

АННОТАЦИЯ

В работе представлены этапы разработки технологического процесса сборки устройства «Усилитель мощности звуковых частот на биполярных транзисторах». Для технологического процесса сборки устройства были разработаны концептуально-абстрактная и структурно-функциональная модели технологического процесса, первая из которых описывает технологический процесс сборки изделия. Структурно-функциональная модель включает в себя контекстную диаграмму, операционную диаграмму и диаграмму потоков данных. Была проведена оптимизация технологического процесса по временному и стоимостному критериям. Разработана иерархическая диаграмма дерева узлов технологического процесса изготовления устройства «Усилитель мощности звуковых частот на биполярных транзисторах». В результате проведенного аудита потоков данных в производственном процессе изготовления устройства разработаны физическая и логическая информационные модели, отражающие взаимные зависимости между его сущностями.

Ключевые слова: технологический процесс, усилитель мощности, информационная модель, структурно-функциональная модель.

ABSTRACT

The paper presents the developing stages of the technological process of assembly of the device “Audio power amplifier with bipolar transistors”. For the technological process of assembling the device, a conceptual-abstract and structural-functional model of the technological process was developed, the first of which describes the technological process of assembling the product. The structural and functional model includes a contextual diagram, an operational diagram and a data flow diagram. The technological process was optimized by temporary and value criteria. A hierarchical diagram of the technological process of manufacturing the device “Audio power amplifier with bipolar transistors” has been developed. As a result of the audit of data flows in the production process of the manufacture of the device, physical and logical information models have been developed that reflect mutual dependencies between its entities.

Keywords: technological process, power amplifier, information model, structural and functional model.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ТП ИЗГОТОВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВА «УМЗЧ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ».....	9
1.1 Анализ исходных данных проектирования ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»	9
1.2 Разработка концептуально-абстрактной модели технологического процесса изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».....	12
Выводы	15
2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ТП ИЗГОТОВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВА «УМЗЧ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ».....	16
2.1 Разработка контекстной диаграммы ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».....	16
2.2 Декомпозиция ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»	18
2.3 Декомпозиции работы «Подготовительные операции»	23
2.4 Декомпозиция работы «Операции сборки».....	25
2.5 Декомпозиция работы «Завершающие операции»	31
2.6 Декомпозиция работы «Операции контроля».....	35
2.7 Разработка иерархической диаграммы ТП.....	41
Выводы	43
3 ИССЛЕДОВАНИЕ ТП ИЗГОТОВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВА «УМЗЧ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ».....	44
3.1 Анализ ТП по интегральному и дифференциальному критериям	44
3.1.1 Анализ ТП по времени	44
3.1.2 Анализ ТП по стоимости.....	45
3.2 Анализ ТП по UDP-критерию	48
Выводы	51
4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ	52
4.1 Выявление модели данных ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».....	52
4.2 Разработка словарей сущностей и атрибутов модели ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».....	52
4.3 Проверка полноты словарей атрибутов и сущностей технологического процесса изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».....	54
4.4 Разработка логической информационной модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».....	54

4.5 Разработка физической информационной модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».....	55
4.6 Листинг SQL кода модуля информационной модели ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».....	57
4.7 Проектирование реестра ролей системы ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».....	61
4.8 Проектирование шаблонов интерфейсных форм ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».....	61
Выводы	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	67

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

АИС	–	Автоматизированная Информационная Система,
АСУ	–	Автоматизированная Система Управления,
БД	–	База Данных,
БП	–	Бизнес-Процесс,
КД	–	Конструкторская Документация,
КМО	–	Компонент, монтируемый в отверстия,
СУБД	–	Система Управления Базами Данных,
ТЗ	–	Техническое Задание,
ТП	–	Технологический Процесс,
УМЗЧ	–	Усилитель Мощности Звуковых Частот,
CAE	–	Computer-Aided Engineering (система инженерного анализа),
CASE	–	Computer-Aided Software Engineering (средства автоматизации процессов проектирования),
CAD	–	Computer-Aided Design (система автоматизированного проектирования),
CAM	–	Computer-Aided Manufacturing (система автоматизированного производства),
CALS	–	Continuous Acquisition and Life-Cycle Support (обеспечение непрерывности поставок и жизненного цикла изделия),
DNS	–	Data Source Name (имя источника данных),
DFD	–	Data Flow Diagram (диаграмма потока данных),
FEO	–	For Exposition Only (диаграмма-иллюстрация),
IDEF	–	Integrated Computer Aided Manufacturing Definition (стандарт формального описания производственных процессов),
IDEF0	–	Integrated DEFinition 0 (метод и нотация структурно-функционального моделирования),
IDEF1X	–	Integrated DEFinition 1X (метод и нотация разработки реляционных баз данных),
IDEF3	–	Integrated DEFinition 3 (метод и нотация моделирования потоков).

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы заключается в том, что в условиях введенных санкционных ограничений неходимо развитие отечественного производства аудиотехники. Устройство «УМЗЧ на биполярных транзисторах» (УМЗЧ — усилитель мощности звуковых частот) необходимо для усиления мощности звукового сигнала, идущего от микрофона к динамикам, на отечественных концертах [1].

Важным параметром устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» будет отсутствие «сложных» импортных микросхем, использование отечественной компонентной. Достоинствами устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» являются дешевизна и распространённость компонентов, а также высокое значение выходной мощности сигнала и малое значение помех в выходном сигнале.

Таким образом, спрос на данный тип прибора приводит к увеличению объема производства, что требует методов и методик формального представления документов конструкторского и технологического проектирования для информационной обработки, а также модернизации и оптимизации процесса производства данного устройства на предприятиях[2].

В данной работе было проведено исследование и разработка технологического процесса изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах», это дает возможность декомпозировать его до атомарного уровня, что позволяет формализовать технологический процесс и сделать доступной любую операцию, приводящуюся на конкретном рабочем месте конкретным рабочим.

Разработанная структурно-функциональная модель технологического процесса позволяет наглядно представить его структуру, с учетом временных и стоимостных затрат, что, в свою очередь, предоставляет возможности для быстрого и эффективного анализа технологического процесса [2]. Также, данная модель позволяет проводить оптимизацию по различным критериям: время, стоимость работ и критерии задаваемые пользователем — они позволяют установить любые свойства работ, уместные для данного технологического процесса, что дает наибольшую гибкость при анализе технологического процесса и его оптимизации. В результате данных критериев могут быть выявлены «слабые» места технологического процесса, в плане экономических и временных затрат [3].

Вышеописанный подход является необходимым для крупного предприятия, так как в настоящее время на предприятиях требует большого объема работы с документами. Эффективным подходом в данной ситуации является применение автоматизации документооборота, позволяющее более эффективно организовать работу предприятия[2].

Объектом исследования является технологический процесс изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах», штатные инструкции сотрудников занятых на отдельных операциях ТП, основные производственные процессы на каждом рабочем месте, перечень документов, необходимых для

проведения данных операций.

Задачами проекта являются: разработка концептуально-абстрактной и структурно-функциональной моделей ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах», исследование ТП изготовления устройства и проектирование информационной модели.

Целью работы является изучение общих принципов моделирования производственных систем и использование программного обеспечения с целью представления полной картины взаимосвязей процесса и нахождения логических связей между ними, нахождение альтернативных решений при проектировании технологического процесса изготовления электронных средств, контроль соответствия разрабатываемой технической документации проекта с различными нормативными документами предприятия.

Для достижения заявленных целей в работе предусматривается решение следующего комплекса задач:

- структурная декомпозиция и исследование ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» нотациях IDEF0, IDEF3 и DFD, что позволяет формализовать ТП и рассмотреть логические связи между процессами; выстроить систему документооборота,
- разработка и исследование диаграммы дерева узлов ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах», предназначенной для иерархического представления ТП и полной картины взаимосвязей процесса,
- разработка FEO диаграммы ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах», позволяющей рассматривать процесс с альтернативной точки зрения, предложить какие-либо модернизации текущего ТП,
- проведение оптимизации ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» по временному критерию, для снижения временных затрат на ТП,
- проведение оптимизации ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» по ценовому критерию, для снижения стоимостных затрат на ТП,
- проведение оптимизации ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» по ценовому критерию, для снижения затрат на ТП,
- разработка информационной модели документооборота ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах», для описания БД и преобразования в физическую модель.

Источниками для создания модели являются:

- технологический процесс сборки устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»,
- схема сборки устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»,
- спецификация устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

Точка зрения, с которой разрабатывалась модель, это точка зрения главного технолога. Для этой точки зрения характерно описание технологического процесса производства без уточнения подробностей других сфер деятельности предприятия (экономической, управленческой и т.д.).

Методы, используемые для решения поставленной задачи: теория систем функционального моделирования. В частности, такие элементы этой теории как: методики концептуально-абстрактного проектирования, структурно-

функциональная декомпозиция технологического процесса в нотации IDEF0, описание технологического процесса сборки устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах», представленного в нотациях IDEF3 и DFD, отображение альтернативных точек зрения ТП изготовления устройства с помощью FEO-диаграммы.

Научная и практическая новизна работы заключается в индивидуальном анализе, добавлении нового функционала и повышении эффективности процесса, обуславливающей необходимость применения специальных средств описания и анализа таких систем.

Результатом работы являются:

- первичный анализ технологического процесса и представление его в виде контекстной диаграммы «Изготовление устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах», которая представляет входное воздействие в готовое устройство, под управлением ТП, ТЗ и нормативных документов, используя возможности персонала и оборудования,

- анализ технологического процесса, представленного в нотации IDEF0, которая соответствует первому уровню декомпозиции и уточняет ранее представленную к контекстной диаграмме модель в виде трех работ: «Подготовка компонентов», «Сборка модуля», «Операции контроля»,

- анализ операций технологического процесса в нотации IDEF3,

- разработка диаграммы дерева узлов технологического процесса изготовления модуля устройства регулировки температуры с использованием термодатчика и вентилятора, которая представляет собой результат полной декомпозиции и позволяет полно рассмотреть ТП, каждую операцию и переход на всех этапах сборки, отследить временные и денежные затраты,

- исследование альтернативных точек зрения ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» в виде FEO диаграммы, отражающей альтернативный взгляд на процесс с целью нахождения предложений по оптимизации процесса,

- разработанная логическая информационная модель документооборота технологического процесса, необходимой для дальнейшей разработки БД для рассмотренного ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

Практическая ценность работы состоит в разработке трехуровневой структурно-функциональной модели технологического процесса, приведении указаний об оптимизации в виде FEO диаграммы, на которой отражен иной метод установки и пайки ЭРЭ, а так же информационная модель БД, содержащую информацию обо всем технологическом цикле производства устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

Структура и объем работы: работа состоит из аннотации, введения, содержания, основной части с 4 разделами, заключения и списка литературы.

1 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ТП ИЗГОТОВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВА «УМЗЧ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ»

1.1 Анализ исходных данных проектирования ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Устройство «УМЗЧ на биполярных транзисторах» предназначено для того, чтобы усиливать мощность звукового сигнала, идущего от микрофона к динамику.

Технические характеристики:

- входное напряжение: двунаправленное постоянное 35В,
- максимальный потребляемый ток: 3А,
- выходная мощность: 60Вт,
- рабочий температурный диапазон: -55...+85°С.

Внешний вид устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» представлен на рисунке 1.1.

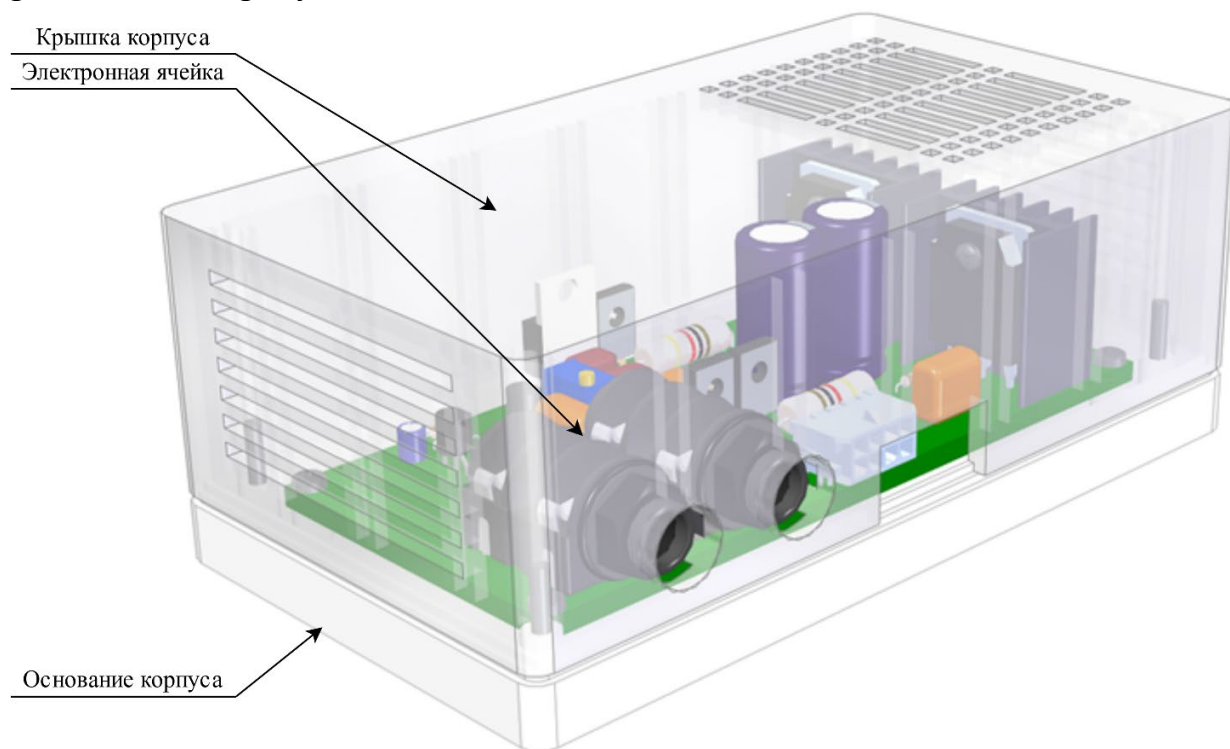


Рисунок 1.1 – Внешний вид устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Модуль устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» представляет собой печатную плату с установленными на ней компонентами, монтируемыми в отверстия и габаритными размерами 55x115мм. В состав прибора входят электронная ячейка и корпус.

Анализ сборочного состава. В конструкции электронной ячейки данного устройства используются только КМО (компоненты, монтируемые в отверстия). Это упрощает компоновку электронной ячейки и процесс производства. Выводы всех компонентов – штыревые. Спецификация сборочного состава представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Спецификация сборочного состава

№ п/п	Наименование и обозначение ЭРЭ, количество	Эскиз варианта установки	Вид элемента	Характеристика варианта установки и способа фиксации
1	Конденсатор плёночный, C1, C4..C8, 6 шт.			Установка в отверстия без зазора, фиксация подпайкой выводов (8858-1)
2	Конденсатор электролитический, C4, C5, 2 шт.			Установка в отверстия без зазора, фиксация подпайкой выводов (8858-1)
3	Резистор тонкоплёночный, R1..R7, R9..R13, 12 шт.			Установка в отверстия без зазора, фиксация подпайкой выводов (8858-1)
4	Резистор переменный, R8, 1 шт.			Установка в отверстия без зазора, фиксация подпайкой выводов (8858-1)
5	Транзистор биполярный, VT1, VT2, 2 шт.			Установка в отверстия без зазора, фиксация подпайкой выводов (8858-1)
6	Транзистор биполярный, VT3..VT8, 6 шт.			Установка в отверстия без зазора, фиксация подпайкой выводов (8858-1)
7	Разъём micro-fit 3.0, XS1, 1 шт.			Установка в отверстия без зазора, фиксация подпайкой выводов (8858-2)
8	Разъём ACJS-MH XS2, XS3 2 шт.			Установка в отверстия без зазора, фиксация подпайкой выводов (8858-2)
9	Радиатор охлаждения HS 107-30 2шт.			Установка в отверстия без зазора, фиксация подпайкой выводов (8858-1)

Электронная ячейка. Устройство включает в себя одну электронную

ячейку. Плата выполнена по второму классу точности. Все отверстия в плате выполнены на станке с применением ЧПУ. Плата выполнена из материала FR4-Tg135 IPC-4101/21. Монтаж ЭРЭ на плате односторонний. Для крепления к корпусу имеются 4 крепёжных отверстия.

