраты на заработную плату составили 107 161,03 руб.

### 5.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е.

$$C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3, \quad (7)$$

Итак, отчисления из заработной платы составили:

$$C_{\text{соц.}} = 0,3 \cdot 107\,161,03 = 32\,148,31 \text{ руб.}$$

### 5.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об.}} \cdot t_{\text{об.}} \cdot Ц_{\text{Э}}, \quad (8)$$

где  $P_{\text{об.}}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{Э}}$  – тариф на 1 кВт·час,  $Ц_{\text{Э}} = 5,257 \text{ руб./кВт·час}$  (с НДС);

$t_{\text{об.}}$  – время работы оборудования, час.

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 5.2 для инженера ( $T_{\text{рд}}$ ) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об.}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t, \quad (9)$$

где  $K_t \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к  $T_{\text{рд}}$ .

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об.}} = P_{\text{ном.}} \cdot K_C, \quad (10)$$

где  $P_{\text{ном.}}$  – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$  – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности,  $K_C = 1$ .

Расчет затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Затраты на электроэнергию технологическую

| Наименование оборудования       | Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$ , час | Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$ , кВт | Затраты $\text{Э}_{\text{ОБ}}$ , руб. |
|---------------------------------|---|---|---------------------------------------|
| Персональный компьютер          | 644*0,5   | 0,3   | 507,83                                |
| Струйный принтер                | 30  | 0,1   | 15,77                                 |
| Автомат дозирования             | 10  | 0,32  | 16,82                                 |
| Полуавтомат установки элементов | 5   | 0,35  | 9,2                                   |
| Конвекционная печь              | 5   | 11  | 289,16                                |
| <b>Итого:</b>                   |   |   | <b>838,78</b>                         |

### 5.2.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула

$$C_{\text{АМ}} = \frac{N_{\text{А}} * C_{\text{ОБ}} * t_{\text{рф}} * n}{F_{\text{д}}}, \quad (11)$$

где  $N_{\text{А}}$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{\text{ОБ}}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования;

$t_{\text{рф}}$  – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

В таблице 5.8 приведены затраты на амортизационные отчисления.

Таблица 5.8 – Амортизационные отчисления

| Наименование оборудования       | $N_A$ | Ц <sub>об</sub> , тыс. руб. | F <sub>д</sub> , час | t <sub>рф</sub> , час | C <sub>ам</sub> , руб. |
|---------------------------------|-------|-----------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Персональный компьютер          | 0,4   | 45                          | 2400                 | 322                   | 2415                   |
| Струйный принтер                | 0,4   | 12                          | 500                  | 30                    | 288                    |
| Автомат дозирования             | 0,14  | 3 000                       | 2000                 | 10                    | 2142,86                |
| Полуавтомат установки элементов | 0,14  | 1 300                       | 1500                 | 5                     | 619,05                 |
| Конвекционная печь              | 0,14  | 8 000                       | 2000                 | 5                     | 2857,14                |
| <b>Итого:</b>                   |       |                             |                      |                       | <b>8322,05</b>         |

Итого начислено амортизации 8 322,05 руб.

### 5.2.6 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на разработку проекта, которые не учтены в предыдущих статьях.

Прочие расходы определяются по формуле:

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{МАТ}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1. \quad (12)$$

Таким образом,  $C_{\text{проч}} = (3\,558 + 107\,161,03 + 32\,148,31 + 838,78 + 8\,322,05) \cdot 0,1 = 15\,202,82$  руб.

### 5.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет сметы затрат на разработку (таблица 5.9), можно определить общую себестоимость разработки проекта «Автоматизация технологических процессов поверхностного монтажа изделий».

Таблица 5.9 – Смета затрат на разработку проекта

| Статья затрат                 | Условное обозначение | Сумма, руб.       |
|-------------------------------|----------------------|-------------------|
| Материалы и покупные изделия  | $C_{\text{МАТ}}$     | 3 558             |
| Основная заработная плата     | $C_{\text{ЗП}}$      | 107 161,03        |
| Отчисления в социальные фонды | $C_{\text{СОЦ}}$     | 32 148,31         |
| Расходы на электроэнергию     | $C_{\text{ЭЛ}}$      | 838,78            |
| Амортизационные отчисления    | $C_{\text{ам}}$      | 8 322,05          |
| Прочие расходы                | $C_{\text{проч}}$    | 15 202,82         |
| <b>Итого:</b>                 |                      | <b>167 230,99</b> |

Таким образом, расходы на разработку составили  $C = 167\,230,99$  руб.

### 5.2.8 Расчет прибыли

Прибыль составляет 33 446,20 рублей (20 %) от расходов на разработку.

### 5.2.9 Расчет НДС

НДС составляет 18 % от суммы затрат на разработку и прибыли. Сумма НДС составила  $(167\,230,99 + 33\,446,20) \cdot 0,18 = 36\,121,89$  руб.

### 5.2.10 Цена разработки НИР

Цена равна сумме поной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР}} = 167\,230,99 + 33\,446,20 + 36\,121,89 = 236\,799,08 \text{ руб.}$$

## 5.3 Оценка экономической эффективности проекта

Выполнение научно-исследовательских работ оценивается уровнями достижения экономического, научного, научно-технического и социального эффектов.

Научный эффект характеризует получение новых научных знаний и отображает прирост информации, предназначенной для внутринаучного потребления. Научно-технический эффект характеризует возможность использования результатов в других проектах и обеспечивает получение информации, необходимой для создания новой техники. Экономический эффект характеризуется выраженной в стоимостных показателях экономией живого общественного труда. Социальный эффект проявляется в улучшении условий труда.

Для итоговой оценки результатов проекта в зависимости от поставленных целей в качестве критерия эффективности принимается один из видов эффекта, а остальные используются в качестве дополнительных характеристик.

### **5.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР**

Научно-технический уровень характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается научно-технический прогресс в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод балльных оценок. Балльная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям. На этой основе делается вывод о целесообразности НИР.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (13)$$

где  $K_{НТУ}$  – коэффициент научно-технического уровня;

$R_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;

$n_i$  – количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Таблица 5.10 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

| Признак НТУ              | Примерное значение весового коэф-та, $n_i$ |
|--------------------------|--|
| 1 Уровень новизны        | 0,4  |
| 2 Теоретический уровень  | 0,1  |
| 3 Возможность реализации | 0,5  |

Таблица 5.11 – Баллы для оценки уровня новизны

| Уровень новизны      | Характеристика уровня новизны  | Баллы  |
|----------------------|--|--------|
| Принципиально новая  | Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ      | 8 – 10 |
| Новая                | По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты | 5 – 7  |
| Относительно новая   | Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами               | 2 – 4  |
| Не обладает новизной | Результат, который ранее был известен  | 0      |

Таблица 5.12 – Баллы значимости теоретических уровней

| Теоретический уровень полученных результатов   | Баллы |
|--|-------|
| 1 Установка закона, разработка новой теории  | 10    |
| 2 Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений | 8     |
| 3 Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)   | 6     |
| 4 Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)    | 2     |
| 5 Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений                 | 0,5   |

Таблица 5.13 – Возможность реализации результатов по времени

| Время реализации     | Баллы |
|----------------------|-------|
| В течение первых лет | 10    |
| От 5 до 10 лет       | 4     |
| Свыше 10 лет         | 2     |

Результаты оценок признаков научно-технического уровня приведены в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Количественная оценка признаков НИОКР

| Признак научно-технического эффекта НИР | Характеристика признака НИОКР  | $R_i$ |
|---|--|-------|
| Уровень новизны                         | По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты | 0,4   |
| Теоретический уровень                   | Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)                      | 0,1   |
| Возможность реализации                  | Время реализации в течение первых лет  | 0,5   |

**Примечание:** баллы по параметрам времени и масштабам реализации при расчете складываются.

Исходя из оценки признаков НИР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$$K_{\text{нту}} = 0,4 \cdot 7 + 0,1 \cdot 6 + 0,5 \cdot 10 = 2,8 + 0,6 + 5 = 8,4.$$

Таким образом, исходя из данных в таблице 5.15, проект «Автоматизация технологических процессов поверхностного монтажа изделий» имеет высокий уровень научно-технического эффекта.

Таблица 5.15 – Оценка уровня научно-технического эффекта

| Уровень НТЭ | Показатель НТЭ |
|-------------|----------------|
| Низкий      | 1-4            |
| Средний     | 4-7            |
| Высокий     | 8-10           |

Обоснование оценки признаков НИР приводится в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР

| Фактор НТУ             | Значимость | Уровень фактора                                  | Выбранный балл | Обоснование выбранного балла  |
|------------------------|------------|--|----------------|---|
| Уровень новизны        | 0,4        | Новая  | 7              | Обеспечивает автоматизированный монтаж компонентов на печатные платы методом поверхностного монтажа с частичным участием человека |
| Теоретический уровень  | 0,1        | Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.) | 6              | Разработка и описание методики выполнения технологии поверхностного монтажа   |
| Возможность реализации | 0,5        | В течение первых лет                             | 10             | Позволяет применять технологию в монтаже конкретных изделий в соответствии с поставленной целью                                   |

### 5.3.2 Оценка экономической и социальной эффективности НИР

Разработанная НИР является реализацией проекта, ставящего своей целью отработку и внедрение в производство технологии поверхностного монтажа изделий. Поверхностный монтаж – это новое направление в технологии производства электронных средств, которое обеспечивает микроминиатюризацию аппаратуры при одновременном росте ее функциональной сложности. Появление данной технологии обеспечивает:

- более высокую плотность монтажа на единицу площади платы;
- снижение массогабаритных показателей при той же функциональной сложности;

- отсутствие операций формовки и обрезки выводов компонентов, что повышает технологичность конструкций;
- унификацию и стандартизацию корпусов компонентов, что позволяет полностью автоматизировать технологический процесс с высокой надежностью;
- уменьшение расхода материала, улучшение электрических характеристик схем за счёт сокращения длины проводников, исключение операций сверления и металлизации монтажных отверстий, что улучшает и механические характеристики плат;
- применение двухстороннего монтажа компонентов.

Проведенные работы в рамках НИР были выполнены для обеспечения следующих целей:

- сокращение технологического цикла изготовления изделий на 40-60 %;
- снижение трудоемкости изготовления на 30-50 %;
- исключение влияния человеческого фактора на 60-80 %;
- повышение качества изделий на 50-70 %.

В процессе разработки проекта формируются знания о том, какие необходимы элементы и оснастка для отработки технологии, как они работают, какие функции выполняют, а в дальнейшем накопленные знания в зависимости от поставленной задачи будут применяться в соответствующей области. Таким образом, социальный эффект НИР выражается в повышении уровня профессиональных знаний и навыков специалистов, растет их конкурентоспособность и потенциал самореализации.

## **6 Социальная ответственность**

### **Введение**

Научно-исследовательская работа направлена на разработку технологии поверхностного монтажа компонентов на ПП в производственных условиях. Исследовательские и экспериментальные работы были проведены на УПМ монтажно-сборочного цеха. Планировка участка представлена на рисунке 3.5. При разработке ВКР используется следующее оборудование:

- система автоматического дозирования;
- система полуавтоматической установки компонентов поверхностного монтажа;
- конвейерная печь конвекционного оплавления;
- компьютерная техника.

Система автоматического дозирования предназначена для нанесения необходимого количества паяльной пасты на КП ПП в зависимости от габаритов ЭРИ и размера КП для обеспечения качественного монтажа ЭРИ на ПП.

Система полуавтоматической установки компонентов используется для установки компонентов в ручном или полуавтоматическом режиме с возможностью установки компонентов с малым шагом выводов и исключения ошибки неправильного расположения ЭРИ на ПП.

Печь конвекционного оплавления предназначена для пайки компонентов поверхностного монтажа оплавлением на печатные узлы, а также для отверждения клеящих составов, на которых крепятся компоненты.

Перечисленное оборудование является основными рабочими средствами, задействованными в данной работе.

## 6.1 Производственная безопасность

Анализ вредных и опасных факторов при применении технологии поверхностного монтажа представлен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по поверхностному монтажу

| Источник фактора, наименование видов работ       | Факторы                                       |                   | Нормативные документы |
|--|---|-------------------|-----------------------|
|  | Вредные                                       | Опасные           |                       |
| Нанесение паяльной пасты на автомате дозирования |   | Электрический ток | ГОСТ Р 12.1.019-2009  |
|  | Недостаточная освещенность рабочей зоны       |                   | СП 52.13330.2011      |
|  | Повышенная загазованность воздуха             |                   | СП 60.13330.2012      |
|  | Повышенный уровень электромагнитных излучений |                   | СанПиН 2.2.4.1191-03  |
|  | Отклонение показателей микроклимата           |                   | СанПиН 2.2.4.548-96   |
|  | Повышенный уровень шума на рабочем месте      |                   | СН 2.2.4/2.1.8.562-96 |
| Установка компонентов на полуавтомате установки  |   | Электрический ток | ГОСТ Р 12.1.019-2009  |
|  | Недостаточная освещенность рабочей зоны       |                   | СП 52.13330.2011      |
|  | Повышенная загазованность воздуха             |                   | СП 60.13330.2012      |
|  | Повышенный уровень электромагнитных излучений |                   | СанПиН 2.2.4.1191-03  |
|  | Отклонение показателей микроклимата           |                   | СанПиН 2.2.4.548-960  |
|  | Повышенный уровень шума на рабочем месте      |                   | СН 2.2.4/2.1.8.562-96 |
| Оплавление сборочного узла в конвекционной печи  |   | Электрический ток | ГОСТ Р 12.1.019-2009  |
|  | Повышенный уровень шума на рабочем месте      |                   | СН 2.2.4/2.1.8.562-96 |
|  | Повышенный уровень электромагнитных излучений |                   | СанПиН 2.2.4.1191-03  |
|  | Повышенная загазованность воздуха             |                   | СП 60.13330.2012      |
|  | Отклонение показателей микроклимата           |                   | СанПиН 2.2.4.548-96   |

## Продолжение таблицы 6.1

| Источник фактора, наименование видов работ | Факторы                                       |                   | Нормативные документы |
|--|---|-------------------|-----------------------|
|  | Вредные                                       | Опасные           |                       |
| Работа оператора за компьютером            |   | Электрический ток | ГОСТ Р 12.1.019-2009  |
|  | Недостаточная освещенность рабочей зоны       |                   | СП 52.13330.2011      |
|  | Повышенный уровень электромагнитных излучений |                   | СанПиН 2.2.4.1191-03  |
|  | Повышенный уровень шума на рабочем месте      |                   | СН 2.2.4/2.1.8.562-96 |
|  | Отклонение показателей микроклимата           |                   | СанПиН 2.2.4.548-96   |

### 6.1.1 Анализ выявленных вредных производственных факторов

#### 1) Недостаточная освещенность

Правильно спроектированное и выполненное освещение способствует улучшению условий зрительной работы, повышению производительности труда, снижению утомляемости, а также оказывает благотворное влияние на производственную среду, снижает травматизм и повышает безопасность труда.

Недостаточное освещение способствует напряжению зрения, ухудшению внимания, повышению утомленности. К ослеплению, раздражению и рези в глазах приводит чрезмерно яркое освещение. Блики, резкие тени, дезориентирующие работающего, могут создаваться неправильным направлением света на рабочем месте, что в свою очередь может привести к несчастному случаю или профзаболеваниям.

Согласно СНиП 23-05-95 в помещениях производственных зданий необходимо применять систему комбинированного освещения [16].

При выполнении технологии поверхностного монтажа освещенность помещения должна быть достаточной для проведения технологических операций без напряжения зрения и соответствовать требованиям санитарных норм. Не следует работать при прямом попадании солнечных лучей на рабочее место (приборы и т.д.). Необходимая освещенность рабочих мест помещения

должна быть не менее 200 лк. Участок поверхностного монтажа должен быть оснащен искусственным освещением: общим верхним, равномерно распределенным, и местным боковым, концентрирующим световой поток на рабочее место, на рабочих местах автомата дозирования, полуавтомата установки компонентов, монтажника, оператора ПК и мастера.

### *2) Повышенная загазованность воздуха*

Учитывая, что процесс подготовки изделий к пайке и выполнение самой пайки связаны с выделением вредных паров и пыли цветных металлов и различных химикатов, которые вызывают отравление организма, раздражение слизистой оболочки глаз, поражение кожи и т.п., то при выполнении этих работ в воздушную среду выделяются пары вредных веществ, поэтому необходимо наличие проточно-вытяжной вентиляции, а рабочие места должны быть оборудованы местной вытяжной вентиляцией.

Местная вентиляция по сравнению с общеобменной требует значительно меньших затрат на устройство и эксплуатацию. Такая система выполнена в виде воронок, которые должны быть удалены от места работы на расстояние не более 250-300 мм. Внутренняя скорость воздуха в сечении воронки размером 200x400 мм должна составлять 2,5-3 м/с.

Участки пайки должны быть оборудованы местными вытяжными устройствами, обеспечивающими скорость движения воздуха непосредственно на месте пайки не менее 0,6 м/с. Эксплуатация или ввод в эксплуатацию участков пайки, не оборудованных вентиляцией, не допускается. Помещения, в которых оборудуются участки пайки, необходимо обеспечить приточным воздухом через общеобменную вентиляцию, подаваемым в верхнюю зону в количестве, составляющем примерно 90% объема вытяжки. Недостающие 10 % объема воздуха подаются в смежные более чистые помещения.

### *3) Повышенный уровень электромагнитных излучений*

От мониторов компьютеров исходит излучение, влияние которого большинством ученых считается неопасным для здоровья человека, но

конкретных данных по вредности излучения в настоящее время нет, а исследования продолжаются.

В таблице 6.2 представлены временные допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП), создаваемых ПЭВМ, в соответствии с СанПин 2.2.2/2.4.1340-03 [17].

Таблица 6.2 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

| Наименование параметров                |                                    | ВДУ     |
|--|------------------------------------|---------|
| Напряженность электрического поля      | в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц    | 25 В/м  |
|  | в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц | 2,5 В/м |
| Плотность магнитного потока            | в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц    | 250 нТл |
|  | в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц | 25 нТл  |
| Напряженность электростатического поля |                                    | 15 кВ/м |

Используемое оборудование создает постоянное магнитное поле (ПМП), оценка и нормирование которого осуществляется по уровню магнитного поля дифференцированно в зависимости от времени его воздействия на работника за смену для условий общего (на все тело) и локального (кисти рук, предплечье) воздействия.

В таблице 6.3 представлены предельно допустимые уровни (ПДУ) напряженности (индукции) постоянного магнитного поля на рабочих местах, в соответствии с СанПиН 2.2.4.1191 [18].

Таблица 6.3 – ПДУ постоянного магнитного поля на рабочих местах

| Время воздействия за рабочий день, минуты | Условия воздействия     |                             |                         |                             |
|---|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
|   | Общее                   |                             | Локальное               |                             |
|   | ПДУ напряженности, кА/м | ПДУ магнитной индукции, мТл | ПДУ напряженности, кА/м | ПДУ магнитной индукции, мТл |
| 0-10                                      | 24                      | 30                          | 40                      | 50                          |
| 11-60                                     | 16                      | 20                          | 24                      | 30                          |
| 61-480                                    | 8                       | 10                          | 12                      | 15                          |

Средства защиты от воздействия ПМП должны изготавливаться из материалов с высокой магнитной проницаемостью, конструктивно обеспечивающих замыкание магнитных полей.

Инженерно-технические мероприятия должны обеспечивать снижение уровней ЭМП на рабочих местах путем внедрения новых технологий и применения средств коллективной и индивидуальной защиты.

На участке поверхностного монтажа требуется обязательно заземление всех изолированных от земли крупногабаритных объектов, включая машины и механизмы и др.

Используемое оборудование согласно технической документации должно отвечать допустимым уровням электромагнитных полей, монитор и системный блок должны соответствовать требованиям безопасности стандарта ТСО-03, также рекомендуется соблюдать регламентированные режимы труда и отдыха.

#### *4) Отклонение показателей микроклимата*

Параметры микроклимата могут изменяться в широких пределах, но необходимое условие жизнедеятельности человека – это поддержание постоянной температуры тела вследствие терморегуляции. Вычислительная техника и производственное оборудование представляет собой источник существенных тепловыделений, которые могут способствовать повышению температуры, а также снижению относительной влажности в помещении. При эксплуатации помещений, в которых установлены производственное оборудование и компьютеры, должны соблюдаться определенные параметры микроклимата. Санитарными нормами СанПин 2.2.4.548-96 установлены значения параметров микроклимата, создающих комфортные условия для работы сотрудников, относящихся по энергозатратам к первой категории, то есть легкая физическая работа, производимая сидя, не требующаяся систематического физического напряжения или поднятия тяжестей (таблица 6.4) [19].

Таблица 6.4 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах при применении технологии поверхностного монтажа

| Период года | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный    | 22-24                   | 21-25                        | 60-40                              | 0,1                            |
| Теплый      | 23-25                   | 22-26                        | 60-40                              | 0,1                            |

Для создания и поддержания комфортных условий работы должны использоваться организационные методы (необходимо рационально организовать проведение работ в зависимости от времени суток и времени года, чередовать труд и отдых) и технические средства (отопительная система, кондиционирование воздуха, вентиляция).

#### *5) Повышенный уровень шума*

Шум может представлять собой совокупность различных шумов, возникающих в процессе работы оборудования, осветительных приборов, приборов кондиционирования воздуха и отопления помещений и т.д.

Шум способствует ухудшению условий труда, оказывает вредное воздействие на организм человека. Персонал, работающий при длительном шумовом воздействии, испытывает головные боли, раздражительность, снижение памяти, головокружение, понижение аппетита, повышенную утомляемость, боли в ушах и т. д. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 устанавливает предельно допустимые уровни звука на рабочих местах [20].

Источниками шума при выполнении технологии поверхностного монтажа являются автомат дозирования, полуавтомат установки компонентов, печь конвекционного оплавления и ПК. В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562–96 на участке монтажно-сборочного цеха с легкой физической нагрузкой трудового процесса и напряженностью средней степени на рабочем месте предельно допустимый уровень звука составляет 70 дБА. Для снижения уровня шума должны применяться различные защитные экраны, в качестве индивидуальных средств защиты – наушники.

## **6.1.2 Анализ выявленных опасных производственных факторов**

Электрические установки представляют для человека большую потенциальную опасность. Не следует работать с оборудованием в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного соприкосновения к имеющим соединением с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

При работе над магистерской диссертацией было использовано промышленное оборудование (автомат дозирования, полуавтомат установки компонентов, печь конвекционного оплавления) и компьютер, являющиеся источниками поражения электрическим током. В данном случае существует опасность электропоражения:

- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением;
- при соприкосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- имеется опасность короткого замыкания в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

В помещениях монтажно-сборочного цеха необходимо соблюдение определенных мер предосторожности:

- перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей;
- при обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо незамедлительно сообщить ответственному за оборудование;
- не загромождать рабочее место лишними предметами.
- при несчастном случае следует немедленно освободить пострадавшего от действия электрического тока и вызвать врача, оказать ему необходимую помощь.

Для предотвращения электрического поражения должны быть обеспечены:

- изоляция (надежная изоляция проводов от земли и корпусов электроустановок создает безопасные условия для персонала);
- ограждение (кожухи, крышки, шкафы, закрытые панели и т.п.);
- блокировка (автоматически снимается напряжения с токоведущих частей электроустановок при прикосновении с ним);
- пониженные напряжения (42, 36 и 12 В);
- электрозащитные средства (изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками, диэлектрические перчатки и боты, калоши, коврики, указатели напряжения);
- сигнализация (звуковая и световая);
- плакаты и знаки безопасности.

Повышение электробезопасности в используемом оборудовании достигается применением систем: защитного заземления, зануления и отключения.

С целью предупреждения электротравматизма рекомендуется проводить инструктаж по технике безопасности, в котором декларируются основные методы избегания поражения электрическим током.

Таким образом, проведенные мероприятия могут считаться достаточными для минимизации риска поражения электрическим током на рабочем месте.

## **6.2 Экологическая безопасность**

В настоящее время обеспечение экологической безопасности и защита окружающей среды являются важным аспектом любой технологической деятельности. Меры, принимаемые для повышения экологической безопасности, в основном заключаются в снижении уровня загрязнения окружающей среды. Все загрязнения могут быть классифицированы в

соответствии с типом загрязняемой среды: загрязнение литосферы (почвы); загрязнение гидросферы; загрязнение атмосферы.

