

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения»

На правах рукописи



Иванов Максим Викторович

**Модели и методики цифровизации систем менеджмента качества
наукоемкого производства**

Специальность 2.5.22 - «Управление качеством продукции. Стандартизация.
Организация производства»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
Тушавин Владимир Александрович

Санкт-Петербург

2023

Содержание

Обозначения и сокращения.....	4
Введение.....	6
Глава 1. Разработка имитационной модели обмена информацией между участниками технического документооборота наукоемкого производства с применением элементов теории искусственных нейронных сетей.....	14
1.1 Состояние вопроса в области цифровизации системы менеджмента качества наукоемкого производства	14
1.2 Анализ причин возникновения несоответствий в процессах производства наукоемкой продукции приборостроительной организации.....	17
1.3 Обзор и критическая оценка подходов к моделированию предприятия... ..	22
1.4 Разработка ИМ ТДО с применением элементов теории ИНС	45
1.5 Выводы по главе 1	96
Глава 2. Разработка методики создания ИНС-модели и модернизация исследуемого маршрута согласования ТД в среде автоматизированной системы.....	100
2.1 Модернизация маршрута согласования ТД с помощью элементов теории искусственных нейронных сетей.....	100
2.2 Выводы по главе 2	109
Глава 3. Разработка методики улучшения качества процессов согласования технической документации	110
3.1 Разработка инструмента оценки готовности изделия к производству, реализованного на базе АС	110
3.2 Разработка методики улучшения качества процессов согласования ТД	115
3.3 Применение методики улучшения качества при внедрении модернизированного маршрута согласования ТД.....	119
3.4 Выводы по главе 3	123
Заключение	125

Список литературы	127
Приложение А	136
Приложение Б	139
Приложение В.....	145
Приложение Г	147
Приложение Д.....	149
Приложение Е.....	150
Приложение Ж.....	152
Приложение И	154
Приложение К.....	156
Приложение Л.....	157

Обозначения и сокращения

ETA	– анализ дерева событий (Event Tree Analysis)
FMEA	– анализ видов и последствий отказов (Failure Mode and Effects Analysis)
IDEF	– семейство методологий моделирования (Integrated DEFinition)
IDEF0	– методология функционального моделирования
PDM	– система управления данными об изделии (Product Data Management)
QFD	– структурирование функции качества (Quality Function Deployment)
АС	– автоматизированная система
ВП	– ведомость покупных изделий
ВУН	– ведомость удельных норм
ДЕ	– деталь
ИМ	– имитационная модель, имитационное моделирование
ИНС	– искусственная нейронная сеть
ИТ	– информационные технологии
ККД	– комплект конструкторской документации
КТД	– комплект технологической документации
КТТП	– карты типовых технологических процессов
КЭ	– карты эскизов
МК	– маршрутные карты технологических процессов
МЦК	– межцеховая кооперация
МЧ	– монтажный чертеж
НЗП	– незавершенное производство
НИОК	– научно-исследовательские
Р	и опытно-конструкторские работы
ПКИ	– покупные комплектующие изделия

НР	– нормы расхода
ОИНС	– обобщенная искусственная нейронная сеть
ООП	– объектно-ориентированное программирование
ОТК	– отдел технического контроля
ППр	– план производства
ПРп	– производственная программа
ПСП	– производственная спецификация
ПЭЗ	– перечень элементов
СБ	– сборочная единица
СМК	– система менеджмента качества
Сп	– спецификация
СТО	– стандарт организации
ТБ	– таблица соединений
ТД	– техническая документация
ТДО	– технический документооборот
ЦД	– цифровой двойник
Ч	– чертеж
ЭЗ	– схема электрическая принципиальная

Введение

Актуальность исследования: Согласно директивным документам Правительства Российской Федерации: «Прогноз научно-технологического развития РФ: 2030», утвержденный Правительством РФ 3 января 2014 года, а также Указ от 7 мая 2018 года №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» - создание и внедрение автоматизированных производственных систем, нацеленных на сокращение времени производственных процессов, является одним из приоритетных направлений технологического развития страны.

Усовершенствование существующих и создание новых средств управления процессами согласования технической документации (ТД) об изделии приборостроения, включающей в себя конструкторскую и технологическую документацию, является актуальной задачей и обусловлена включением направления систем автоматизированного и интеллектуального управления в стратегию развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденную распоряжением правительства Российской Федерации от 17 января 2020 года №20-р.

Основанием для проведения предлагаемого в диссертационной работе исследования процессов жизненного цикла ТД явилось выполнение на предприятии первоочередных мероприятий по цифровизации производственной деятельности, обусловленных Постановлением Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 328 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» и Распоряжением «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденным Правительством РФ от 28 июля 2017 года № 1632-р.

Согласно указанным документам, к приоритетным направлениям цифровизации приборостроительных предприятий относится процесс документооборота на стадиях проектно-производственного цикла.

Система технического документооборота (ТДО) осуществляет процессы актуализации, идентификации, защиты, восстановления и изъятия ТД в соответствии с требованиями стандартов ГОСТ Р ИСО 9000 и ГОСТ Р ИСО 9001, что делает ее частью системы менеджмента качества организации.

Для устранения возникающих в процессе производства изделий несоответствий, связанных с непредвиденными ошибками при проектировании ТД, должны быть использованы современные инструменты и средства, позволяющие существенно улучшить качество процесса ТДО и повысить его результативность.

Для создания имитационной модели (ИМ) ТДО предприятия на стадиях подготовки проектной, конструкторско-технологической документации, включая технологическую подготовку производства, особо актуально применение искусственных нейронных сетей (ИНС), ввиду особенностей организации обратной связи между элементами, позволяющих реализовать память предыдущих состояний системы в целях адаптации к внешним и внутренним изменениям системы.

Анализ государственных стандартов показывает, что, несмотря на достаточно хорошо развитую базу в области организации электронного документооборота, их принципы организации не могут быть в полной мере применены на производственных участках приборостроительных предприятий в условиях изменений процессов обработки входящей ТД, связанных с постоянным расширением номенклатуры выпускаемых мелкосерийных изделий.

Степень разработанности научной проблемы: Повышению качества процессов конструкторско-технологического документооборота организации

посвящен ряд работ как зарубежных, так и отечественных ученых. Большой вклад в развитие теории и методологии управления качеством и повышения результативности обработки и обмена данными внесли такие ученые как Азгальдов Г.Г., Варжапетян А.Г, Клячкин В.Н., Окрепилов В.В., Коршунов Г.И., Исикава К., Парето В., Деминг Э., Джуран Д., Кросби Ф., Тагути Г., Шухарт У. и др.

Также в работе использованы труды отечественных и зарубежных ученых и специалистов в области имитационного моделирования и искусственного интеллекта: Ванюшина В.А., Галушкина А.И., Емельянова В.Ю., Толмачева С.Г., Бенжио Й., Вербоса П., Лекуна Я., Мак-Каллока У., Питтса У., Розенблатта Ф., Румельхарта Д.Э., Хинтона Дж. и др.

Целью работы является улучшение качества процессов согласования технической документации (ТД) в рамках технического документооборота (ТДО) наукоемкого производства в среде автоматизированной системы (АС) путем повышения результативности за счет использования элементов теории искусственных нейронных сетей (ИНС). При этом необходимо решить следующие **задачи**:

1. Разработать имитационную модель обмена информацией между участниками ТДО наукоемкого производства с применением элементов теории ИНС.
2. Разработать модель маршрута согласования ТД на основе анализа предложенной имитационной модели с учетом возможностей среды АС в рамках СМК организации.
3. Разработать методику создания ИНС-модели исследуемого маршрута согласования ТД в среде АС.
4. Разработать методику улучшения качества процессов согласования ТД.

Объектом исследования является система технического документооборота приборостроительной организации, изготавливающей наукоемкую продукцию.

Предметом исследования является структура документооборота между этапами создания изделий, требующая улучшения по качеству обмена информацией между участниками процесса при реакции на возникающие несоответствия в процессе производства изделий.

В работе использованы методологии функционального моделирования IDEF0 и ИНС, их математический аппарат, а также методы объектно-ориентированного программирования (ООП), методы управления качеством.

Достоверность научных результатов исследования подтверждена корректным использованием математического аппарата искусственных нейронных сетей, методов функционального и имитационного моделирования, сходимостью теоретических и экспериментальных данных, результатами практического внедрения.

Область исследования соответствует паспорту специальности 2.5.22 – «Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства» по следующим пунктам:

- п. 4. «Инновации при разработке, развитии, цифровизации систем менеджмента качества (СМК) предприятий и организаций»;
- п. 22. «Разработка методов и средств организации производства в условиях организационно-управленческих, технологических и технических рисков»;
- п. 25. «Разработка моделей описания, методов и алгоритмов решения задач проектирования производственных систем, организации производства и принятия управленческих решений в цифровой экономике».

Основные положения, выносимые на защиту

1. имитационная модель обмена информацией о ТД на изделие между участниками ТДО приборостроительной организации, позволяющая описать систему ТДО в условиях реакции на возникающие в процессе производства изделий несоответствия с использованием элементов теории ИНС;

2. модель маршрута согласования ТД на основе анализа предложенной имитационной модели ТДО с учетом возможностей среды АС в рамках СМК предприятия;

3. методика создания ИНС-модели исследуемого маршрута согласования ТД в условиях появления несоответствий и оперативной реакции на них в среде АС на основе результатов работы имитационной модели с целью ее стандартизации;

4. методика улучшения качества процессов согласования ТД.

Научная новизна

1. предложена имитационная модель обмена информацией о ТД на изделие между участниками ТДО, отличающаяся от известных применением элементов теории ИНС в качестве инструмента моделирования систем;

2. предложена модель маршрута согласования ТД на основе анализа предложенной имитационной модели ТДО, отличающаяся от известных использованием возможностей среды АС в рамках СМК предприятия, меньшим количеством статусов ТД и возможностью параллельного согласования;

3. разработана методика создания ИНС-модели исследуемого маршрута согласования ТД в среде АС, отличающаяся от известных использованием элементов теории искусственных нейронных сетей, позволяющая определить структуру маршрута согласования ТД в условиях возникновения несоответствий в процессе производства изделий и оперативной реакции на них с целью ее стандартизации;

4. разработана методика улучшения качества процессов согласования ТД, отличающаяся от известных оценкой количества ошибок, позволяющей учитывать множественный возврат ТД на доработку в процессе согласования в условиях отсутствия цифровой связи с производством.

Практическая значимость полученных научных результатов состоит:

– в повышении результативности конструкторских и технологических отделов за счет увеличения производительности труда на 4-6% и снижения затрат на производство на 7-13%;

– в повышении результативности процесса согласования технологической документации сквозного производства путем сокращения жизненного цикла, реализуемого на нескольких производственных площадках предприятия, на 41%;

– в повышении действенности процесса согласования конструкторской документации на 20%;

– в применении разработанной методики улучшения качества процессов согласования технической документации, позволяющей повысить эффективность работы пользователей на 32%.