На основе анализа конструкторской документации для разработки ТП сборки устройства необходимо предусмотреть поузловую сборку:

- сборка электронной ячейки;
- монтаж электронной ячейки в корпус.

Схема сборки электронной ячейки «УМЗЧ на биполярных транзисторах» представлена на рисунке 1.2.

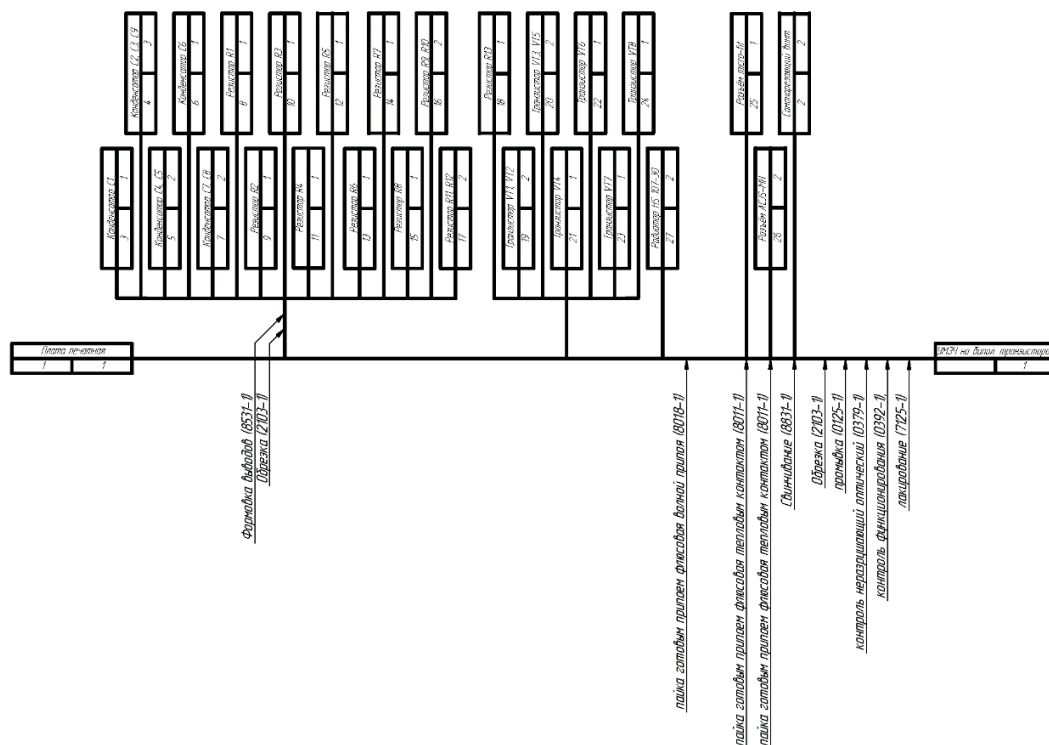


Рисунок 1.2 – Схема сборки электронной ячейки «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Для сборки электронной ячейки следует предусмотреть следующие операции:

- формовка выводов ЭРЭ (8531-1),
- монтаж (8858-1),
- обрезка (2103-1),
- пайка готовым припоем флюсовая волной припоя (8018-1),
- монтаж (8858-2),
- пайка готовым припоем флюсовая тепловым контактом (8011-1),
- свинчивание (8831-1)
- промывка (0125-1),
- контроль неразрушающий оптический (0379-1),
- контроль функционирования (0392-1),
- лакирование (7125-1).

Дополнительная операция пайки тепловым контактом необходима для

сохранения пластиковых корпусов разъемов, которые могут оплавиться при предварительном нагреве печатной платы при пайке волной.

1.2 Разработка концептуально-абстрактной модели технологического процесса изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Концептуально-абстрактная модель, определяющая структуру производства, ее свойства и причинно-следственные связи, представлена в виде MindMap на рисунке 1.3.

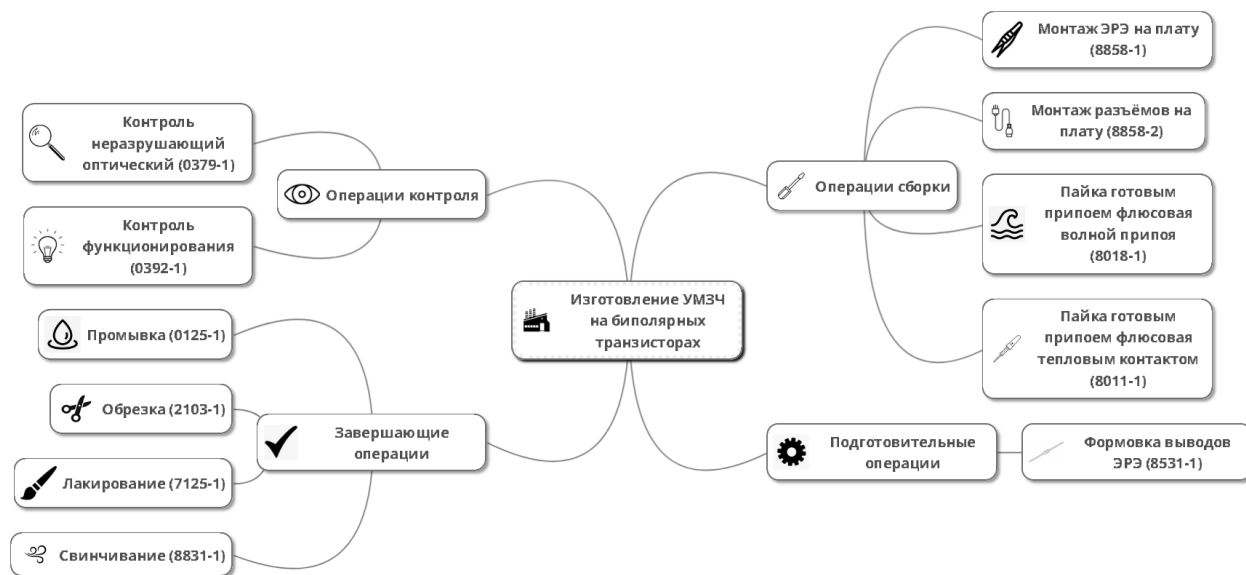



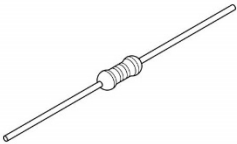
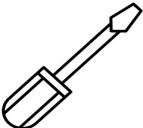

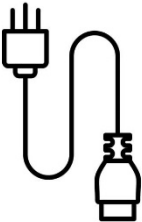

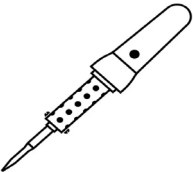


Рисунок 1.3 - Концептуально-абстрактная модель изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Как видно из рисунка 1.3, ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» состоит из четырех основных этапов: подготовительные операции, операции сборки, завершающие операции, операции контроля. Спецификация на концептуально – абстрактную модель ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» представлена в таблице 1.2.






Таблица 1.2 – Спецификация концептуально-абстрактной модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Ключевое слово (понятие)	Графический образ понятия	Описание свойств понятия
Изготовление УМЗЧ на биполярных транзисторах		Рассматриваемый процесс, центр интеллектуальной карты
Подготовительные операции		Процесс подготовки компонентов к установке и монтажу на печатную плату

Продолжение таблицы 1.2

Ключевое слово (понятие)	Графический образ понятия	Описание свойств понятия
Обрезка (2103-1)		Обрезка выводов ЭРЭ до требуемой длины
Формовка ЭРЭ (8531-1)		Процесс формирования правильной формы выводов
Операции сборки		Процесс сборки устройства
Монтаж ЭРЭ на плату (8858-1)		Процесс установки компонентов на печатную плату
Монтаж разъёмов на плату (8858-2)		Процесс установки разъёмов на печатную плату
Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя (8018-1)		Процесс пайки компонентов, установленных на печатной плате с помощью волны припоя
Пайка готовым припоем флюсовая тепловым контактом (8011-1)		Процесс пайки компонентов, установленных на печатной плате с помощью паяльника
Промывка (0125-1)		Процесс отмывки припоя и флюса от ПП
Свинчивание (8831-1)		Процесс закрепления транзисторов к радиатору винтами

Продолжение таблицы 1.2

Ключевое слово (понятие)	Графический образ понятия	Описание свойств понятия
Лакирование (7125-1)		Процесс покрытия изделия лаком для защиты от влаги
Операции контроля		Операции контроля изделия: функционирования и оптический контроль
Контроль функционирования (0392-1)		Процесс контроля готового изделия на соответствие ТЗ
Контроль неразрушающий оптический (0379-1)		Осмотр изделия под микроскопом
Завершающие операции		Операции, приводящиеся после сборки

Из таблицы 1.2 видно, для чего предназначен каждый этап ТП изготовления «УМЗЧ на биполярных транзисторах». Проанализировав описание каждого этапа, можно определить необходимое оборудование и персонал для его выполнения.

Выводы

Получена концептуально-абстрактная модель, согласно которой процесс состоит из четырёх этапов: подготовительных операций, операций сборки, завершающих операций и операций контроля.

Разработанная спецификация к концептуально-абстрактной модели позволяет оценить состав технологического процесса производства устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах», определить задачи каждого этапа и необходимые для их реализации ресурсы, включая оборудование и персонал.

Каждая операция требует участия квалифицированного персонала с определённым стажем работы.

Для проведения подготовительных операций потребуются следующие инструменты и материалы:

- монтажный стол,
- технологическая тара,
- перчатки.

Для сборки модуля необходимы:

- монтажный стол,
- технологическая тара,
- держатель для печатных плат,
- паяльная станция,
- многозонная печь,
- пинцет,
- флюс,
- припой.

Для функционального контроля используются:

- осциллографы,
- высококачественное измерительное оборудование.

Спроектированная концептуально-абстрактная модель позволяет контекстную диаграмму для дальнейшей разработки структурно-функциональной модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ТП ИЗГОТОВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВА «УМЗЧ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ»

2.1 Разработка контекстной диаграммы ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

На верхнем уровне декомпозиции модель технологического процесса изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» представлена в виде контекстной диаграммы в нотации IDEF0, отражающей взаимодействие исследуемого процесса с внешней средой. Контекстная диаграмма представлена на рисунке 2.1.

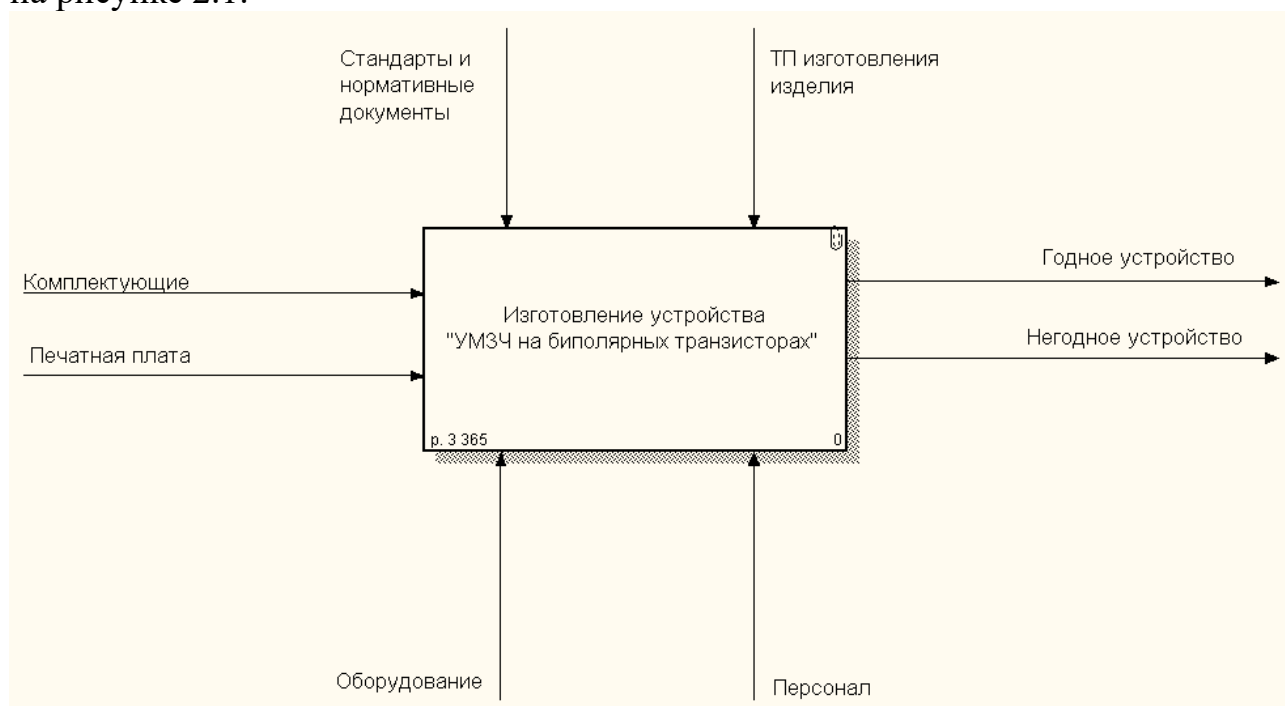


Рисунок 2.1 – Контекстная диаграмма ТП изготовления устройства

В результате выполнения процесса ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» на основе преобразования входных воздействий, которыми являются компоненты и печатные платы, преобразуются либо в годное устройство, способное корректно функционировать, либо в негодное устройство, которое не подлежит восстановлению. Данный процесс осуществляется под управлением стандартов и нормативных документов, а также ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

Таблица 2.1 содержит спецификацию разработанной контекстной диаграммы.