Если используемое оборудование выйдет из строя и не будет ремонтироваться, то его необходимо утилизировать. При утилизации вышедшего из строя оборудования, пластмассовые, железные детали, можно пустить на переработку. Переработке так же поддается и использованная и ненужная бумага, ее необходимо сдавать в прием макулатуры.

Хозяйственно-бытовые сточные воды выводятся через канализацию в городские очистительные сооружения и в дальнейшем могут быть использованы для орошения и удобрения почв.

Участок поверхностного монтажа оборудован вытяжной вентиляцией, что приводит к загрязнению атмосферы. Для снижения уровня загрязнения перед выбросом в атмосферу воздух, удаляемый вентиляционными установками и содержащий вредные вещества, должен быть предварительно очищен. Также в организации должны быть представлены решения по обеспечению соблюдения предельно допустимая концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест в период неблагоприятных метеорологических условий для рассеивания промышленных выбросов, когда может происходить резкое временное возрастание загрязнения атмосферного воздуха, приводиться данные с обоснованием размеров, организации и благоустройства санитарно-защитной зоны [21].

### **6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

К чрезвычайным ситуациям, которые могут возникнуть при проведении научно-исследовательских работ, относится возникновение пожаров и взрывов.

Пожары в помещениях с промышленным оборудованием представляют особую опасность, так как сопряжены с большими материальными потерями.

К наиболее потенциально опасным источникам и причинам возгорания в цеховом помещении можно отнести:

– неисправности электрооборудования;

– неосторожное обращение с огнем, т.е. невыполнение правил поведения на производстве.

Система противопожарной защиты в общем случае реализуется комплексом технических, конструктивных и собственно противопожарных мероприятий. К их числу относятся:

1. Организационные: обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, разработка и реализация норм и правил пожарной безопасности, инструкций правильной эксплуатации рабочего оборудования, разработка планов эвакуации людей и т.д.

2. Технические: выбор и использование современных автоматических средств сигнализации, автоматических стационарных систем тушения пожаров, первичных средств пожаротушения, разработка методов и применение устройств ограничения распространения огня и т.п.

В качестве технических средств тушения пожаров, предназначенных для локализации небольших возгораний, относятся пожарные стволы, внутренние пожарные водопроводы, огнетушители, сухой песок, асбестовые одеяла и т. п. В здании монтажно-сборочного цеха пожарные краны должны устанавливаться в коридорах, на площадках лестничных клеток и входов. Количество эвакуационных выходов из производственных зданий должно быть не менее двух. В качестве первичных средств пожаротушения можно использовать два порошковых огнетушителя ОПС-6, предназначенных для применения при тушении горящих щелочных металлов. В качестве источника воды при пожаре возможно использование пожарного гидранта. Помимо гидранта пожарный щиток должен быть укомплектован набором инструментов (топор, саперная лопата).

В помещениях цеха необходимо проводить противопожарный инструктаж и обучение правилам техники безопасности, размещать соответствующие инструкции, планы эвакуации.

## **6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### *1) Лечебно-профилактические мероприятия*

В целях предупреждения и раннего обнаружения изменений состояния здоровья все лица, профессионально связанные с обслуживанием и эксплуатацией источников оборудования для выполнения технологии поверхностного монтажа, должны проходить предварительный при поступлении и периодические профилактические медосмотры в соответствии с действующим законодательством.

Лица, не достигшие 18-летнего возраста, и женщины в состоянии беременности могут допускаться к работе в ограниченном режиме (в зависимости от уровня электромагнитного поля на рабочих местах) [18].

### *2) Эргономические требования к рабочему месту*

Рабочее место и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. При организации рабочего места должны быть соблюдены следующие основные условия: оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места и достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения.

К рабочему месту предъявляются следующие эргономические требования (в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78) [22]:

1. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

2. Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

3. Конструкция рабочего места должна обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля.

4. Выполнение частых и очень частых трудовых операций должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля.

5. Высоты рабочей поверхности (835-905 мм), сиденья (400-430 мм) и пространства для ног должны регулироваться в зависимости от роста человека.

6. Подставка для ног должна быть регулируемой по высоте. Ширина должна быть не менее 300 мм, длина - не менее 400 мм. Поверхность подставки должна быть рифленой. По переднему краю следует предусматривать бортик высотой 10 мм.

7. Органы управления на рабочей поверхности в горизонтальной плоскости необходимо размещать с учетом, чтобы не было перекрещивания рук.

8. Аварийные органы управления следует располагать в зоне досягаемости моторного поля, при этом необходимо предусмотреть специальные средства опознавания и предотвращения их непроизвольного и самопроизвольного включения.

9. Очень часто используемые средства отображения информации, требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от сагиттальной плоскости.

### *3) Режим труда*

Законодательством установлена норма продолжительности рабочей недели, которая не должна превышать 40 часов при пятидневной рабочей неделе. Согласно правилам внутреннего распорядка предприятия через 5 часов после начала работы устанавливается перерыв на отдых и питание продолжительностью не менее 1 часа.

В условиях современного радиоэлектронного производства отдельные частные мероприятия по улучшению условий труда, предупреждение травматизма и заболеваний оказывается недостаточно эффективными. Необходимо чтобы они осуществлялись комплексно, образуя в системе

управления производством подсистему управления безопасностью труда. При этом открываются наиболее широкие возможности для целенаправленного регулирования процесса формирования безопасных условий труда на производстве. Система управления безопасностью труда может быть определена как функциональная подсистема управления предприятием, целью которой является обеспечение безопасных условий труда.

К числу норм по технике безопасности и производственной санитарии относятся нормы, устанавливающие меры индивидуальной защиты работающих от профессиональных заболеваний и производственных травм.

При работе с ПК очень важную роль играет соблюдение правильного режима труда и отдыха. В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 суммарное время регламентированных перерывов, которые необходимо делать при работе на компьютере, при 8-часовой смене и среднем уровне нагрузки за смену, должно составлять 50-70 мин [17].

Для повышения эффективности перерывов рекомендуется: производственная гимнастика или организация специального помещения для отдыха персонала с удобной мягкой мебелью, аквариумом, зеленой зоной и т.п..

## **Заключение**

В процессе выполнения ВКР была изучена технология поверхностного монтажа и рассмотрены основные технологические процессы этой технологии: нанесение паяльной пасты на автоматическом дозаторе, установка компонентов на полуавтоматической системе установки и пайка печатного узла в конвекционной системе группового оплавления. В связи с тем, что технология зарекомендовала себя в повышении автоматизации производства, уменьшении трудоемкости и увеличении продуктивности на сегодняшний день продолжается активное усовершенствование технологии, а сфера применения непрерывно расширяется. Технология поверхностного монтажа применяется при изготовлении электронных изделий на ПП, которые могут быть использованы в различных объектах промышленности, транспорта, в том числе подводного, воздушного, надводного флота, космических аппаратов.

В рамках выполненных работ были исследованы этапы технологического цикла поверхностного монтажа: построение температурного профиля, разработка программы дозирования, нанесение паяльной пасты на ПП, установка компонентов и оплавление сборочного узла в конвекционной печи. Также были проанализированы технологические факторы, влияющие на качество изготовления сборочных изделий, представлены выводы и рекомендации для качественного выполнения монтажных операций. Технологический процесс поверхностного монтажа был отработан, проверен на рабочих местах и обеспечивает заданные параметры изготовленной продукции.

В результате проведенной работы была разработана технологическая инструкция по нанесению паяльной пасты на ПП автоматом дозирования DispenseMate D-585. Цель данной технологической инструкции – непосредственное руководство при выполнении работ по подготовке, написанию программ и нанесению паяльной пасты на автомате дозирования, а также при контроле качества сборочных узлов.

Работа выполнена на производственном оборудовании АО «НПЦ «Полус» и направлена на внедрение и последующее применение при изготовлении изделий организации. При дальнейшей отработке ТПМ и, в частности, процесса нанесения паяльной пасты, технологическую инструкцию следует корректировать в соответствии с необходимыми требованиями.

## Список публикаций

1. Дворникова Т.А., Трифонов А.С. Влияние технологических факторов поверхностного монтажа на качество изготовления сборочных изделий // XIX научно-техническая конференция «Электронные и электромеханические системы и устройства»: тез. докладов / АО «НПЦ «Полюс». Томск, 2015. С. 285-288.

2. Дворникова Т.А. Система автоматизированного нанесения паяльной пасты на печатные платы. Факторы, влияющие на процесс дозирования // Международная научно-техническая конференция «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов»: тез. докладов / БелГТУ. Минск, 2015. С. 70-73.

3. Дворникова Т.А., Такачакова А.К. Технология изготовления силовых сборок из SMD-компонентов методом поверхностного монтажа // III Молодежная конференция РУСНЦ РАРАН «Молодежь. Наука. Инновации в оборонно-промышленном комплексе»: доклад / АО «НПО автоматики». Екатеринбург, 2016 – 10 с.

## Список использованных источников

1. Керенцев А.Ф., Ланин В.Л. Конструктивно-технологические особенности MOSFET-транзисторов // Силовая электроника. 2008. № 1. С. 34–38.
2. Сускин В.В. Основы технологии поверхностного монтажа. Рязань: Узорочье, 2001
3. Ч.-Г. Мэнгин, С. Макклелланд. Технология поверхностного монтажа. Будущее технологии сборки в электронике. Москва: Мир, 1990.
4. Автоматизация сборки [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.ostec-smt.ru/upload/iblock/682/> свободный – Загл. с экрана.
5. Поверхностный монтаж [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.olmash.ru/content/poverhnostnyui-montazh.htm> свободный – Загл. с экрана.
6. Технология поверхностного монтажа [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://leds-magazine.ru/tehnologiya-poverhnostnogo-montazha.html> свободный – Загл. с экрана.
7. Введение в технологию поверхностного монтажа. Учебное пособие / ЗАО «Предприятие Остек». М., 2005.
8. Технология дозирования материалов [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.ostec-smt.ru/upload/iblock/0ad/> свободный – Загл. с экрана.
9. Конвекционная пайка [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.ostec-smt.ru/knowledge-base/technologies/konveksionnaya-payka/> свободный – Загл. с экрана.
10. Дозатор DispenseMate® серии 580. Руководство пользователя / Комп. Asymtek, 2007 – 71 с.
11. Fluidmove для WindowsXP®. Выпуск 5.0. Руководство пользователя. / Комп. Asymtek, 2005 – 346 с.
12. Системы ручной и полуавтоматической установки компонентов поверхностного монтажа. Руководство по установке и эксплуатации. Базовая

система. Версия 6.0. № по кат. EXPVA03E. Дата выпуска 12.2008 / Комп. Essentec AG – 41 с.

13. Конвейерная печь конвекционного оплавления Hotflow 3/14, Hotflow 3/20. Формуляр / ЗАО «Предприятие «Остек», 2008 – 23 с.

14. Конвейерные печи конвекционного оплавления для крупносерийного и массового производства Hotflow 3/14 и Hotflow 3/20 [Электронный ресурс]– Режим доступа <http://www.ostec-smt.ru/catalog/equipment/konveksionnaya-payka/konveyernye-pechi-konveksionnogo-oplavleniya-dlya-krupnoseriynogo-i-massovogo-proizvodstva-hotflow-/> свободный – Загл. с экрана.

15. АФЕК.005.900. Радиоэлектронная аппаратура и приборы. Поверхностный монтаж ЭРИ, имеющих свинцовое и бессвинцовое покрытие выводов. Унифицированный конструкторский документ / ОАО «НИИ ТП», 2008 – 154 с.

16. СНиП 23–05–95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. – М.: Минстрой России, 1995 – 59 с.

17. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003 – 54 с.

18. СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003. – 38 с.

19. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997 – 12 с.

20. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996 – 17 с.

21. СНиП 21–01–97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – М.: Гострой России, 1997 – 28 с.

22. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования: ГОСТ 12.2.032-78. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.

## Приложение А

(обязательное)

### Раздел 7

#### Theoretical analysis of automated surface mounting technology

Студент:

| Группа | ФИО                          | Подпись | Дата |
|--------|------------------------------|---------|------|
| 8AM41  | Дворникова Татьяна Андреевна |         |      |

Консультант кафедры АиКС:

| Должность           | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент каф. АиКС | Ефремов А.А. | -                         |         |      |

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

| Должность                          | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------------------------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель<br>каф. ИЯИК | Логинова А.В. | -                         |         |      |

## **7 Calculations and Analytics**

### **7.1 Automation of production processes**

In the course of evolution a human constantly improved tools and production technologies. The simplification of manual labor, the creation of more effective tools and implementation mechanisms allowed technical progress to reach the state-of-the-art.

Each case of the improved technology application in production processes led to a considerable breakthrough in the level and scale of production, efficiency and quality. As a base historical examples it is possible to allocate blocks and levers to lift heavy loads, wind or water mills, as well as precursors of the industrial revolution – spinning, weaving, wood - and metalworking machines. The creation of steam and electric engines rendered a revolutionary impact on technical progress development.

In addition to the immediate improvements of technologies the elements of automation – speed controllers of steam engines, power controllers of a steam boiler, etc. were applied. Thus, there was a qualitative leap in production when a human from the actual perpetrator became a supervisor and a regulator of the process.

Since the mid-nineteenth century an automatic control focus area started to stand out from the classic applied mechanics as a science. A great influence on this process was provided by works of English physicist John. K. Maxwell and Russian scientist I. A. Vyshnegradsky.

With the introduction of electricity it was possible to increase the level of control and machine automation. The multiple-station unit-type machines and automatic transfer lines appeared. In 1930s the term «production automation» originated.

Later, in the 1950s the first numerical control machines, programmable by punch cards and paper tape emerged. Then, in the early 60's, the first industrial robot manipulators were developed. The automation era began.

The production automation has been a base for modern industry development for a long time, and by now, it has become one of the main focus areas of technical progress. The increasing demand for automation arises in a variety of industries: metallurgy, mechanical engineering, instrument-making, power engineering, etc. There is a variety of reasons: from the constant will to improve the service quality, increase in labor productivity, working time efficiency, efficient use of space and all enterprise resources to the need to take reasonable management decisions based on reliable and relevant data on production status under conditions of an ever-increasing competition.

The automation level can be divided into 3 main categories:

1. *Partial automation*. It is an automation of individual manufacturing operations. It is used when an operation is a complicated process, which cannot be provided by human or its implementation does not lead to target quality, productivity or other production parameters.

2. *Complex automation*. It covers an automation of individual operations and provides the interrelation between them. The human functions in this case are limited by the supervisory control and system operations management.

3. *Full automation*. It is the highest automation level where all functions of workshop, factory or enterprise management and control are transferred to automatic control systems. In most cases, it is worth considering the use of full automation for companies with a sustainable profitability and constant operating conditions, as well as in harmful or dangerous to human life conditions.

An automation task of certain production processes comes from a single goal – loss reduction (figure 7.1). This is the loss from non-conforming products, time loss from inefficient equipment use, tools and all enterprise resources, decrease in equipment and personnel downtime. An integrated approach to solve the problem of loss control provides an opportunity to line up the production cycle, to decrease equipment downtime, stock reserves and work-in-progress stocks and to enhance product quality [4].



Fig.7.1 – Principal loss arising in production

## 7.2 Surface mounting

Surface mounting is a technology of electronic device manufacturing on printed circuit boards and methods of printed circuit assembly design related to this technology.

The surface mounting technology of printed circuit boards is also referred to as TSM (technology surface mounting), SMT (surface mounting technology) and SMD-technology (from surface mounted device – a device mounted on the surface), and components for surface mounting are referred to as chip components. This technology is the most common method to design and assemble electronic components on printed circuit boards. Its key difference from «traditional» technology of through-hole joint is that components are mounted on the surface of the printed circuit board; however, the benefits of surface mounting technology of printed circuit boards are shown due to the circuitry characteristic system, design methods and production techniques to manufacture printed circuit assemblies.

Surface mounting technology started its development in 1960s and was widely used by the end of 1980s. One of the pioneers of this technology was IBM.

The elements were redesigned to reduce pads or connection terminals that would be soldered directly to the printed circuit board surface. In comparison with standard circuit boards, the circuit boards for surface mounting have an increased packing density of electronic components, smaller distances between conducting elements and pads. Solder is often enough to install a component on the board, but the elements on the lower («second») side of the board should be glued. Components for surface mounting (Surface-mounted devices (SMDs)) often have small weight and size. The surface mounting technology is proven to increase production automation, to decrease labor coefficient and to increase productivity. The surface mounted components can be 4-10 times smaller and 25-50 % cheaper than the similar components of the through-hole joint [5].

### **7.3 Surface mounting advantages and disadvantages**

The surface mounting technology compared to the through-hole joint technology has a number of advantages in design and technological aspects:

- printed circuit assembly frame and weight reduction. The surface mounting components have smaller size compared to the through-hole joint element base. As it is known, the crystal is not a major part of the chip weight and frame, but these are the case and connection terminals. The case size is imposed mainly by connection terminal location (there could be other factors, such as the heat sink requirements, but they are much less definitive). The surface mounting allows using components with significantly smaller lead pitch due to the absence of holes in the printed circuit board (PCB). The connection terminal cross-sections may also be smaller, as the connection terminals are formed at the component manufacturer and are not subjected to significant mechanical stress from package removal to installation on board. In addition, this technology allows using component cases with contact surfaces that replace connection terminals.

- modern surface mounting technology allows to install components on both sides of PCB, which allows to reduce the board area and as a consequence the printed circuit assembly frame.

- electrical characteristics improvement. The quality of weak and high frequency signal transmission significantly improves due to reduction of the connection terminal length and a tighter integration.

- improving the use of technology. This advantage is the key advantage that enabled the surface mounting to be wide spread. If there is no necessity to convert connection terminals before mounting and to install connection terminals in holes, to hold components with the soldering paste or glue and component self-alignment while soldering, it allows applying automatic process equipment with performance that is unattainable with an appropriate cost and complexity of technical solutions for through-hole joint. The application of soldering paste melt technology significantly reduces an effort of the soldering operation compared to the manual or selective soldering, and saves materials compared to wave soldering.

- maintainability enhancement. Modern maintenance equipment allows removing and installing components undamaged even with a large number of connection terminals. While the through-hole jointing, this operation is more complex due to the need for soldered joint uniform heating. While surface mounting, the joint heat capacity is lower and heating may be carried out over the surface with hot air or the nitrogen. However, some modern components for surface mounting are so complex that their reinstallation requires special equipment.

- cost reduction. PCB area decrease, a smaller number of materials used in components, an automated assembly allow to reduce the product cost in mass production [6].

However, TSM has significant disadvantages:

- devices manufactured by TSM are less convenient than traditional ones to validate, test and repair because of the small component lead pitch and high-density cases;

- there is a heat sink problem of due to the small space between component cases when the generated heat quantity per area unit of PCB dramatically increases;
- while operating, the role of the temperature coefficient mismatching of PCB material and component linear expansion increases.

Despite these disadvantages, TSM is increasingly gaining its popularity on the product market because these products are better than their counterparts made with the classical technology. This fact encourages companies to change their production and to orient it to the progressive technology [2].

## **7.4 Technological cycle of surface mounting**

A typical sequence of operations in TSM includes:

- soldered paste application on pads (dispensing in single-piece and small batch production, screen printing in full-batch and mass production);
- component installation;
- mass soldering by paste melt in a furnace (mostly by convection and by infrared heating or in vapor phase);
- washing PCB (depending on the active flux) and the putting of protective coatings.

An individual soldering by the heated air or nitrogen jet is used in a single-piece production, repair and component installation that requires accuracy and in a small-scale production [5].

### **7.4.1 Soldered paste application**

The soldered paste is applied over the pads or with a dispenser or through a stencil. Doing this it is necessary to obtain imprints containing a certain amount of paste. The lack of paste could result in a lack of connection, the excess – in jumper straps and low joint efficiency. The amount of paste depends on the particular component design and the pad size.

The use of the dispenser is more flexible but less precise and efficient method that is usually used in pilot production. Dispensing pastes are supplied in standard syringes which are compatible with the majority of hardware. The needles of different diameter which permit dispensing a certain amount of paste are installed on the syringe. Also the paste amount can be regulated by pressure and application time. When the paste is dispensed for a long time, it is heated and it changes its rheological properties and can lead to a poor print quality. Dispensing can be done manually or by automatic equipment [7].

Figure 7.2 presents factors that must be considered to complete the dispensing. These factors are divided into categories: equipment, process parameters, materials, environment and personnel. The sources that affect the quality, are mentioned within each category [8].

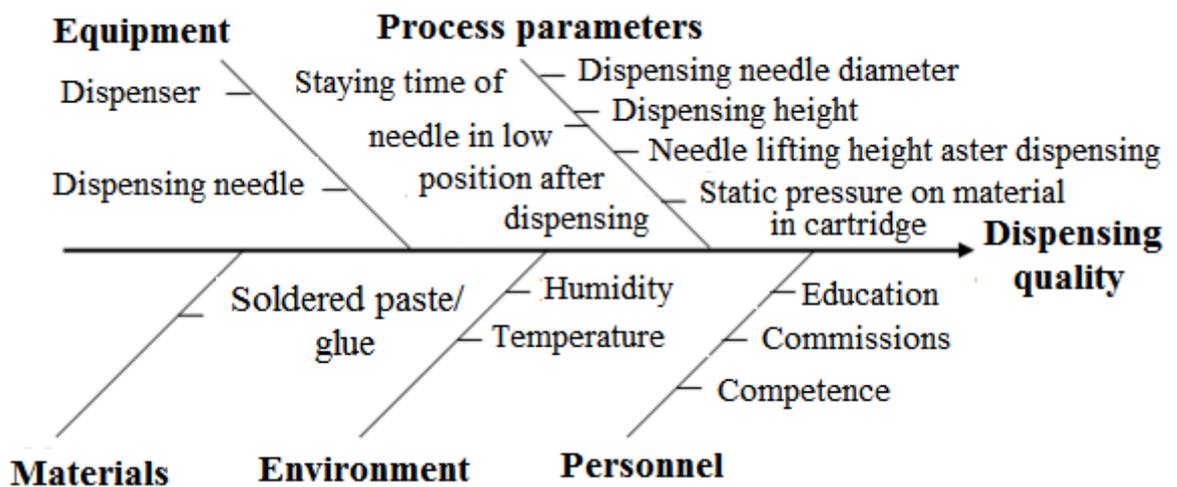


Fig.7.2 – Factors affecting the dispensing quality

Today there are several competing methods for soldered paste dispensing. Among them it is possible to distinguish the following types of dispensers, which differ in application speed, accuracy and repeatability as well as in design and technological capabilities:

- *pneumatic* dispensers represent a syringe with a needle at the end, where air is injected. The pressure on the material is done through the piston (plunger) which fits tightly to the syringe walls and distributes pressure on the material effectively. These dispensers are mainly used in places where a high accuracy of dispensing is

not required. One of the main disadvantages of pneumatic dispensers is that the dispensing results change with a material level change of in the syringe;

– *piston*. Operating principle: when the piston is lifted up, the material flows into the working chamber under pressure applied to the cartridge. Then the piston under pressure moves into the working chamber and pushes the material through an attached dispensing needle. The amount volume depends on the volume of the chamber, the piston type and the piston stroke, which is regulated by a special screw. Advantage: low dependence or no dependence on the point size. Main disadvantages: the difficulty to maintain, unsuitability to apply small amounts, the dependence of the dose volume from the viscosity of coating material;

– *screw* dispensers are applied in cases when the quality, accuracy and repeatability are important. They are widely used for soldered paste and glue application. They can be used to obtain doses of 200 microns in diameter and smaller with a very high repeatability. The main element that affects the quality of dose is a screw or Archimedean screw. The material is fed from the syringe into the screw core by compressed air. Then, material is pressed through the needle on PCB by the standard screw rotation. The screw rotation angle and the inner needle diameter will determine the dose volume. The operation principle of the screw dispensers are shown in figure 7.3. They have one disadvantage: mechanical contact with the board while dispensing (while working with a stop needle);

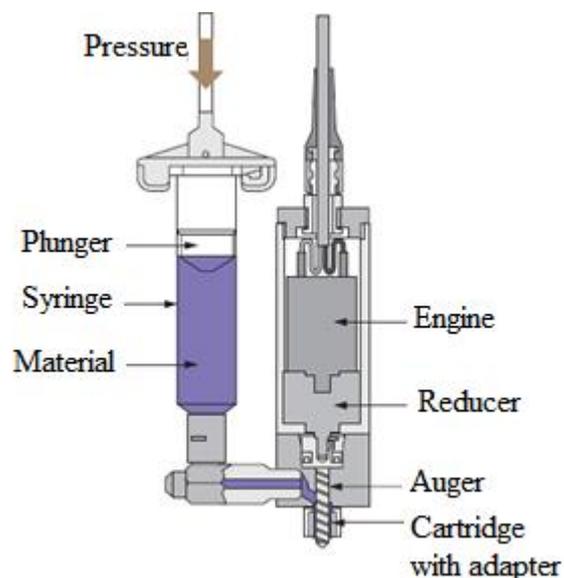


Fig.7.3 – Principle of screw dispenser operation

– *piezoelectric*. A distinctive feature is a quick and reliable piezoactuator, which drives the material feed mechanism. The piezoelectric mechanism brings and separates the material channel in coincidence with the needle. The coincidence time will determine the material volume passing through two channels, and, consequently, will influence the dose. The piezoelectric mechanism can be displaced and disconnected with a frequency up to 10 Hz. The minimum coincidence time of 2 mps allows obtaining the dose volume up to 10 nl. Disadvantages: more difficult to maintain, sensitive to boards with deformations;

– *inkjet* (ink jet). The material is under pressure in the syringe. It is brought in the chamber where there is a piston pressing the material through a special nozzle. The main difference is the use of special nozzles (instead of needles), where the piston bumps while material pushing. It requires the use of special soldered pastes and parameter setting is time-consuming [9].