Апробация результатов: Основные результаты работы докладывались и обсуждались на VIII (2016 г.) и IX (2017 г.) общероссийской молодежной научно-технической конференции «Молодежь. Техника. Космос», на VI международной научно-практической конференции (школа-семинар) молодых ученых «Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук» (2020г.), на международной научно-технической конференции «Автоматизация» (RusAutoCon, 2020г.), на III международном форуме «Метрологическое обеспечение инновационных технологий» (МОИТ-2021), на международной конференции «Метрологическое обеспечение инновационных технологий» («International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies», ICMSIT-II-2021, 2021 г.).

Разработанная имитационная модель реализована в программном обеспечении, позволяющем проанализировать поведение ТДО в условиях постоянного возникновения несоответствий (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020611400, заявка № 2020610449 от 21.01.2020, положительное решение от 30.01.2020).

Личный вклад автора заключается в непосредственной разработке имитационной модели обмена информацией о ТД на изделие между участниками ТДО приборостроительной организации с применением элементов теории ИНС, в разработке модели маршрута согласования ТД на основе анализа предложенной имитационной модели с учетом возможностей среды АС в рамках СМК предприятия, в разработке методики создания ИНС-модели исследуемого маршрута согласования ТД в среде АС, в разработке методики улучшения качества процессов согласования ТД, в апробации и внедрении результатов исследования, а также публикации результатов диссертационной работы.

Публикации по теме диссертации: Основные результаты по теме диссертационной работы изложены в 15 печатных изданиях, 7 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, из них 5 – без соавторов, 2 работы в изданиях Международных реферативных баз данных и систем цитирования и 5 работ в других изданиях. Получено 1 свидетельство на регистрацию программ для ЭВМ.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 4 международных и 2 общероссийских научных конференциях.

Внедрение результатов исследования: Результаты основных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационном исследовании, использованы в ООО «НЕЛА», АО «Научно-производственное предприятие «Сигнал», Учреждении науки «Инженерно-конструкторский центр сопровождения эксплуатации космической техники», что подтверждено актами внедрения.

Результаты исследования также внедрены в образовательный процесс ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», АНО ДПО «Высшая школа современного образования».

Структура и объем диссертации:

Работа состоит из содержания, списка обозначений и сокращений, введения, 3 разделов, заключения, библиографического списка, содержащего 77 наименований и 10 приложений. Работа изложена на 157 страницах и содержит 87 рисунков, 7 таблиц.

В приложениях приведены наборы данных для обучения, программные коды реализации разработанных математических моделей, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ реализации математической модели и акты о внедрении разработки в производство.

Глава 1. Разработка имитационной модели обмена информацией между участниками технического документооборота наукоемкого производства с применением элементов теории искусственных нейронных сетей

1.1 Состояние вопроса в области цифровизации системы менеджмента качества наукоемкого производства

Наукоемкие производства включают в себя процессы осуществления НИОКР на всех стадиях жизненного цикла продукции [1], существенную роль в которых играют процессы актуализации, обновления, изъятия и передачи в производство технической документации (ТД), образуя систему технического документооборота (ТДО), что, согласно требованиям ГОСТ Р ИСО 9000 [2] и ГОСТ Р ИСО 90001 [3] к документированию информации, делает ее частью системы менеджмента качества (СМК) организации (рис.1).

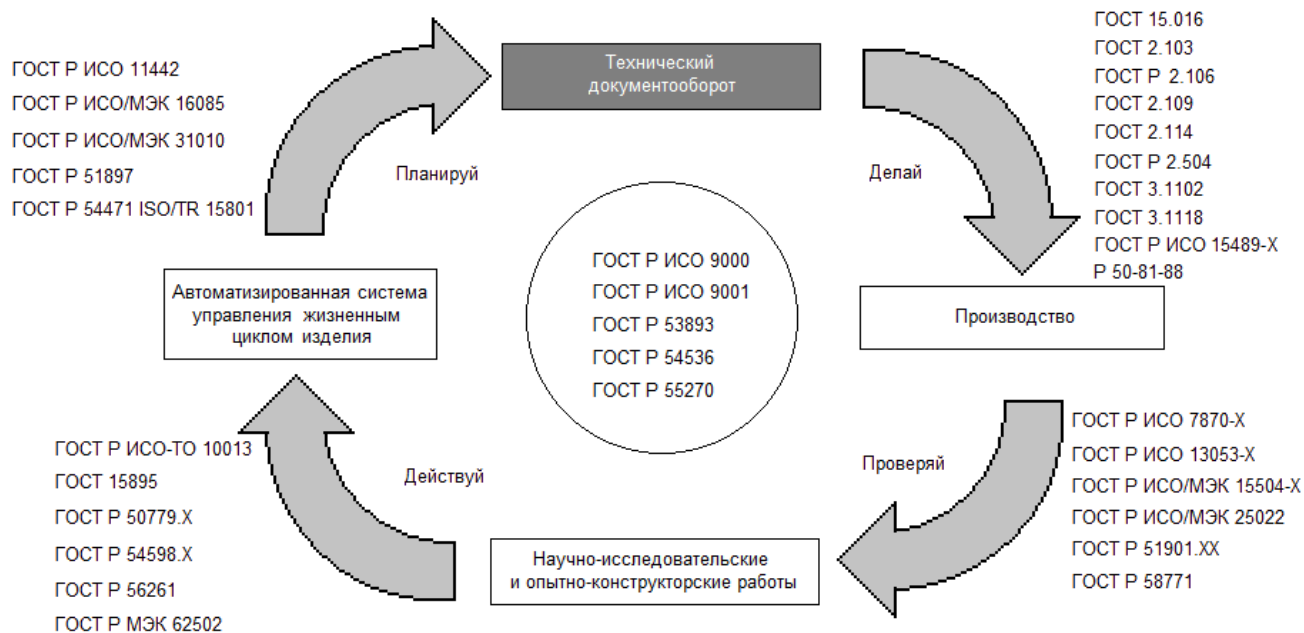


Рис.1 – СМК наукоемкого производства

В жизненном цикле изделия (рис. 2), согласно ГОСТ 2.103 [4], ТДО охватывает этапы разработки рабочей ТД с помощью автоматизированной

системы управления жизненным циклом изделия (PLM), изготовления и испытаний опытных образцов и корректировки ТД по результатам испытаний в соответствии с техническим заданием (согласно ГОСТ 15.016) [5] и техническими условиями (согласно ГОСТ 2.114) [6]. Передача ТД в производство осуществляется комплектно на бумажном носителе в соответствии с внутренними требованиями по информационной безопасности и контролю ответственности при производстве продукции (Р 50-81-88) [7]. Корректировка ТД осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 2.504 [8] в электронном виде.

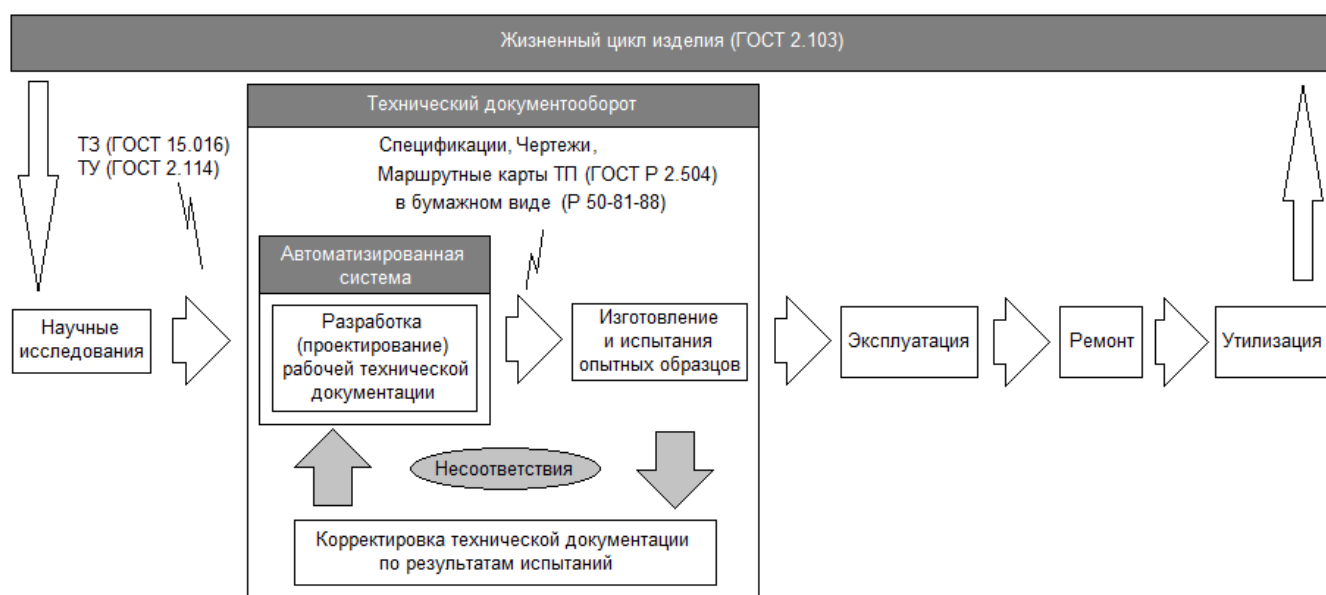


Рис.2 – Жизненный цикл изделия наукоемкого производства

При проектировании изделия непредвиденные ошибки, в основном выражающиеся в отсутствии указанных в технической документации материалов и покупных комплектующих изделий, порождают необходимость оперативной замены комплекта ТД на обновленную версию, увеличивая длительность производства продукции. Решением данного обстоятельства является использование комплекта ТД предыдущих версий, негативным образом сказываясь на качестве продукции, а также увеличивая вероятность

возникновения связанных с конструктивными особенностями изделия несоответствий. При превышении длительности разработки изделия допускаются отступление от требований внутренних стандартов и корректировка ТД производственными подразделениями организации. При этом создается дополнительный источник информации об изделии (рис.3).