Таблица 2.1 – Свойства модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Property	Value
Name	Изготовление устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»
Definition	Процесс преобразования расходных материалов в готовое или бракованное изделие при помощи персонала и оборудования под управлением стандартов и нормативных документов и ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»
Viewpoint	Главный технолог
TimeFrame	AS-IS
Status	WORKING
Purpose	Целью создания данной модели является необходимость полной структурно-иерархической декомпозиции с целью стоимостного, временного и UDP анализа, а также создание информационной модели ТП.
Source	ТП сборки Схема сборки Спецификация
Author	Круглов В. С.
CreationDate	21.12.2024
SystemLastRevisionDate	21.12.2024
UserLastRevisionDate	21.12.2024

Таблица 2.2 – Спецификация контекстной диаграммы ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Input Arrow(s) of «Изготовление устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» Activity	
Name	Definition
Комплектующие	Компоненты, необходимые для сборки устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»
Печатная плата	Основа для размещения всех электронных компонентов, обеспечивающая соединение
Output Arrow(s) of «Изготовление устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» Activity	
Name	Definition
Негодное устройство	Устройство, имеющее дефекты, работающее некорректно и не подлежащее восстановлению
Годное устройство	Устройство, имеющее допустимое значение дефектов, работающее в соответствии с требованиями

Продолжение Таблицы 2.2

Control Arrow(s) of «Изготовление устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» Activity	
Name	Definition
Стандарты и нормативные документы	ГОСТы, ОСТы, документы, регулирующие работу предприятия
ТП изготовления изделия	Технологический процесс - главный документ при производстве
Mechanism Arrow(s) of «Изготовление устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» Activity	
Name	Definition
Оборудование	Оборудование, необходимое для производства изделия
Персонал	Сотрудники предприятия, задействованные на сборке, тестировании и контроле качества

На верхнем уровне декомпозиции модель ТП изготовления устройства модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» представлена в виде контекстной диаграммы в нотации IDEF0, которая отражает взаимодействие исследуемого процесса с внешней средой.

2.2 Декомпозиция ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Декомпозиция ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» представлена на рисунке 2.2

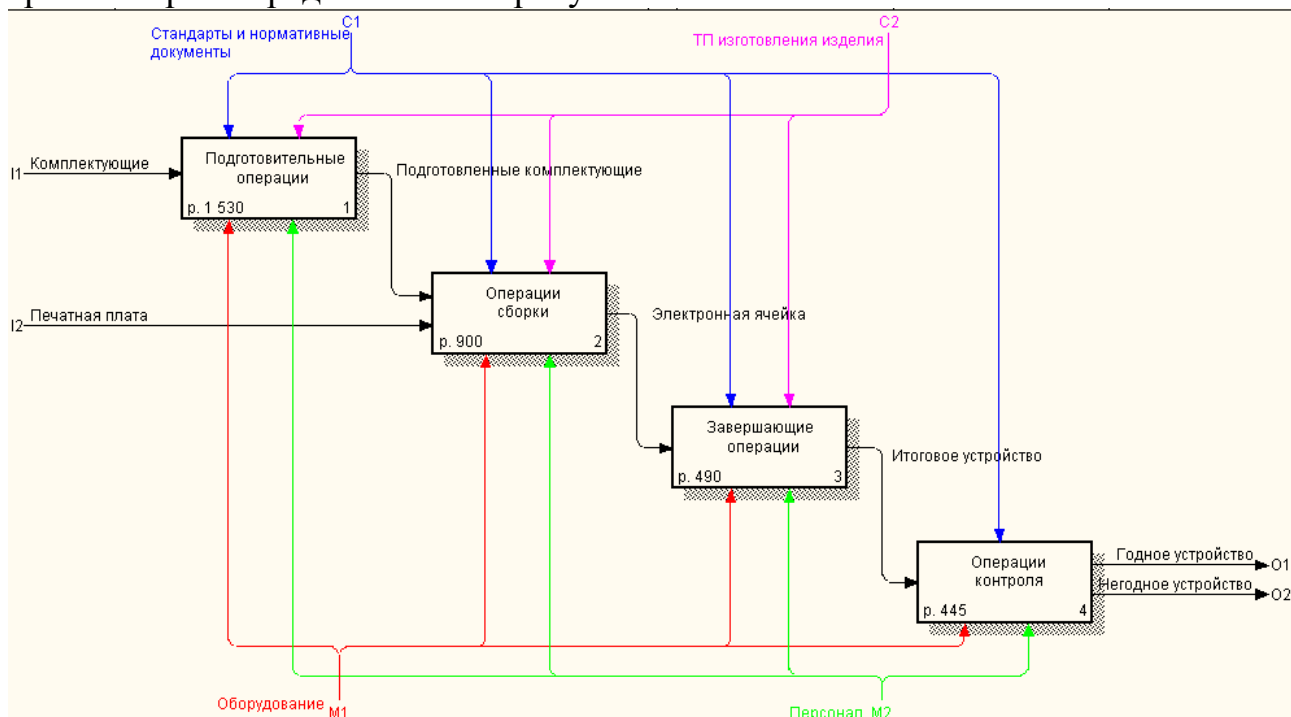


Рисунок 2.2 – Декомпозиция ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Декомпозиция модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных

транзисторах» представляет собой четыре взаимосвязанные работы, представленные в нотации IDEF0: «Подготовительные операции», «Операции сборки», «Завершающие операции», «Операции контроля». Все эти работы выполняются на оборудовании с привлечением персонала под управлением стандартов и нормативных документов, а также ТП изготовления изделия.

Спецификация диаграммы первого уровня декомпозиции ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» приведена в таблицах 2.3–2.6. Таблица 2.3 – Спецификация работы «Подготовительные операции» модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Name	Подготовительные операции	
Number	A0	
Definition	Процесс «Подготовительные операции» преобразует поступающие комплектующие и печатные платы, расходные материалы в сформированные комплекты деталей, пригодных для монтажа устройства. Руководствуется ТП, и стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования	
Note	Включает распаковку компонентов и контроль качества, комплектование	
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация	
UOW Objects		
Duration	420 сек	
Cost	1530 руб	
Cost Center(s) of « Подготовительные операции » Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	30
Зарплата	Затраты на оплату труда	50
Комплектующие	Затраты на закупку комплектующих	1300
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	100
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	50
Input Arrow(s) of « Подготовительные операции » Activity		
Name	Definition	
Комплектующие	Комплектующие необходимые для сборки устройства	
Output Arrow(s) of « Подготовительные операции » Activity		
Name	Definition	
Подготовленные комплектующие	Комплектующие, прошедшие формовку	

Продолжение таблицы 2.3

Control Arrow(s) of «Подготовительные операции» Activity	
Name	Definition
Стандарты и нормативные документы	ГОСТы, ОСТы, документы, регулирующие работу предприятия
ТП изготовления устройства стандарты	Документы, регулирующие деятельность предприятия.
Mechanism Arrow(s) of «Подготовительные операции» Activity	
Name	Definition
Оборудование	Оборудование, необходимое для сборки изделия
Персонал	Работники предприятия

Таблица 2.4 – Спецификация работы «Операции сборки» модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Name	Сборка устройства	
Number	А0	
Definition	Работа «Операции сборки» преобразует поступающие на вход подготовленные комплектующие в электронную ячейку при помощи персонала и необходимого оборудования под управлением стандартов и нормативных документов и ТП изготовления устройства	
Note	Включает в себя четыре вида работ	
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация	
UOW Objects		
Duration	910 сек	
Cost	900 руб	
Cost Center(s) of «Операции сборки» Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	160
Зарплата	Затраты на оплату труда	225
Комплектующие	Затраты на закупку комплектующих	0
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	205
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	310
Input Arrow(s) of «Сборка устройства»Activity		
Name	Definition	
Подготовленные комплектующие	Комплектующие, прошедшие формовку	
Output Arrow(s) of «Операции сборки» Activity		
Name	Definition	
Электр-я ячейка	Печатная плата с припаянными на нее компонентами	

Продолжение таблицы 2.4

Control Arrow(s) of «Сборка устройства»Activity	
Name	Definition
Стандарты и нормативные документы	ГОСТы, ОСТы, документы, регулирующие работу предприятия
ТП изготовления устройства стандарты	Документы, регулирующие деятельность предприятия.
Mechanism Arrow(s) of «Операции сборки» Activity	
Name	Definition
Оборудование	Оборудование, необходимое для сборки изделия
Персонал	Работники предприятия

Таблица 2.5 – Спецификация работы «Завершающие операции» модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Name	Завершающие операции	
Number	A0	
Definition	Работа «Завершающие операции» преобразует поступающую на вход электронную ячейку при помощи персонала и необходимого оборудования под управлением стандартов и нормативных документов и ТП изготовления устройства	
Note	Включает в себя четыре вида работ	
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация.	
UOW Objects		
Duration	910 сек	
Cost	490 руб	
Cost Center(s) of «Завершающие операции» Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	50
Зарплата	Затраты на оплату труда	300
Комплектующие	Затраты на закупку комплектующих	5
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	50
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	85
Input Arrow(s) of «Завершающие операции» Activity		
Name	Definition	
Электронная ячейка	Печатная плата с припаянными на нее компонентами	

Продолжение таблицы 2.5

Output Arrow(s) of «Завершающие операции» Activity	
Name	Definition
Итоговое устройство	Лакированное устройство с закреплёнными транзисторами
Control Arrow(s) of «Завершающие операции» Activity	
Name	Definition
Стандарты и нормативные документы	ГОСТы, ОСТы, документы, регулирующие работу предприятия
ТП изготовления устройства	Технологический процесс – главный документ на производстве
Mechanism Arrow(s) of « Завершающие операции » Activity	
Name	Definition
Оборудование	Оборудование, необходимое для сборки изделия
Персонал	Работники предприятия

Таблица 2.6 – Спецификация работы «Операции контроля» модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Name	Операции контроля	
Number	A0	
Definition	Работа «Завершающие операции» преобразует поступающую на вход электронную ячейку при помощи персонала и необходимого оборудования под управлением стандартов и нормативных документов и ТП изготовления устройства	
Note	Включает в себя четыре вида работ	
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация.	
UOW Objects		
Duration	790 сек	
Cost	445 руб	
Cost Center(s) of « Операции контроля » Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	60
Зарплата	Затраты на оплату труда	320
Комплектующие	Затраты на закупку комплектующих	0
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	35
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	30
Input Arrow(s) of « Операции контроля » Activity		
Name	Definition	
Электр-я ячейка	Печатная плата с припаянными на нее компонентами	

Продолжение таблицы 2.6

Output Arrow(s) of « Операции контроля » Activity	
Name	Definition
Негодное устройство	Устройство, имеющее дефекты, работающее некорректно и не подлежащее восстановлению
Годное устройство	Устройство, имеющее допустимое значение дефектов, работающее в соответствии с требованиями
Control Arrow(s) of « Операции контроля » Activity	
Name	Definition
Стандарты и нормативные документы	ГОСТы, ОСТы, документы, регулирующие работу предприятия
Mechanism Arrow(s) of « Операции контроля » Activity	
Name	Definition
Оборудование	Оборудование, необходимое для сборки изделия
Персонал	Работники предприятия

Процесс «Завершающие операции» преобразует входящие электронные ячейки в итоговые устройства. Устройства поступает на «Операции контроля», где устройство проверяется на качество и соответствие стандартам.

Работы «Подготовительные операции» и «Операции сборки», разбиваются на второй уровень декомпозиции в нотации IDEF0. Работа «Операции контроля» представлена в нотации IDEF3.

2.3 Декомпозиции работы «Подготовительные операции»

Декомпозиция работы «Подготовительные операции» включает в себя три вида работ, представленные в нотации IDEF0: «Распаковка», «Входной контроль» и «Комплектование». Работы выполняются персоналом на оборудовании под управлением стандартов и нормативных документов и ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах». Декомпозиция работа «Подготовительный операции» представлена на рисунке 2.3.

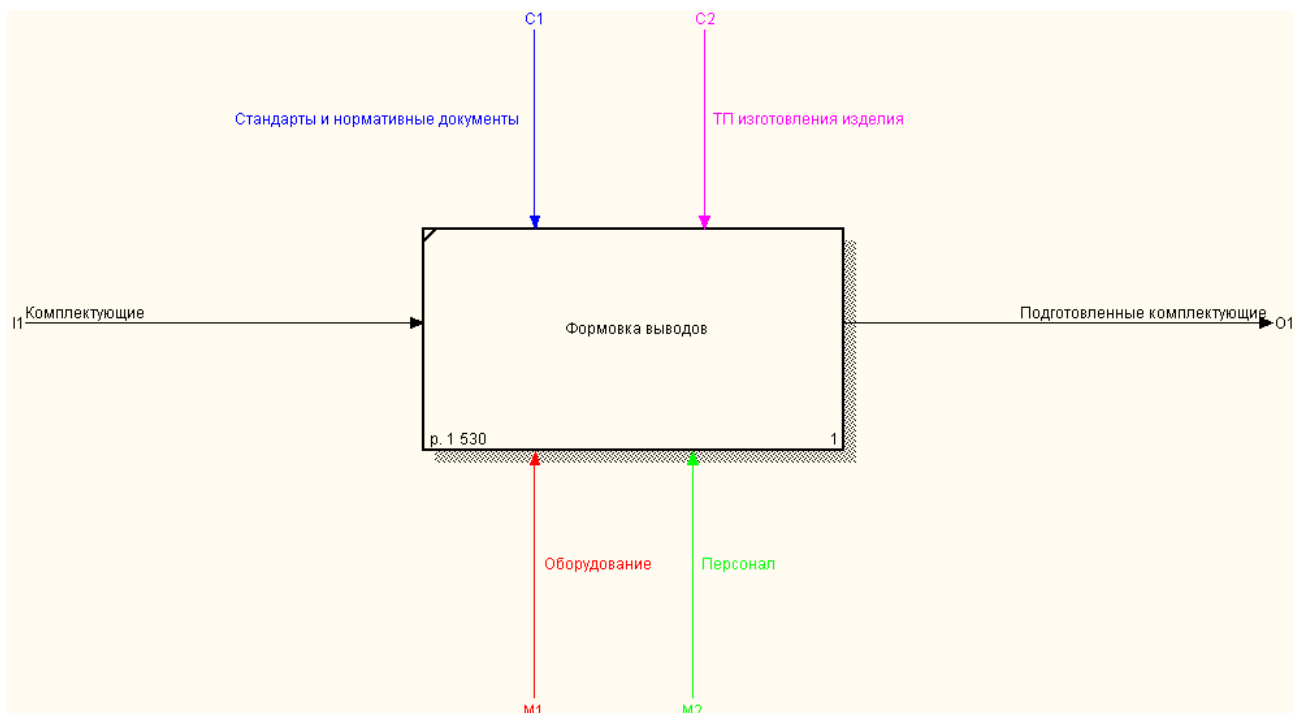


Рисунок 2.3 – Декомпозиция работы «Подготовительные операции» ТП изготовления устройства

Спецификация диаграммы декомпозиции ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» приведена в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Спецификация работы «Распаковка» ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Name	Формовка выводов	
Number	A1	
Definition	Работа «Формовка выводов» преобразует входные воздействия, такие как комплектующие, в подготовленные компоненты под управлением ТП изготовления устройства и стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования	
Note	Включает в себя три вида работ: подготовка рабочего места, установка компонентов в оборудование, непосредственно формовку	
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация	
UOW Objects		
Duration	420 сек	
Cost	1530 руб	
Cost Center(s) of «Распаковка » Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	30
Зарплата	Затраты на оплату труда	50

Комплектующие	Затраты на закупку комплектующих	1300
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	100
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	50
Input Arrow(s) of «Распаковка » Activity		
Name	Definition	
Комплектующие	Комплектующие необходимые для сборки устройства	
Output Arrow(s) of «Распаковка» Activity		
Name	Definition	
Подготовленные комплектующие	Комплектующие, прошедшие формовку	
Control Arrow(s) of «Распаковка» Activity		
Name	Definition	
Стандарты и нормативные документы	ГОСТы, ОСТы, документы, регулирующие работу предприятия	
ТП изготовления устройства	Технологический процесс – главный документ на производстве	
Mechanism Arrow(s) of «Распаковка» Activity		
Name	Definition	
Оборудование	Оборудование, необходимое для сборки изделия	
Персонал	Работники предприятия	

Работа «Формовка выводов» преобразует поступающие компоненты в подготовленные компоненты. Работа проходит под управлением ТП изготовления устройства и стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования.