One of the most important technological materials used for surface mounting is a soldered paste (called a braze paste) that is a mixture of a powdered solder and organic fillers, including flux (figure 7.4). Apart from soldered joint and surface preparation, the soldered paste also fixes components before soldering due to its adhesive properties [5].

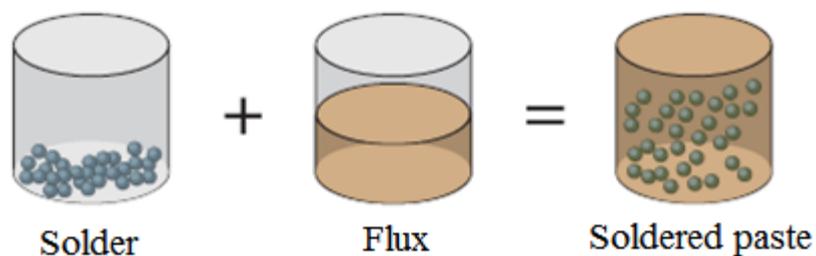


Fig.7.4 – Soldered paste schematic representation

Depending on the tasks, different types of solder and flux included in soldered pastes are used. Currently, lead and lead free solders are widely used. Flux included in soldered pastes plays a very important role in electronics assembly process. It makes oxide removal, provides adhesion to PCB and components. In addition, it affects the paste rheology (determines how paste will behave while dose dispensing and formation) and acts as a lubricant while passing through the dispensing head

mechanisms and a needle. The flux density is significantly lower than the solder density, on average, about 1 g/cm<sup>3</sup>. In the paste, there is more solder ppb mass and more flux ppbv.

Another important indicator in dispensing is material viscosity. Soldered pastes are thixotropic materials that are characterized by change in viscosity when the paste is influenced by an outside force. When the solder paste is under pressure, it becomes liquid and is pressed through the narrow bore of the dispensing nozzle. When the pressure is removed, the paste becomes thick again and forms an essential imprint on the pad. This feature affects the paste behavior while dose dispensing and forming. If the paste is initially too liquid, the imprint will spread over PCB, but if it is too thick – it is difficult to push it through a needle or a dispensing head. Usually the dispensing soldered pastes have a viscosity in the range of 300 000 – 600 000 cPs.

The soldered pastes are classified by solder particle size in accordance with IPC/EIA J-STD-005 and ASTM-B214 standards. Pastes are divided into 6 types (table 7.1) by the particle size. Each type has its own particle size. Different type soldered pastes are obtained by solder particle sifting through an adjustable screen. The mesh size is defined as the number of holes per square inch (1 ft = 6,45 square cm). The inner diameter of the needle should be 7-10 times bigger than the maximum paste particle size. Otherwise, the dispensing needle may be clogged in a few seconds after dispensing start [9].

Table 7.1 – Soldered paste choice according to the particle size and the inner needle diameter

| Soldered paste type | Diameter of 80 % of solder particles, μm | Participle diameter not larger than, μm | Recommended inner needle diameter, μm |
|---------------------|--|---|---------------------------------------|
| Type 1              | 150-75                                   | 160                                     | are not applied for dispensing        |
| Type 2              | 75-45                                    | 80                                      |                                       |
| Type 3              | 45-25                                    | 50                                      | 510 and more                          |
| Type 4              | 38-20                                    | 40                                      | 330 and more                          |
| Type 5              | 25-15                                    | 25                                      | 250 and more                          |
| Type 6              | 15-5                                     | 20                                      | 150 and more                          |

While doing experimental work, as part of the graduate qualification work, Sn62 NC-SMQ90 paste which is an alloy of tin (Sn), lead (Pb) and silver (Ag) was used. An alloy in the ratio of 62, 36 and 2% respectively is denoted as Sn62 (Sn62/Pb36/Ag2) and has a melting point of 179 °C. The silver is added to improve the full strength of solder joints and to reduce the «impurity dissolving» effect, when the molten tin dissolves the silver contained on the element pads and that increases the connection fragility [2].

#### **7.4.2 Component installation**

Component installation is carried out, as a rule, by assembly machines from standard packages where components are supplied by the manufacturer, but in a single and small batch production the manual installation by vacuum tweezers or manipulator and an automated installation can be applied.

The manual installation performance may be several hundred components per hour depending on the assembly worker qualifications and the board complexity. At semi-automatic installation the performance is in the range of approximately 400-700 components per hour.

An automatic machine performance depends on the type of machine, board complexity and installation program optimality. A typical performance of entry-level machines is in the range of 1500-5000 components per hour. A typical performance of serial machines is 10-50 thousand components a year. However, it should be noted that the maximum performance is not achieved in practice. For a realistic assessment of machine performance it is necessary to multiply the maximum performance by an empirical coefficient depending on complexity of devices manufactured by the company. In most cases this coefficient is in the range of 0.5-0.6.

In modern equipment the component grip is carried out with the vacuum head. To grip heavy components, special nozzles are used. To enable the vacuum grip component developers design balanced components with a particular mass center.

It is possible to distinguish three groups of components according to their installation complexity:

- –normal components (chip components in cases 0402, microchips with a lead pitch up to 0.8 mm, etc.);
- components with a fine lead pitch, also called Fine-Pitch components, the lead pitch of which is less than 0.8 mm, and the chip components in cases 0201 and less;
- –microchips with a pin-grid package (BGA,  $\mu$ -BGA, etc.).

The accuracy of component installation of the first group and the small chip-components on the soldered paste must provide a pad or a component pad contact by its greater part (about 80%) with the contact area and the lack of contact with the neighboring area. The high precision installation is not required, because while melting the surface tension forces of the paste center the component. In small and single batch production to install components with a fine lead pitch and a pin-grid package the special high precision machines with an optical registration system are used [7].

### **7.4.3 Reflow soldering**

The process of solder reflow is performed in furnaces by heating PCB and components. Heating can be done in different ways: infrared (IR) heating, convective heating and vapor phase heating. Convective heating is the most widespread [7].

Convection soldering is carried out in a chamber or conveyor furnaces. In the first case, the soldering profiling is done by changing the temperature inside the chamber over time, while in the second it is performed by moving the board along the conveyor through several furnace zones: preheating zone, the soldering zone and the cooling zone, each of which has its own temperature. The board is in the furnace at the maximum temperature for several tens of seconds, followed by cooling.

In some cases, soldering in an inert atmosphere is used, where there is the nitrogen intake into the furnace working area to minimize oxidation.

The reflow soldering is done by temperature changing by the given law, called the thermal soldering profile. The following factors influence the soldering temperature profile formation:

- soldered paste;
- technological equipment;
- components;
- PCBs.

The temperature soldering profile consists of four stages: preheating, stabilization (temperature zone leveling), reflow and cooling (figure 7.5).

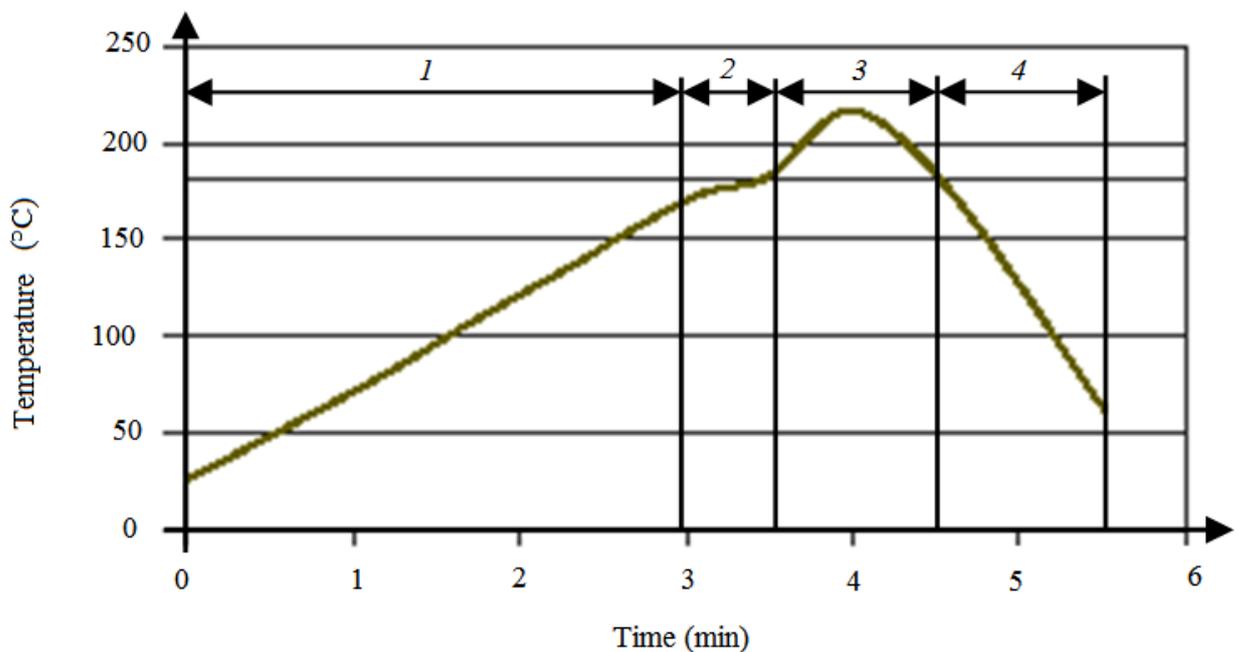


Fig.7.5 – Sample temperature soldering profile:

1 – preheating; 2 – stabilization; 3 – reflow; 4 –cooling

*Preheating stage* is necessary to reduce the thermal shock of electronic components and PCB. At this stage there is a dissolvent evaporation from the soldered paste. The preheating temperature is 95-130 °C and the temperature change rate for standard soldering profile is from 0.6 to 4.0 °C/sec. It can be noted that a high preheating speed may cause damage of components, the spitting of solder drops, the formation of inter particle necks. However, if the preheating speed is low, it can cause contact surfaces and solder particles oxidation.

*Stage of stabilization*, also called «temperature leveling stage», allows you to activate the fluxing component and to remove liquid from soldered paste. At this stage the increase of temperature is very slow. The maximum flux activation occurs at a temperature of about 150 °C. The stabilization time usually ranges from 30 to 180 sec. At the end of the stabilization zone the temperature usually reaches 150-170 °C.

*Stage of reflow*. To exclude an excessive growth of intermetallic compound the soldering temperature should not exceed the soldered paste melting point more than for 30-40 °C. For example, for most common alloys Sn62/Pb36/Ag2 and Sn63/Pb37 the soldering temperature should be in the range of 205-225 °C. The low soldering temperature (195-205 °C) provides a poor wetting ability, especially for poor solder ability components. Therefore, the temperature at the reflow stage is set higher – in the range of 215-225 °C at a temperature change rate of 2-4 °C/sec. The recommended time above the melting point is 30-60 seconds. For massive boards the time above the melting point can be increased to 90-120 seconds. The high temperature (240-260 °C) and soldering time (more than 120 sec.) cause the metallide growth. Excessive metallide growth increases the fragility of solder joints and makes worse its appearance.

*Stage of cooling*. To provide the maximum strength of solder joints the cooling rate must be maximum. At the same time, the high rate of cooling may cause thermal shock of electronic components. On the other hand, the slow cooling will lead to intensive metallide growth, thus, the solder joint becomes more solid, but fragile. It is recommended to cool at a speed of 3-4 °C/sec to a temperature below 130 °C. Below the temperature of 130 °C the cooling rate can be lower, as it does not affect the quality of solder joints and electronic components.

Thus, the final choice of modes is done by process manager and is based on PCB design and material, the component type and size, the amount and density of components on PCB, soldered paste type. When selecting the soldering profile it should be taken into account that the real temperature on the PCB during soldering process is lower than the stated temperature in the furnace. The difference between

the actual and the stated temperatures depends on the furnace design, the number of layers and board size, the component size and density [10].

### 7.5 Description of the surface mounting sector

Experimental works were carried out at the surface mounting sector (SMS) of the mounting-assembly shop (figure 7.6).

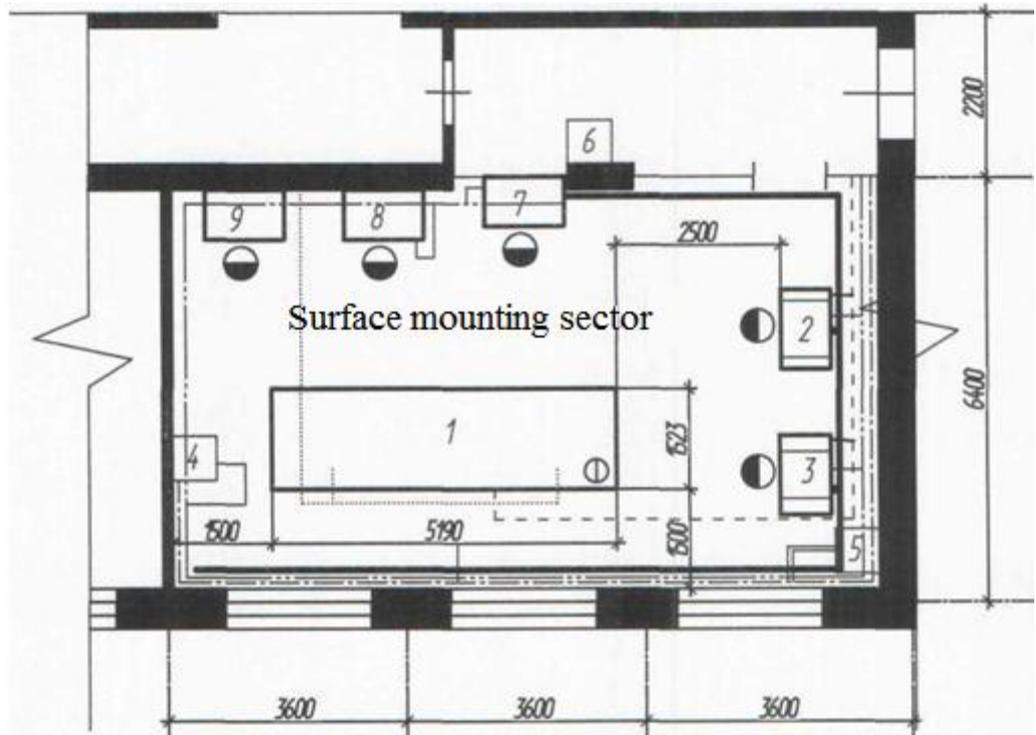


Fig.7.6 – Layout of SMS:

- 1 – Convective system of series reflow; 2 – Semi-automatic installation of components; 3 – Automatic dispenser; 4 – Air conditioner; 5 – Humidifier;
- 6 – Compressor; 7 – Assembler workplace; 8 – PC operator workplace;
- 9 – Master workplace

Operations that are performed by SMS are preparation, installation and soldering of surface-mounting components on PCB and control of assembly accuracy. SMS area requirements to operate the equipment are listed in table 7.2.

Table 7.2 – Area requirements for equipment operation

| Setting                           | Automatic dispenser                      | Convective system of series reflow   | Semi-automatic installation of components |
|-----------------------------------|--|--------------------------------------|---|
|                                   | Values                                   | Values                               | Values                                    |
| Compressed air supply:            |  |                                      |   |
| - pressure                        | 6,1 ATM                                  | -                                    | 5,7ATM                                    |
| - flow rate                       | 85 l/min                                 | -                                    | 20l/min                                   |
| - connection                      | the flexible hose with an external Ø12mm | -                                    | flexible hose with an external Ø 6mm      |
| Power supply:                     |  |                                      |   |
|                                   | 1-phase industrial system                | 3-phase industrial system            | 1-phase industrial system                 |
| - voltage                         | 220V                                     | 380V                                 | 110/220V                                  |
| - frequency                       | 50Hz                                     | 50Hz                                 | 50Hz                                      |
| - capacity                        | 1kW                                      | 53-86kW                              | 0,2kW                                     |
| - connection                      | 3-wire (requires 2 europlugs)            | 5-wire                               | 3-wire                                    |
| Requirement to ground connection: |  |                                      |   |
| - resistance is not higher than   | 4 Ohm                                    | 4 Ohm                                | 4 Ohm                                     |
| Exhaust ventilation:              |  |                                      |   |
| - performance                     | -  | 400 m <sup>3</sup> /h                | -   |
| - connection                      | -  | 2 pipeline with the internal Ø150 mm | -   |

### 7.5.1 Automatic dispenser

DispenseMate dispenser of 585 series consists of positioning system and computer (figure 7.7). Three-coordinate system (X, Y, and Z) moves and sets the dispensing head in the exact position over the workpiece. The dispensing head moves along X and Z axes. The table for fixing moves along Y-axis. Programs are developed using the Fluidmove module for Windows XP operating system of the Asymtek company [11].



Fig.7.7 – DispenseMate automatic dispenser

The main technical characteristics:

- power consumption: 1 kW;
- overall dimensions (l×w×h): 770×885×630 mm.;
- weight: 70 kg;
- working area: 525×525 mm;
- maximum board weight: 2 kg;
- pneumatic power supply: 620 kPa [11].

The dispenser is used to apply the required amount of soldered paste on PCB contact pads depending on component dimensions and the pad size to ensure a quality component assembly on PCB.

FluidMove software has the following useful advantages:

- user-friendly interface;
- universal software for wide application and diverse tasks such as dispensing, filling, sealing, and others;
- simple and clear equipment settings;
- integrated video system with different algorithms of pattern recognition;
- system of traceability and information preservation;
- detailed help file;
- ability to develop and edit programs without CAD data.

Also there are some additional features:

- verification of points;
- low material level tracking and indication;
- material end-of-life indication;
- password access restriction;
- automatic nozzle cleaning;
- library of templates and elements for quick programming;
- possibility of multiplying;
- ability to work with markers of rejection;
- work with barcodes and 2D-codes [9].

### **7.5.2 Semi-automatic installation of components**

ExpertLine semi-automatic system of component installation (figure 7.8) is a modular system that meets the needs of modern electronics industry to manufacture prototypes or a small batch production. The system is used to install components in a manual or semi-automatic mode with an ability to install components with a small lead pitch and to avoid errors of incorrect component placement on PCB.

ExpertPlace software allows us to use ExpertLine series systems for manual installation of components as semi-automatic devices. ExpertPlace software allows an operator to indicate the correct position of component grip and the correct installation position. Due to the actual display of machine elements and components it is possible to see rotated components and to avoid mistakes [13].



Fig.7.8 – ExpertLine system of component installation

Main technical characteristics:

- power supply: 220 V, 50 Hz;
- overall dimensions (l×w×h): 750×715×310 mm;
- weight: 22 kg;
- minimum PCB size: 20×25 mm;
- maximum PCB size: 425×253 mm;
- performance: 600÷800 comp/h.
- pneumatic power supply: 5÷7 Bar [13].

### **7.5.3 Convective system of series reflow**

ErsaHotflow 3/14 convection reflow furnace (figure 7.9) is designed for soldering SMD components by surface mounting technology on circuit assemblies and for curing adhesive compositions where components are attached. The furnace design and the use of appropriate materials ensure the transfer of thermal energy by convection [14].



Fig.7.9 – ErsaHotflow 3/14 convection reflow furnace

The main technical characteristics [14]:

- type of heating: convective;
- maximum power consumption: 53÷86 kW;
- overall dimensions (l×w×h): 5190×1530×1580 mm;
- weight: 2500 kg;
- width of conveyor: 50÷536 mm;
- length of working area: 3750 mm;
- the control range of the temperature in the reflow zone: 180÷350 °C

The software package allows performing the following steps: managing the process, documenting process parameters and autoprofiling to develop soldering programs offline. Tasks of improved software package: simplification of operation, visualized monitoring of the process and reducing time for configuring parameters, selection of the required profile, data processing and management, as well as documenting and archiving all information about the processes and operation of machine for subsequent tracking [15].

## Приложение Б (справочное)

Планировка участка поверхностного монтажа монтажно-сборочного цеха приведена на рисунке Б.1.

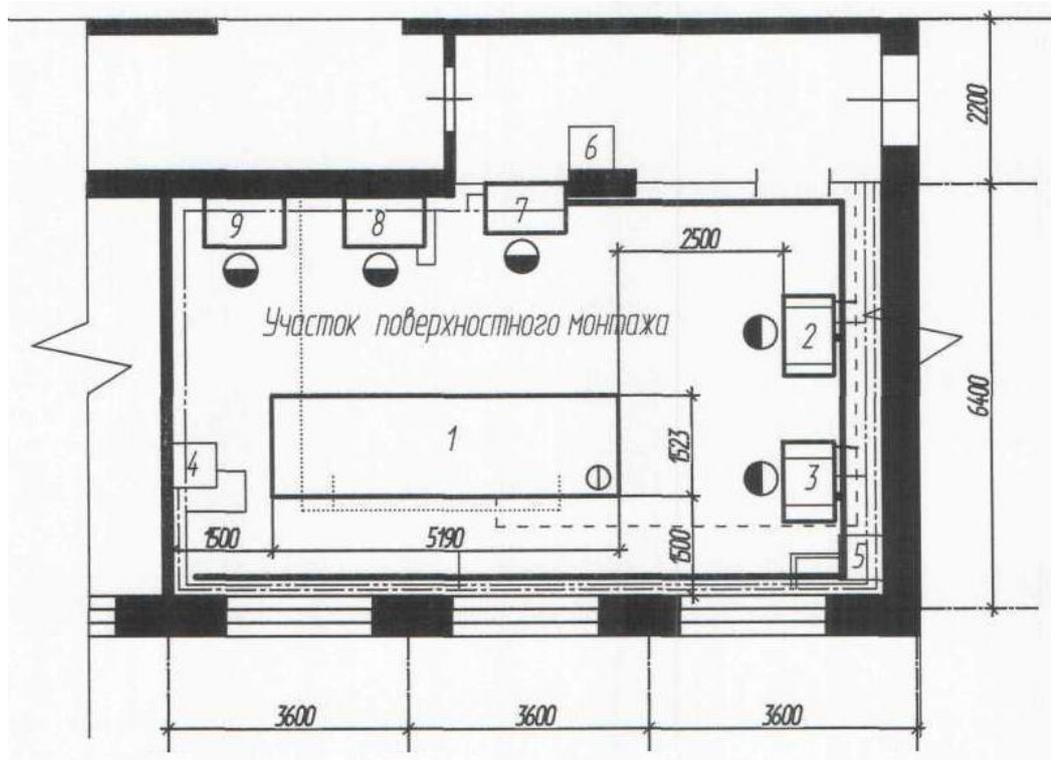


Рисунок Б.1 – Планировка УПМ:

1 – Конвекционная система группового оплавления; 2 – Полуавтомат установки компонентов; 3 – Автомат дозирования; 4 – Кондиционер; 5 – Увлажнитель;  
6 – Компрессор; 7 – Рабочее место монтажника; 8 – Рабочее место оператора ПК; 9 – Рабочее место мастера

Требования к помещению УПМ для работы с оборудованием указаны в таблице Б.1.