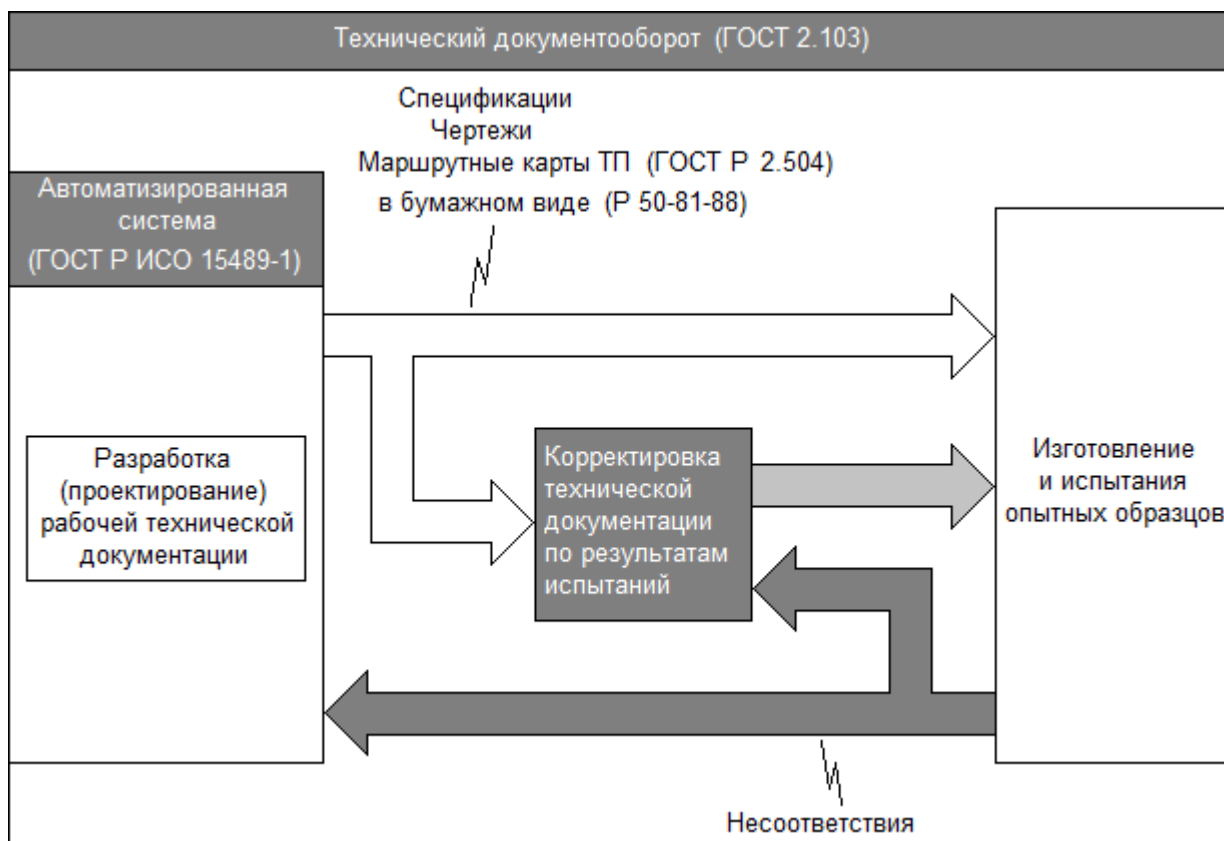


Рис.3 – Дополнительный источник информации об изделии в структуре ТДО наукоемкого производства

В совокупности с комплектной передачей на бумажном носителе ТД в производство (Р 50-81-88) возникает противоречие в обеспечении непрерывного обмена информацией об изделии и в обеспечении единого источника информации об изделии (ГОСТ Р ИСО 15489-1 [9]) между стадиями проектирования и производства. Разрешение данного противоречия может быть достигнуто с помощью увеличения результативности процессов согласования при разработке технической документации путем их модернизации.

1.2 Анализ причин возникновения несоответствий в процессах производства наукоемкой продукции приборостроительной организации

На предприятии ТД представлена конструкторской (чертежами на детали и сборочные единицы в соответствии с ГОСТ 2.109 [10], спецификациями - основной конструкторский документ в соответствии с ГОСТ 2.106 [11]) и технологической (карты эскизов в соответствии с ГОСТ 3.1105 [12], маршрутные карты технологических процессов - основной технологический документ в соответствии с ГОСТ 3.1118-82 [13]) документацией основного и сквозного (разрабатываемой на нескольких производственных площадках) производства.

Результатом анализа жизненного цикла ТД и ее передачи производство в соответствии с принятыми на предприятии стандартами построена контекстная диаграмма IDEF0 (рис.4).

Контекстная диаграмма показывает, что наиболее проблемным процессом является непосредственное производство изделия (блок А8). При возникновении несоответствий требуется исправление обнаруженных ошибок в ТД, для чего необходимо повторное согласование, что занимает значительное время. Длительность процесса согласования и ввода в действие ТД в случае возникновения несоответствий существенно увеличивается.

Результаты ЕТА- [14] (рис.5) и FMEA-анализа [15] (табл.1) показывают, что наибольшее влияние на процессы жизненного цикла ТД и ее передачи производство влияют ошибки при проектировании изделий, в основном вызванные отсутствием в ТД необходимых материалов и покупных комплектующих изделий, а также связанные с неоперативным обменом информацией об изделии между производственными цехами и отделами проектировки ТД, что доказывает необходимость модернизации процессов согласования ТД.

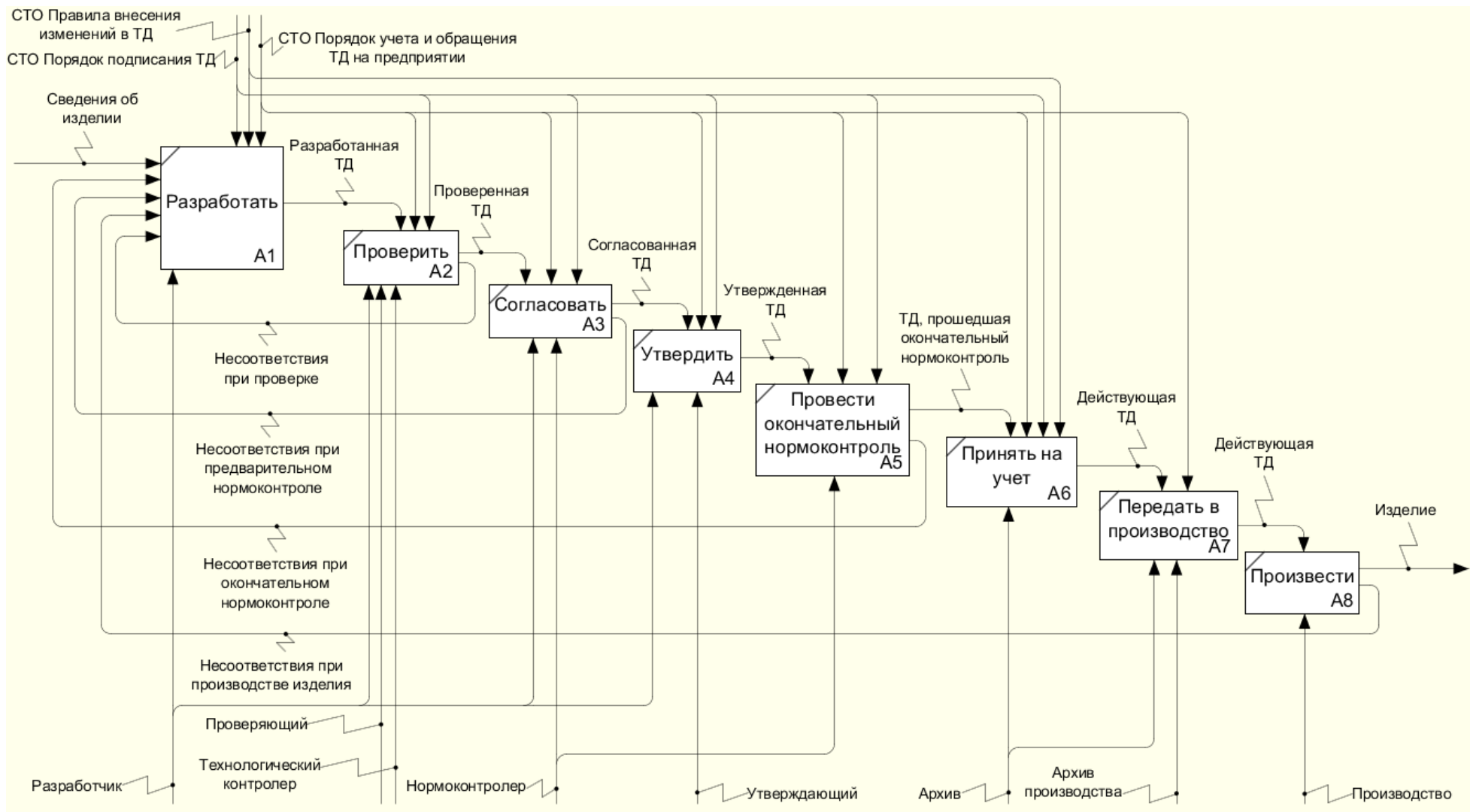


Рис.4 – Контекстная диаграмма возникновения несоответствий

Таблица 1 – Фрагмент FMEA-анализа процессов жизненного цикла ТД и ее передачи производство

Этап процесса ТДО	Вид несоответствия	Причины несоответствий	Последствия несоответствий	S	O	D	ПЧР
Производство изделий	Отсутствие материалов и ПКИ, указанных в ТД	Конструктивные особенности изделия, отсутствие или недоступность оборудования для обработки изделия	Снижение качества изделий вследствие использования альтернативных решений в производстве, в использовании ПКИ и материалов-заменителей	7	7	9	441
	Ошибки при проектировании изделия	Неоперативный обмен информацией об изделии между производственными цехами и отделами проектировки ТД	Задержки при производстве изделий	7	5	5	175
Согласование ТД	Превышение длительности согласования ТД	Отсутствие лица, участвующего в согласовании ТД, выявленные ошибки при проектировании изделия	Использование ТД предыдущих версий с увеличением вероятности возникновения несоответствий при производстве изделий	6	4	5	120
Принятие ТД на учет в архиве	Возврат ТД на доработку	Ошибки при формировании комплекта ТД для согласования	Повторное согласование ТД	5	3	2	30
	Ложный возврат ТД на доработку	Ошибки при проектировании основной или реквизитной части ТД		5	4	7	140