2.4 Декомпозиция работы «Операции сборки»

Декомпозиция работы «Операции сборки» разработана в нотации IDEF0 и включает в себя следующие работы: «Монтаж ЭРЭ на плату», «Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя», «Монтаж разъёмов на плату», «Пайка готовым припоем флюсовая тепловым контактом». Работы выполняются персоналом на оборудовании под управлением стандартов и нормативных документов и ТП изготовления устройства. Декомпозиция работы «Операции сборки» представлена на рисунке 2.4.

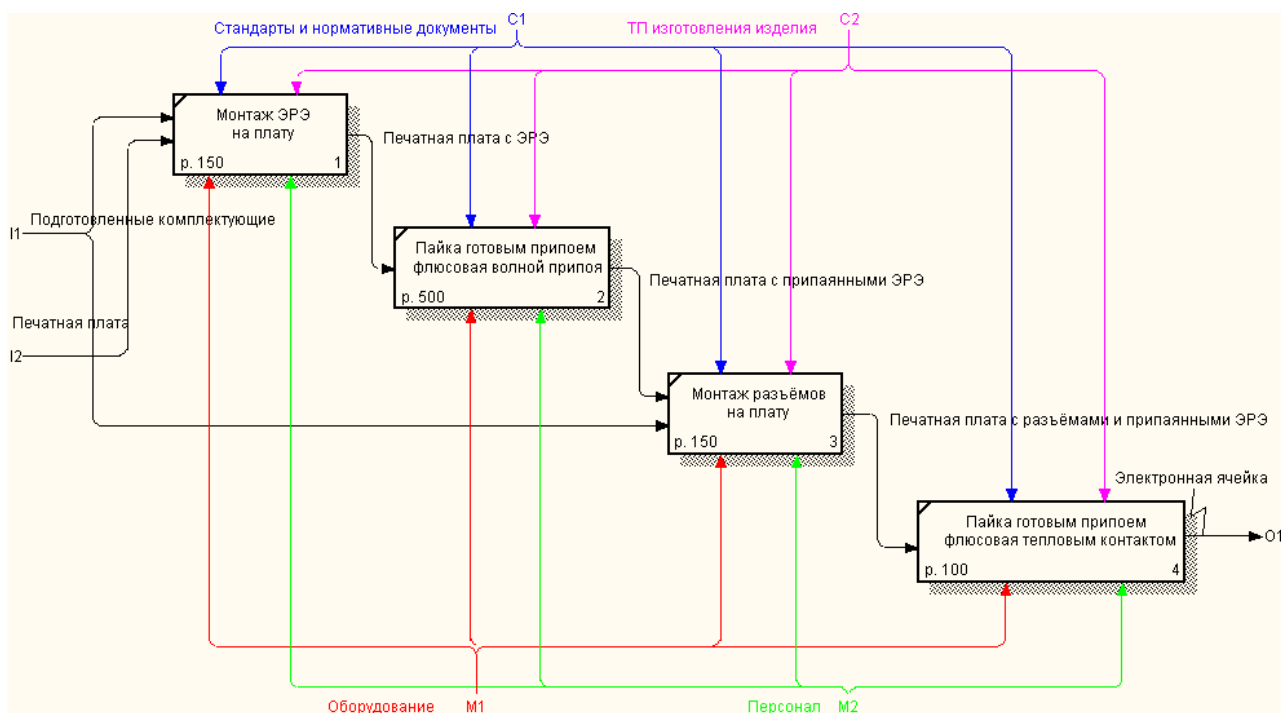


Рисунок 2.4 – Декомпозиция работы «Операции сборки» ТП изготовления изделия «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

В таблицах 2.8..2.11 представлены спецификации работ процесса «Операции сборки».

Таблица 2.8 – Спецификация работы «Монтаж ЭРЭ на плату» ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Name	Монтаж ЭРЭ на плату	
Number	A2	
Definition	Работа «Монтаж ЭРЭ на плату» преобразует поступающие на вход подготовленные комплектующие и печатные платы в ПП с нанесенной паяльной пастой под управлением ТП изготовления устройства и стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования	
Note	Все компоненты - КМО	
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация	
UOW Objects		
Duration	270 сек	
Cost	150 руб	
Cost Center(s) of «Монтаж ЭРЭ на плату» Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	50
Зарплата	Затраты на оплату труда	50
Комплектующие	Затраты на закупку комплектующих	0
Расходные м-лы	Затраты на расходные материалы	0
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	50

Продолжение таблицы 2.8

Input Arrow(s) of «Монтаж ЭРЭ на плату» Activity	
Name	Definition
Подготовленные комплектующие	Отсортированные и комплектованные компоненты для сборки устройства
Печатная плата	Основа для размещения всех электронных компонентов, обеспечивающая соединение
Output Arrow(s) of «Монтаж ЭРЭ на плату» Activity	
Name	Definition
Плата с ЭРЭ	Печатная плата с установленными КМО в отверстия
Control Arrow(s) of «Монтаж ЭРЭ на плату» Activity	
Name	Definition
Стандарты и норматив-е д-ты	ГОСТы, ОСТы, документы, регулирующие работу предприятия
ТП изготовления устройства	Технологический процесс – главный документ на производстве
Mechanism Arrow(s) of «Монтаж ЭРЭ на плату»Activity	
Name	Definition
Оборудование	Оборудование, необходимое для сборки изделия
Персонал	Работники предприятия

Таблица 2.9 – Спецификация работы «Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя» ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Name	Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя	
Number	A2	
Definition	Работа «Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя» преобразует ПП с установленными КМО под управлением ТП изготовления устройства и стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования	
Note	Все компоненты - КМО	
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация	
UOW Objects		
Duration	200 сек	
Cost	500 руб	
Cost Center(s) of « Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя» Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	50
Зарплата	Затраты на оплату труда	50
Комплектующие	Затраты на закупку комплектующих	0
Расходные м-лы	Затраты на расходные материалы	200
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	200

Продолжение таблицы 2.9

Input Arrow(s) of «Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя» Activity	
Name	Definition
Печатная плата с ЭРЭ	Печатная плата с установленными КМО в отверстия
Output Arrow(s) of «Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя» Activity	
Name	Definition
Печатная плата с прип-ми ЭРЭ	Электронная ячейка без разъёмов
Control Arrow(s) of « Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя » Activity	
Name	Definition
Стандарты и нормативные документы	ГОСТы, ОСТы, документы, регулирующие работу предприятия
ТП изготовления устройства	Технологический процесс – главный документ на производстве
Mechanism Arrow(s) of « Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя »Activity	
Name	Definition
Оборудование	Оборудование, необходимое для сборки изделия
Персонал	Работники предприятия

Таблица 2.10 – Спецификация работы «Монтаж разъёмов на плату» ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Name	Монтаж разъёмов на плату
Number	A2
Definition	Работа «Монтаж разъёмов на плату» преобразует печатную плату с припаянными ЭРЭ под управлением ТП изготовления устройства и стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования
Note	Выводы КМО формируются и обрезаются
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация
UOW Objects	
Duration	170 сек
Cost	150 руб

Продолжение таблицы 2.10

Cost Center(s) of « Монтаж разъёмов на плату » Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	50
Зарплата	Затраты на оплату труда	50
Комплекующие	Затраты на закупку комплектующих	0
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	0
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	50
Input Arrow(s) of « Монтаж разъёмов на плату » Activity		
Name	Definition	
Подготовленные комплектующие	Отсортированные и комплектованные компоненты для сборки устройства	
Печатная плата с прип-ми ЭРЭ	Электронная ячейка без разъёмов	
Output Arrow(s) of « Монтаж разъёмов на плату » Activity		
Name	Definition	
Печатная плата с разъёмами и прип-ми ЭРЭ	Электронная ячейка, у которой не подпаяны компоненты разъёмов	
Control Arrow(s) of « Монтаж разъёмов на плату » Activity		
Name	Definition	
Стандарты и нормативные документы	ГОСТы, ОСТы, документы, регулирующие работу предприятия	
ТП изготовления устройства	Технологический процесс – главный документ на производстве	
Mechanism Arrow(s) of « Монтаж разъёмов на плату »Activity		
Name	Definition	
Оборудование	Оборудование, необходимое для сборки изделия	
Персонал	Работники предприятия	

Таблица 2.11 – Спецификация работы «Пайка готовым припоем флюсовая тепловым контактом» ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Name	Пайка готовым припоем флюсовая тепловым контактом
Number	A2
Definition	Работа «Пайка готовым припоем флюсовая тепловым контактом» соединяет печатную плату и установленные разъёмы под управлением ТП изготовления устройства и стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования
Note	Разъёмы легкоплавкие и требуют низкой температуры

Продолжение таблицы 2.11

Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация	
UOW Objects		
Duration	270 сек	
Cost	100 руб	
Cost Center(s) of «Установка КМО» Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	10
Зарплата	Затраты на оплату труда	75
Комплектующие	Затраты на закупку комплектующих	0
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	5
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	10
Input Arrow(s) of «Установка КМО» Activity		
Name	Definition	
Печатная плата с разъёмами и прип-ми ЭРЭ	Электронная ячейка, у которой не подпаяны компоненты разъемов	
Output Arrow(s) of «Установка КМО» Activity		
Name	Definition	
Электронная ячейка	Печатная плата с припаянными на нее компонентами	
Control Arrow(s) of «Установка КМО» Activity		
Name	Definition	
Стандарты и нормат-е д-ты	ГОСТы, ОСТы, документы, регулирующие работу предприятия	
ТП изготовления устройства	Технологический процесс – главный документ на производстве	
Mechanism Arrow(s) of «Установка КМО» Activity		
Name	Definition	
Оборудование	Оборудование, необходимое для сборки изделия	
Персонал	Работники предприятия	

Работы «Монтаж ЭРЭ на плату» и «Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя», «Монтаж разъёмов на плату», «Пайка готовым припоем флюсовая тепловым контактом» преобразуют печатную платы и комплектованные компоненты в печатную плату с установленными КМО. Все работы осуществляются персоналом при помощи оборудования под управлением стандартов и нормативных документов и ТП изготовления устройства.

2.5 Декомпозиция работы «Завершающие операции»

Декомпозиция работы «Завершающие операции» разработана в нотации IDEF0 и включает в себя следующие работы: «Промывка», «Обрезка», «Свинчивание», «Лакирование». Работы выполняются персоналом на оборудовании под управлением стандартов и нормативных документов и ТП изготовления устройства. Декомпозиция работы «Операции сборки» представлена на рисунке 2.5

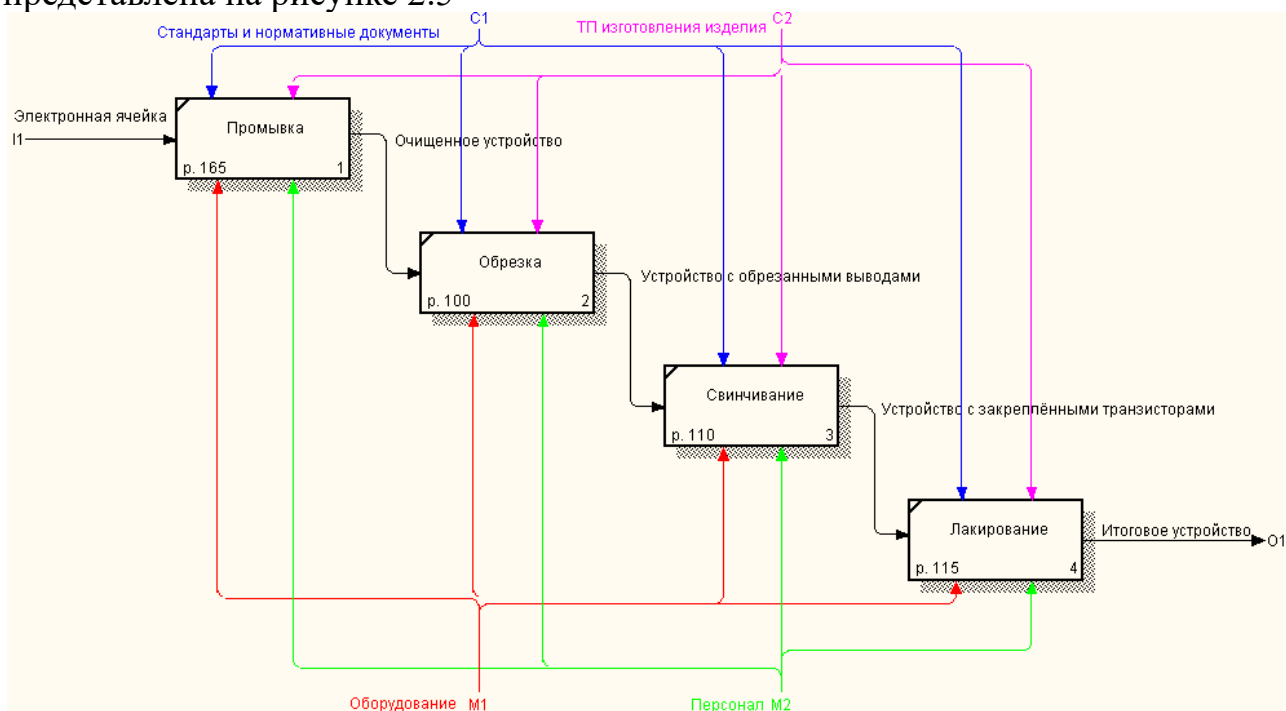


Рисунок 2.5 – Декомпозиция работы «Завершающие операции» ТП изготовления изделия «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

В таблицах 2.12–2.15 представлены спецификации работ процесса «Завершающие операции».