Таблица Б.1 – Требования к помещению для эксплуатации оборудования

| Параметр                 | Автомат дозирования                      | Конвекционная система группового оплавления | Полуавтомат установки компонентов |
|--------------------------|--|---|-----------------------------------|
|                          | Значения                                 | Значения                                    | Значения                          |
| Питание сжатым воздухом: |  |   |                                   |
| - давление               | 6,1 атм                                  | -   | 5,7атм                            |
| - расход                 | 85 л/мин                                 | -   | 20л/мин                           |
| - подключение            | гибкий шланг с внешним Ø12мм             | -   | гибкий шланг с внешним Ø6мм       |
| Электропитание:          |  |   |                                   |
|                          | 1-фазная промышленная сеть               | 3-х фазная промышленная сеть                | 1-фазная промышленная сеть        |
| - напряжение             | 220В                                     | 380В  | 110/220В                          |
| - частота                | 50Гц                                     | 50Гц  | 50Гц                              |
| - мощность               | 1кВт                                     | 53-86кВт                                    | 0,2кВт                            |
| - подключение            | 3-х проводное (требуется 2 еввророзетки) | 5-ти проводное                              | 3-х проводное                     |
| Требование к заземлению: |  |   |                                   |
| - сопротивление не более | 4 Ом                                     | 4 Ом  | 4 Ом                              |
| Вытяжная вентиляция:     |  |   |                                   |
| - производительность     | -  | 400м <sup>3</sup> /час                      | -                                 |
| - подключение            | -  | 2 трубопровода с внутренним Ø150мм          | -                                 |

**Приложение В**  
(справочное)

Протокол  
 проверки параметров конденсаторов К10-79 АЖЯР.673511.004ТУ  
 до и после пайки методом поверхностного монтажа  
 по термопрофилю, приведенному на рисунке В.1

| №                           | Типо-номиналы конденсаторов   | Обозначение по чертежу | Значение номинального сопротивления |               |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------|
|                             |                               |                        | до монтажа                          | после монтажа |
| <b>К10-79_6габ-50В-Н30-</b> |                               |                        |                                     |               |
| 1                           | 0,33 мкФ ±20%<br>(264÷396) нФ | C111                   | 299,67                              | 294,9         |
| 2                           |                               | C112                   | 308,63                              | 304,4         |
| 3                           |                               | C113                   | 304,79                              | 300,1         |
| 4                           |                               | C114                   | 303,81                              | 299,1         |
| 5                           |                               | C115                   | 315,10                              | 309,9         |
| 6                           |                               | C116                   | 304,86                              | 299,1         |
| 7                           |                               | C117                   | 307,61                              | 303,6         |
| 8                           |                               | C118                   | 309,07                              | 302,9         |
| 9                           |                               | C119                   | 304,94                              | 299,4         |
| 10                          |                               | C120                   | 313,08                              | 308,0         |
| 11                          |                               | C280                   | 313,91                              | 309,6         |
| 12                          |                               | C281                   | 310,54                              | 306,2         |
| 13                          |                               | C282                   | 314,33                              | 309,8         |
| 14                          |                               | C283                   | 299,66                              | 295,6         |
| 15                          |                               | C284                   | 304,99                              | 300,3         |
| 16                          |                               | C285                   | 316,34                              | 312,6         |
| 17                          |                               | C286                   | 318,68                              | 313,9         |
| 18                          |                               | C287                   | 303,53                              | 299,3         |
| 19                          |                               | C288                   | 312,57                              | 307,8         |
| <b>К10-79_7габ-50В-Н30-</b> |                               |                        |                                     |               |
| 1                           | 1 мкФ ±20%<br>(800÷1200) нФ   | C121                   | 1016,34                             | 1012,6        |
| 2                           |                               | C124                   | 1018,68                             | 1013,9        |
| 3                           |                               | C130                   | 1003,53                             | 1099,3        |
| 4                           |                               | C126                   | 1012,57                             | 1007,8        |
| 5                           |                               | C128                   | 1013,91                             | 1009,6        |
| 6                           |                               | C127                   | 1010,54                             | 1006,2        |
| 7                           |                               | C125                   | 1014,33                             | 1009,8        |
| 8                           |                               | C129                   | 1099,66                             | 1095,6        |
| 9                           |                               | C123                   | 1004,99                             | 1000,3        |
| 10                          |                               | C122                   | 1013,08                             | 1008,0        |
| 11                          |                               | C131                   | 1013,91                             | 1009,6        |
| 12                          |                               | C132                   | 1020,54                             | 1006,2        |
| 13                          |                               | C133                   | 1004,94                             | 1099,4        |
| 14                          |                               | C134                   | 1013,08                             | 1008,0        |
| 15                          |                               | C135                   | 1013,91                             | 1009,6        |
| 16                          |                               | C136                   | 1010,54                             | 1006,2        |
| 17                          |                               | C137                   | 1014,33                             | 1009,8        |
| 18                          |                               | C138                   | 1013,08                             | 1008,0        |
| 19                          |                               | C139                   | 1013,91                             | 1009,6        |
| 20                          |                               | C140                   | 1010,54                             | 1006,2        |

| №                           | Типо-номиналы конденсаторов    | Обозначение по чертежу | Значение номинального сопротивления |               |
|-----------------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------|
|                             |                                |                        | до монтажа                          | после монтажа |
| <b>К10-79 8габ-50В-Н30-</b> |                                |                        |                                     |               |
| 1                           | 1,5 мкФ ±20%<br>(1200÷1800) нФ | C318                   | 1518,8                              | 1509          |
| 2                           |                                | C317                   | 1552,1                              | 1541          |
| 3                           |                                | C316                   | 1572,2                              | 1561          |
| 4                           |                                | C315                   | 1525,5                              | 1517          |
| 5                           |                                | C322                   | 1572,2                              | 1562          |
| 6                           |                                | C321                   | 1539,1                              | 1533          |
| 7                           |                                | C320                   | 1525,7                              | 1518          |
| 8                           |                                | C319                   | 1530,6                              | 1524          |
| 9                           |                                | C323                   | 1538,8                              | 1533          |
| 10                          |                                | C324                   | 1527,3                              | 1519          |
| 11                          |                                | C270                   | 1586,9                              | 1561          |
| 12                          |                                | C271                   | 1542,3                              | 1534          |
| 13                          |                                | C272                   | 1531,8                              | 1525          |
| 14                          |                                | C273                   | 1515,3                              | 1509          |
| 15                          |                                | C274                   | 1553,3                              | 1550          |
| 16                          |                                | C275                   | 1596,7                              | 1596          |
| 17                          |                                | C276                   | 1560,9                              | 1556          |
| 18                          |                                | C277                   | 1550,6                              | 1541          |
| 19                          |                                | C278                   | 1552,8                              | 1549          |
| 20                          |                                | C279                   | 1547,4                              | 1541          |
| <b>К10-79 9габ-50В-Н30-</b> |                                |                        |                                     |               |
| 1                           | 1,5 мкФ ±20%<br>(1200÷1800) нФ | C305                   | 1635,4                              | 1567          |
| 2                           |                                | C306                   | 1652,8                              | 1585          |
| 3                           |                                | C307                   | 1651,2                              | 1594          |
| 4                           |                                | C308                   | 1642,4                              | 1584          |
| 5                           |                                | C309                   | 1718,3                              | 1660          |
| 6                           |                                | C310                   | 1630,4                              | 1599          |
| 7                           |                                | C311                   | 1582,4                              | 1522          |
| 8                           |                                | C312                   | 1627,3                              | 1564          |
| 9                           |                                | C313                   | 1639,9                              | 1574          |
| 10                          |                                | C314                   | 1600,3                              | 1556          |
| 11                          |                                | C292                   | 1687,1                              | 1638          |
| 12                          |                                | C295                   | 1715,6                              | 1646          |
| 13                          |                                | C298                   | 1673,9                              | 1629          |
| 14                          |                                | C291                   | 1705,9                              | 1653          |
| 15                          |                                | C294                   | 1714,2                              | 1661          |
| 16                          |                                | C297                   | 1709,2                              | 1645          |
| 17                          |                                | C290                   | 1747,5                              | 1674          |
| 18                          |                                | C293                   | 1712,6                              | 1646          |
| 19                          |                                | C296                   | 1703,6                              | 1645          |

Исполнитель:

Главный технолог:

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

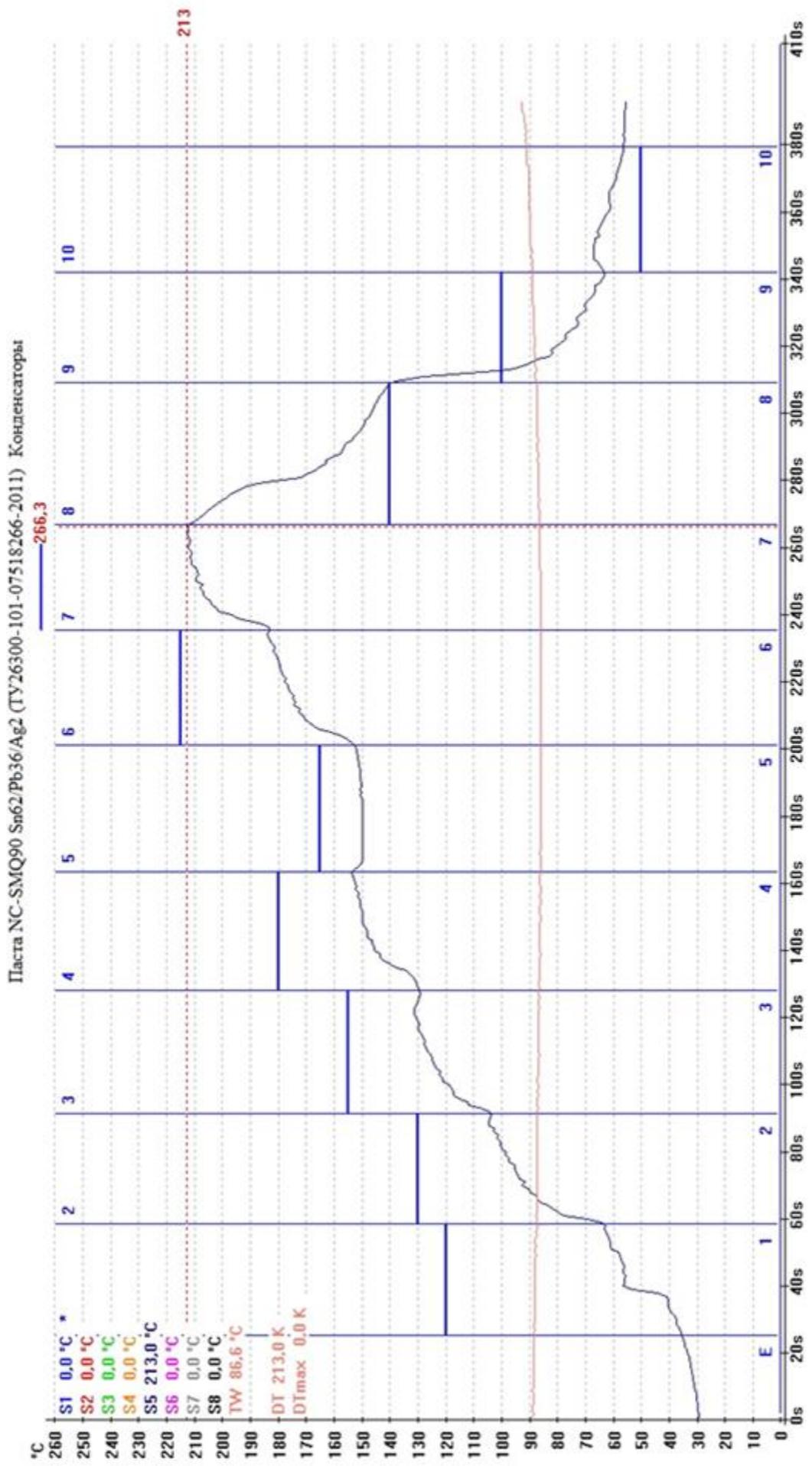


Рисунок В.1 – Термопрофиль пайки конденсаторов К10-79

43

1

**Приложение Г**  
(справочное)

0217149.25088.00044

Нанесение паяльной пасты автоматом дозирования DispenseMate D-585

УТВЕРЖДАЮ

Главный технолог

АО «НПЦ «Полус»

\_\_\_\_\_ Г.М. Хрулёв

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ

Начальник отдела

\_\_\_\_\_ О.И. Романов

Руководитель разработки

\_\_\_\_\_ Н.А. Стулов

Проверил

\_\_\_\_\_ А.С. Трифонов

Разработал

\_\_\_\_\_ Т.А. Дворникова

Нормоконтроль

\_\_\_\_\_ С.А. Стасева

Дубл.  
Взам.  
Подл.

ТИ

## Содержание

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | Требования безопасности труда.....                                      | 3  |
| 2 | Технологическое оснащение.....  | 4  |
| 3 | Общие требования.....   | 5  |
| 4 | Подготовка к работе.....  | 7  |
| 5 | Порядок работы.....   | 8  |
| 6 | Калибровка дозатора.....  | 17 |
| 7 | Создание программы для нанесения пасты на ПП.....                       | 27 |
| 8 | Программа нанесения пасты на ПП для микросхемы.....                     | 33 |
| 9 | Контроль ОТК.....   | 41 |
|   | Приложение А. Команды управления перемещения дозирующей<br>головки..... | 42 |

Настоящая технологическая инструкция (далее – ТИ) определяет порядок разработки программы и нанесения паяльной пасты (далее – паста) на печатные платы (далее – ПП) автоматом дозирования DispenseMate D-585 (далее – дозатор).

## 1 Требования безопасности труда

1.1 К работе допускаются лица, прошедшие инструктаж и аттестованные по правилам техники безопасности в соответствии с ИОТ №13-10, ИОТ № 87-11, ИОТ № 196-13.

1.2 Исполнитель должен быть обеспечен антистатической одеждой (халатом, шапочкой, перчатками), изготовленной из материалов с сопротивлением от точки до точки менее  $1 \cdot 10^{12}$  Ом, антистатической обувью.

1.3 Исполнитель должен выполнять требования ТИ 0217149.25000.00222.

1.4 Во время работы дозатора нельзя прикасаться к его движущимся частям.

## 2 Технологическое оснащение

2.1 При работе используется следующее технологическое оснащение:

- рабочий стол;
- держатели ПП из комплекта поставки дозатора;
- лупа по ГОСТ 25706-83;
- отвертка 7810-0966 3В 1 Н12Х ГОСТ 17199-88.

2.2 При работе используются следующие материалы:

- паяльная паста «Indium NC-SMQ90»;
- герметик для калибровки «Nordson» из комплекта поставки дозатора;
- бязь по ГОСТ 29298-2005;
- спирт ректификованный этиловый ГОСТ Р 51652-2000.

### 3 Общие требования

**Внимание! При работе с дозатором необходимо еженедельно спускать воду из накопителя, а также проводить регламентные работы в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации с записью в журнале.**

3.1 Если дозатор не используется сутки и более, то шнек и его составляющие необходимо промыть и прочистить следующим образом:

- все металлические составляющие шнека после работы замачивать в ацетоне;
- красную муфту, зеленую или белую прокладку мыть спиртом, протирать бязью, остатки убирать ватной палочкой;
- после замачивания картридж, шнек и иголку обязательно продувать сжатым воздухом;
- гайку крепления иглы не мыть и не замачивать.

3.2 Белую прокладку использовать только для прецизионных (XPOLP) игл, а зеленую – только для игл EFD (XLP).

3.3 Если прокладка использовалась для пасты, то для клея необходимо брать другую прокладку.

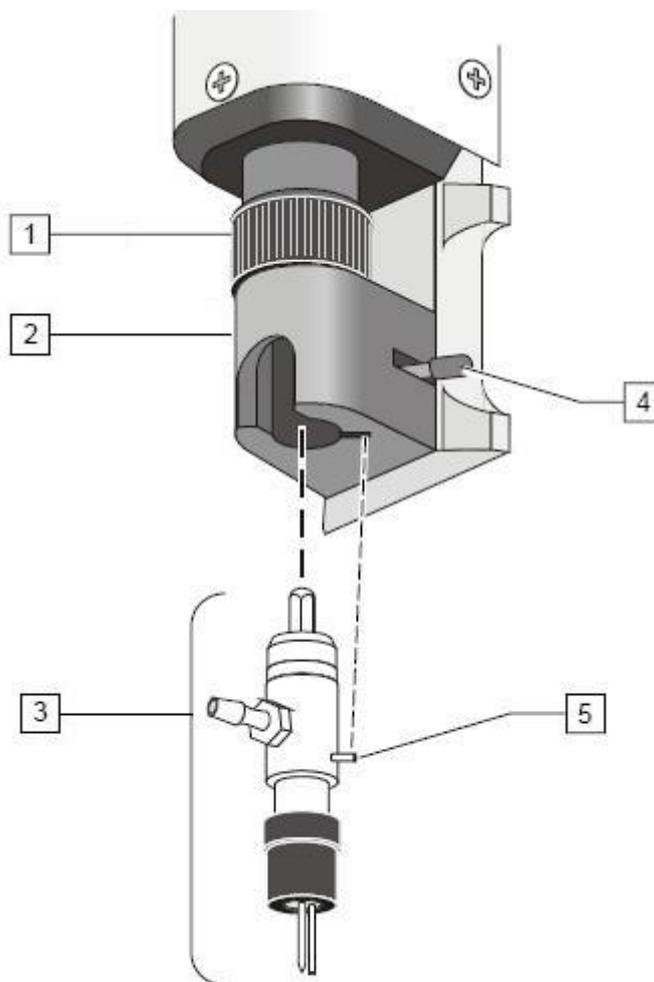
3.4 Паста должна быть проверена на входном контроле, иметь сопроводительный документ с указанием срока годности.

3.5 Пасту необходимо хранить в холодильнике при температуре не ниже 10 °С.

3.6 Пасту, расфасованную в шприцы, нужно хранить и транспортировать в положении упаковки наконечником вниз.

3.7 Срок годности пасты шесть месяцев со дня изготовления.

3.8 При установке дозирующей головки убедиться, что между муфтой (поз. 1) и корпусом (поз. 2) оставлен зазор (не менее 1 мм) во избежание напряжения на пружину шнека (рисунок 1).



1 – муфта; 2 – корпус дозирующей головки; 3 – сборочный узел картриджа; 4 – стопорный рычаг картриджа; 5 – направляющий штифт

Рисунок 1 – Установка дозирующей головки

3.9 По завершении работы с оборудованием (дозатор, ПК) всегда отключать питание дозатора на задней панели.

#### 4 Подготовка к работе

4.1 Получить ПП и вспомогательные материалы.

4.2 За 2–4 ч до начала работы с пастой, необходимо вынуть ее из холодильника и выдержать при комнатной температуре до полной стабилизации.

**Внимание! Категорически не допускается дополнительный подогрев пасты нагревательными приборами.**

4.3 Если паста не будет использоваться в течение 12 ч, ее следует убрать в холодильник.

4.2 Подготовить ПП согласно ТТП 01288.00015, операция 10.

4.3 Перед включением дозатора необходимо выполнить следующее:

- освободить рабочую зону от каких-либо препятствий для перемещения дозирующей головки;
- проверить наличие и состояние чаши продувки;
- установить шприц с пастой и иглу в соответствии с типом пасты:
- паста №3, игла не ниже №23;
- паста №4, игла №25;
- паста №5, игла №28.

## 5 Порядок работы

5.1 Включить компьютер и дозатор.

5.2 Убедиться, что камера дозатора загружена.

5.3 Запустить программу FmXP двойным нажатием на значок  на рабочем столе Windows XP.

5.4 Установить давление воздуха регулятором давления, оно должно быть 9,5–10,5 Па.

5.5 Во время запуска программы FmXP автоматически осуществляется проверка наличия и правильности обмена данными между устройствами ввода-вывода системы дозирования и программой FmXP.

**Внимание! Во время запуска программы FmXP не нажимать на клавиатуру и кнопки мыши, пока программа не выдаст соответствующие указания.**

5.5.1 При появлении сообщения 30416 (Dispenser Motor References Not Found – Не найдены данные о приводе дозатора) нажать кнопку «ОК» (рисунок 2), чтобы вернуть дозатор в исходное положение. Откроется главное окно «FmXP» (рисунок 3).

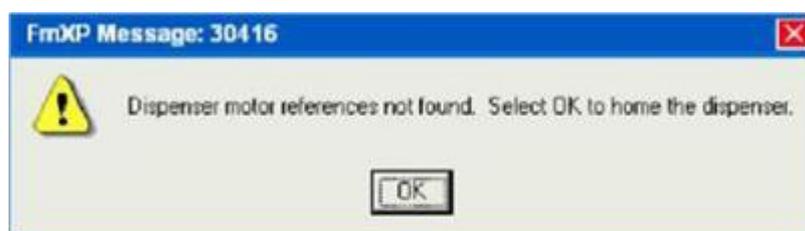


Рисунок 2 – Сообщение 30416 дозатора

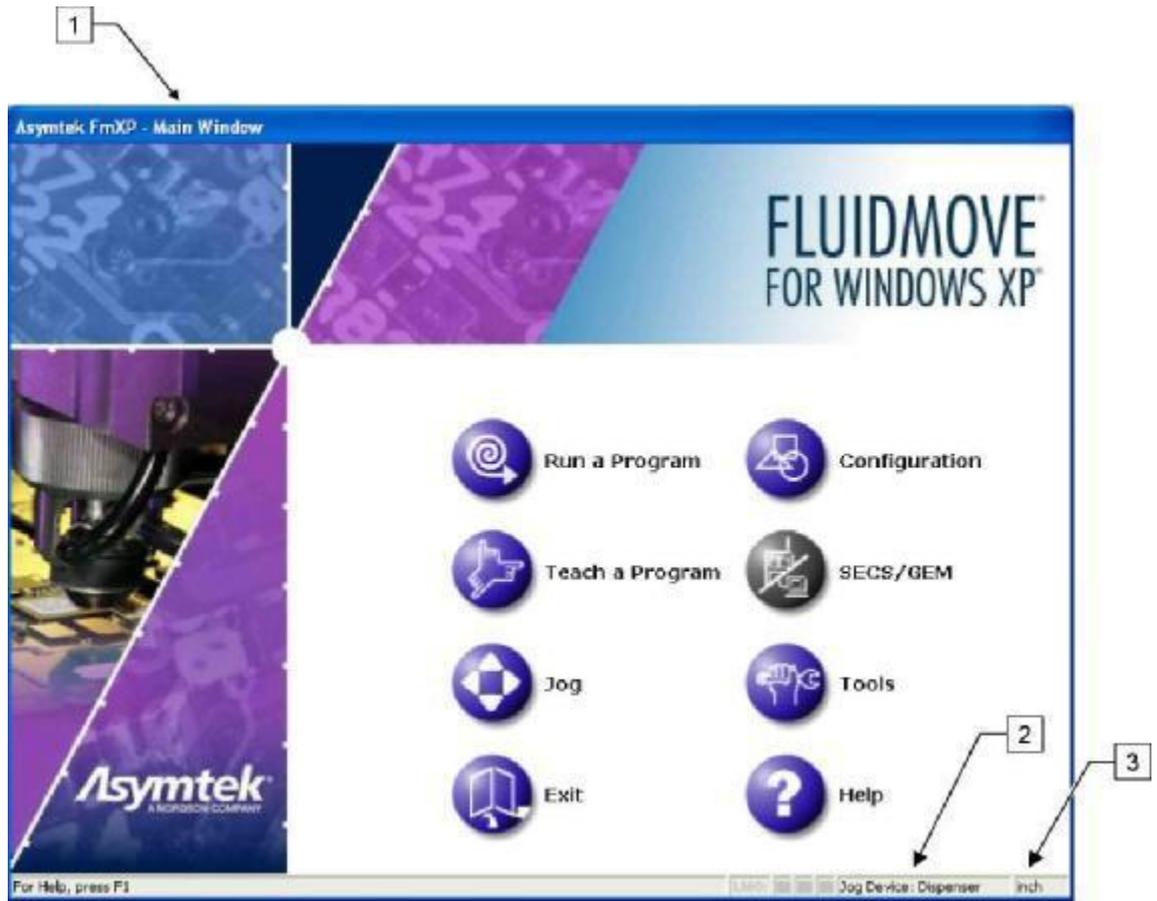


Рисунок 3 – Главное окно FmXP:

1 – версия программы/наименование окна; 2 – выбранное рабочее устройство (головка/конвейер); 3 – выбранная единица измерения

5.6 В главном окне программы FmXP выбрать значок 

Откроется окно программирования (рисунок 4).