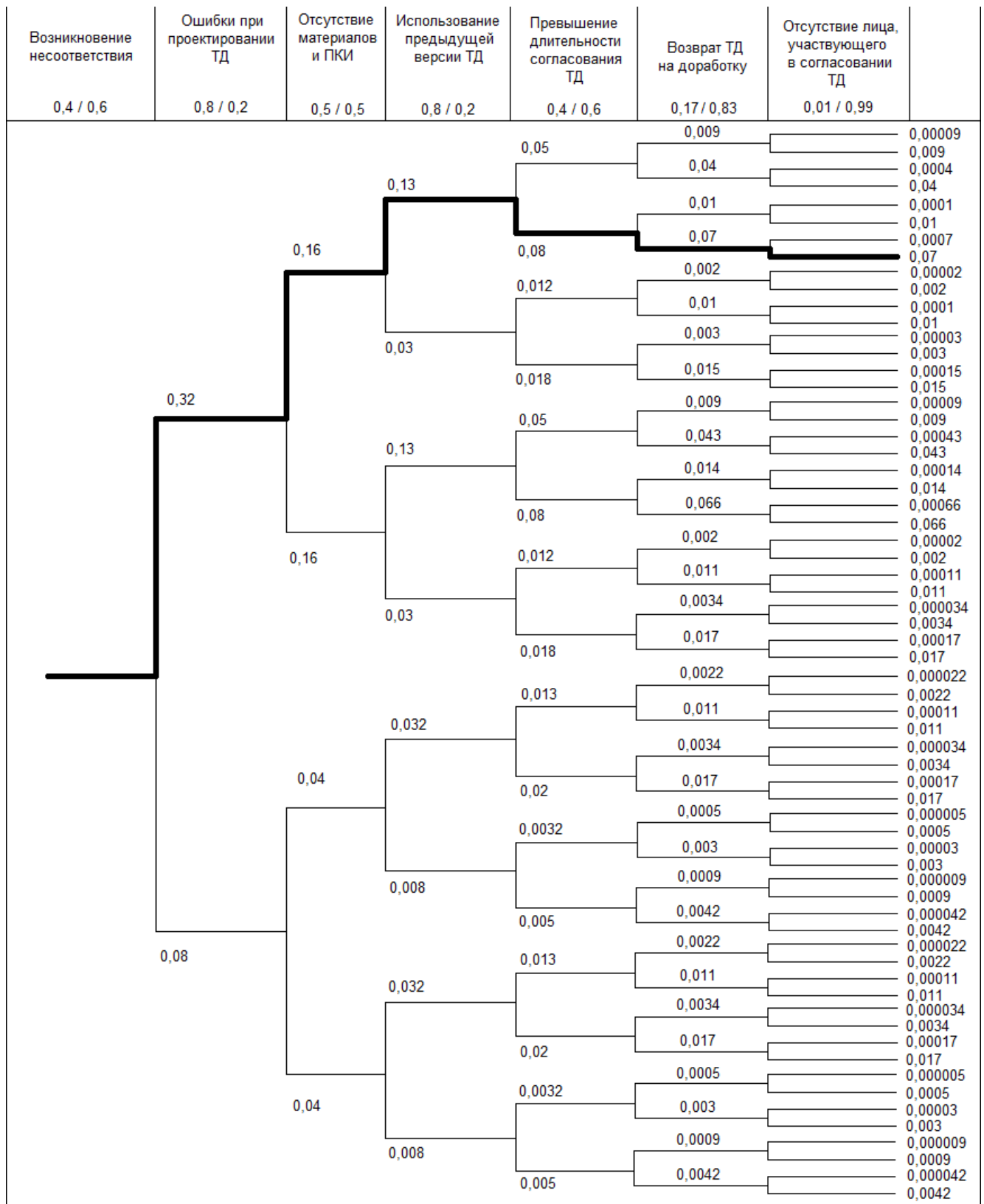


Рис.5 – ЕТА-анализ возникновения несоответствий в процессе производства

QFD-анализ (табл.2) предложенных альтернатив показывает, что наиболее предпочтительным вариантом является усовершенствование существующей системы ТДО. При этом, опрос экспертов показывает, что наиболее важной характеристикой разрабатываемого маршрута согласования ТД является снижение вероятности возникновения ошибок при проектировании ТД.

Таблица 2 – QFD-анализ возможных альтернатив реализации нового маршрута согласования ТД

Требования к маршруту согласования документации	Вес	Реализации маршрута согласования документации		
		Вернуться к бумажному документообороту	Усовершенствовать текущую систему электронного документооборота	Внедрить новую систему согласования электронной документации
Сократить длительность прохождения документации по маршруту согласования	0,15	3 / 0,45	9 / 1,35	3 / 0,45
Увеличить количество документации, вводимой в использование в производстве	0,3	3 / 0,9	3 / 0,9	1 / 0,3
Снизить вероятность возникновения ошибок при проектировании документации	0,55	1 / 0,55	3 / 1,65	3 / 1,65
Степень важности		1,9	3,9	2,4

По результатам проведенного анализа выявлено, что для улучшения качества исследуемого процесса необходимо провести модернизацию существующей системы согласования ТД в рамках СМК предприятия.

1.3 Обзор и критическая оценка подходов к моделированию предприятия

1.3.1 Сведения о IDEF0

Постоянное совершенствование и усложнение производственно-технических систем приводит к необходимости применения специальных средств их описания и анализа. Данная проблема приобретает особую актуальность

в связи с появлением автоматизированных предприятий и компьютеризированных производств, которые могут быть интегрированы в общую электронную среду.

Поэтому необходимо создание методов анализа производственных систем

и их проектирования, а также способов информационного обмена между занимающимися проблемами в данной области специалистами. Методология моделирования IDEF позволяет исследовать организационно-экономические и производственно-технические системы, их параметры, характеристики и структуру [16]. Одной из наиболее часто используемых частных методологий семейства IDEF является методология функционального моделирования IDEF0. Ее основу составляет графический язык описания систем, используемый для создания модели, отображающей функции системы и ее структуру, а также потоки материальных объектов и информации, преобразуемые функциями.

IDEF0 позволяет представить рассматриваемую систему в виде набора блоков, отражающих происходящие в системе процессы, операции и действия [17]. В IDEF0 все действия в системе или в ее элементах именуют

функциями. Каждой функции ставится в соответствие блок, который отображается прямоугольником на IDEF0-диаграмме. Стрелки представляют взаимодействия между блоками или с внешней средой, входят в блок или выходят из него. Условия, требующие одновременного выполнения при осуществлении функции, показываются входящими стрелками.

Информация о системе в форме традиционного текста, как правило, является неудовлетворительной, зачастую допускает неоднозначное толкование, содержит избыточные сведения, и т.д. С помощью графического языка становится возможным выявить дублирующие, ошибочные, избыточные связи, однозначно отразить все элементы системы и отношения между ними и т.п.

Методология функционального моделирования IDEF0 позволяет улучшить передачу сведений между разработчиками модели. Инструментами IDEF0 являются:

- диаграммы, основанные на графике блоков и стрелок, которые легко понимаются и читаются;
- сопроводительный текст и глоссарий, метки для описания стрелок и блоков, уточняющие смысл элементов диаграммы;
- иерархическая декомпозиция диаграмм, на верхнем уровне которой отражены основные функции, на нижних уровнях – уточняются и детализируются функции;
- древовидные структуры иерархии блоков и диаграмм, актуальные при моделировании систем огромного масштаба, обеспечивают обзорность общей модели и входящих в нее подмоделей.

Создание IDEF0-моделей предполагает соблюдения ряда правил, обеспечивающих целостность, однозначность и точность многоуровневых моделей. При разработке и корректировке моделей необходимо строго

соблюдать синтаксические и семантические правила графического языка, результаты необходимо документировать во избежание проблем с неполнотой или некорректностью документации при ее эксплуатации.

Создание IDEF0-модели является пошаговой процедурой. Каждый шаг необходимо обсуждать, рецензировать и редактировать вариант модели, предлагаемый каждым разработчиком. Данный цикл повторяется по достижению необходимого результата во всех отношениях варианта модели.

Во время разработки диаграмм необходимо избегать привязку функций исследуемого объекта к его существующей структуре во избежание навязанной организацией или ее руководством субъективной точки зрения. Результатом использования полученной модели должна явиться организационная структура. Сравнение результирующей модели с существующей структурой позволяет оценить ее адекватность, а также предложить направленные на совершенствование полученной организационной структуры решения.

Синтаксис языка представляет собой набор правил, характеристик и структурных компонентов языка, определяющие межкомпонентные связи, а именно: блоки и стрелки, диаграммы, правила. Функции представлены блоками и определяют процесс, действие, преобразование, операцию или деятельность. Связанные с функциями материальные объекты или данные отражены стрелками. Диаграммы обеспечивают формат словесного и графического описания объектов.

Блок описывает функцию, его наименование отражено глаголом или глагольным оборотом. Наглядность и выразительность отображения IDEF0-блока определяется присоединением входных, выходных, механизменных и управляющих стрелок к соответствующим сторонам блока. Для идентификации блоков на диаграмме используются их номера (рис. 6).

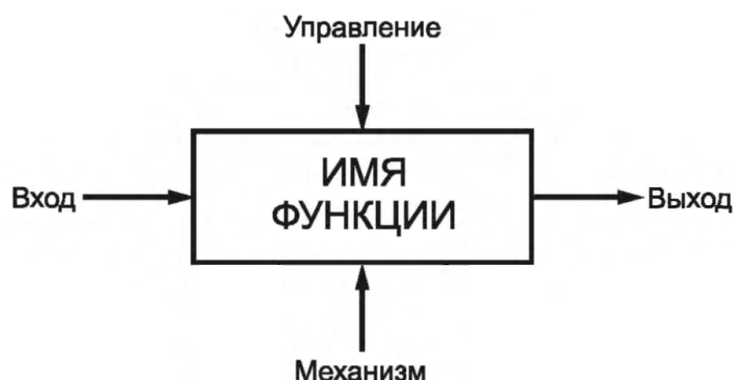


Рис.6 – Пример функционального блока по методологии IDEF0

Стрелки отражают функции данные (материальные объекты) для осуществления ее выполнения, поступающие на вход. Стрелки и их сегменты именуют существительными или их оборотами.

- стороны функционального блока имеет определенное назначение:
- на Входе - данные преобразуются или расходуются функцией для создания выходных данных;
- управление - условия, необходимые функции для производства правильного выхода;
- выход - материальные объекты или данные, произведенные функцией;
- механизм - вспомогательные данные при обработке Входа.

Стрелки с метками соединяются молниеобразной выносной линией.

Для представления функции контекстной диаграммы в виде более подробных диаграмм может быть проведена ее структурная декомпозиция на составные части, которая может быть продолжена вплоть до приемлемого уровня детализации системы.

Наиболее общее описание моделируемой системы обеспечивает диаграмма верхнего уровня, за ней следуют дочерние диаграммы с более детальным описанием исследуемого объекта.

Каждая модель имеет диаграмму высшего уровня - т.н. диаграмма А-0. На ней объект моделирования представляется в виде одного блока со

стрелками, отображающими связь моделируемой системы с окружающей средой. На данном уровне диаграммы устанавливаются область моделирования и ее границы (рис.7).