Таблица 2.12 – Спецификация работы «Монтаж ЭРЭ на плату» ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Name	Промывка
Number	A3
Definition	Работа «Промывка» преобразует собранные устройства, устраняя остатки флюса. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования
Note	Устраняет остатки флюса, спиртовой раствор
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация
UOW Objects	
Duration	270 сек
Cost	165 руб

Продолжение таблица 2.12

Cost Center(s) of « Промывка » Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	20
Зарплата	Затраты на оплату труда	75
Комплектующие	Затраты на закупку комплектующих	0
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	30
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	40
Input Arrow(s) of « Промывка » Activity		
Name	Definition	
Электронная ячейка	Печатная плата с припаянными на нее компонентами	
Output Arrow(s) of « Промывка » Activity		
Name	Definition	
Очищенное устройство	Электронная ячейка без остатков флюса	
Control Arrow(s) of « Промывка » Activity		
Name	Definition	
Стандарты и нормативные документы	ГОСТы, ОСТы, документы, регулирующие работу предприятия	
ТП изготовления устройства	Технологический процесс – главный документ на производстве	
Mechanism Arrow(s) of « Промывка » Activity		
Name	Definition	
Оборудование	Оборудование, необходимое для сборки изделия	
Персонал	Работники предприятия	

Таблица 2.13 – Спецификация работы «Обрезка» ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Name	Обрезка
Number	А3
Definition	Работа «Обрезка» выводы установленных в электронную ячейку КМО под управлением ТП изготовления устройства и стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования
Note	Все компоненты - КМО
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация
UOW Objects	
Duration	200 сек
Cost	100 руб

Продолжение таблицы 2.13

Cost Center(s) of «Установка на поверхность» Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	10
Зарплата	Затраты на оплату труда	75
Комплектующие	Затраты на закупку комплектующих	0
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	0
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	15
Input Arrow(s) of «Установка на поверхность» Activity		
Name	Definition	
Очищенное устройство	Электронная ячейка без остатков флюса	
Output Arrow(s) of «Установка на поверхность» Activity		
Name	Definition	
Устройство с обрез-ми выв-ми	Электронная ячейка с обрезанными выводами КМО	
Control Arrow(s) of «Установка на поверхность» Activity		
Name	Definition	
Стандарты и нормативные документы	ГОСТы, ОСТы, документы, регулирующие работу предприятия	
ТП изготовления устройства	Технологический процесс – главный документ на производстве	
Mechanism Arrow(s) of «Установка на поверхность» Activity		
Name	Definition	
Оборудование	Оборудование, необходимое для сборки изделия	
Персонал	Работники предприятия	

Таблица 2.14 – Спецификация работы «Свинчивание» ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Name	Свинчивание
Number	А3
Definition	Работа «Свинчивание» закрепляет транзисторы на радиаторах под управлением ТП изготовления устройства и стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования
Note	Используются саморезы по металлу
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация
UOW Objects	
Duration	170 сек
Cost	110 руб

Продолжение таблицы 2.14

Cost Center(s) of « Свинчивание » Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	10
Зарплата	Затраты на оплату труда	75
Комплекующие	Затраты на закупку комплектующих	5
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	0
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	20
Input Arrow(s) of « Свинчивание » Activity		
Name	Definition	
Устройство с обрез-ми выв-ми	Электронная ячейка с обрезанными выводами КМО	
Output Arrow(s) of « Свинчивание » Activity		
Name	Definition	
Устройство с закреп-ми тр-ми	Электронная ячейка с транзисторами, закреплёнными на радиаторах с помощью саморезов	
Control Arrow(s) of « Свинчивание » Activity		
Name	Definition	
Стандарты и нормативные документы	ГОСТы, ОСТы, документы, регулирующие работу предприятия	
ТП изготовления устройства	Технологический процесс – главный документ на производстве	
Mechanism Arrow(s) of « Свинчивание » Activity		
Name	Definition	
Оборудование	Оборудование, необходимое для сборки изделия	
Персонал	Работники предприятия	

Таблица 2.15 – Спецификация работы «Лакирование» ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Name	Лакирование
Number	А3
Definition	Работа «Лакирование» покрывает электронную ячейку влагозащитным лаком под управлением ТП изготовления устройства и стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования
Note	Лак влагозащитный
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация
UOW Objects	
Duration	270 сек
Cost	115 руб

Продолжение таблицы 2.15

Cost Center(s) of «Лакирование» Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	10
Зарплата	Затраты на оплату труда	75
Комплекующие	Затраты на закупку комплектующих	0
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	20
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	10
Input Arrow(s) of « Лакирование » Activity		
Name	Definition	
Устройство с закреп-ми тр-ми	Электронная ячейка с транзисторами, закреплёнными на радиаторах с помощью саморезов	
Output Arrow(s) of « Лакирование » Activity		
Name	Definition	
Итоговое устройство	Лакированное устройство с закреплёнными транзисторами	
Control Arrow(s) of « Лакирование » Activity		
Name	Definition	
Стандарты и нормативные документы	ГОСТы, ОСТы, документы, регулирующие работу предприятия	
ТП изготовления устройства	Технологический процесс – главный документ на производстве	
Mechanism Arrow(s) of « Лакирование » Activity		
Name	Definition	
Оборудование	Оборудование, необходимое для сборки изделия	
Персонал	Работники предприятия	

Работы «Промывка», «Обрезка», «Свинчивание», «Лакирование» преобразуют электронную ячейку в итоговое устройство. Все работы осуществляются персоналом при помощи оборудования под управлением стандартов и нормативных документов и ТП изготовления устройства.

2.6 Декомпозиция работы «Операции контроля»

Декомпозиция работы «Операции контроля» модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» разработана в нотации IDEF3. Все работы выполняются персоналом при помощи оборудования под управлением стандартов и нормативных документов и ТП изготовления устройства. Декомпозиция работы «Операции контроля» представлена на рисунке 2.6.

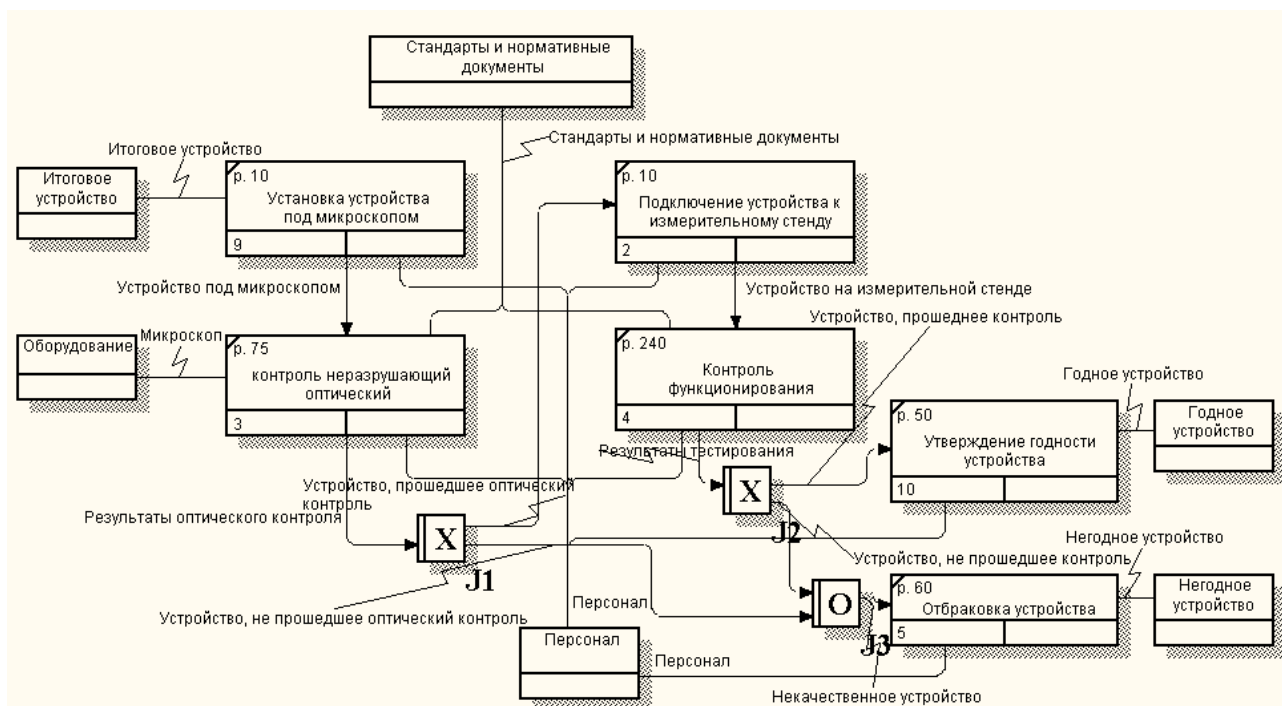


Рисунок 2.6 – Декомпозиция работы «Операции контроля» модели ТП изготовления устройства

В таблицах 2.16–2.21 представлены спецификации на работу «Операции контроля» модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

Таблица 2.16 – Спецификация работы «Установка устройства под микроскопом» ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Name	Установка устройства под микроскопом	
Number	A4.1	
Definition	Работа «Установка устройства под микроскопом» обеспечивает корректное закрепление устройства в области под микроскопом. Управление осуществляется стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования	
Note	Микроскоп цифровой	
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация	
UOW Objects		
Duration	90 сек	
Cost	10 руб	
Cost Center(s) of « Установка устройства под микроскопом » Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	0
Зарплата	Затраты на оплату труда	10
Комплектующие	Затраты на закупку комплектующих	0
Расходные м-лы	Затраты на расходные материалы	0
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	0

Продолжение таблицы 2.16

Output Arrow(s) of « Установка устройства под микроскопом » Activity	
Name	Definition
Устройство под микроскопом	Устройство, закреплённое в области обзора микроскопа

Таблица 2.17 – Спецификация работы «Контроль неразрушающий оптический» ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

Name	Контроль неразрушающий оптический	
Number	A4.1	
Definition	Работа «Контроль неразрушающий оптический» даёт результаты оптического контроля устройства, закреплённого под микроскопом. Управление осуществляется ТП изготовления устройства и стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования	
Note	Проводится проверка всех паяных соединений устройства	
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация	
UOW Objects		
Duration	250 сек	
Cost	75 руб	
Cost Center(s) of «Контроль неразрушающий оптический» Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	10
Зарплата	Затраты на оплату труда	50
Комплекующие	Затраты на закупку комплектующих	0
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	5
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	10
Input Arrow(s) of «Контроль неразрушающий оптический» Activity		
Name	Definition	
Устройство под микроскопом	Устройство, закреплённое в области обзора микроскопа	
Output Arrow(s) of «Контроль неразрушающий оптический» Activity		
Name	Definition	
Результаты оптического контроля	Позволяют определить годность или негодность паяных соединений устройства	

Таблица 2.18 – Спецификация работы «Подключение устройства к измерительному стенду» ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

Name	Подключение устройства к измерительному стенду	
Number	A4.1	
Definition	Работа «Подключение устройства к измерительному стенду» преобразует принятое устройство в подключенное к измерительному стенду устройство. Управление осуществляется ТП изготовления устройства, стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования	
Note	Устройство подключается к специализированному оборудованию	
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация	
UOW Objects		
Duration	180 сек	
Cost	10 руб	
Cost Center(s) of « Подключение устройства к измерительному стенду » Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	0
Зарплата	Затраты на оплату труда	10
Комплектующие	Затраты на закупку комплектующих	0
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	0
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	0
Input Arrow(s) of « Подключение устройства к измерительному стенду » Activity		
Name	Definition	
Устройство, прошедшее оптический контроль	Устройство, паяные соединения которого надлежащего качества	
Output Arrow(s) of « Подключение устройства к измерительному стенду » Activity		
Name	Definition	
Устройство на измерительном стенде	Устройство, готовое к проведению тестирования	

Таблица 2.19 – Спецификация работы «Контроль функционирования» ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

Name	Контроль функционирования	
Number	A4.1	
Definition	Работа «Контроль функционирования» преобразует входные воздействия в результаты тестирования устройства. Управление осуществляется ТП изготовления устройства и стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования	
Note	Проверяет коэффициент усиления звука	
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация	
UOW Objects		
Duration	250 сек	
Cost	240 руб	
Cost Center(s) of «Контроль функционирования» Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	50
Зарплата	Затраты на оплату труда	150
Комплекующие	Затраты на закупку комплектующих	0
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	20
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	20
Input Arrow(s) of «Контроль функционирования» Activity		
Name	Definition	
Устройство на измерительном стенде	Устройство, готовое к проведению тестирования	
Output Arrow(s) of «Контроль функционирования» Activity		
Name	Definition	
Результаты тестирования	Позволяют определить годность или негодность устройства	

Таблица 2.20 – Спецификация работы «Утверждение годности устройства» ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

Name	Утверждение годности устройства
Number	A4.1
Definition	Работа «Утверждение годности устройства» отвечает за преобразование корректно работающего устройство в утвержденное. Управление осуществляется ТП изготовления устройства и стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования

Продолжение таблицы 2.20

Note	Устройство признается пригодным	
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация	
UOW Objects		
Duration	10 сек	
Cost	50 руб	
Cost Center(s) of «Утверждение годности устройства » Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	0
Зарплата	Затраты на оплату труда	50
Комплектующие	Затраты на закупку комплектующих	0
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	0
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	0
Input Arrow(s) of «Утверждение годности устройства» Activity		
Name	Definition	
Устройство, прошедшее контроль	Устройство, коэффициент усиления соединения которого надлежащего значения	

Таблица 2.21 – Спецификация работы «Отбраковка устройства» ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

Name	Отбраковка устройства
Number	A4.1
Definition	Работа «Отбраковка устройства» отвечает за окончательное признание устройства непригодным и перемещение в отстойник брака. Управление осуществляется ТП изготовления устройства и стандартами и нормативными документами. Выполняется персоналом предприятия с использованием необходимого оборудования
Note	Устройство признается непригодным
Source	ТП изготовление устройства Схема сборки Спецификация
UOW Objects	
Duration	10 сек
Cost	60 руб

Продолжение таблицы 2.21

Cost Center(s) of «Отбраковка устройства» Activity		
Name	Definition	Cost
Амортизация	Затраты на амортизацию оборудования	0
Зарплата	Затраты на оплату труда	50
Комплекующие	Затраты на закупку комплектующих	0
Расходные материалы	Затраты на расходные материалы	10
Электроэнергия	Расходы на электроэнергию	0
Input Arrow(s) of «Отбраковка устройства» Activity		
Name	Definition	
Некачественное устройство	Устройство, не прошедшее один из этапов контроля	

Работа «Установка устройства под микроскопом» обеспечивает преобразование входных изделий в изделия, готовых к проведению оптического контроля. Работа «Контроль неразрушающий оптический» обеспечивает получение результатов тестирования. Работа «Утверждение годности устройства» преобразует соответствие результатов заданным требованиям в годное устройство, а работа «Отбраковка устройства» преобразует несоответствие заданным характеристикам в негодное устройство.

2.7 Разработка иерархической диаграммы ТП

Диаграмма дерева узлов представляет собой полную декомпозицию модели процесса изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах». Данная диаграмма изображена на рисунке 2.7.

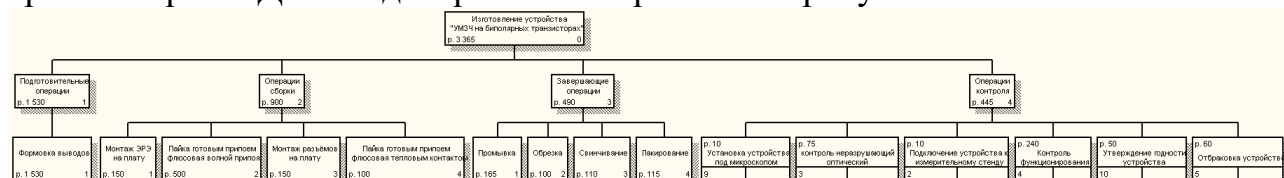


Рисунок 2.7 – Диаграмма дерева узлов ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

На диаграмме дерева узлов не представлена последовательность операций по изготовлению устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах», однако она содержит все работы, входящие в данный процесс. На данной диаграмме можно увидеть конечный результат работы, стоимость и длительность процессов. При сравнении представленного ТП в виде схемы сборки с базовой деталью и ТП в виде диаграммы дерева узлов, можно сделать вывод: все операции исходного ТП описаны в структурно-функциональной модели и полностью соответствуют исследуемому ТП (модель AS-IS).

Итоговая диаграмма дерева узлов представляет полную декомпозицию исследуемого ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» и дает возможность детально проследить все операции и переходы технологического цикла сборки, отследить все временные и денежные затраты.

Схема сборки дает представление об общей структуре сборки изделия, в то время как по диаграмме дерева узлов можно более детально проследить операции и переходы технологического процесса сборки. Схема сборки устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» представлена на рисунке 2.8.