5.7 С помощью команд управления (приложения А), переместить столик для фиксации в удобное положение для установки ПП.

ПП установить в левый нижний угол столика для фиксации.

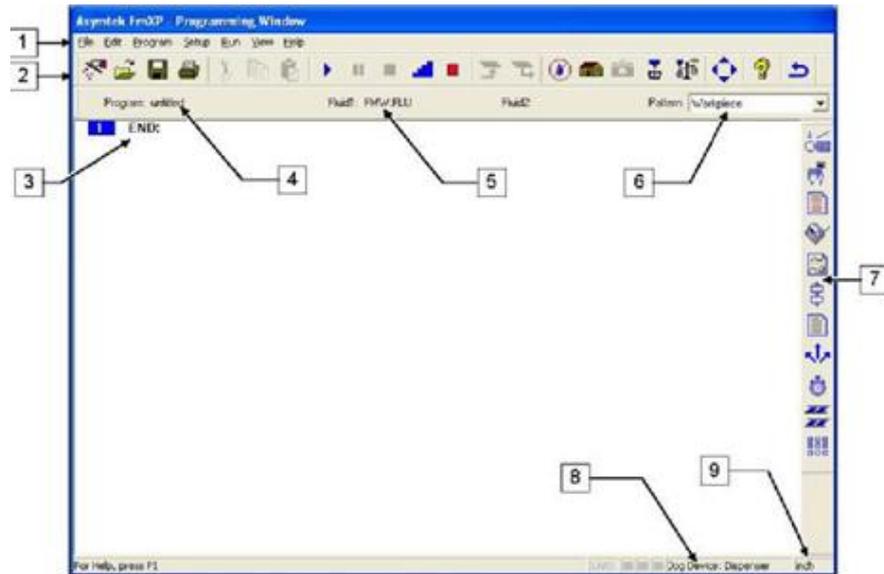


Рисунок 4 – Окно программирования:

1 – строка меню; 2 – панель инструментов рабочего процесса; 3 – место вставки команды программирования; 4 – наименование загруженной программы; 5 – имя файла дозируемого материала; 6 – название шаблона; 7 – панель команд программирования; 8 – выбранное рабочее устройство (головка/конвейер); 9 – выбранная единица измерений

5.8 Для создания новой программы нанесения пасты необходимо выполнить следующие действия:

5.8.1 При создании программы без реперных знаков:

- в меню «File» окна программы выбрать пункт «New»;
- откроется окно «CreateWorkpiece» (рисунок 5);

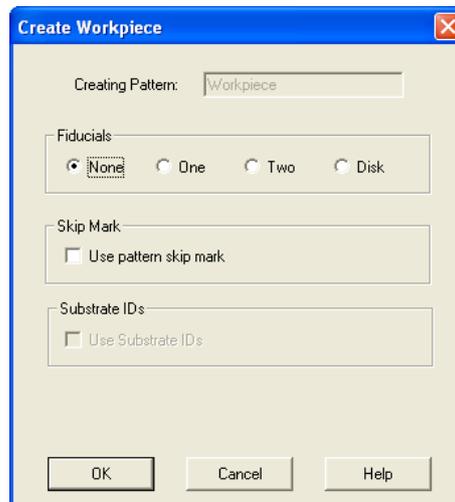


Рисунок 5 – Окно «CreateWorkpiece»

- нажать кнопку «ОК»;
- откроется окно «Teach First Point Defining Axis» (рисунок 6), в котором необходимо задать две крайние точки верхней горизонтальной стороны платы. Эта процедура нужна, чтобы избежать смещение координат наносимых доз.

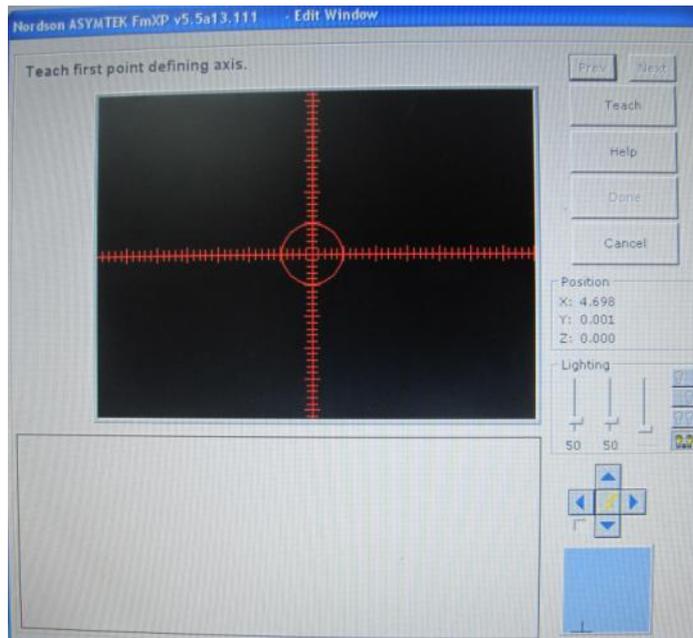


Рисунок 6 – Окно «Teach First Point Defining Axis»

- установить перекрестие камеры с помощью команд управления на первую крайнюю точку, нажать «Teach»;
  - указать вторую точку, нажать «Teach»;
  - откроется окно «Teach Workpiece Origin». Задать начальную точку любым из предложенных способов:
    - а) Навести перекрестие камеры на угол платы;
      - нажать «Teach», затем «Done».
    - б) Навести перекрестие камеры по касательной к реперному знаку;
      - нажать «Teach», затем «Done».
- 5.8.2 При создании программы с двумя реперными знаками:
- в меню «File» окна программы выбрать пункт «New»;

- откроется окно «CreateWorkpiece» (рисунок 5). Установить значение «Fiducials» на «Two»;
- затем выполнить аналогичные действия по определению двух крайних точек, как описано в п. 5.8.1;
- откроется окно «Select Method to Find Fid1, Then Press Next» (рисунок 7);

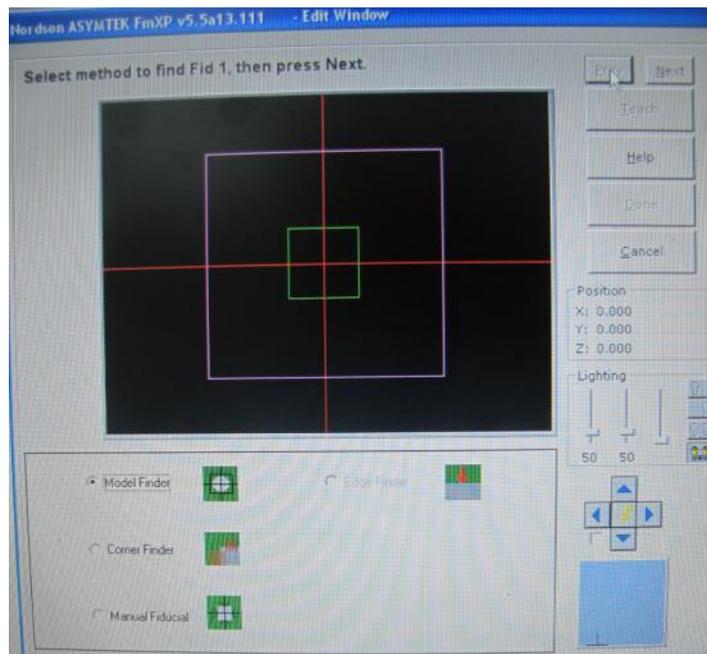


Рисунок 7 – Окно «Select Method to Find Fid1, Then Press Next»

- выбрать метод Model Finder, нажать «Next»;
- в новом окне «Adjust Parameters for Fid 1, Then Press Teach» (рисунок 8) задать параметры первого реперного знака;

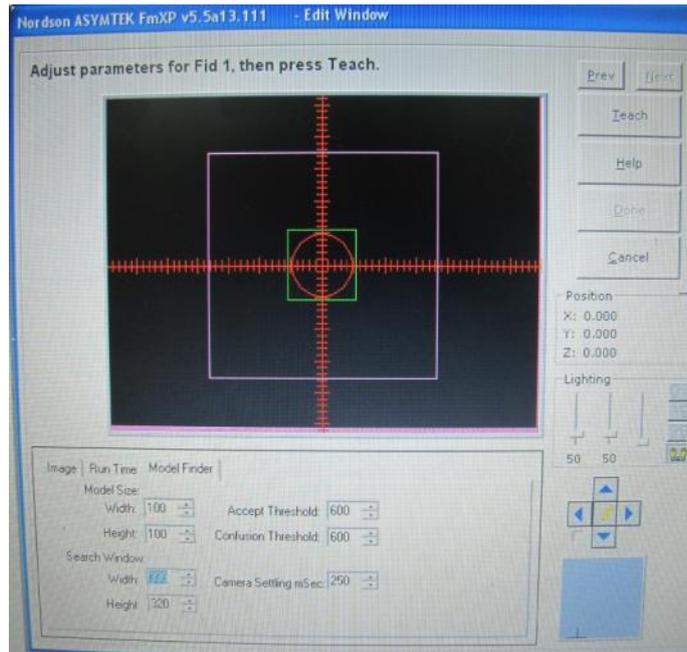


Рисунок 8 – Окно «Adjust Parameters for Fid 1, Then Press Teach»

- в графе ModelSize отрегулировать размеры внутреннего квадрата так, чтобы реперный знак входил в его область;
- в графе SearchWindow изменить размеры внешнего квадрата так, чтобы в его область не входили другие объекты, например, контактные площадки;
- нажать «Teach»;
- в следующем окне проверить результаты тестирования (рисунок 9);

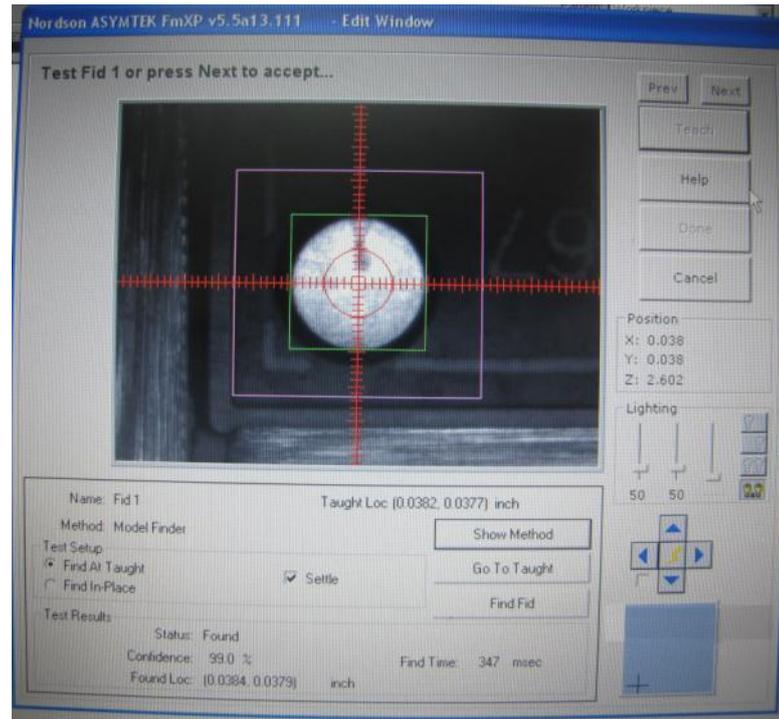


Рисунок 9 – Окно проверки результатов тестирования

- нажать Next;
- выбрать второй реперный знак в верхнем правом углу и проделать аналогичные операции, как для первого реперного знака;
- нажать Next;
- откроется окно «Teach workpiece origin»;
- перекрестием камеры с помощью команд управления (приложение А) выбрать нулевую точку ПП;
- нажать кнопку «Teach»;
- нажать кнопку «Done».

5.9 Пропустить пасту или смазку одним из следующих способов.

5.9.1 В меню «Setup» окна программы выбрать пункт «Purge Needle Infinite» (рисунок 10);

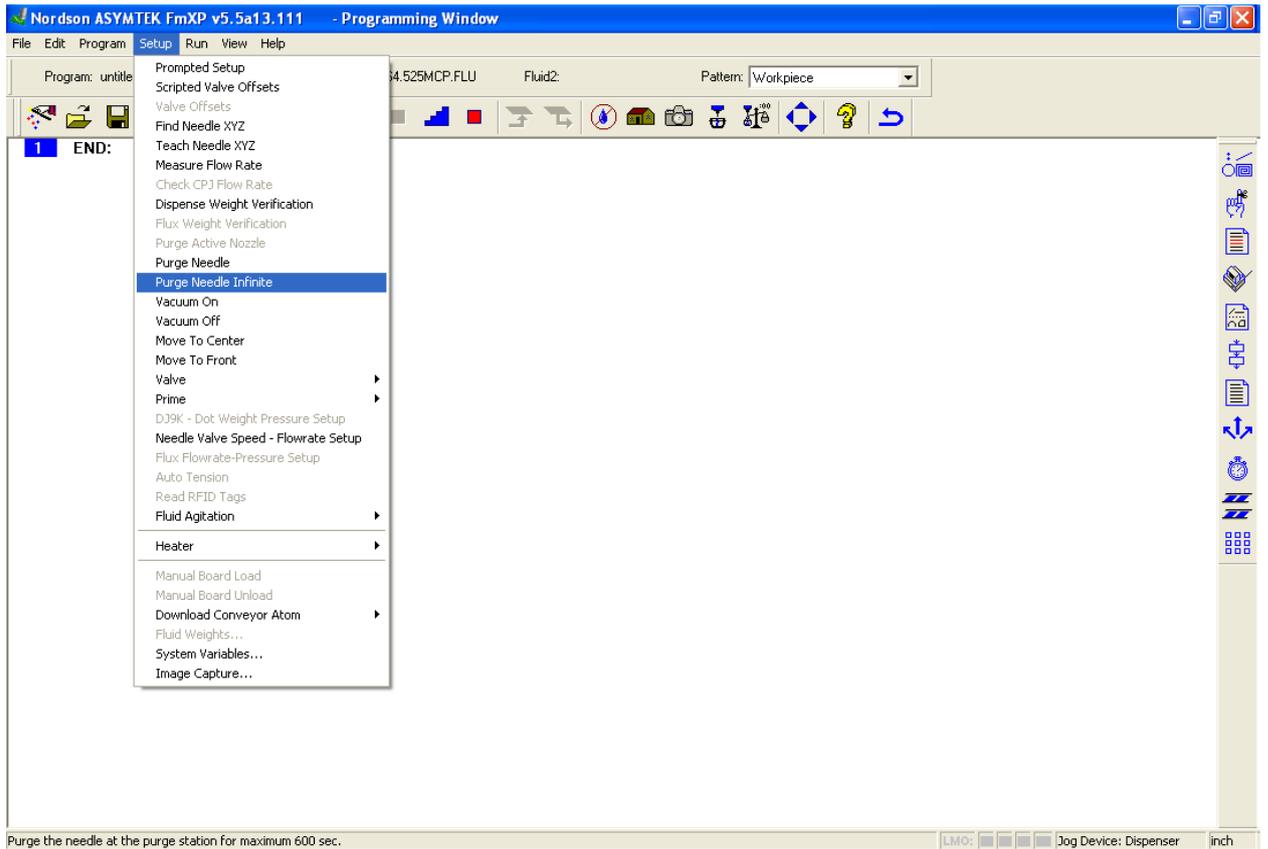


Рисунок 10 – Меню «Setup» окна программы

– дозирующая головка переместится в место для слива пасты, появится окно (рисунок 11);



Рисунок 11 – Окно слива пасты

– когда паста продавится, нажать на кнопку «Cancel» (рисунок 11).

5.9.2 В главном меню программы выбрать раздел «Tools»;

- в открывшемся меню выбрать раздел «I/O Test», затем перейти в подпункт «Dispenser»;
- откроется окно «I/O Test Dialog»;
- во вкладке «Outputs 0-31» в столбце «Channel 0» (левый верхний) сначала изменить четвертую строку с «0» на «1» для подачи сжатого воздуха, затем – первую строку с «0» на «1» для вращения шнека, как показано на рисунке 12;

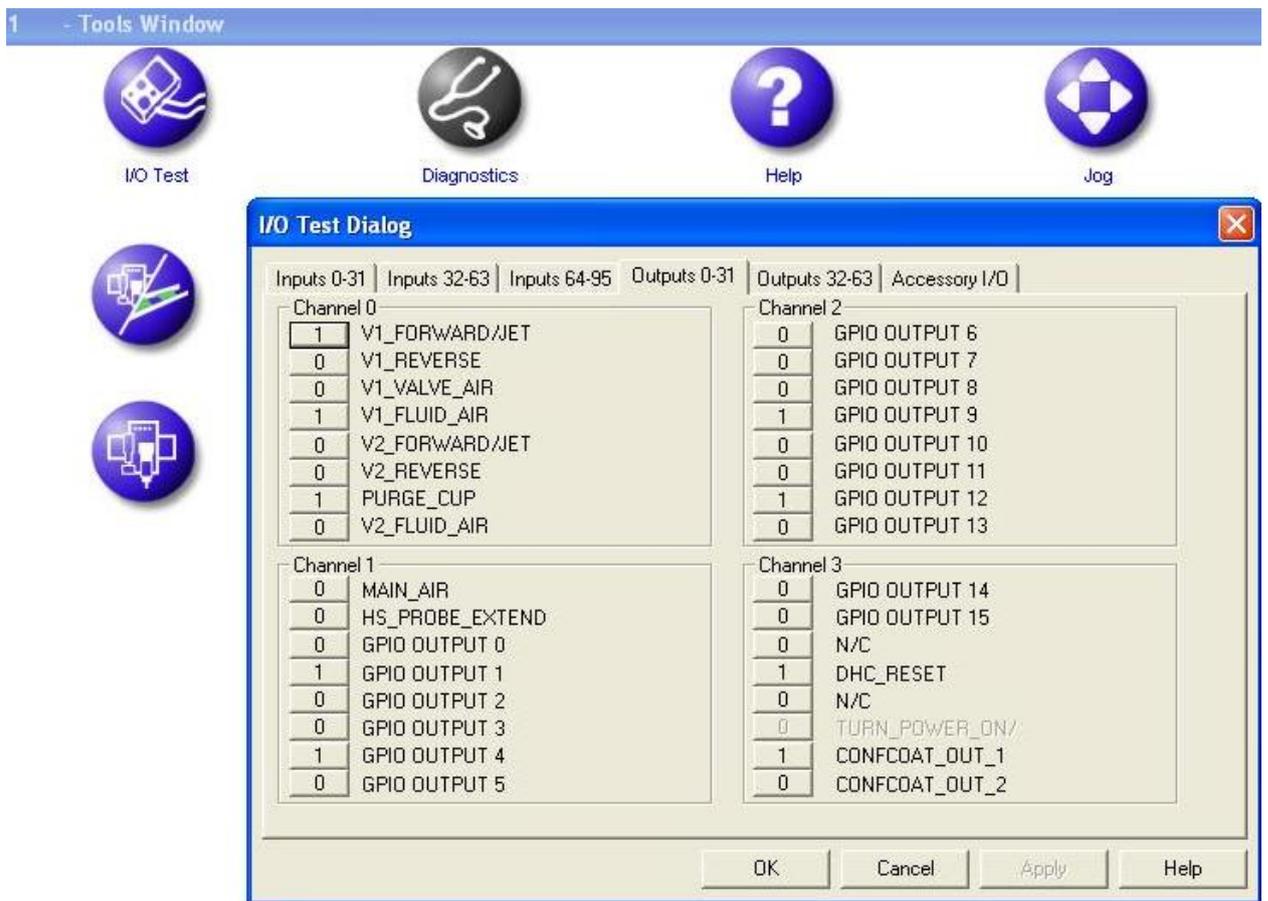


Рисунок 12 – Вкладка «Outputs 0-31»

- для остановки в окне «I/O TestDialog» (рисунок 12) сначала изменить первую строку с «1» на «0», затем – аналогично четвертую.

5.10 Выполнить калибровку дозатора (раздел 6). Если калибровка не требуется, перейти к разделу 7.

## 6 Калибровка дозатора

6.1 Калибровку дозатора необходимо выполнить, если меняется игла или картридж, или идет смещение относительно контактной площадки.

**Внимание! Если нажать кнопку «Cancel» в любом окне, произойдет возврат в главное окно программы FmXP, при этом новые параметры не сохранятся.**

6.2 В меню «Setup» окна программы (рисунок 13) выбрать пункт «ScriptedValveOffsets», откроется диалоговое окно «MachineSetup» (рисунок 14);

– Нажать кнопку «Run to End». Запустится программа калибровки.

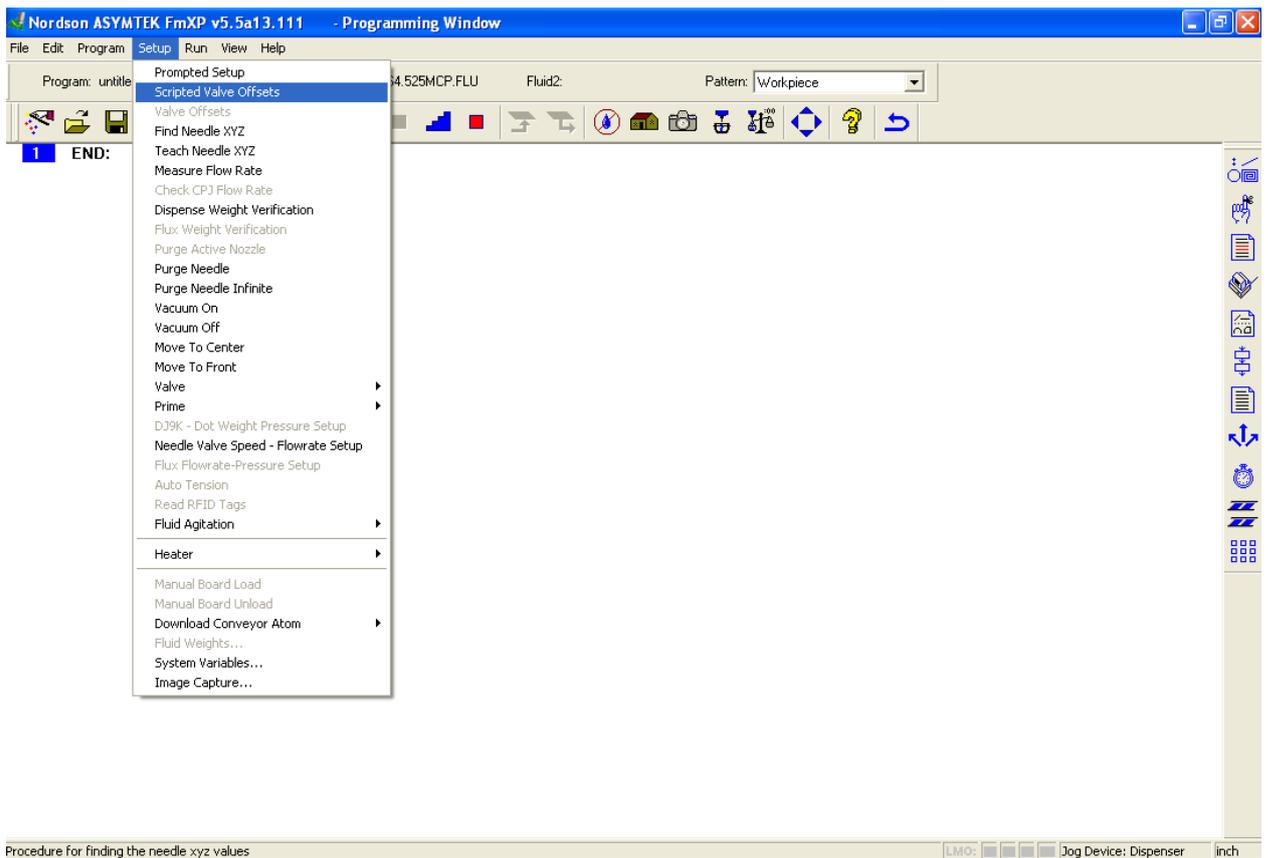


Рисунок 13 – Меню «Setup» окна программы

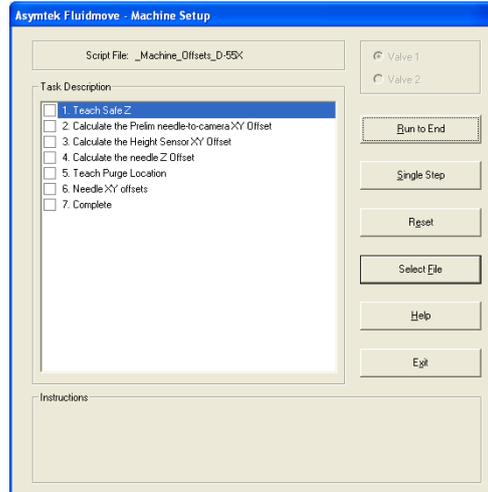


Рисунок 14 – Окно «MachineSetup»

6.3 Калибровку дозатора выполнить в следующем порядке.