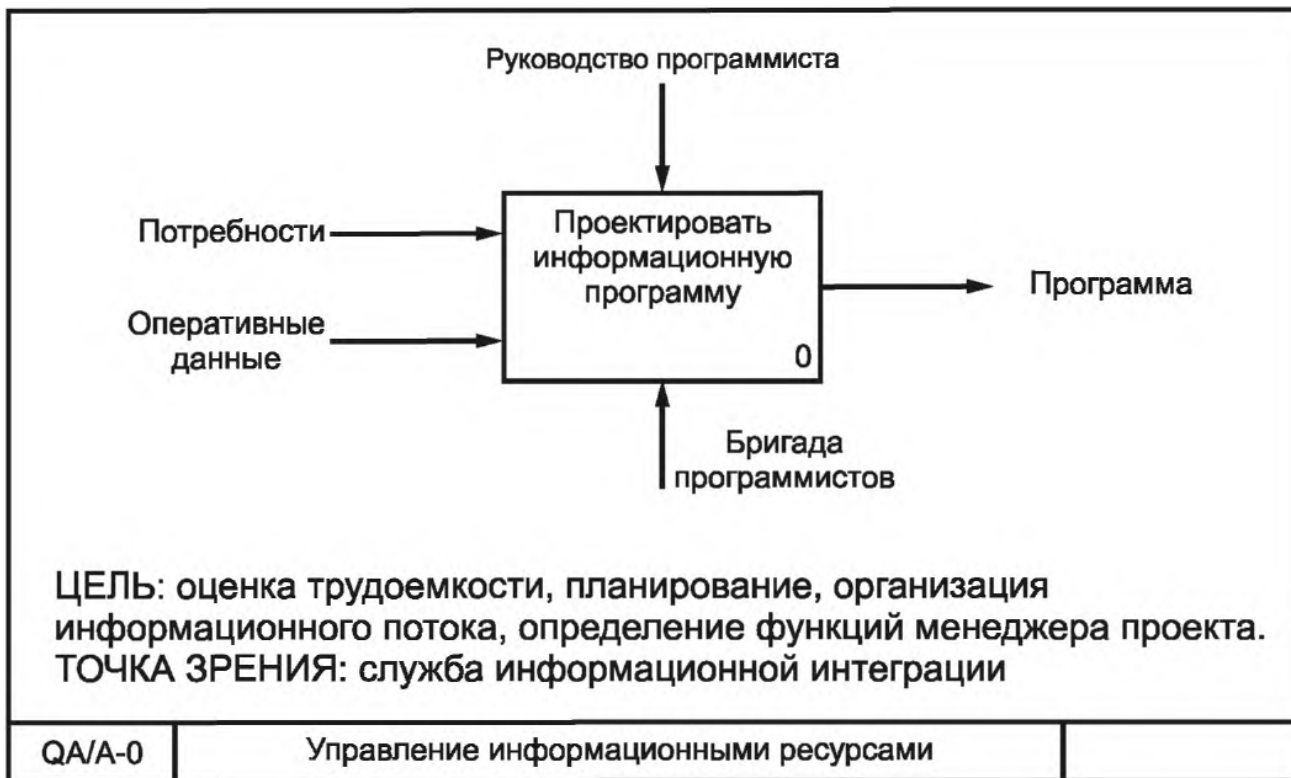


Рис.7 – Контекстная диаграмма А-0

При декомпозиции создаются дочерние диаграммы, охватывающие область родительского блока и описывающие ее более подробно (рис.8).

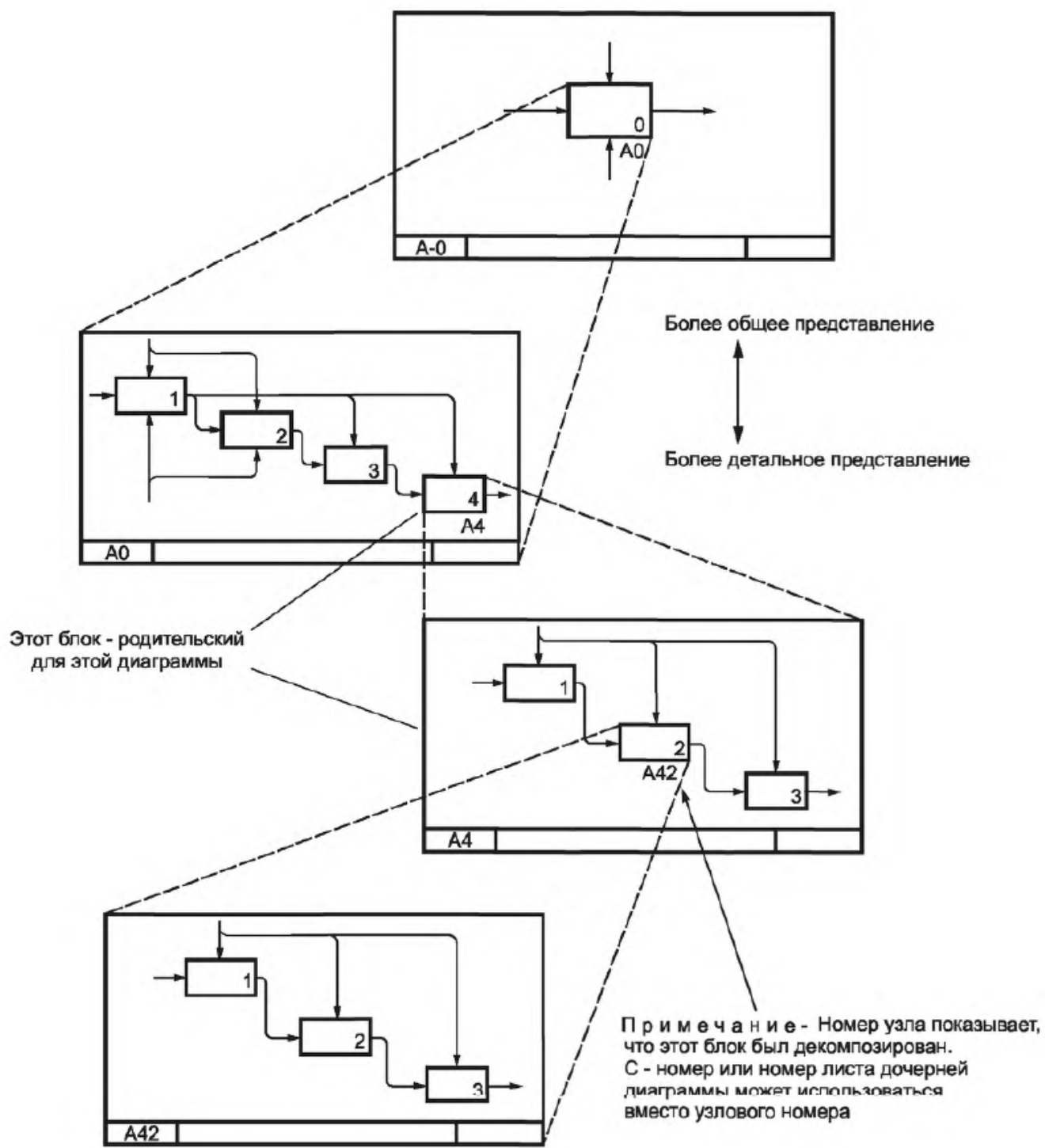


Рис.8 – Примеры дочерних диаграмм, полученных декомпозициями функциональных блоков

На верхних иерархических уровнях обычно отражаются наиболее важные свойства системы; данные свойства уточняются по мере декомпозиций функций верхних уровней.

Данные, представленные на диаграмме стрелками, одновременно задают ограничения или условия, выполняемые для реализации функции, представленной в виде имени блока, которые описываются управляющими и входными стрелками, соединяющие один блок с внешней средой или с другими блоками (рис.9).



Рис.9 – Пример условий выполнения функций

При удовлетворении необходимых ограничений (условий) возможно параллельное выполнение различных функций модели (рис.10).

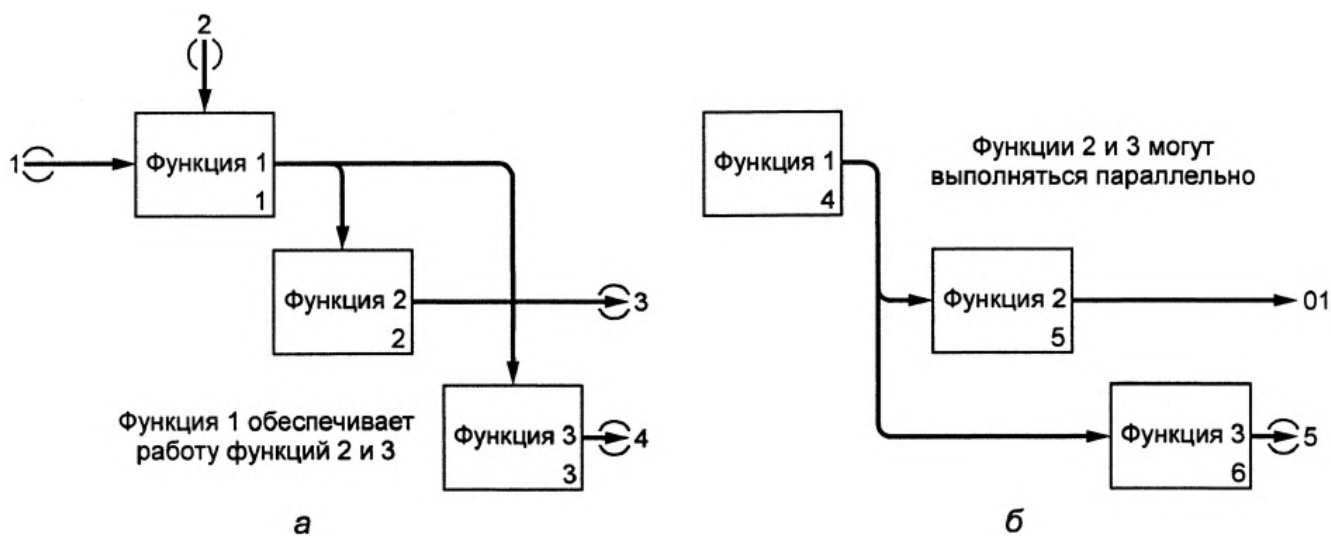


Рис.10 – Пример параллельного обеспечения (а) и выполнения (б) функций

С помощью ветвления и слияния стрелок возможно уменьшить загруженность диаграмм линиями.

Создание адекватных моделей, объективно отражающих предметную область, требует выполнения ряда условий:

- функциональная модель является результатом труда всех участников процесса создания модели;
- контекстные диаграммы всегда разрабатываются в строгом соответствии с IDEF0-методологией;
- моделирование – всегда итеративный процесс рецензирования модели и ее фрагментов;
- лишь с завершением работы над текущим уровнем контекстной диаграммы можно начинать работу со следующим уровнем декомпозиции.

1.3.2 Сведения об имитационном моделировании

Имитационное моделирование – создание модели на основе реальной объекта или системы, а также проведение экспериментов на ней с целью понимания поведения реального объекта или оценка различных стратегий для обеспечения функционирования данного объекта в рамках ограничений по одному или множеством критериев [18].

Информационные входы модели и соотношения между компонентами системы могут содержать подчиняющийся вероятностным законам элемент случайности.

Имитационное моделирование - экспериментальная и прикладная методология, ее целями являются:

- изучение поведения объекта и его описание;
- построение теорий и гипотез, объясняющих наблюдаемое поведение;

- предсказание на основе построенных теорий и гипотез будущего поведения системы.

В отличие от большинства технических методов, классифицирующихся в соответствии с научными дисциплинами, имитационное моделирование применимо в любой научной отрасли [19].

Использование и построение модели - один из основных элементов эффективного решения сложных задач. Модель представляется в разнообразных формах. Математическая форма, существенные черты которой выражаются посредством системы уравнений - наиболее употребительная и полезная. Но, ее создание не всегда возможно.