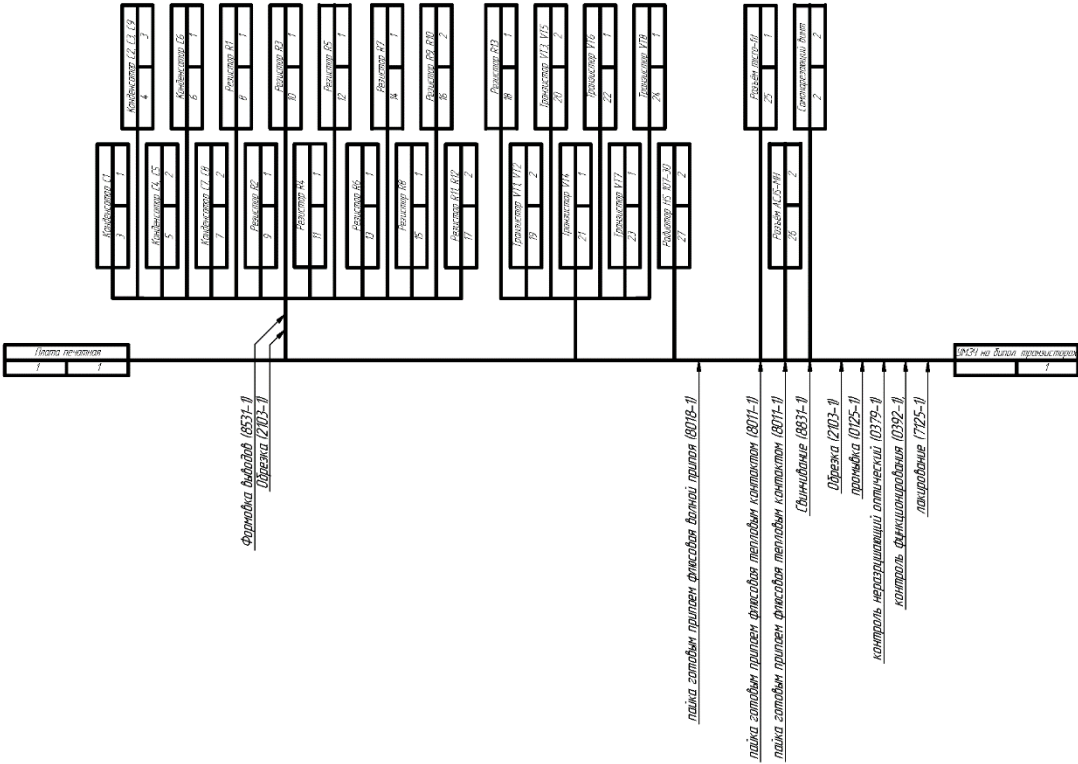


Рисунок 2.8 – Схема сборки устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»
 При сопоставлении диаграммы дерева узлов и схему сборки, подтвердить, что созданная модель полностью соответствует существующему ТП и может быть использована для создания АСУ ТП.

Выводы

В данном разделе была разработана концептуально-абстрактная модель процесса изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах», согласно которой процесс состоит из трёх этапов: подготовительные операции, сборка устройства, функциональный контроль. Спецификация на нее позволяет оценить состав ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах», определить назначение каждого этапа ТП и необходимое для его выполнения оборудование и персонал. Для каждой операции требуется обученный высококвалифицированный персонал.

На основе концептуально-абстрактной модели создана контекстная диаграмма ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах». Контекстная диаграмма разработана в нотации IDEF0 и показывает, какие данные поступают на вход процесса, как он контролируется, с помощью каких средств осуществляется его реализация и какой результат получается на выходе.

После разработки контекстной диаграммы произведена декомпозиция процессов и работ до достижения атомарного уровня.

Проведена декомпозиция самого верхнего уровня, которая представлена совокупностью из четырёх работ: «Подготовительные операции», «Операции сборки», «Завершающие операции», «Операции контроля». Первые три работы были описаны в нотации IDEF0. Работа «Операции контроля» в свою очередь была описана в нотации IDEF3.

Разработана диаграмма дерева узлов представляет собой полную декомпозицию ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» и позволяет проследить все операции и переходы технологического цикла сборки, отследить все временные и денежные затраты.

3 ИССЛЕДОВАНИЕ ТП ИЗГОТОВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВА «УМЗЧ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ»

3.1 Анализ ТП по интегральному и дифференциальному критериям

3.1.1 Анализ ТП по времени

Для анализа и оптимизации по интегральному критерию выбран параметр «Временные затраты». В таблице 3.1 указаны временные затраты операций технологического процесса изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

Таблица 3.1 – Спецификация временных затрат на один модуль изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

№ п/п	Наименование операции	Значение, сек
1	Формовка выводов	420
2	Монтаж ЭРЭ на плату	270
3	Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя	200
4	Монтаж разъёмов на плату	170
5	Пайка готовым припоем флюсовая тепловым контактом	270
6	Промывка	270
7	Обрезка	200
8	Свинчивание	170
9	Лакирование	270
10	Установка устройства под микроскопом	90
11	Контроль неразрушающий оптический	250
12	Подключение устройства к измерительному стенду	180
13	Контроль функционирования	250
14	Утверждение годности устройства	10
15	Отбраковка устройства	10

Согласно таблице 3.1 наибольшая продолжительность равная 810 секунд у операции «Формовка выводов». По расчетам на изготовление одного устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» требуется 3030 секунд. Для оптимизации этой работы с точки зрения оборудования целесообразно использовать автоматизированные формовки, сокращающие время формовки одного компонента. В результате время изготовления устройства уменьшится до 2610 секунд, выигрыш по времени составит 13,9%.

С точки зрения главного технолога есть возможность исключения пайки тепловым контактом, используя только пайку волной припоя. В результате время изготовления устройства уменьшится до 2760 секунд, выигрыш по времени составит 8,9%.

3.1.2 Анализ ТП по стоимости

Для анализа по дифференциальному критерию выбран параметр «Цена» следующих расходов для ТП изготовления «УМЗЧ на биполярных транзисторах»:

- амортизация оборудования,
- закупка комплектующих,
- заработная плата,
- электроэнергия,
- расходные материалы.

В таблице 3.2 приведены общая сумма затрат на изготовление одного устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

Таблица 3.2 – Общие затраты на операции по ТП изготовления одного устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

№ п/п	Наименование работы	Цена, руб	Определение
1	Амортизация	300	Затраты на амортизацию оборудования
2	Зарплата	895	Затраты на оплату труда
3	Комплектующие	1305	Затраты на закупку комплектующих
4	Расходные материалы	390	Затраты на расходные материалы
5	Электроэнергия	475	Расходы на электроэнергию

Общие затраты для каждой операции ТП изготовления одного устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Общие затраты на операции по ТП изготовления одного устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

№ п/п	Наименование операции	Цена, руб
1	Формовка выводов	1530
2	Монтаж ЭРЭ на плату	150
3	Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя	500
4	Монтаж разъёмов на плату	150
5	Пайка готовым припоем флюсовая тепловым контактом	100
6	Промывка	165
7	Обрезка	100
8	Свинчивание	110
9	Лакирование	115
10	Установка устройства под микроскопом	10
11	Контроль неразрушающий оптический	75
12	Подключение устройства к измерительному стенду	10
13	Контроль функционирования	240
14	Утверждение годности устройства	50
15	Отбраковка устройства	60

В таблицах 3.4–3.8 приведены затраты для каждой операции ТП изготовления одного устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

Таблица 3.4 – Затраты на амортизацию операций по ТП изготовления одного устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

№ п/п	Наименование операции	Цена, руб
1	Формовка выводов	30
2	Монтаж ЭРЭ на плату	30
3	Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя	30
4	Монтаж разъёмов на плату	70
5	Пайка готовым припоем флюсовая тепловым контактом	40
6	Промывка	40
7	Обрезка	30
8	Свинчивание	100
9	Лакирование	30
10	Установка устройства под микроскопом	30
11	Контроль неразрушающий оптический	20
12	Подключение устройства к измерительному стенду	210
13	Контроль функционирования	20
14	Утверждение годности устройства	20
15	Отбраковка устройства	20

Таблица 3.5 – Затраты на зарплату операций по ТП изготовления одного устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

№ п/п	Наименование операции	Цена, руб
1	Формовка выводов	50
2	Монтаж ЭРЭ на плату	100
3	Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя	200
4	Монтаж разъёмов на плату	100
5	Пайка готовым припоем флюсовая тепловым контактом	150
6	Промывка	150
7	Обрезка	200
8	Свинчивание	200
9	Лакирование	100
10	Установка устройства под микроскопом	100
11	Контроль неразрушающий оптический	50
12	Подключение устройства к измерительному стенду	450
13	Контроль функционирования	50
14	Утверждение годности устройства	50
15	Отбраковка устройства	50

Таблица 3.6 – Затраты на комплектующие операций по ТП изготовления одного устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

№ п/п	Наименование операции	Цена, руб
1	Формовка выводов	1300
2	Монтаж ЭРЭ на плату	0
3	Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя	0
4	Монтаж разъёмов на плату	0
5	Пайка готовым припоем флюсовая тепловым контактом	0
6	Промывка	0
7	Обрезка	0
8	Свинчивание	0
9	Лакирование	0
10	Установка устройства под микроскопом	0
11	Контроль неразрушающий оптический	0
12	Подключение устройства к измерительному стенду	0
13	Контроль функционирования	0
14	Утверждение годности устройства	0
15	Отбраковка устройства	0

Таблица 3.7 – Затраты на расходные материалы операций по ТП изготовления одного устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

№ п/п	Наименование операции	Цена, руб
1	Формовка выводов	100
2	Монтаж ЭРЭ на плату	50
3	Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя	100
4	Монтаж разъёмов на плату	50
5	Пайка готовым припоем флюсовая тепловым контактом	50
6	Промывка	50
7	Обрезка	50
8	Свинчивание	50
9	Лакирование	100
10	Установка устройства под микроскопом	100
11	Контроль неразрушающий оптический	10
12	Подключение устройства к измерительному стенду	250
13	Контроль функционирования	0
14	Утверждение годности устройства	0
15	Отбраковка устройства	10

Таблица 3.8 – Затраты на электроэнергию операций по ТП изготовления одного устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

№ п/п	Наименование операции	Цена, руб
1	Формовка выводов	50
2	Монтаж ЭРЭ на плату	50
3	Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя	100
4	Монтаж разъёмов на плату	50
5	Пайка готовым припоем флюсовая тепловым контактом	50
6	Промывка	50
7	Обрезка	50
8	Свинчивание	50
9	Лакирование	50
10	Установка устройства под микроскопом	50
11	Контроль неразрушающий оптический	10
12	Подключение устройства к измерительному стенду	220
13	Контроль функционирования	20
14	Утверждение годности устройства	0
15	Отбраковка устройства	0

Если не учитывать стоимость комплектующих, то самой дорогостоящей операцией по затратам для проведения является «Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя»: 500 рублей или 14,9% от общей суммы затрат на операции. В свою очередь в данной операции наибольшие затраты на расходные материалы и электроэнергию. Как вариант оптимизации можно рассмотреть закупку нового оборудования, имеющего меньшее потребление электроэнергии и меньшие потери припоя. Однако следует учесть, что нового оборудования потребует значительных затрат.

С точки зрения главного технолога есть возможность исключения пайки тепловым контактом, используя только пайку волной припоя. В результате стоимость изготовления устройства уменьшится до 3115 рублей, выигрыш по стоимости составит 7,4%.

3.2 Анализ ТП по UDP-критерию

Для анализа по UPD-критерию ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» выбран параметр «Комплексный показатель технологичность», для чего необходимо присвоить операциям ТП комплексного коэффициента согласно таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Спецификация показателей ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

№ п/п	Наименование операции	Значение K_i	Значение φ_i
1	Формовка выводов	0,5	0,3
2	Монтаж ЭРЭ на плату	0,7	0,1
3	Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя	0,7	0,2
4	Монтаж разъёмов на плату	0,8	0,4
5	Пайка готовым припоем флюсовая тепловым контактом	0,8	0,7
6	Промывка	0,6	0,4
7	Обрезка	0,6	0,2
8	Свинчивание	0,9	0,8
9	Лакирование	0,6	0,4
10	Контроль неразрушающий оптический	0,4	0,1
11	Контроль функционирования	0,7	0,5

Комплексный показатель технологичности вычисляется по следующей формуле:

$$K_P = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i} \quad (3.1)$$

Где K_P – комплексный показатель технологичност;

K_i – базовый показатель технологичности;

φ_i – коэффициент значимости.

Комплексный показатель технологичности ТП изготовления одного устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» для заданного объема выпуска определяется на основании базовых показателей по следующей формуле:

$$K_P = \frac{2,5}{3,3} \approx 0,76 \quad (3.2)$$

Полученный комплексный показатель технологичности указывает на то, что производственный процесс подходит для среднего объема выпуска и имеет достаточно высокую степень автоматизации и стандартизации, но все же требует определенного уровня ручного труда или специализированного оборудования для достижения нужного качества.

3.3 Выработка рекомендаций по улучшению ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

В качестве возможных улучшений приведена FEO диаграмма процесса «Операции сборки» на рисунке 3.1. с точки зрения директора, стремящегося уменьшить затраты времени на изготовление устройства. В данной диаграмме отсутствуют работы «Пайка готовым припоем тепловым контактом» и «Монтаж разъёмов на плату». Считается, что пластиковые разъёмы не будут расплавлены при пайке волной припоя.

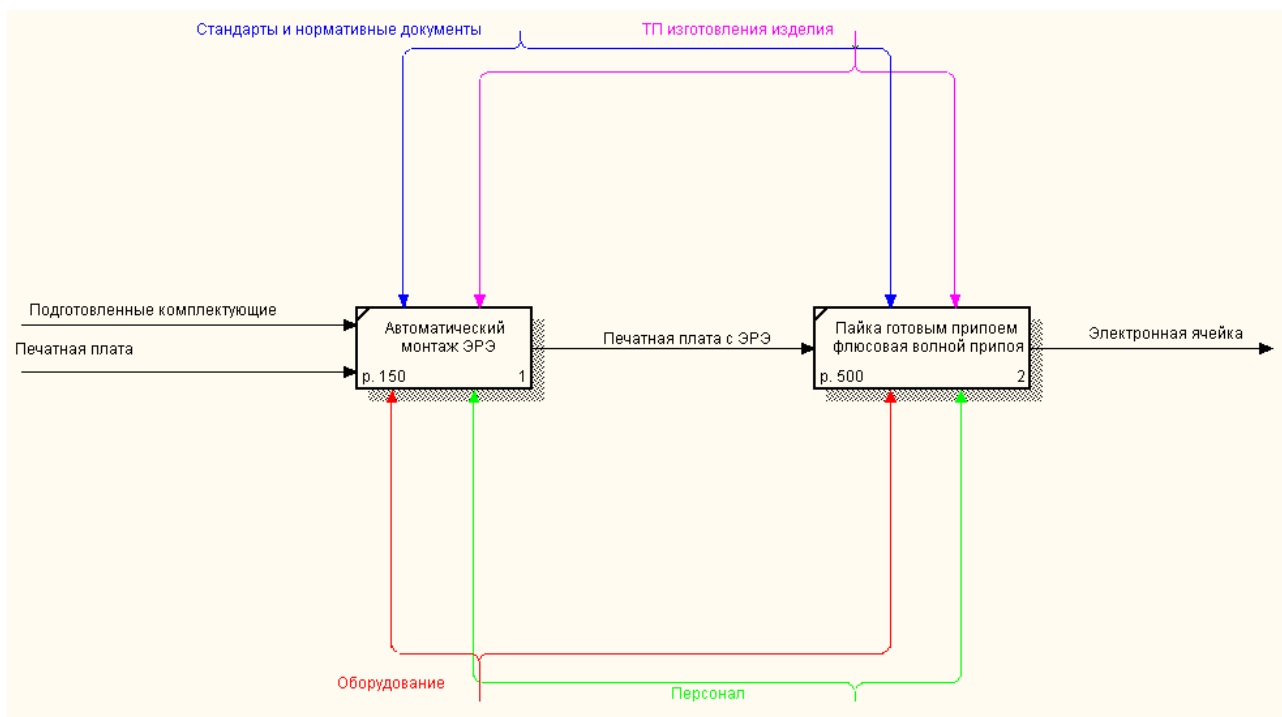


Рисунок 3.1 – FEO диаграмма

Введенные изменения позволяют сократить время и стоимость изготовления устройства на 440 секунд и 250 рублей. Поскольку данный процесс представлен с точки зрения директора, стремящегося уменьшить затраты времени на изготовление устройства, то он не учитывает итоговую выгоду предприятия в результате внедрения подобных изменений в производство. Для того, чтобы принять решение, выгодны ли такие изменения технологического процесса предприятию, необходим еще и взгляд с финансовой точки зрения на данную модель, для чего необходимо учесть стоимость внедрения нового оборудования, обучение нынешних сотрудников или найма новых.