6.3.1 Определить безопасную высоту, когда игла проходит над рабочей поверхностью, не касаясь элементов конструкции, для этого необходимо следующее:

- с помощью команд управления (приложение А) опустить (поднять) камеру на безопасную высоту;
- нажать кнопку «Teach»;
- нажать кнопку «Done» (рисунок 15).

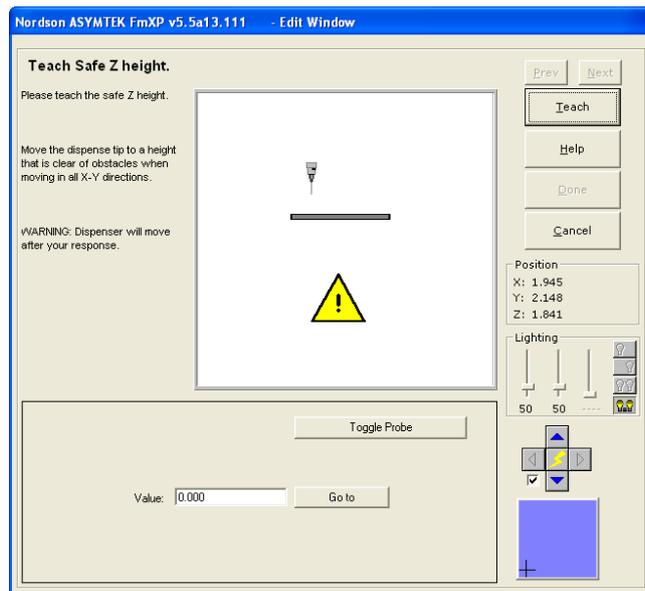


Рисунок 15 – Определение безопасной высоты дозирующей головки

6.3.2 Сделать отпечаток иглы на герметике, для этого выполнить следующее:

- установить герметик на свободную область столика для фиксации;
- с помощью команд управления (приложение А) переместить иглу дозатора над уровнем герметика и опускать иглу, пока она не сделает свой отпечаток на герметике (рисунок 16);
- нажать кнопку «Teach», откроется окно (рисунок 17);
- камерой с помощью команд управления (приложение А) выбрать центр отверстия, оставленного на герметике от иглы (рисунок 17);
- нажать кнопку «Teach»;
- затереть отпечаток от иглы на герметике.

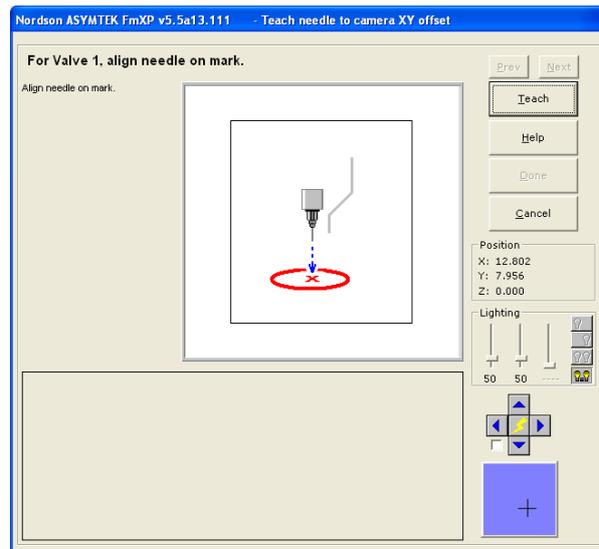


Рисунок 16 – Отпечаток иглы на герметике



Рисунок 17 – Вид с камеры отпечатка на герметике

6.3.3 Сделать отпечаток стоппера на герметике, для этого выполнить следующее:

– с помощью команд управления (приложение А) опускать стоппер, пока он не сделает свой отпечаток на герметике (рисунок 18);

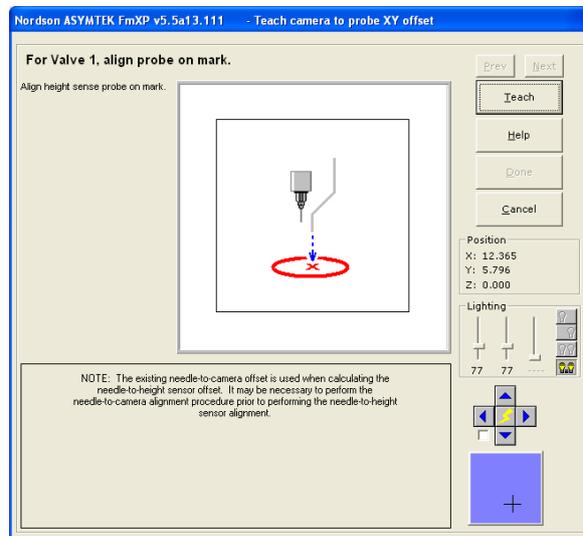


Рисунок 18– Окно выполнения отпечатка

– нажать кнопку «Teach», откроется окно (рисунок 19);

– камерой с помощью команд управления (приложение А) выбрать центр отверстия, оставленного на герметике от стоппера, как показано на рисунке 19;

– нажать кнопку «Teach».

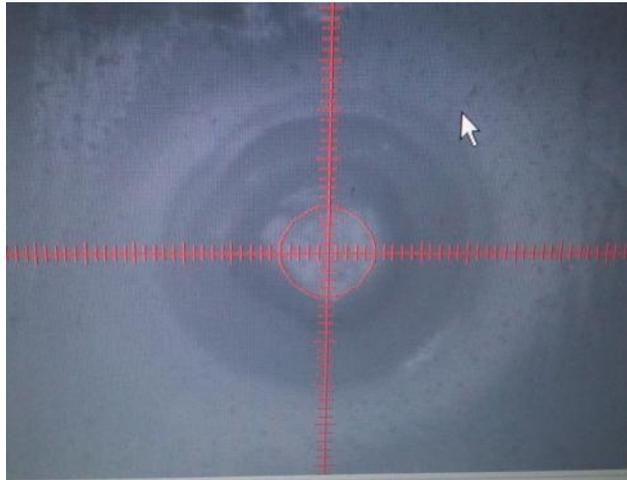


Рисунок 19 – Вид с камеры отпечатка на герметике

6.3.4 Настроить смещение иглы, следующим образом:

– в появившемся окне (рисунок 20) выбрать координату по одной точке (Teach 1 CenterPoint);

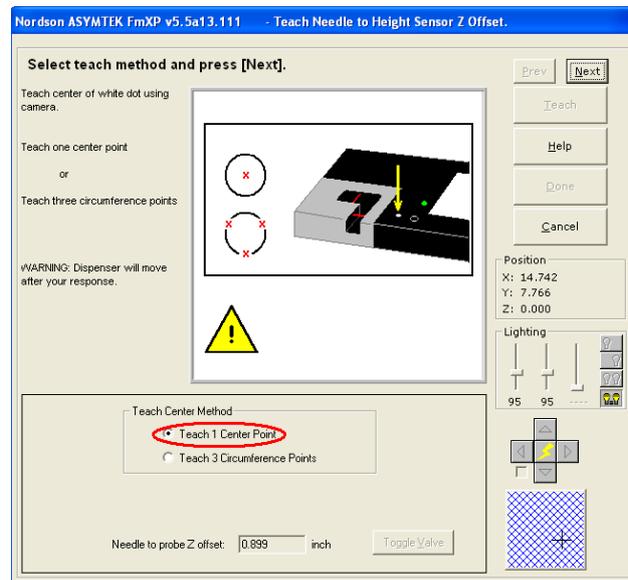


Рисунок 20 – Выбор координаты по одной точке

– нажать кнопку «Next»;

– камера сместится к датчику;

– с помощью команд управления (приложение А) опустить камеру и скорректировать центр на датчике, как показано на рисунке 21;

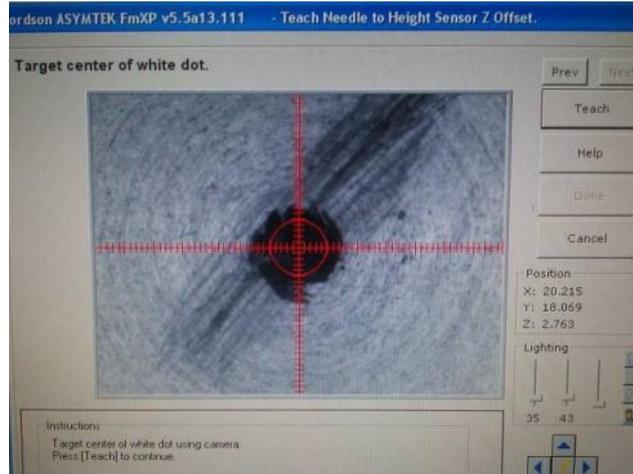


Рисунок 21 – Корректировка камеры по центру на датчике

– нажать кнопку «Teach», появится окно (рисунок 22);

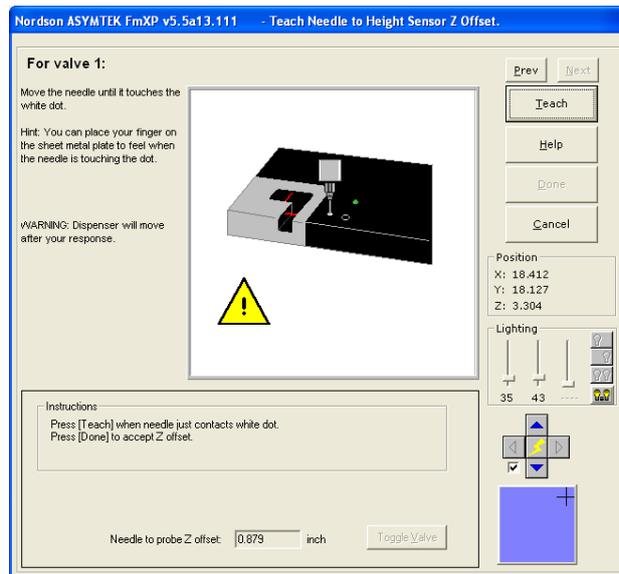


Рисунок 22 – Настройка смещения иглы

– игла автоматически переместится в заданный центр, при этом необходимо опускать иглу, пока она не соприкоснется с датчиком;

– нажать кнопку «Teach»;

– стоппер коснется датчика автоматически;

– нажать кнопку «Done».

6.3.5 Настроить местоположение отверстия для слива пасты следующим образом:

- в появившемся окне (рисунок 23) выбрать координату (Teach 1 CenterPoint);
- нажать кнопку «Next»;
- камера сместится к поддону для слива пасты;

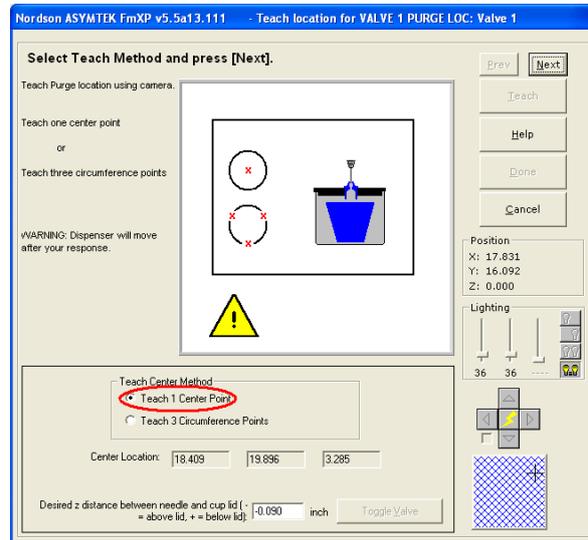


Рисунок 23 – Выбор координаты

- с помощью команд управления (приложение А) опустить камеру и выбрать центр в отверстии для слива пасты, как показано на рисунке 24;

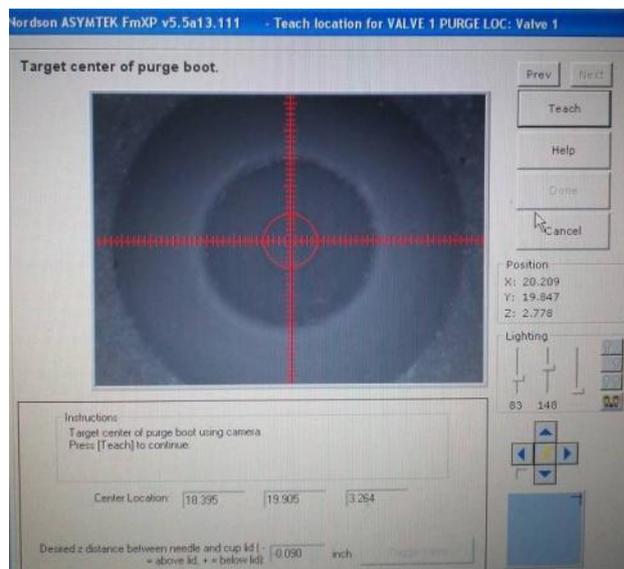


Рисунок 24 – Выбор центра отверстия для слива пасты на камере

- нажать кнопку «Teach»;

- стоппер автоматически коснется стеклянной крышки, затем игла автоматически переместится в отверстие для слива;
- нажать кнопку «Done», появится окно (рисунок 25);

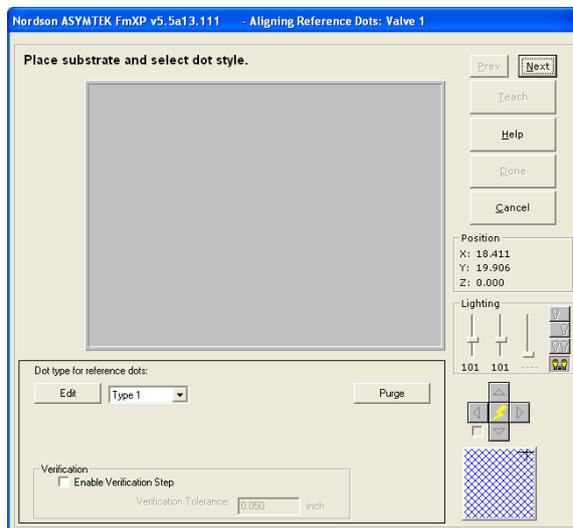


Рисунок 25 – Выбор типа точки

- в строке Edit выбрать тип точки;
- нажать кнопку «Next», появится сообщение (рисунок 26);
- нажать кнопку «Yes».

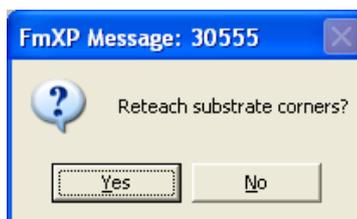


Рисунок 26 – Сообщение 30555 FmXP

#### 6.4 Откалибровать нанесение точек, следующим образом:

- на свободном месте платы выбрать прямоугольную зону для нанесения точек;
- после сообщения (рисунок 26) на мониторе появится изображение ПП через камеру;
- с помощью команд управления (приложение А) переместить камеру в выбранную прямоугольную зону;

- перекрестием камеры выбрать верхнюю левую точку прямоугольника;
- нажать кнопку «Teach»;
- перекрестием камеры выбрать нижнюю правую точку прямоугольника;
- нажать кнопку «Teach»;
- дозатор пропустит пасту в отверстие для слива;
- дозатор автоматически нанесет пасту в виде точек.

6.5 После нанесения точек пасты необходимо выполнить следующее:

- с помощью камеры скорректировать центры точек нанесенной пасты, подтверждая каждую нажатием на кнопку «Teach»;
- нажать кнопку «Done», откроется окно (рисунок 27);
- нажать кнопку «ОК», подтверждающую, что дозатор откалиброван и готов к работе.

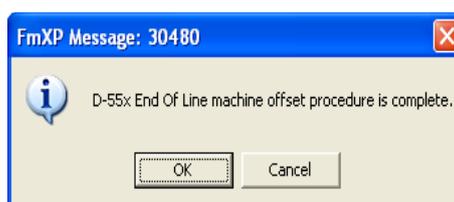


Рисунок 27 – Подтверждение окончания калибровки дозатора

- в окне (рисунок 28) нажать кнопку «Exit».

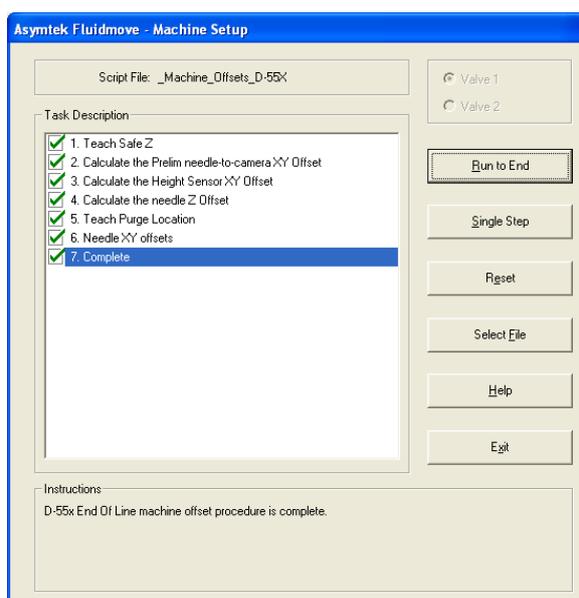


Рисунок 28 – Окно калибровки дозатора

6.6 В окне «AsymtekFluidmove – Machine Setup» (рисунок 28) п. 6 «Needle XY offsets» можно выполнить отдельно следующим образом:

- в главном меню выбрать раздел «Run a program»;
- открыть раздел «Setup»;
- в открывшемся списке выбрать строку «Offsets – Needle to Camera (XY)» (рисунок 29);



Prompted Setup

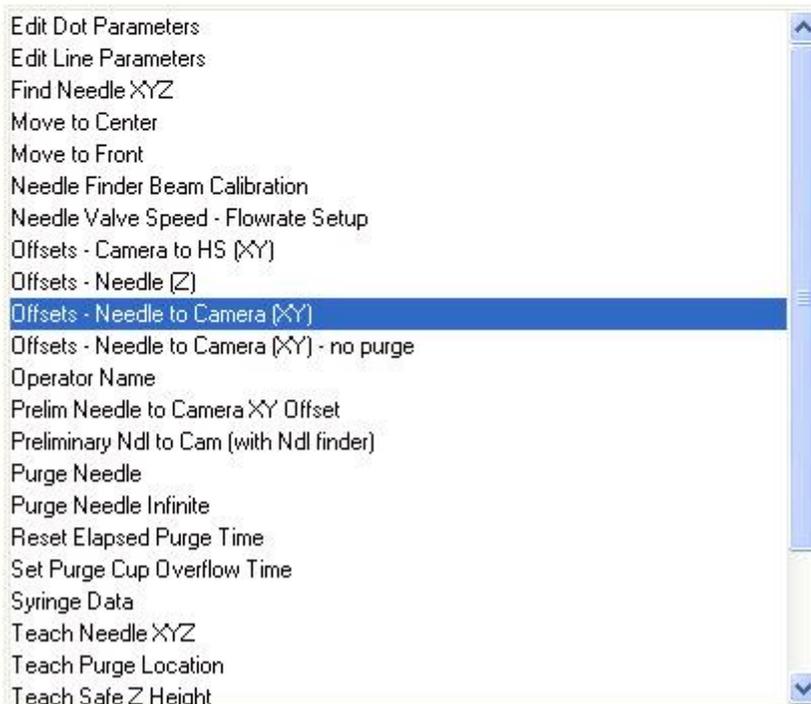


Рисунок 29 – Подраздел «Setup» раздела «Run a program»

- откроется окно (рисунок 25), далее выполнять последующие действия по п. 6.3.

## 7 Создание программы для нанесения пасты на ПП

7.1 С помощью программы CADImport получить файл ПП в соответствии с документом 643.05776739.31057-01 34.

7.2 Импортировать CAD-данные в программу FmXP, для этого:

– в меню «File» окна программы (рисунок 30) выбрать пункт «OpenCADImportFile». Откроется сообщение (рисунок 31);

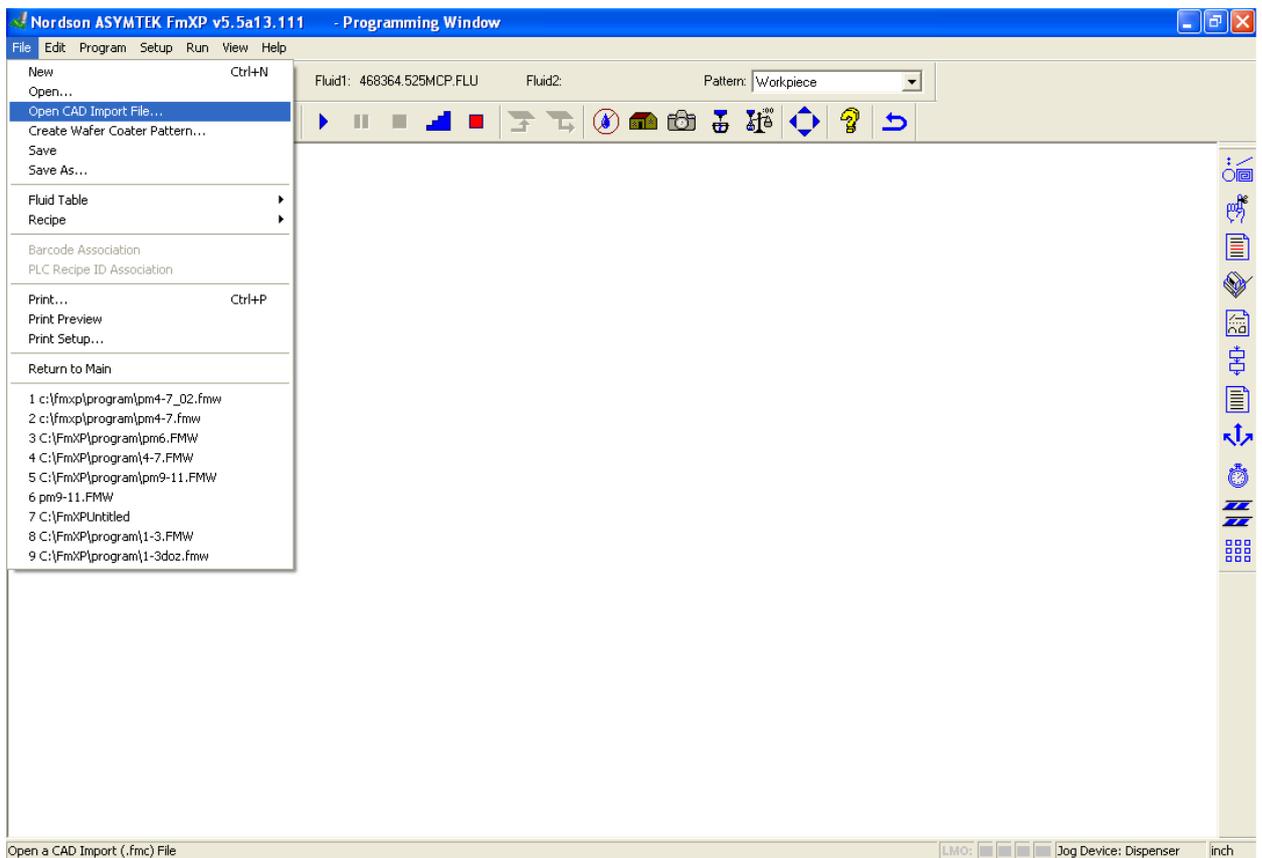


Рисунок 30 – Меню «File» окна программы

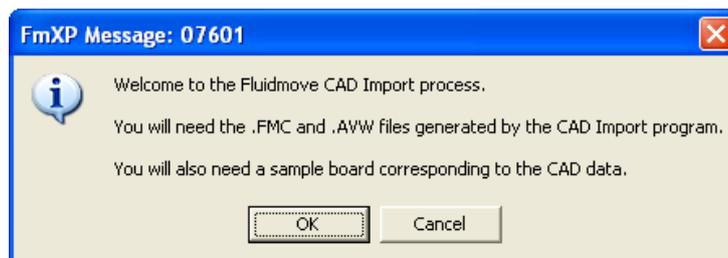


Рисунок 31 – Сообщение 07601 FmXP

– нажать кнопку «ОК», откроется диалоговое окно «Select CAD Import File» (рисунок 32);

– в открывшемся окне перейти в папку по адресу «Диск D/номер заказа/обозначение сборочной единицы» и выбрать файл, конвертированный в программе CAD Import с расширением \*.FMC;

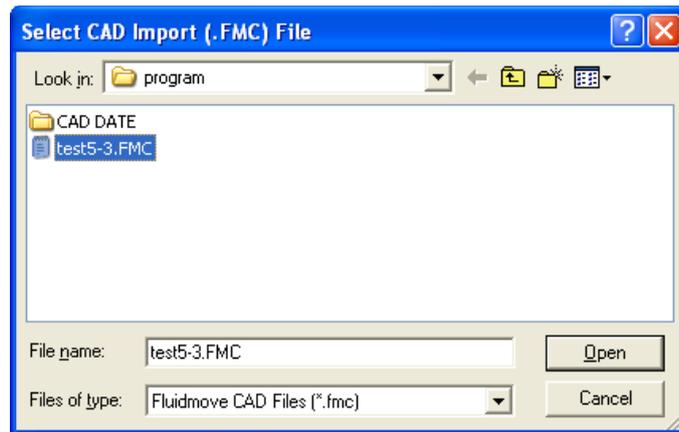


Рисунок 32–Окно «Select CAD Import File»

– нажать кнопку «Open», появится сообщение (рисунок 33);

– нажать кнопку «ОК».