При экономической нецелесообразности или практической невозможности экспериментирования на реальных объектах контролируемые эксперименты проводятся с помощью применения имитационных моделей. Как правило, экспериментирование с системой - варьирование одной части параметров системы при поддержке неизменности другой части ее параметров, с наблюдением результатов эксперимента [20].

К математическим или символическим, относятся модели, в которых используются символьные представления вместо физических устройств для представления системы или процесса. Математическая модель является наиболее общей абстракцией представляемого объекта и, поэтому, находит широкое применение в системных исследованиях, идеализируя задачу и допуская некоторые упрощающие предположения.

Любая имитационная модель является «черным ящиком». Она обеспечивает выдачу результата системы при подаче на ее вход входного сигнала. Имитационные модели служат в качестве инструмента анализа поведения объекта в определяющихся исследователем условиях, но при этом не способны формировать собственное решение, как в аналитических моделях.

При невозможности исследования при экспериментировании с реальными объектами, исследователь рассматривает необходимость использования имитационного моделирования при наличии ряда условий:

- либо не существует законченной математической формулировки решаемой задачи, либо аналитические методы решения еще не разработаны (многие модели массового обслуживания относятся к данной категории);
- предпочтение в использовании отдается имитационному моделированию, как более простому способу решения задачи, если имеются аналитические методы, но используемые в них математические операции слишком сложны и трудоемки [21];
- при существовании аналитического решения задачи математическая подготовка исследователей недостаточна;
- если при сопоставлении затрат, связанных с привлечением специалистов-исследователей со стороны и затрат на испытание, проектирование и работу имитационной модели, применение имитационного моделирования является более предпочтительным.

При имитационном моделировании в течение определенного промежутка времени осуществляется наблюдательный контроль процесса моделирования, позволяя при этом контролировать течение времени изучаемого процесса.

Стоит учесть, что реальное положение вещей не отражается имитационной моделью в принципе, что может привести к неверному решению, если не были учтены некоторые свойственные имитации особенности.

Роль структурных элементов модели и их назначение определяется исследователем перед разработкой модели. Математически структура модели представляется в общем виде:

$$E = f(X, Y), \quad (1)$$

где E — результат действия системы; $X = (x_1, x_2, \dots, x_M)$ — управляемые переменные и параметры; $Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ — неуправляемые переменные и параметры; f — функциональная зависимость между элементами X и элементами Y .

Поведение переменных и параметров в пределах компонента, а также соотношения между компонентами системы выражаются функциональными зависимостями которые могут быть как детерминистскими (выход системы однозначно определяется ее), так и стохастическими (выход системы не определен или случаен).

Ограничивающие условия расходования и распределения тех или иных ресурсов или средств, например энергии, запасов, времени и т.п., или пределы изменения значений переменных — называются ограничениями. Они вводятся либо самой системой (естественные ограничения) вследствие ее свойств, либо разработчиком. Как правило, набором искусственных ограничений в системах являются предъявляемые к ним технические требования.

Имитационная модель всегда строится для достижения конкретной цели. Ее обоснованность и адекватность также оценивается в рамках поставленной цели. При этом необходимо, чтобы модель исследуемого объекта обладала близкими к реальному объекту свойствами.

Имитационная модель отражает структуру моделируемого объекта и его внутренние связи. Модель в смысле однозначного соответствия реальному объекту не является абсолютно точной, так как при ее создании вводятся абстракции реального объекта и его упрощения.

Процесс проверки и построения имитационных моделей состоит из трех основных перемежающихся между собой моментов:

- выдвижение гипотез о взаимодействии элементов объекта на основании имеющихся данных, включая наблюдения, результаты предшествующих исследований, интуитивные представления и соответствующие теории;
- проверка по возможности с помощью статистических тестов принятых допущений и гипотез;
- сравнения входов и выходов моделируемого и реального объекта.

Помощь руководителям в повышении качества управления системой – основная цель построения любой имитационной модели.

1.3.3 Сведения об искусственных нейронных сетях, их место в современной сфере ИТ

Концепция “Индустрия 4.0” характеризуется массовым внедрением информационных технологий в производстве и в сфере оказания услуг, одними из которых являются цифровые двойники (ЦД) реальных производств и искусственные нейронные сети (ИНС). ЦД показали себя в качестве незаменимого инструмента в создании и поддержке СМК предприятия. В рамках технического перевооружения производственных предприятий Российской Федерации использование ЦД становится обязательным условием для создания цифрового производства, обеспечивающего эффективное распределение и использование ресурсов, а также оптимизацию имеющихся производственных процессов. Для автоматизации управления производственными процессами предприятия

также применяются системы анализа больших данных и компьютерное зрение, основанные на технологии ИНС.

ИНС зарекомендовали себя как надежное средство автоматизации, обладающее свойствами органов восприятия человека и превосходящие по быстрдействию большинство алгоритмов распознавания и обработки данных. Область применения ИНС находит их универсальность, а процессы их создания, обучения и функционирования сопряжены со множеством случайных факторов, что представляет интерес с точки зрения имитационного моделирования.

В основе нейроинтеллекта лежит организация искусственных нейронных систем, имеющая биологическую основу [22]. Адаптация, самоорганизация и способность к обучению является большим преимуществом для биологических систем по сравнению с традиционными подходами и вычислительными системами.

Внешне биологическая нервная ткань является прототипом структуры искусственной нейронной сети (ИНС). Значительная доля терминов данной области заимствована из специализирующейся на исследовании функций человеческого мозга и памяти нейронауки [23].

Клетка с ядром, один или несколько проводящих электрические импульсы отростков (дендритов), а также выводящий импульс большой отросток (аксон) составляют структуру биологического нейрона (рис.11). Импульсы с аксона передаются на дендриты соседнего нейрона через пространство, называемого синапсом. Он рассматривается как точка соединения с принимающими сигналы дендритами (при этом связь именуется синаптической). Примечательной и уникальной способностью биологического нейрона является передача электрохимических сигналов по нервной ткани, их прием и обработка.

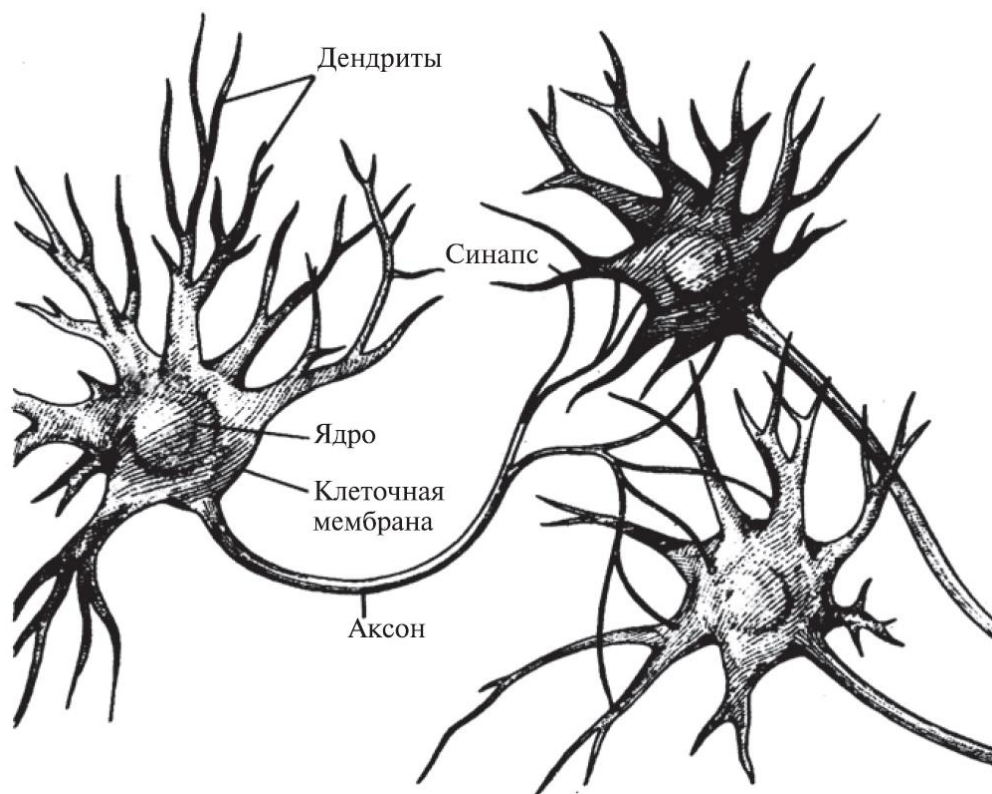


Рис.11 – Структура биологического нейрона

Проходящие через синапсы импульсы распространяются только в одном направлении. Нейрон оценивает их силу при получении; импульсы могут быть как проигнорированы, так и участвовать в возбуждении нейронов, некоторые – препятствуют возбуждению. Полученные со всех синапсов импульсы суммируются. Нейрон активируется при превышении условного порога суммарным импульсом, выдавая его на выход и далее посылая по аксону другим связанным с ним нейронам сигнал.

Возможность активации нейрона и интенсивность получаемого им сигнала значительно зависят от активности его синапсов.

Искусственный нейрон - основной элемент нейронной сети. Его модель впервые была представлена У. Мак-Каллоком и У. Питтсом в 1943г. [24]. Нейронный элемент нелинейно преобразует взвешенную сумму входных сигналов (или сумму произведений значений входящих сигналов на весовые характеристики каждого аксона искусственного нейрона):

$$y = F\left(\sum_{i=1}^N w_i x_i\right) = F(WX), \quad (2)$$

где $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)^T$ — числовой массив входных сигналов; $W = (w_1, w_2, \dots, w_N)$ — массив весов нейрона; F — нелинейная функция-преобразователь.

Функция активации нейрона - нелинейная преобразовательная функция в искусственном нейроне.

Искусственный нейрон состоит из последовательно соединенных блоков сумматора и нелинейного преобразователя F (рис.12).

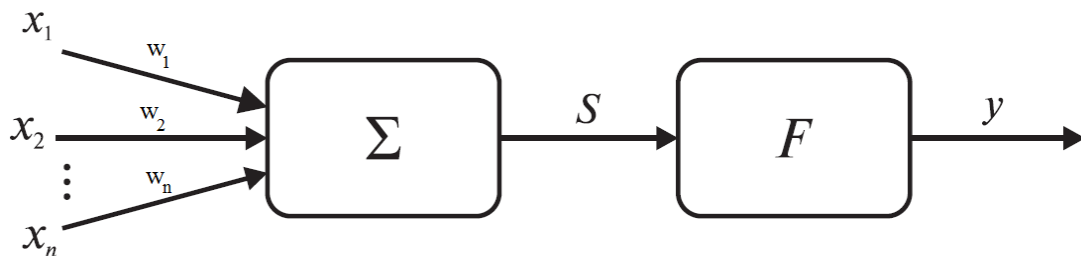


Рис.12 – Схема искусственного нейрона

Каждому входу x_i нейрона соответствует весовой коэффициент w_i (вес) - сила синаптической связи. Взвешенной суммой (S) именуют сумму произведений входных воздействий на весовые коэффициенты нейронного элемента, на вход которого подаются сигналы [25].