Выводы

Проведен анализ и оптимизация ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» по интегральному и дифференциальному критериям.

Выявлены самая дорогостоящая («Пайка готовым припоем флюсовая волной припоя») и продолжительная операции («Формовка выводов»), и предложена диаграмма FEO с учетом результатов анализа и оптимизации, которые позволили сократить время и стоимость на 440 секунд и 250 рублей соответственно.

Разработанный технологический процесс удовлетворяет заданным временным и стоимостным требованиям.

4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

4.1 Выявление модели данных ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Разработанная структурно-функциональная модель принята за источник данных для разработки информационной модели. На основе анализа записей note и source работ выявлены объекты информационной модели.

Исходя из анализа технологического процесса и анализа разработанной структурно-функциональной модели «Изготовление устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» можно сделать вывод, что для реализации информационной модели необходимы следующие объекты:

- таблица для хранения информации о персонале,
- таблица для хранения информации о документации,
- таблица для хранения информации о комплектующих,
- таблица для хранения информации об оборудовании,
- таблица для хранения информации о негодных изделиях,
- таблица для хранения информации о дефектах,
- таблица для хранения информации о готовых изделиях.

На основе выявленных объектов информационной модели разрабатывается словарь сущностей и атрибутов.

4.2 Разработка словарей сущностей и атрибутов модели ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

На основе выявленных объектов информационной модели составляется словарь сущностей, указываются атрибуты сущностей (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Спецификация словаря сущностей ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

№ п/п	Имя сущности	Определение
1	employees	таблица для хранения информации о сотрудниках
2	documentation	таблица для хранения информации о документации
3	components	таблица для хранения информации о комплектующих
4	equipment	таблица для хранения информации об оборудовании
5	failure	таблица для хранения информации о негодных изделиях
6	defect	таблица для хранения информации о дефектах
7	products	таблица для хранения информации о готовых изделиях

Разработанный на основе анализа модели словарь атрибутов представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Спецификация словаря атрибутов ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Атрибуты сущности «employees»	
Имя атрибута	Определение
empl id	Уникальный номер сотрудника
empl name	Имя сотрудника
empl surn	Фамилия сотрудника
empl secn	Отчество сотрудника
empl job	Должность сотрудника
empl num	Номер мобильного телефона сотрудника
Атрибуты сущности «documentation»	
Имя атрибута	Определение
docs id	Уникальный номер документа
docs name	Название документа
docs type	Тип документа
docs date	Дата утверждения
docs auth	Автор документа
Атрибуты сущности «components»	
Имя атрибута	Определение
comp id	Уникальный номер радиоэлемента
comp name	Название компонента
comp type	Тип компонента
comp qua	Количество на складе
comp cost	Стоимость компонента
Атрибуты сущности «equipment»	
Имя атрибута	Определение
eqpt id	Уникальный номер оборудования
eqpt name	Название оборудования
eqpt type	Тип оборудования
eqpt date	Дата ввода в эксплуатацию
eqpt check	Дата последней проверки оборудования
Атрибуты сущности «failure»	
Имя атрибута	Определение
fail id	Уникальный номер случая брака
fail prds id	Уникальный номер изделия с браком
fail type	Тип брака
fail date	Дата обнаружения брака
fail res	Ответственный сотрудник
fail dfct id	Уникальный номер дефекта
Атрибуты сущности «defect»	
Имя атрибута	Определение
dfct id	Уникальный номер дефекта
dfct name	Название дефекта
dfct desc	Описание дефекта
dfct type	Тип дефекта
dfct date	Дата устранения дефекта

Продолжение таблицы 4.2

Атрибуты сущности «products»	
Имя атрибута	Определение
prds_id	Уникальный номер готового изделия
prds_date	Дата выпуска
prds_stat	Статус
prds_eqpt_id	Уникальный номер используемого оборудования
prds_empl_id	Уникальный номер сотрудника
prds_docs_id	Уникальный номер комплекта документов
prds_dfct_id	Уникальный номер дефекта оборудования

Затем осуществлен экспорт функциональной модели в информационную.

4.3 Проверка полноты словарей атрибутов и сущностей технологического процесса изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Для дальнейшего экспорта проведено сопоставление данных структурно-функциональной модели и созданных атрибутов и сущностей (рисунок 4.1), что позволило устранить возможную избыточность и дополнить недостатки. Сопоставление данных осуществляется в диалоге Arrow Data для стрелок/связей и Data Usage для работ.

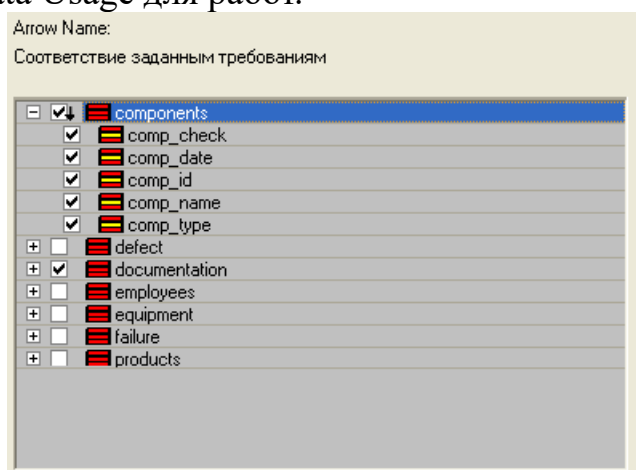


Рисунок 4.1 – Назначение стрелкам – сущностям соответствующей сущности из словаря структурно – функциональной модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

После создания словарей проведена проверка соответствия сущностей и атрибутов ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

4.4 Разработка логической информационной модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Осуществлен экспорт структурно-функциональной модели для разработки логической модель базы данных.

Результатом импорта словарей является набор сущностей с их атрибутами, представленных в нотации IDEF1X без связей и типизации информационной модели. На основе разработанных словарей сущностей и атрибутов разработана

логическая модель, отражающая взаимные зависимости между сущностями по определенным атрибутам. Логическая информационная модель базы данных ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» представлена на рисунке 4.2.

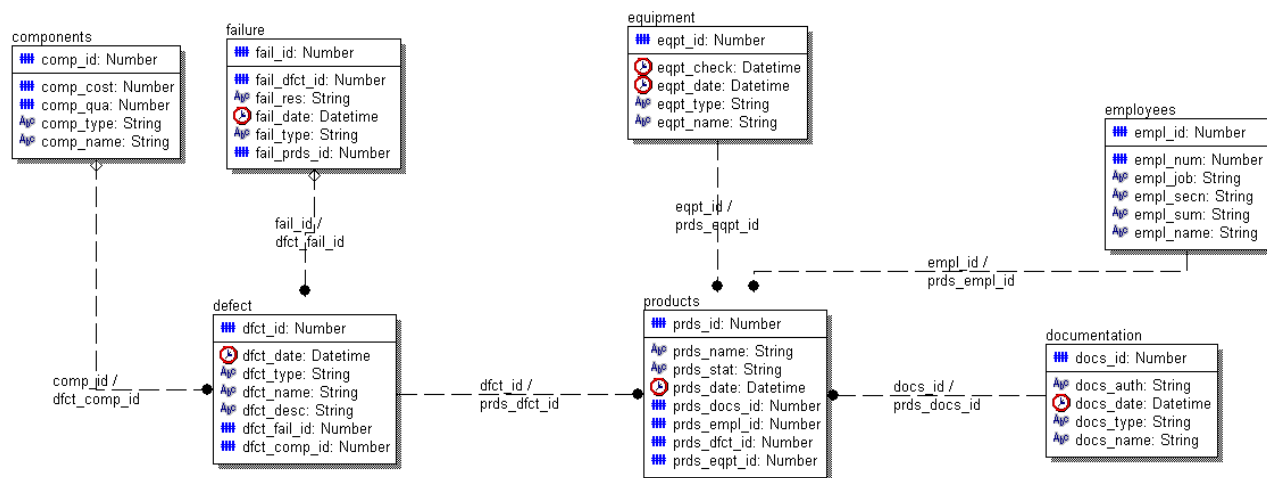


Рисунок 4.2 – Логическая модель БД ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Разработанная логическая модель базы данных является универсальной и не связана с конкретной реализацией СУБД.

4.5 Разработка физической информационной модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Для создания физической модели выбрана СУБД «Oracle», в соответствии с которой каждому атрибуту присвоен тип данных. Разработанная физическая информационная модель БД ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» представлена на рисунке 4.3.

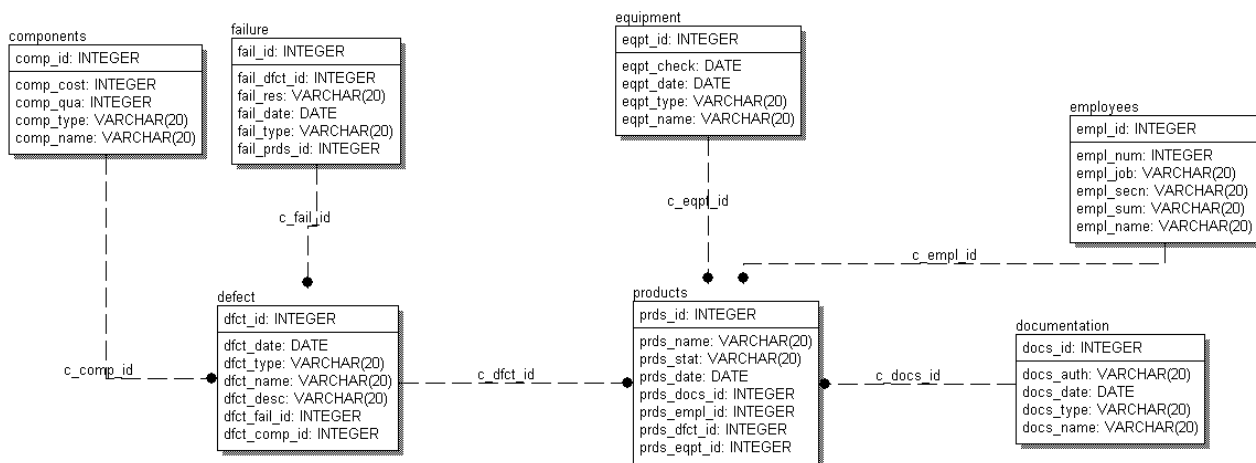


Рисунок 4.3 – Физическая модель БД ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

В таблице 4.3 представлена спецификация физической информационной модели базы данных.

Таблица 4.3 – Спецификация физической информационной модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Наим-е атрибута	Таблица	Тип данных	Ограничение
comp_id	Components	INTEGER	NOT NULL
comp_cost	Components	INTEGER	NULL
comp_qua	Components	INTEGER	NULL
comp_type	Components	VARCHAR(20)	NULL
comp_name	Components	VARCHAR(20)	NOT NULL
dfct_id	Defect	INTEGER	NOT NULL
dfct_date	Defect	DATETIME	NULL
dfct_type	Defect	VARCHAR(20)	NULL
dfct_desc	Defect	VARCHAR(200)	NULL
dfct_name	Defect	VARCHAR(20)	NOT NULL
docs_id	Documents	INTEGER	NOT NULL
docs_auth	Documents	VARCHAR(20)	NULL
docs_date	Documents	DATETIME	NULL
docs_type	Documents	VARCHAR(20)	NULL
docs_name	Documents	VARCHAR(20)	NOT NULL
empl_id	Employees	INTEGER	NOT NULL
empl_num	Employees	INTEGER	NULL
empl_job	Employees	VARCHAR(20)	NULL
empl_secn	Employees	VARCHAR(20)	NOT NULL
empl_surn	Employees	VARCHAR(20)	NOT NULL
empl_name	Employees	VARCHAR(20)	NOT NULL
eqpt_id	Equipment	INTEGER	NOT NULL
eqpt_date	Equipment	DATETIME	NULL
eqpt_type	Equipment	VARCHAR(20)	NULL
eqpt_name	Equipment	VARCHAR(20)	NOT NULL
eqpt_check	Equipment	DATETIME	NULL
fail_id	Failure	INTEGER	NOT NULL
fail_res	Failure	VARCHAR(20)	NOT NULL
fail_date	Failure	DATETIME	NULL
fail_type	Failure	VARCHAR(20)	NULL
fail_dfct_id	Failure	INTEGER	NULL
fail_prds_id	Failure	INTEGER	NOT NULL
prds_id	Products	INTEGER	NOT NULL
prds_stat	Products	VARCHAR(20)	NOT NULL
prds_date	Products	DATETIME	NOT NULL
prds_name	Products	VARCHAR(20)	NOT NULL
prds_eqpt_id	Products	INTEGER	NOT NULL
prds_empl_id	Products	INTEGER	NOT NULL
prds_dfct_id	Products	INTEGER	NOT NULL
prds_docs_id	Products	INTEGER	NOT NULL

На этап создания физической информационной модели каждому атрибуту сущности был присвоен тип в соответствии с возможностями СУБД «Oracle». Результатом работы является структура физической информационной модели, которая представлена на рисунке 4.3.

4.6 Листинг SQL кода модуля информационной модели ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

В таблице 4.4 представлен листинг кода SQL для создания объектов базы данных модели ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» в СУБД «Oracle».