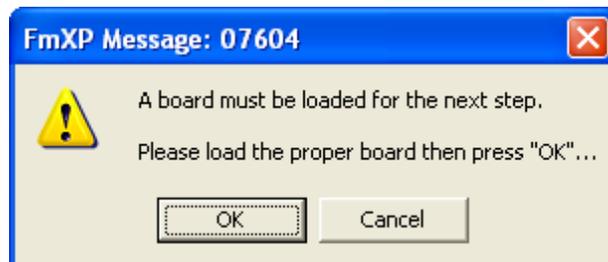


Рисунок 33 – Сообщение 07604 «FmXP»

7.3 Программа FmXP выдаст указание найти нулевую точку на ПП, для чего выполнить следующее:

– с помощью команд управления (приложение А) переместить камеру дозатора в нулевую точку ПП, которую задал разработчик, и нажать кнопку «Teach»;

– в окне программы отобразятся данные с координатами контактных площадок ПП (рисунок 34).

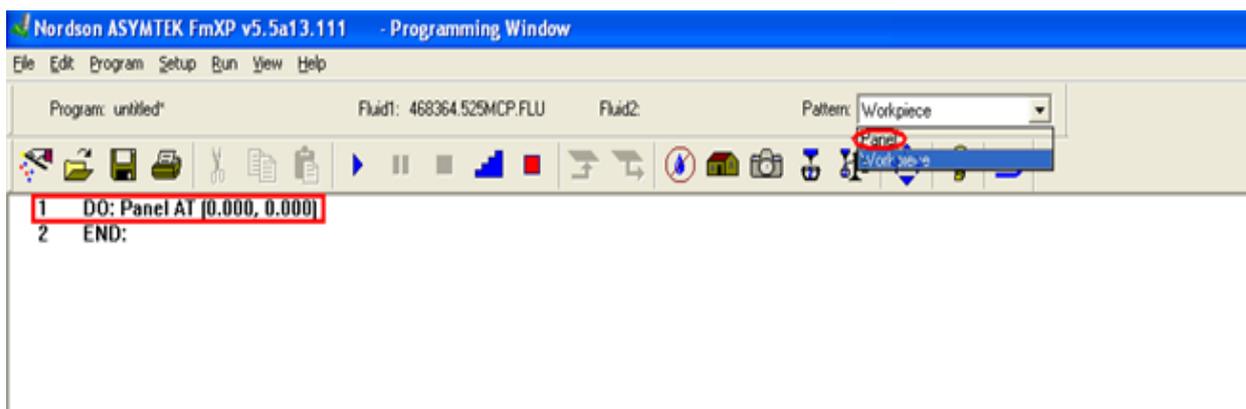


Рисунок 34 – Окно программирования

7.4 В окне программы FmXP из выпадающего списка шаблонов «Pattern» выбрать «Panel», как показано на рисунке 34.

7.5 Проверить совпадение координат контактных площадок, импортированных в программу FmXP ПП, для этого:

- отменить нанесение пасты, нажав на значок  ;
- включить пошаговый просмотр, нажав на значок  .

7.6 Если при пошаговом просмотре видно, что координаты контактных площадок не совпадают с местонахождением контактных площадок ПП, то необходимо откорректировать значения нулевой точки или вернуть файл исполнителю для его доработки.

7.7 Если при пошаговом просмотре видно, что координаты контактных площадок совпадают с местонахождением контактных площадок ПП, то можно приступить к подготовке нанесения пасты.

7.8 Для нанесения пасты необходимо задать параметры нанесения точек, скорость вращения шнека и скорость движения иглы.

7.9 Параметры нанесения точек выполнить следующим образом:

**Внимание! При задании параметров точек нанесения пасты необходимо учитывать, что доза пасты должна быть достаточной для заполнения контактной площадки на 75 – 80 %.**

– в меню «Edit» окна программы выбрать пункт «EditDotParameters» (рисунок 35), появится окно (рисунок 36);

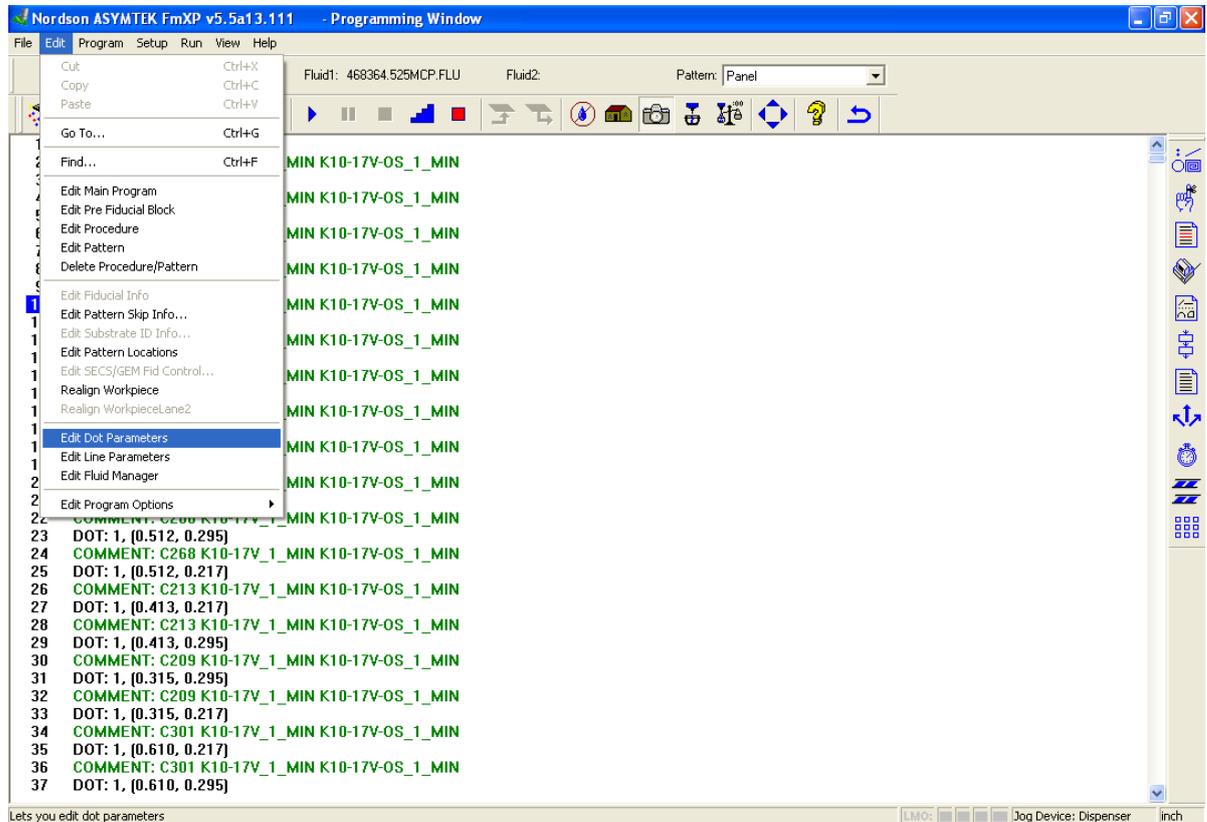


Рисунок 35 – Пункт «EditDotParameters» окна программы

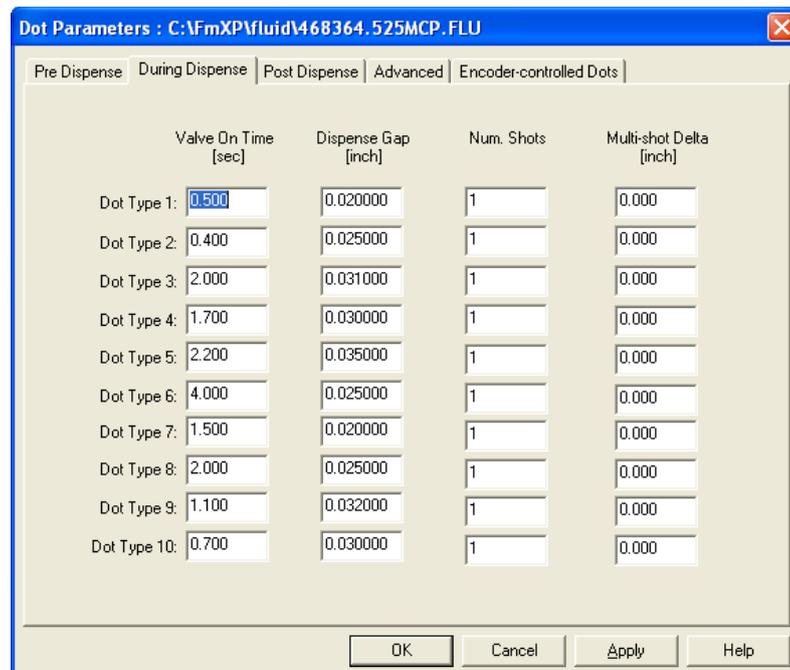


Рисунок 36 – Окно установки параметров точки

– открыть вкладку «DuringDispense», ввести значения в поля «ValveOnTime» (время нанесения) и «DispenseGap» (высота дозы) для необходимого «DotType» (тип точки);

– нажать на кнопку «Apply»;

– нажать на кнопку «OK».

7.10 Установить скорость вращения шнека, для этого:

– выйти в главное меню программы FmXP, нажав значок ;

– в главном меню программы FmXP (рисунок 3) нажать на значок ;

– выбрать пункт «SetupValves», откроется диалоговое окно (рисунок 37);

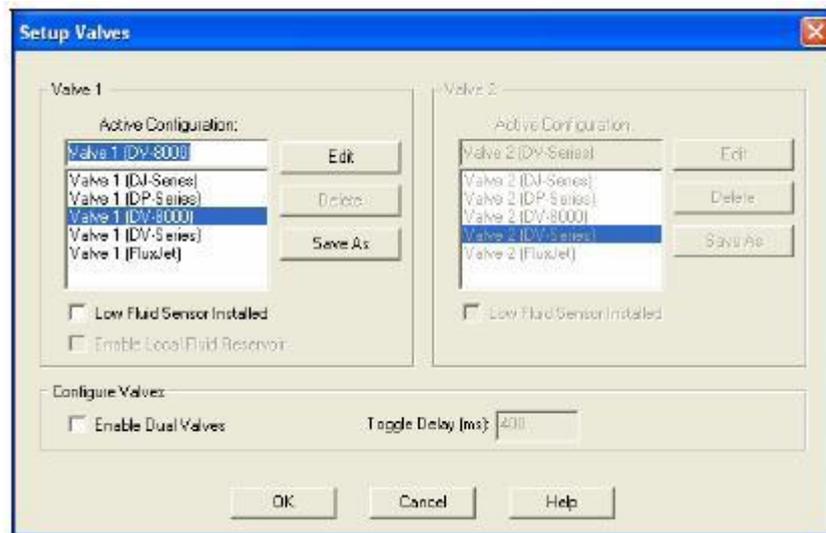


Рисунок 37 – Окно «SetupValves»

– выбрать клапан DV-7000 и нажать кнопку «Edit», откроется диалоговое окно «ValvesSettings» (рисунок 38);

– нажать на вкладку «Settings» (рисунок 38);

– установить скорость вращения шнека:

а) для нанесения пасты на контактные площадки с шагом выводов 0,65 мм установить следующие скорости вращения шнека:

– ForwardSpeed 5 %;

– ReverseSpeed 5 %;

– Accelerebord 7,5 %.

б) для контактных площадок с шагом выводов более 0,65 мм установить скорость вращения шнека:

– Forward Speed 10 %;

– Reverse Speed 10 %;

– Accelerebord 15 %.

– нажать кнопку «Apply»;

– нажать кнопку «ОК», появится окно (рисунок 37);

– нажать кнопку «ОК».

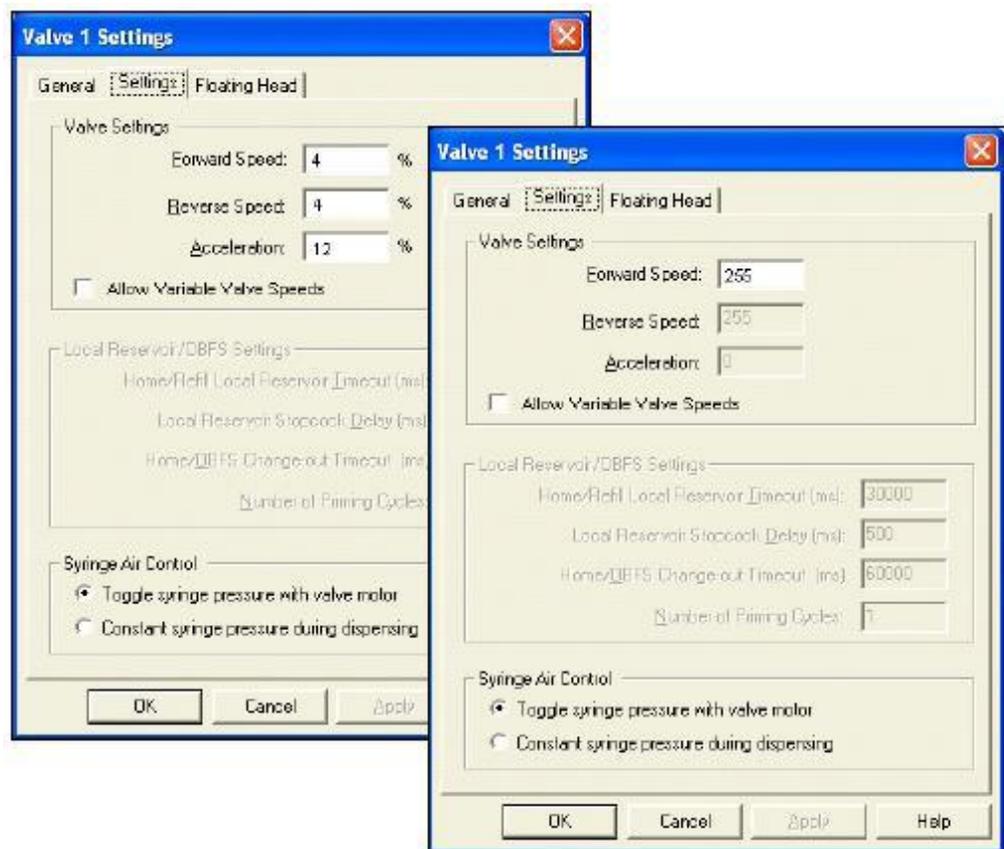


Рисунок 38 – Окно «ValvesSettings»

## 8 Программа нанесения пасты на ПП для микросхемы.

8.1 В окне программы FmXP на панели команд программирования нажать значок , появится меню. В нем выбрать пункт «CreatePatten» (рисунок 39).

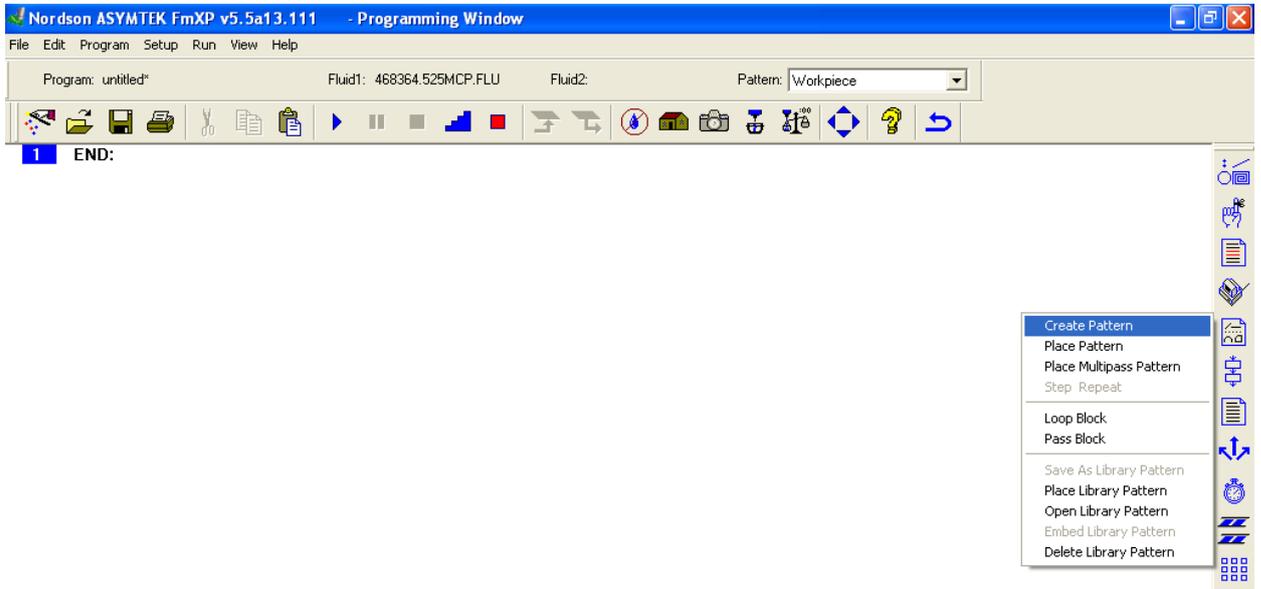


Рисунок 39 – Пункт «CreatePatten» окна программы

Откроется окно (рисунок 40) в строке «NewPattern» ввести имя элемента, например, «microshema». Нажать кнопку «OK».

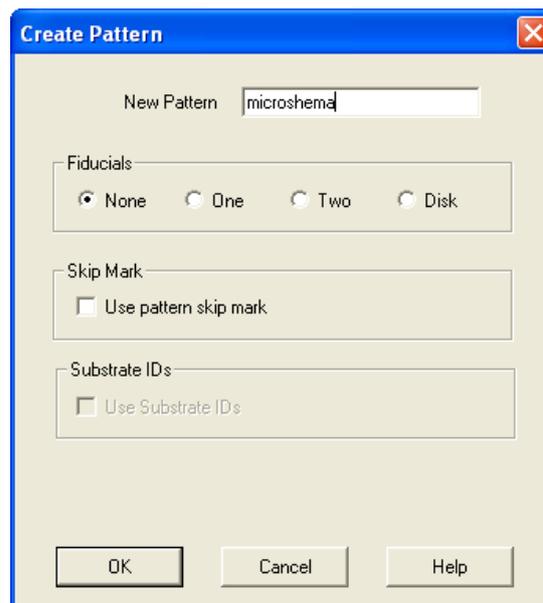


Рисунок 40 – Окно «CreatePattern»

Откроется окно «TeachPattenOrigin» (нулевая точка элемента), рисунок 41.

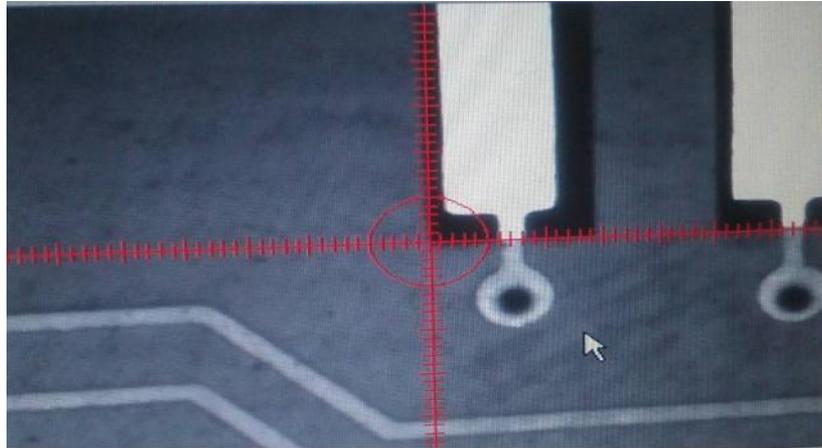


Рисунок 41 – Задание нулевой точки элемента на камере

2 Перекрестием камеры указать крайний левый угол крайнего левого вывода, как показано на рисунке 41. Нажать кнопку «Teach». Нажать кнопку «Done». Появится сообщение 30404 (рисунок 42);

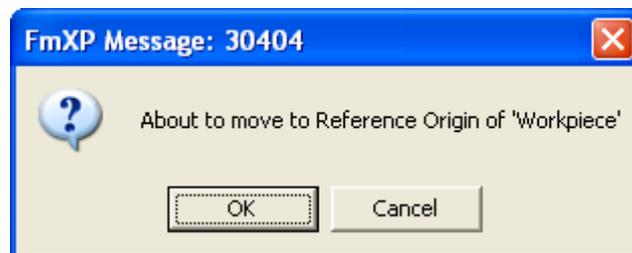


Рисунок 42 – Сообщение 30404 «FmXP»

– Нажать кнопку «OK», если необходимо вернуться в нулевую точку ПП;

– Нажать кнопку «Cancel», если необходимо остаться в том месте, где в данный момент находится камера;

– В данном случае нажать кнопку «Cancel».

8.3 В панели шаблонов выбрать имя «microshema» (рисунок 43).

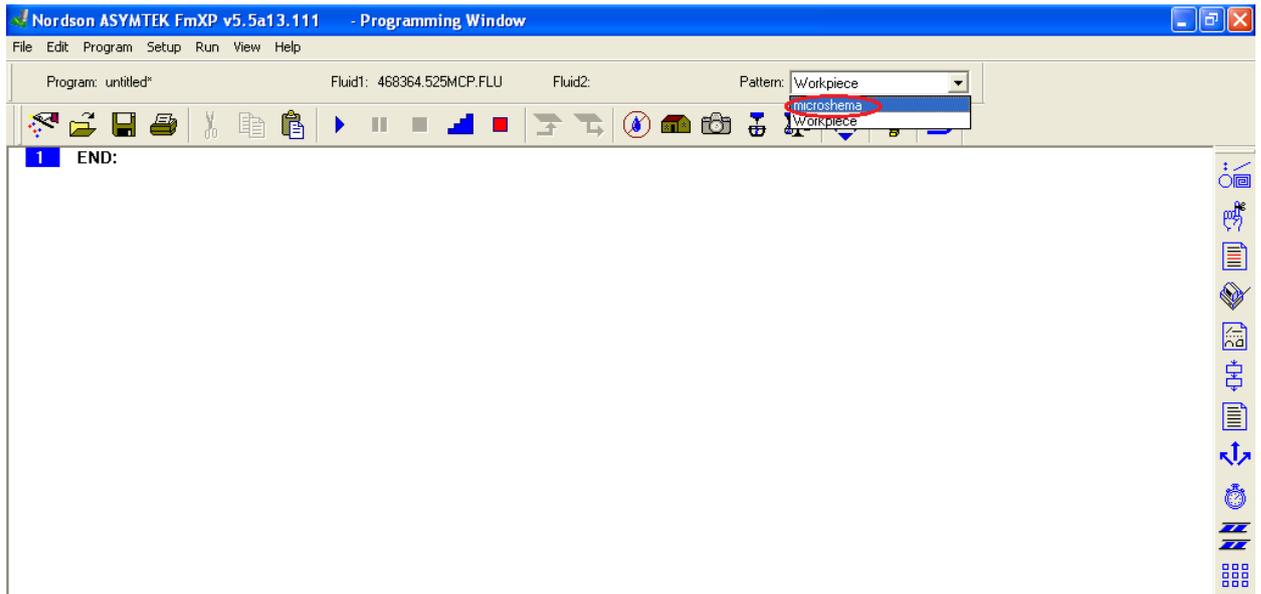


Рисунок 43 – Выбор шаблона «microshema»

8.4 На панели команд программирования нажать значок  и в появившемся окне (рисунок 44) нажать кнопку «Dot».