В качестве нелинейной функции преобразования используются различные функции, определяемые в соответствии с типом нейронной сети и решаемой ею задачей.

Искусственной нейронной сетью (ИНС) называется совокупность связанных между собой слоев. Слой ИНС — набор нейронов, в каждый такт времени параллельно принимающие данные от других нейронов сети [26].

Распределительный слой передает входные сигналы на обрабатывающий слой, который преобразует их с помощью синаптических связей и функций активаций (рис.13).

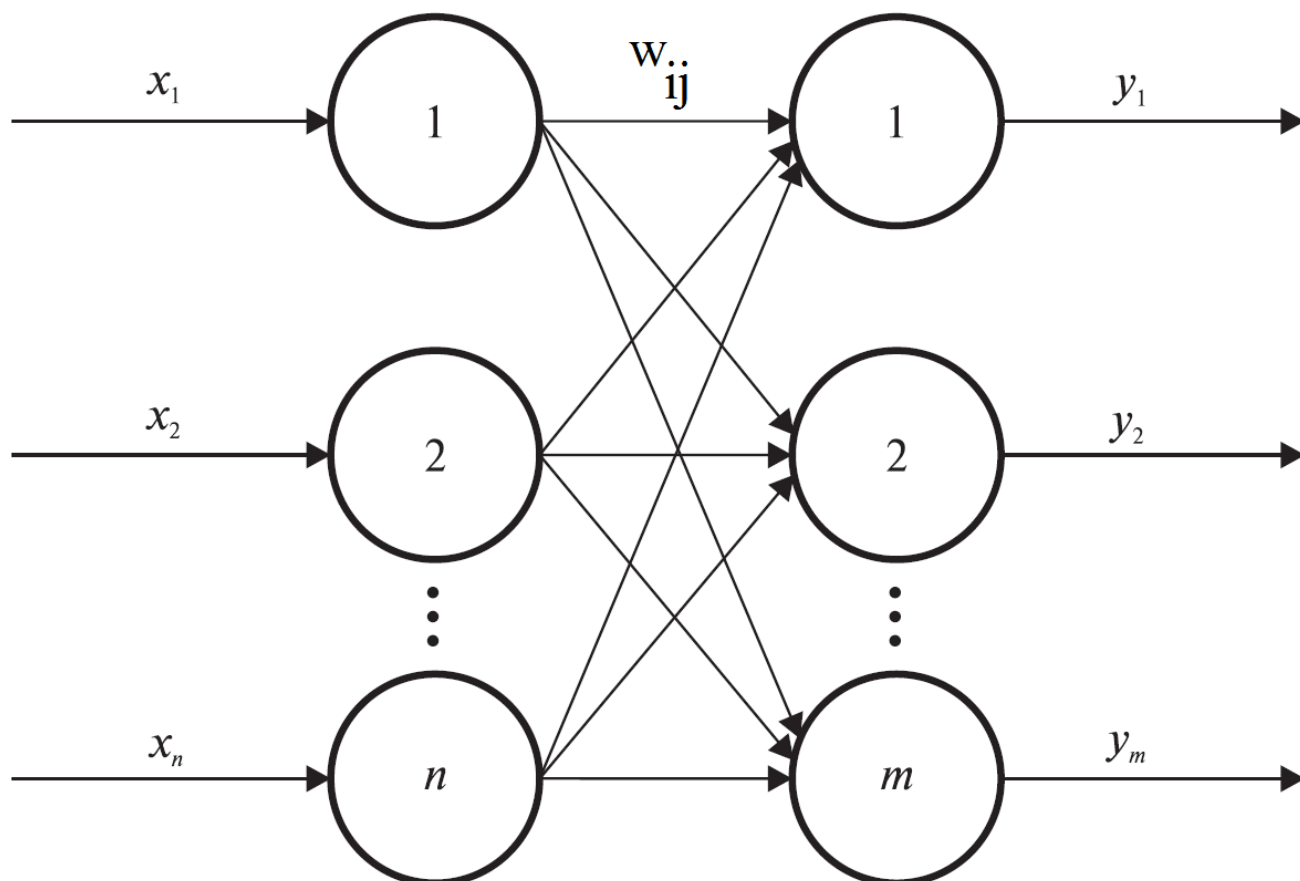


Рис.13 – Структура однослойной ИНС

В распределительном слое все нейроны имеют синаптические связи со всеми нейронами обрабатывающего слоя. Выходной сигнал j -го нейрона обрабатывающего слоя рассчитывается как:

$$y_j = F(S_j) = F\left(\sum_{i=1}^n w_{ij} x_i - T_j\right), \quad (3)$$

где x_i – величина сигнала на i -м нейроне входного слоя; w_{ij} — сила синаптической связи между i -м нейроном входного слоя и j -м нейроном выходного слоя; T_j — порог j -го нейрона обрабатывающего слоя.

Матрица $n \times m$ элементов представляет совокупность ИНС:

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1m} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \cdots & w_{nm} \end{bmatrix}.$$

Тогда взвешенная сумма вектора-столбца в матричном определяется как:

$$S = W^T X - T, \quad (4)$$

где T — вектор-столбец пороговых значений нейронов второго слоя.

Многослойные ИНС называются персептронами и способны отобразить любой массив входных сигналов в выходные [27].

В.А. Охониным и С.И. Барцевым, а также Дж. Хинтоном, Д. Румельхартом и Р. Вильямсом в 1986г. предложен алгоритм обратного распространения ошибки (backpropagation algorithm) - эффективное средство обучения многослойных персептронов [28].

До 2006г. считалось, что для решения большинства задач концепция персептрона с двумя скрытыми слоями достаточна. После принято, что персептрон с двумя и более скрытыми слоями более эффективен в решении различных задач, в результате чего появилось новое направление в области изучения нейронных сетей - «глубокие нейронные сети» [29]. Благодаря многослойной архитектуре, они позволяют анализировать и обрабатывать большие объемы данных, а также моделировать различные когнитивные

процессы [30].

Пример структуры многослойного персептрона представлен на рисунке 14.

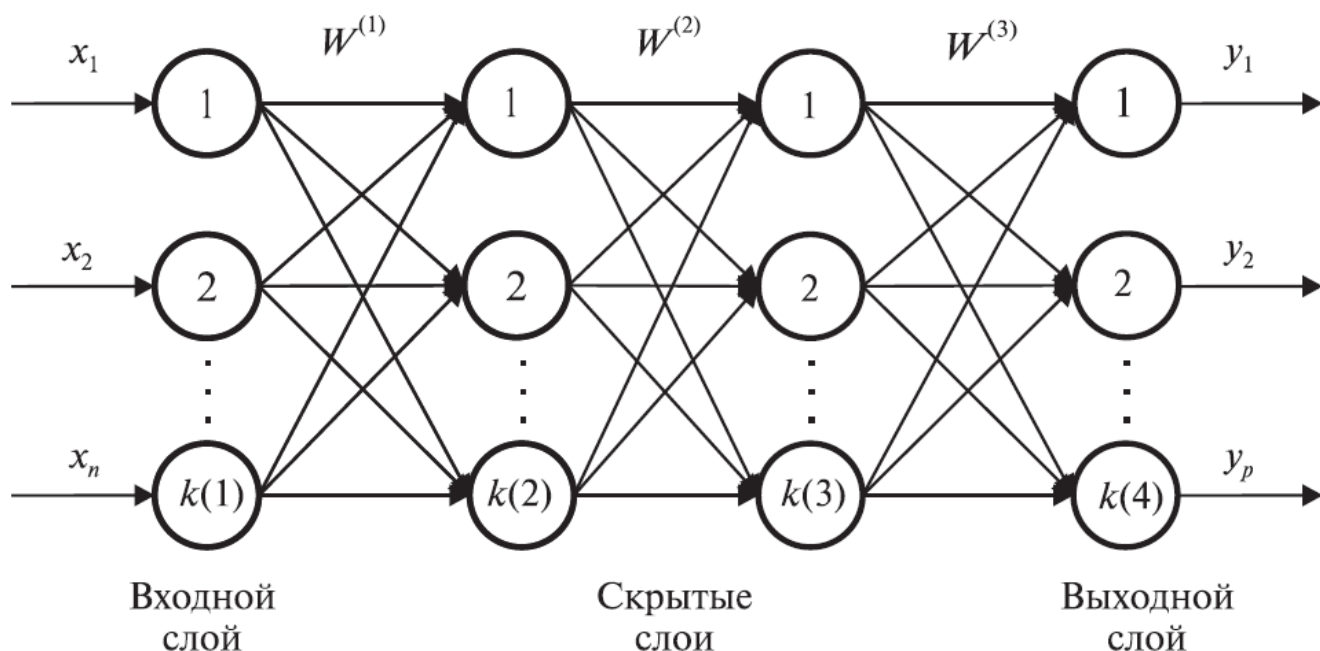


Рис.14 – Структура многослойного персептрона

Входной слой выполняет распределительные функции. Для выдачи результата обработки данных, полученных от предшествующих слоев, служит выходной слой. Между входным и выходным слоями нейронов расположены скрытые (или промежуточными) слои, которые также являются обрабатывающими [31]. Каждый выход нейрона предыдущего слоя синаптически связан со всеми входами нейронов следующего слоя.

Пусть $W^{(i)}$ — матрица весовых коэффициентов i -го слоя. Тогда выходные значения Y для ИНС с двумя скрытыми слоями определяются как:

$$Y = F(F(F(XW^{(1)})W^{(2)})W^{(3)}), \quad (5)$$

где $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ — массив входных данных; F —нелинейная преобразовательная функция.

Нейронные элементы первого промежуточного слоя выделяют примитивные признаки из данных, поступающих на вход ИНС. Второй

и последующие промежуточные слои нейронов представляют признаки более высокого уровня абстракции на основе агрегации признаков предыдущего скрытого слоя. Пространство признаков промежуточного слоя нейронов отображается последним слоем в соответствующие классы [32].

Обратное распространение ошибки является эффективным алгоритмом обучения многослойных нейросетей. Рассмотрим четырехслойную ИНС (рис. 15).