Таблица 4.4 – Листинг кода базы данных ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Код базы данных	Описание кода
<pre>CREATE TABLE components (comp_cost INTEGER NULL, comp_qua INTEGER NULL, comp_type VARCHAR(20) NULL, comp_name VARCHAR(20) NOT NULL, comp_id INTEGER NOT NULL);</pre>	Создание таблицы components
<pre>CREATE UNIQUE INDEX XPKcomponents ON components (comp_id); ALTER TABLE components ADD (CONSTRAINT XPKcomponents PRIMARY KEY (comp_id));</pre>	Создание первичного ключа для таблицы components
<pre>CREATE TABLE defect (dfct_date DATE NULL, dfct_type VARCHAR(20) NULL, dfct_desc VARCHAR(200) NULL, dfct_name VARCHAR(20) NOT NULL, dfct_id INTEGER NOT NULL,);</pre>	Создание таблицы defect
<pre>CREATE UNIQUE INDEX XPKdefect ON defect (dfct_id); ALTER TABLE defect ADD (CONSTRAINT XPKdefect PRIMARY KEY (dfct_id));</pre>	Создание первичного ключа для таблицы defect

Продолжение таблицы 4.4

<pre>CREATE TABLE documentation (docs_auth VARCHAR(20) NULL, docs_date DATE NULL, docs_type VARCHAR(20) NULL, docs_name VARCHAR(20) NOT NULL, docs_id INTEGER NOT NULL);</pre>	Создание таблицы documentation
<pre>CREATE UNIQUE INDEX XPK documentation ON documentation (docs_id); ALTER TABLE documentation ADD (CONSTRAINT XPKdocumentation PRIMARY KEY (docs_id)) ;</pre>	Создание первичного ключа для таблицы documentation
<pre>CREATE TABLE employees (empl_num INTEGER NULL, empl_job VARCHAR(20) NULL, empl_secn VARCHAR(20) NOT NULL, empl_surn VARCHAR(20) NOT NULL, empl_name VARCHAR(20) NOT NULL, empl_id INTEGER NOT NULL);</pre>	Создание таблицы employees
<pre>CREATE UNIQUE INDEX XPKemployees ON employees (empl_id); ALTER TABLE employees ADD (CONSTRAINT XPKemployees PRIMARY KEY (empl_id)) ;</pre>	Создание первичного ключа для таблицы employees
<pre>CREATE TABLE equipment (eqpt_check DATE NULL, eqpt_date DATE NULL, eqpt_type VARCHAR(20) NULL, eqpt_name VARCHAR(20) NULL, eqpt_id INTEGER NOT NULL);</pre>	Создание таблицы equipment

Продолжение таблицы 4.4

<pre>CREATE UNIQUE INDEX XPKequipment ON equipment (eqpt_id); ALTER TABLE equipment ADD (CONSTRAINT XPKequipment PRIMARY KEY (eqpt_id)) ;</pre>	Создание первичного ключа для таблицы equipment
<pre>CREATE TABLE failure (fail_dfct_id INTEGER NULL, fail_res VARCHAR(20) NOT NULL, fail_date DATE NULL, fail_type VARCHAR(20) NULL, fail_prds_id INTEGER NOT NULL, fail_id INTEGER NOT NULL);</pre>	Создание таблицы failure
<pre>CREATE UNIQUE INDEX XPKfailure ON failure (fail_id); ALTER TABLE failure ADD (CONSTRAINT XPKfailure PRIMARY KEY (fail_id)) ;</pre>	Создание первичного ключа для таблицы failure
<pre>CREATE TABLE products (prds_stat VARCHAR(20) NOT NULL, prds_id INTEGER NOT NULL, prds_date DATE NOT NULL, prds_dfct_id INTEGER NOT NULL, prds_eqpt_id INTEGER NOT NULL, prds_docs_id INTEGER NOT NULL, prds_empl_id INTEGER NOT NULL);</pre>	Создание таблицы products
<pre>CREATE UNIQUE INDEX XPKproducts ON products (prds_id); ALTER TABLE products ADD (CONSTRAINT XPKproducts PRIMARY KEY (prds_id)) ;</pre>	Создание первичного ключа для таблицы products

Продолжение таблицы 4.4

<pre>ALTER TABLE defect ADD (CONSTRAINT c_fail_id FOREIGN KEY (fail_id) REFERENCES failure) ;</pre>	Добавление внешнего ключа в таблицу defect соединяющего ее с failure
<pre>ALTER TABLE defect ADD (CONSTRAINT c_comp_id FOREIGN KEY (comp_id) REFERENCES components) ;</pre>	Добавление внешнего ключа в таблицу defect соединяющего ее с components
<pre>ALTER TABLE products ADD (CONSTRAINT c_empl_id FOREIGN KEY (prds_empl_id) REFERENCES employees) ;</pre>	Добавление внешнего ключа в таблицу products соединяющего ее с employees
<pre>ALTER TABLE products ADD (CONSTRAINT c_docs_id FOREIGN KEY (prds_docs_id) REFERENCES documentation) ;</pre>	Добавление внешнего ключа в таблицу products соединяющего ее с documentation
<pre>ALTER TABLE products ADD (CONSTRAINT c_eqpt_id FOREIGN KEY (prds_eqpt_id) REFERENCES equipment) ;</pre>	Добавление внешнего ключа в таблицу products соединяющего ее с equipment
<pre>ALTER TABLE products ADD (CONSTRAINT c_dftc_id FOREIGN KEY (prds_dftc_id) REFERENCES defect) ;</pre>	Добавление внешнего ключа в таблицу products соединяющего ее с defect

При помощи скриптов, описанных в таблице 4.4, производится создание таблиц БД ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах», согласно изображенной на рисунке 4.3 физической модели БД, назначаются тип каждого атрибута и ограничения по представленной в таблице 4.3 спецификации физической информационной БД, создаются первичные ключи по изображенной на рисунке 4.2 логической информационной модели.

4.7 Проектирование реестра ролей системы ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

На основании анализа структурно-функциональной модели и созданных словарей сущностей и их атрибутов разработана спецификация ролей системы электронного документооборота, представленная в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Спецификация ролей системы ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Наименование роли	Назначение роли
Администратор	Полный доступ к базе данных (create, read, insert, update, delete)
Работник предприятия	Добавление и чтение определённых полей БД (insert, read)

Согласно таблице 4.5, в разработанной базе данных имеются 2 роли: администратор, занимающийся отладкой и мониторингом БД, и работник предприятия, пользующийся данными из базы и вносящий новые в неё.

4.8 Проектирование шаблонов интерфейсных форм ТП устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

На основе результатов работ разработана модель пользовательского интерфейса модуля АСУ ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах», представленная на рисунке 4.4.

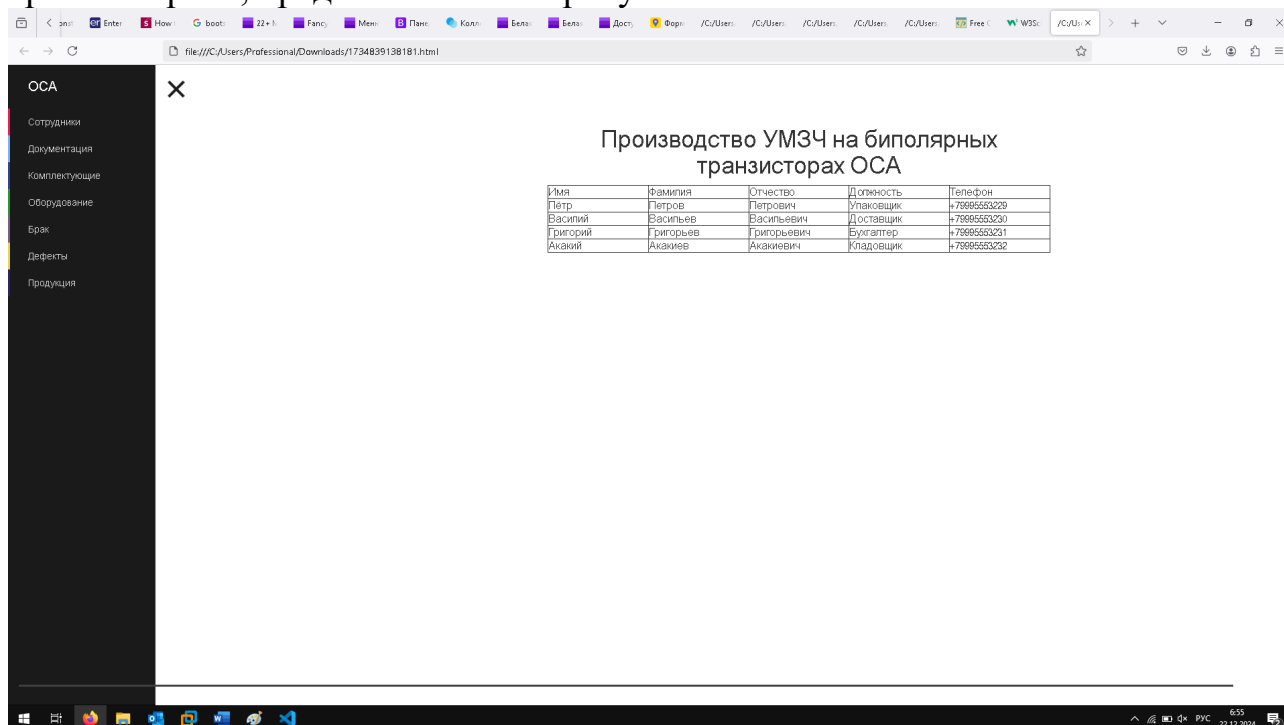


Рисунок 4.4 – Основная форма интерфейса модуля АСУ ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах»

Интерфейсная форма для регистрации нового сотрудника представлена на рисунке 4.5.

РЕГИСТРАЦИЯ

Имя
 Фамилия
 Отчество
 Должность
 Телефон
 Email
 Пароль
 Подтверждение

[ЗАРЕГИСТРИРОВАТЬ](#)

Рисунок 4.5 – Интерфейсная форма для регистрации нового сотрудника
Интерфейсная форма для входа представлена на рисунке 4.6.

АВТОРИЗАЦИЯ

E-mail
 Password ?
☐ Запомнить

[ВХОД](#)

Рисунок 4.6 – Интерфейсная форма для входа

В таблице 4.6 приведена спецификация элементов интерфейсных форм согласно бизнес-процессу, описанному в структурно-функциональной модели.

Таблица 4.6 – Спецификация элементов интерфейсной модели

Название эл-та формы	Описание действия	Связь с набором данных	Назначение
Кнопка «Сотрудники»	Переход на страницу с информацией о сотрудниках	Связь с таблицей «employees» (чтение, запись, изменение, удаление)	Контроль загруженности персонала, данные о сотрудниках

Продолжение таблицы 4.6

Название эл-та формы	Описание действия	Связь с набором данных	Назначение
Кнопка «Документация»	Переход на страницу с информацией о документации	Связь с таблицей «documentation» (чтение, запись, изменение, удаление)	Контроль документооборота
Кнопка «Комплектующие»	Переход на страницу с информацией о комплектующих	Связь с таблицей «components» (чтение, запись, изм-е, удал-е)	Информации о компонентах
Кнопка «Оборудование»	Переход на страницу с информацией об оборудовании	Связь с таблицей «equipment» (чтение, запись, изменение, удаление)	Контроль использования и загруженности оборудования и оснастки
Кнопка «Брак»	Переход на страницу с информацией о негодных изделиях	Связь с таблицей «failure» (чтение, запись, изменение, удаление)	Контроль изделий в браке
Кнопка «Дефекты»	Переход на страницу с информацией о дефектах	Связь с таблицей «defect» (чтение, запись, изм-е, удаление)	Информация о найденных дефектах
Кнопка «Продукция»	Переход на страницу с информацией о готовой продукции	Связь с таблицей «Product» (чтение, запись, изменение, удаление)	Контроль готовой продукции
Кнопка «Выйти»	Переход на страницу авторизации пользователя системы	Связь с таблицей «employees» (чтение, изменение)	Учет входа/выхода из системы
Кнопка «Регистрация»	Переход на страницу регистрации пользователя системы	Связь с таблицей «employees» (чтение, запись, изменение,)	Регистрация пользователей системы
Кнопка «Войти»	Переход на страницу базы данных	Связь с таблицей «employees» (чтение, запись)	Идентификация пользователей системы

Разработанный пользовательский интерфейс позволяет осуществлять навигацию по формам «Авторизация», «Сотрудники», «Документация», «Комплекующие», «Оборудование», «Брак», «Продукция».

В ходе работы осуществлена связь с элементами БД: чтение, запись, изменение, удаление.

Выводы

При разработке информационной модели выявлены следующие сущности: сотрудники (employees), документация (documentation), комплектующие (components), оборудование (equipment), негодные изделия (failure), дефекты (defect), готовые изделия (products).

На их основе разработан словарь сущностей и словарь атрибутов сущностей. Данные словари проверены путём сопоставления со структурно-функциональной моделью.

Разработана логическая и физическая информационные модели БД, структура которых представлены на рисунке 4.2 и 4.3 соответственно.

На основе физической информационной модели БД получены SQL-скрипты, которые приведены в таблице 4.4, для СУБД «Oracle».

Разработана модель пользовательского интерфейса модуля АСУ ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах». Модель основной формы интерфейса модуля АСУ представлена на рисунке 4.4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения домашнего задания по курсу «Основы системного анализа» разработаны концептуально-абстрактная, структурно-функциональная, информационная логическая и физическая модели АСУ ТП изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах».

Составлены модели процессов – структурно-функциональная декомпозиция процесса изготовления устройства «УМЗЧ на биполярных транзисторах» в нотации IDEF0. Разработка модели велась с точки зрения главного технолога. Выявлены основные особенности работы предприятия, представленные в виде четырёх работ: «Подготовительные операции», «Операции сборки», «Завершающие операции», «Операции контроля», - представленных на рисунке 2.2. Каждая из работ представлена на втором уровне декомпозиции.

Операция «Операции контроля» описана в нотации IDEF3 на рисунке 2.6, что позволило проследить последовательность выполнения работ и определить возможность их распараллеливания.

Проведены анализы по интегральному и дифференциальному критериям модели AS-IS, результаты которого представлены в виде таблицы 3.1 спецификации временных затрат и общих затрат на операции в таблице 3.3. Выполнен анализ по UDP критерию, в качестве которого выбран комплексный показатель технологичности, расчёт которого основан на таблице 3.9, равного 0,76. Согласно проведенным анализам, для изготовления одного устройства «УЗМЧ на биполярных транзисторах» необходимо 3030 секунд при общей стоимости 3365 рублей.

Основываясь проведенных анализах, предложена альтернативная точка зрения для модели ТО-ВЕ, представленная в виде FEO-диаграммы на рисунке 3.1. FEO-диаграмма представлена с точки зрения директора, стремящегося уменьшить затраты времени на изготовление устройства путём применения более производительного оборудования, упрощения подготовки комплектующих, изменения конструкции, снизив стоимость на 250 рублей и 440 секунд.

На основе созданной структурно-функциональной модели создана информационная модель, которая представлена в виде логической информационной модели на рисунке 4.2 и физической информационной модели на рисунке 4.3.

Итогом работы являются полученные SQL-скрипты (инсталляционный комплект) для создания спроектированной БД.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Билибин К.И., Власов А.И., Макачук В.В., Мысловский Э.В., Парфенов О.Д., Пирогова Е.В., Шахнов В.А., Шерстнев В.В. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры. - М.: Мзд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. Сер. Информатика в техническом университете. (Издание второе, переработанное и дополненное). 2005. 568 с.
2. Власов А.И., Лыткин С.Л., Яковлев В.Л. Краткое практическое руководство разработчика информационных систем на базе СУБД ORACLE. - М.: Изд-во Машиностроение. Сер. Библиотечка журнала "Информационные технологии". 2000. 64 с.
3. Артемьев Б.В., Костиков В.Г., Шахнов В.А. Источники электропитания в приборостроении - М.: Мзд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. Серия Библиотека «Приборостроения». Том 7. 2023. 430 с.
4. Михайлов В.П., Моисеев К.М., Панфилов Ю.В. Высоковакуумные технологические процессы в приборостроении - М.: Мзд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. Сер. Библиотека "Приборостроение". Том 2. 2023. 214 с.
5. Андреев В.В., Жалнин В.П., Столяров А.А. Физические основы микро- и наноэлектроники. - М.: Мзд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. Сер. Библиотека «Приборостроение» Том 3. 2023. 292 с.
6. Билибин К.И., Соловьев В.А. Проектирование технологических процессов в производстве электронной аппаратуры - М.: Мзд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2007. 76 с.
7. Камышная Э.Н., Маркелов В.В., Соловьев В.А. Конструкторско-технологические расчеты электронной аппаратуры - М.: Мзд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2014. 165 с.