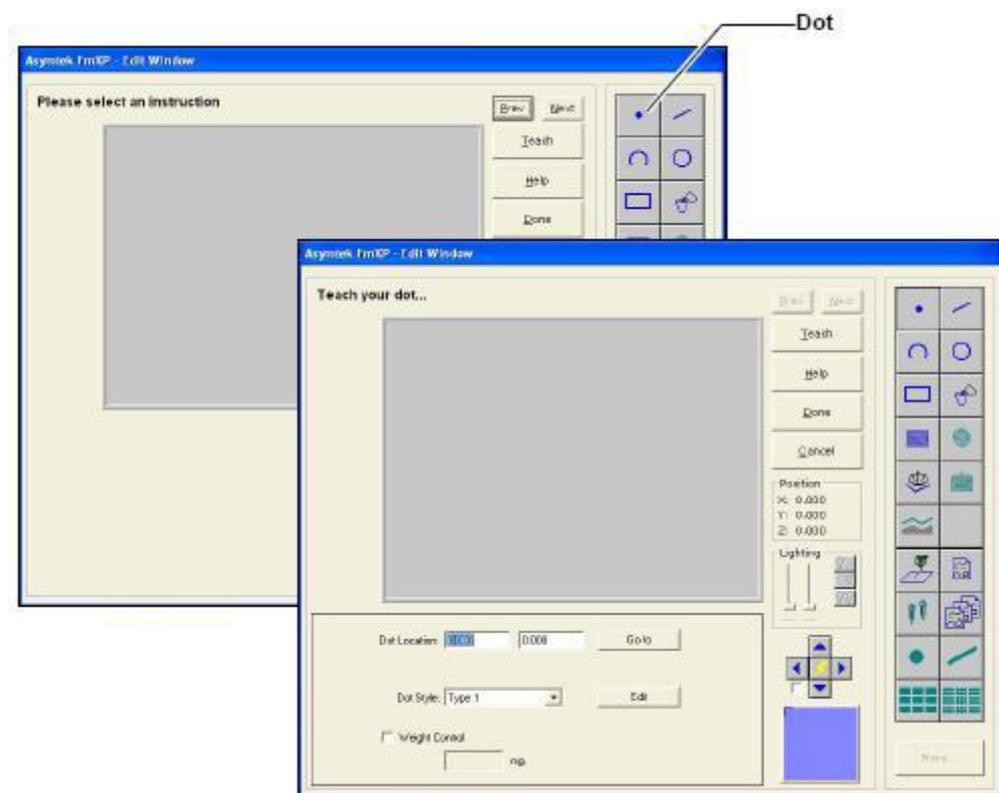
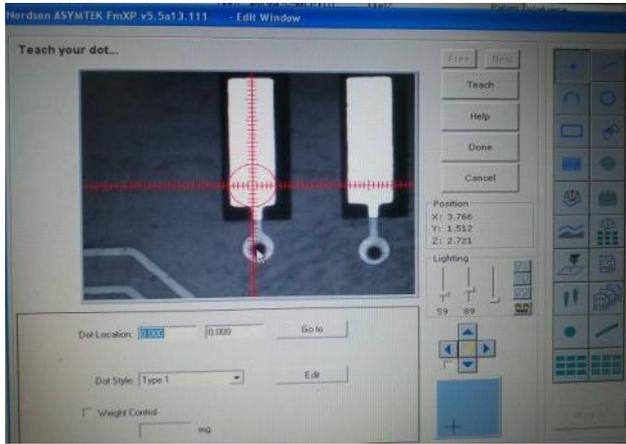
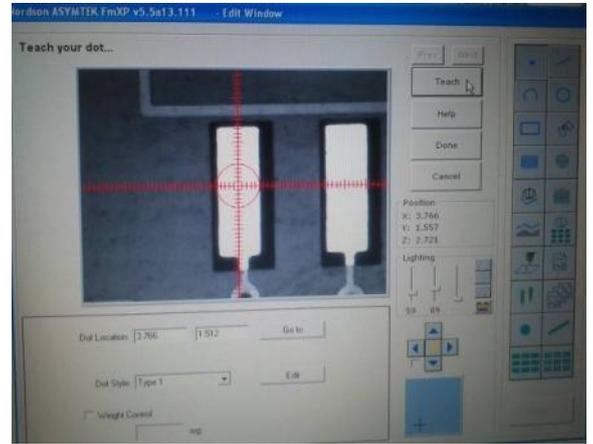


Рисунок 44 – Задание типа дозирования и выбор параметров

Перекрестим камеры поставить две точки на первую контактную площадку микросхемы (рисунок 45, а, б). После каждой выбранной точки нажать кнопку «Teach».



а



б

Рисунок 45 – Задание положения точек на контактной площадке

8.5 На вторую контактную площадку нанести также две точки в шахматном порядке относительно первой контактной площадки. В конце операции нажать кнопку «Done». В программу добавятся 4 координаты точек, которые сохранятся в «microshema».

8.6 В окне программы FmXP на панели шаблонов выбрать строку «Workpieces» и вставить «microshema», для этого:

– на панели команд программирования нажать значок , из выпадающего меню выбрать пункт «PlacePattern», как показано на рисунке 46;

– появится окно «Select Pattern And Teach Placement Point» (выбрать компонент и расположение точки);

– опустить камеру и найти на ПП расположение элемента (в данном случае «microshema»);

– перекрестим камеры выбрать его нулевую точку;

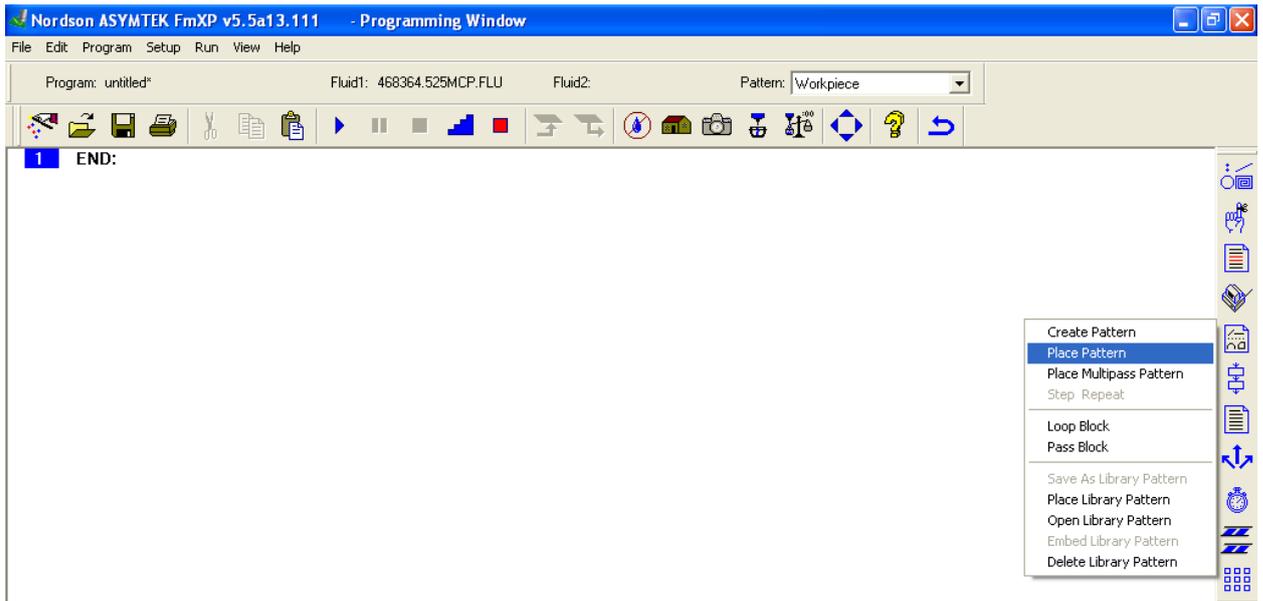


Рисунок 46 – Пункт «PlacePattern» на панели команд программирования  
– в окне «AvailablePattern» выбрать необходимый элемент, в данном случае это «microshema» (рисунок 47);

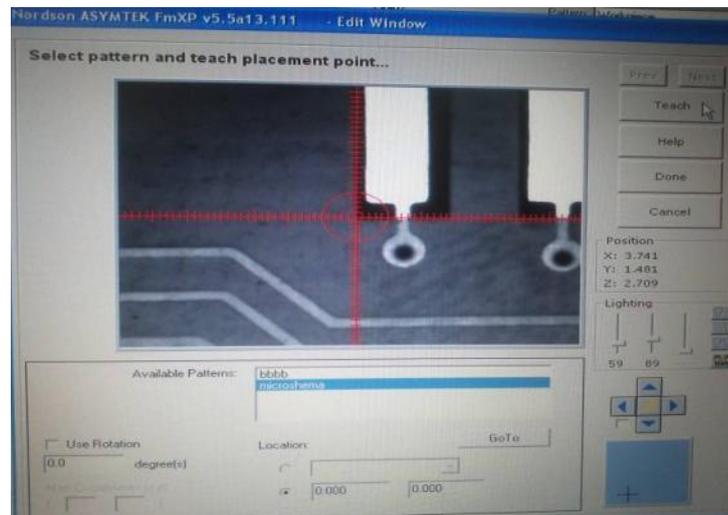


Рисунок 47 – Окно «AvailablePattern»

- нажать кнопку «Teach»;
- нажать кнопку «Done».

Программа будет выглядеть, как показано на рисунке 48.

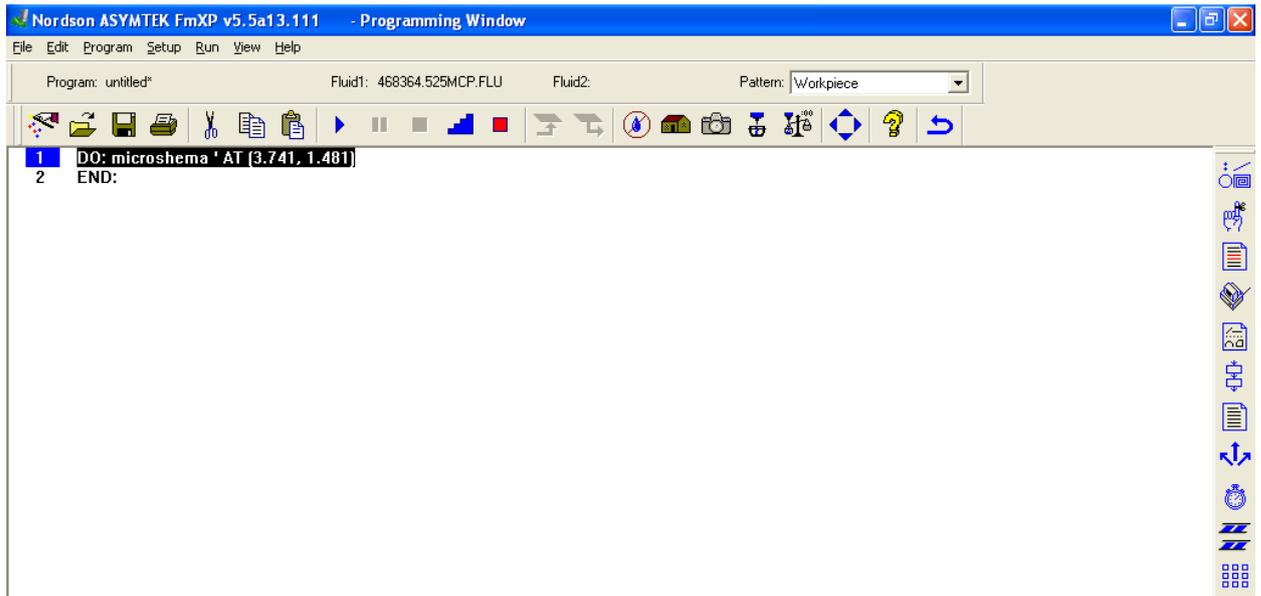


Рисунок 48 – Вид программы со вставленным шаблоном

8.7 Выделить строку, как показано на рисунке 48, на панели команд программирования нажать значок  .

Появится окно (рисунок 49), вписать в строке «PatternName» имя элемента. Указать количество столбцов и строк. В нашем случае имеется микросхема с выводами с двух сторон, что означает две строки. Количество выводов с одной стороны равно 14. Так как запрограммированы две контактные площадки, на которые будут наноситься точки в шахматном порядке, то необходимо количество выводов разделить на два и получим семь столбцов.

Снять флажок «SerpentineEnable» и открыть вкладку «Positions» (рисунок 50).

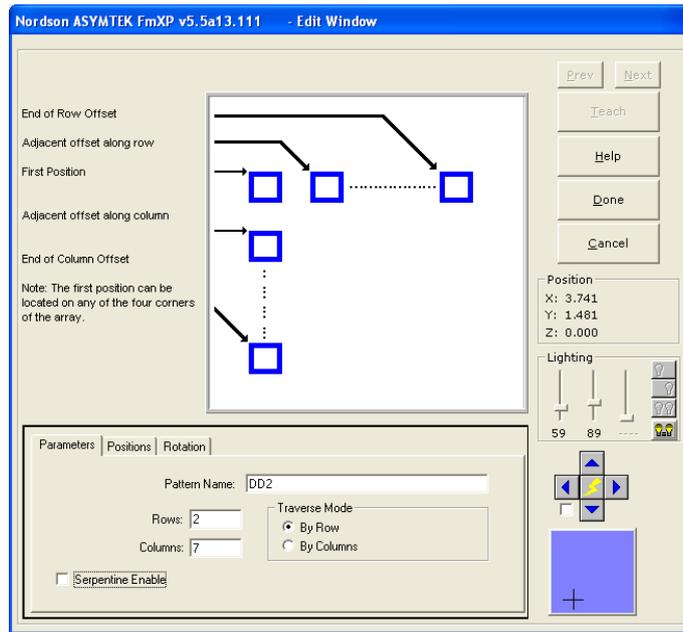


Рисунок 49 – Задание параметров функции «Step and Repeat»

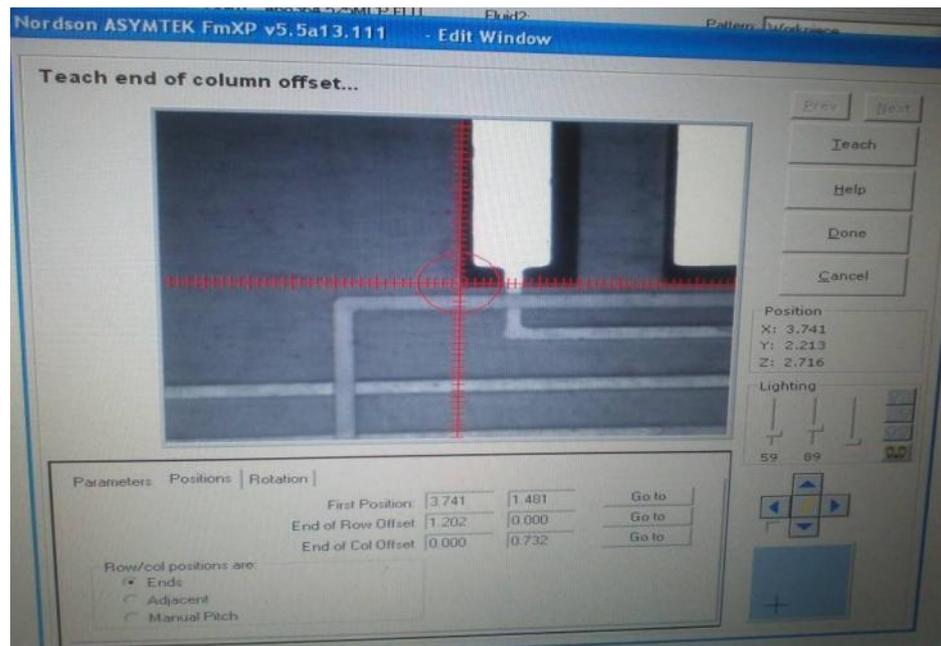


Рисунок 50 – Установка параметров функции «Step and Repeat»

8.8 В поле для ввода значений «FirstPosition» (первая позиция) с помощью команд управления (приложение А) переместить камеру в нулевую точку элемента, которая будет являться первой позицией. Нажать кнопку «Teach», курсор перейдет в поле «EndofRowOffset».

8.9 В поле «End of Row Offset» (смещение конца строки) с помощью команд управления (приложение А) переместить камеру к последней контактной площадке, которая будет являться последней позицией. Так как в данном случае точки располагаются в шахматном порядке и запрограммированы две контактные площадки, необходимо указать предпоследнюю контактную площадку. Нажать кнопку «Teach», курсор перейдет в поле «End of Col. Offset».

8.10 В поле «End of Col. Offset» (смещение конца столбца) с помощью команд управления (приложение А) переместить камеру в нулевую точку первой контактной площадки второй строки. Нажать кнопку «Teach», затем нажать кнопку «Done». В окне программы отобразятся данные с координатами контактных площадок микросхемы (рисунок 51).

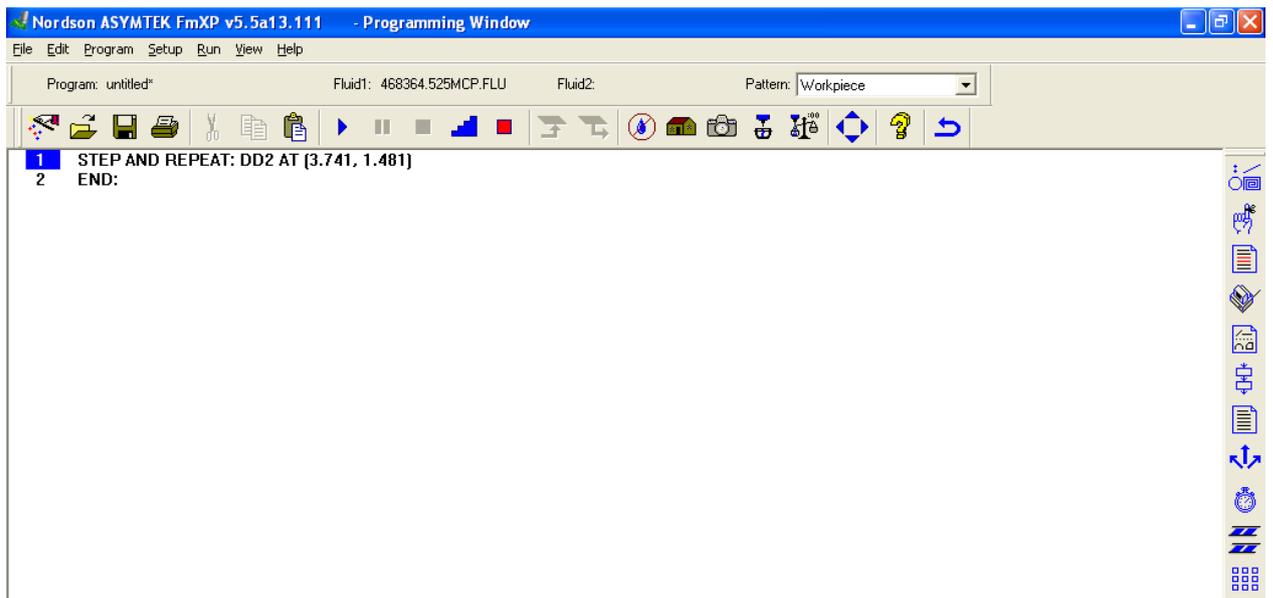


Рисунок 51 – Вид программы со вставленной функцией «Step and Repeat»

## 9 Контроль ОТК

**Внимание! Контроль производить на рабочем месте, не снимая ПШ с рабочей зоны дозатора.**

9.1 Доза нанесенной пасты должна на 75 – 80 % заполнять контактную площадку.

9.2 Паяное соединение должно содержать достаточное количество припоя, масса дозы пасты должна составлять от 0,22 мг (для микросхем с шагом выводов 0,65 мм) до 1,16 мг (для SOT-223). Разброс массы доз должен быть в пределах 20 – 25%.

9.3 Точка пасты должна быть по центру контактной площадки, за исключением микросхем с шагом выводов 0,65 мм, на контактные площадки которых паста наносится в шахматном порядке.

9.4 Если на контактные площадки под микросхему наносится по одной точке пасты, то она должна быть расположена под пяткой вывода, что позволяет получить наиболее качественные паяные соединения.

Приложение А  
(обязательное)

Таблица А.1 – Команды управления перемещения дозирующей головки

| Скорость перемещения | Команда<br>(одновременно нажать<br>указанные клавиши) | Отклик дозирующей головки/столика для фиксации   |
|----------------------|---|--|
|                      | Ctrl H  | Перемещает дозирующую головку в исходное положение (передний левый угол рабочей области) |
| Медленно             | Ctrl+←  | Перемещает дозирующую головку влево  |
|                      | Ctrl+↑  | Перемещает столик для фиксации вперед  |
|                      | Ctrl+→  | Перемещает дозирующую головку вправо   |
|                      | Ctrl+↓  | Перемещает столик для фиксации назад   |
|                      | Ctrl+Z+↓  | Перемещает дозирующую головку вниз   |
|                      | Ctrl+↑  | Перемещает дозирующую головку вверх  |
| Быстро               | Ctrl+Shift+←  | Перемещает дозирующую головку влево  |
|                      | Ctrl+Shift+↑  | Перемещает столик для фиксации вперед  |
|                      | Ctrl+Shift+→  | Перемещает дозирующую головку вправо   |
|                      | Ctrl+Shift+↓  | Перемещает столик для фиксации назад   |
|                      | Ctrl+Shift+Z+↓  | Перемещает дозирующую головку вниз   |
|                      | Ctrl+Shift+↑  | Перемещает дозирующую головку вверх  |

# Лист регистрации изменений

| Изм. | Номера листов (страниц) |            |       |                | Всего листов (стр.) в документе | Номер документа | Подпись, фамилия | Дата |
|------|-------------------------|------------|-------|----------------|---------------------------------|-----------------|------------------|------|
|      | измененных              | замененных | новых | аннулированных |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |
|      |                         |            |       |                |                                 |                 |                  |      |

Дубл.  
Взам.  
Подл.

ТИ

0217149.25088.0004400.doc

**Приложение Д**  
**(справочное)**

Утверждаю  
Главный технолог  
АО «НПЦ «Полюс»  
 Г.М Хрулёв  
“ 11 ” 09 2015г

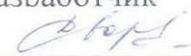
А К Т № 12/1-15

внедрения технологического процесса

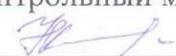
Составлен о том, что технологический процесс 0217149.25088.00044 «Нанесение паяльной пасты на печатные платы автоматом дозирования DispenseMate D-585» отработан, проверен на рабочих местах и обеспечивает заданные параметры (размеры) изготовленной продукции. Оснастка, используемая в технологическом процессе, полностью соответствует чертежам и опробована. Контрольные операции обеспечены необходимыми средствами измерений.

Начальник отдела №12  
 О.И. Романов

Технологический процесс принят:  
НО  К.Н. Копылов

Разработчик  
 Т.А. Дворникова

Техник-технолог 1 кат.  
 М.А. Сандалова

Контрольный мастер  
 Н.А. Копылова