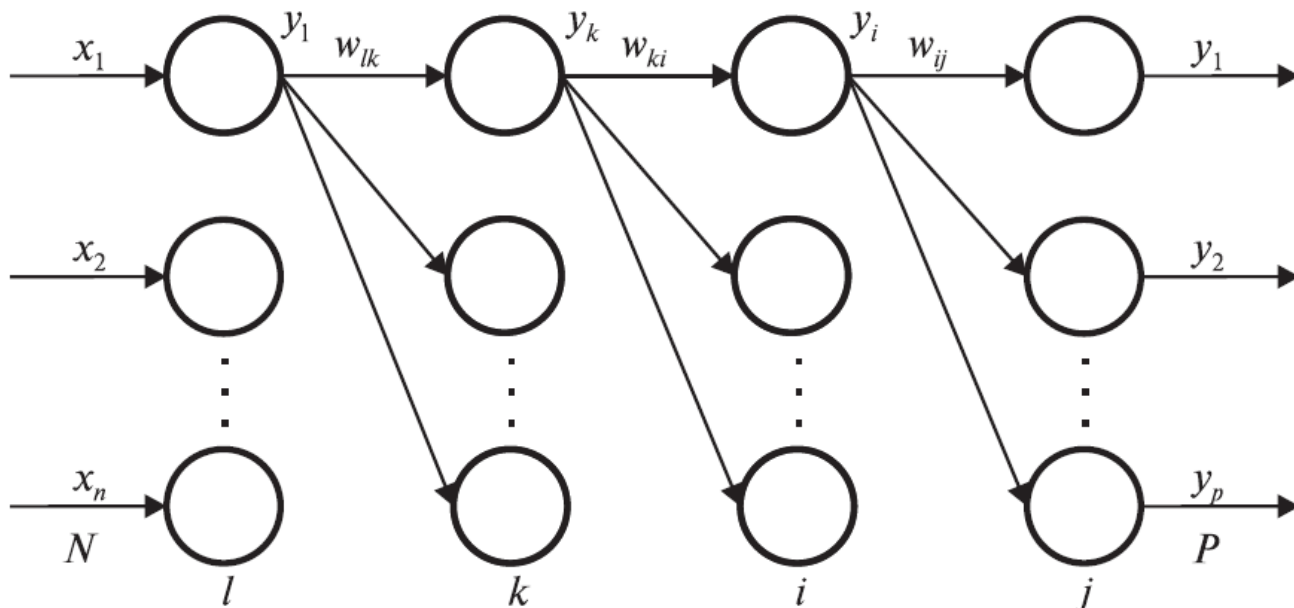


Рис.15 – ИНС с двумя скрытыми слоями

Пусть l, k, i, j - слои нейронной сети от входа к выходу соответственно.

Тогда сигнал j -го нейрона на выходном слое определяется как:

$$y_j = F(S_j), \quad (6)$$

$$S_j = \sum_i w_{ij} y_i - T_j, \quad (7)$$

где S_j — взвешенная сумма j -го нейрона последнего слоя; y_i — значение выходного сигнала i -го нейрона на предпоследнем слое; w_{ij} и T_j — весовой коэффициент (вес) и пороговое значение j -го нейрона выходного слоя соответственно.

Аналогично выходной сигнал i -го нейронного элемента

предпоследнего слоя:

$$y_i = F(S_i), \quad (8)$$

$$S_i = \sum_k w_{ki} y_k - T_i. \quad (9)$$

Соответственно для k -го слоя:

$$y_k = F(S_k), \quad (10)$$

$$S_k = \sum_l w_{lk} x_l - T_k, \quad (11)$$

Минимизация суммарной квадратической ошибки - суть алгоритма обратного распространения ошибки. Она характеризует разницу между эталонным и реальными значениями выходных сигналов для любого из образов тренировочной выборки данных:

$$E_s = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^L \sum_{j=1}^p (y_j^k - e_j^k)^2, \quad (12)$$

где y_j^k и e_j^k — реальное и желаемое значение ИНС для k -го образа соответственно; L — размерность тренировочной выборки.

Алгоритму обучения ИНС методом обратного распространения ошибки предполагает выполнение ряда действий:

1. Весам нейронов ИНС задаются случайные значения;
2. Определяется требуемая среднеквадратическая ошибка E_e ИНС;
3. Выбирается новая пара «входной сигнал – выходной сигнал» из тренировочного набора и подается на вход ИНС;
4. Фаза прямого распространения входного образа по ИНС: значение выходного сигнала всех нейронных элементов ИНС вычисляется следующим образом:

$$y_j = F\left(\sum_i w_{ij} y_i - T_j\right), \quad (13)$$

где i – индекс нейрона предыдущего слоя, j – индекс нейрона

последующего слоя;

5. Фаза обратного распространения сигнала: определяется ошибка γ_j , нейронов для всех слоев ИНС. Соответственно, для выходного и скрытого слоев:

$$\gamma_j = y_j - e_j, \quad (14)$$

$$\gamma_j = \sum_i \gamma_i F(S_i) w_{ji}, \quad (15)$$

где i - индекс нейронов следующего слоя, j - индекс нейронов предыдущего слоя (сигнал распространяется в обратном направлении: от выхода ко входу ИНС);

6. В каждом слое ИНС значения весов и порогов нейронов изменяются на:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) - \alpha \gamma_j F(S_j) y_j, \quad (16)$$

$$T_j(t+1) = T_j(t) - \alpha \gamma_j F(S_j), \quad (17)$$

где t – текущее значение параметра, $t+1$ – следующее значение параметра, $\alpha = const$ – параметр скорости обучения (подбирается вручную).

7. Последовательно из тренировочной выборки подаются входные образы $k = 1, L$ и вычисляется сумма квадратичной ошибки ИНС:

$$E_s = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^L \sum_j (y_j^k - e_j^k)^2, \quad (18)$$

где L - размерность выборки для тренировки ИНС;

8. Переходим к шагу алгоритма 3, если $E_s > E_e$. Повторяем алгоритм, пока суммарная квадратическая ошибка не станет меньше заданной ($E_s < E_e$), иначе - прекращаем алгоритм.

Алгоритм обратного распространения ошибки, несмотря на

многочисленные успешные применения, не является абсолютно надежным методом обучения ввиду следующих причин [33]:

1. Неопределенно долгий процесс обучения (иногда могут потребоваться недели) при расчете сложных данных, при этом ИНС может вообще не обучиться. Обычно, причиной этому служит неоптимальный выбор длины шага обучения, а также попадание в локальный минимум и паралич ИНС.

2. Паралич нейросети в процессе обучения, при котором значения весов при коррекции становятся очень большими величинами. Это приводит к тому, что все или большинство нейронов функционируют при очень больших значениях выходных сигналов нейронных элементов. Так как посылаемая обратно в процессе обучения ошибка пропорциональна выходному сигналу нейронного элемента, то процесс обучения замирает. Чтобы избежать этого, уменьшают значение скорости обучения в обмен на увеличенное время обучения.

3. Алгоритм обратного распространения непрерывно подстраивает веса в направлении к минимуму, осуществляя процесс нахождения минимального значения ошибки обучения. Иногда ИНС, при нахождении рядом более глубокого минимума функции ошибки, попадает в ее локальный минимум. Могут помочь избежать этого статистические методы обучения в обмен на длительность обучения.

4. В вопросе выбора размера шага обучения приходится опираться только на собственный опыт. При слишком малом значении шага сходимость алгоритма становится медленной, при больших же значениях появляется риск возникновения постоянной неустойчивости или паралича.

В настоящее время ИНС широко применяются в современной ИТ-сфере. Их поле деятельности охватывает следующие дисциплины:

- представление знаний - практически основа для всех остальных

направлений по искусственному интеллекту, поскольку любая подобная система основана на использовании знаний о конкретной предметной области.

- навигация и поиск пути в целевую точку из некоторой исходной.
- экспертные системы - программы анализа, выдающие консультации, диагнозы, советы, осуществляющие управление и классификацию [34]. Способны находить решение в плохо определенных задачах на основе дедуктивных рассуждений в узкой предметной области.
- средства общения с компьютером:
 1. перевод текста с одного языка на другой (Машинный перевод);
 2. информационный поиск - обеспечение доступа к данным в базе произвольного объема по заданной тематике;
 3. генерация документов определенной формы на специализированном языке и их преобразование в эквивалентный документ другой формы и на других языках.
 4. организация взаимодействие и диалога пользователя с роботом, экспертной системой или компьютером.
- Обучение компьютерных систем искусственного интеллекта выполнению типовых задач.
- Когнитивное моделирование, целью которого является разработка концепций, моделей и теории человеческого мышления.
- Робототехника. Здесь направления исследований следующие:
 - 1) машинное зрение - разработка систем восприятия и сенсоров, изучение проблем восприятия и обработки визуальной информации [35];
 - 2) создание роботизированных манипуляторов и их систем управления;
 - 3) планирование деятельности роботов с помощью выявления эвристик для решения задач по перемещению в пространстве.

1.4 Разработка ИМ ТДО с применением элементов теории ИНС

1.4.1 Сравнение подходов IDEF0, ИМ и ИНС

Для создания действующей модели предприятия необходимо использовать подход к моделированию, максимально отражающий реальные свойства исследуемого объекта [36].

Методология функционального моделирования IDEF0 по большей части отвечает данным требованиям: она позволяет наглядно отображать структурные элементы и связи между ними, проводить декомпозицию структурных элементов, порождая контекстные диаграммы нижних уровней, а существующие контекстные ограничения способствуют четкому представлению предметной области задачи моделирования.

Существенными недостатками методологии IDEF0 являются:

- необходимость пересмотра всей модели и изменение структуры каждой ее части на нижних уровнях вложенности вследствие отсутствия адаптации созданной модели к изменениям внутренней и внешней среды;
- созданная модель лишь словесно описывает выполняемые внутри системы функции, что делает невозможной реализацию полученной модели в виде программы для моделирования на ЭВМ;
- связи между элементами носят качественный, но не количественный характер.

Имитационное моделирование также предполагает декомпозицию сложных задач до приемлемого уровня, связи между элементами могут иметь как количественный характер, так и качественный, выраженный в количественном отношении. Также возможно описать условия, при которых происходит то или иное событие внутри моделируемой системы. Данный

подход предполагает реализацию созданной модели в виде программы для ЭВМ.

Из недостатков имитационного моделирования следует выделить:

- отсутствие контекстных ограничений, определяющих границы рассматриваемой предметной области задачи и помогающих оценить глубину декомпозиций рассматриваемых функций системы. Исследователь должен субъективно определить данные ограничения;
- качественные отношения в количественном выражении также определяются исследователем субъективно;
- поскольку описание модели происходит с помощью математических соотношений, то для наглядности требуется также создание словесного описания полученной модели, дублирующее математическое;
- как и в случае с методологией IDEF0, функции имитационной модели не предполагают ее адаптации к изменениям внешней и внутренней среды, исследователь субъективно предусматривает реализацию такой возможности, что ведет к значительным изменениям структуры разрабатываемой модели.

В среде отечественной научной литературы предпринята успешная попытка применить аппарат искусственных нейронных сетей [37] как отдельного элемента в системах к решению практических задач [38].

Применение нейросетей обычно ограничивается организацией памяти человека, а также ее производных (например, ассоциативной памяти) [39]. Рассмотрим нейронные сети в качестве инструмента имитационного моделирования систем.

ИНС представляет собой послойное соединение множества компонентов, т.н. искусственных нейронов [40] (рис.16).

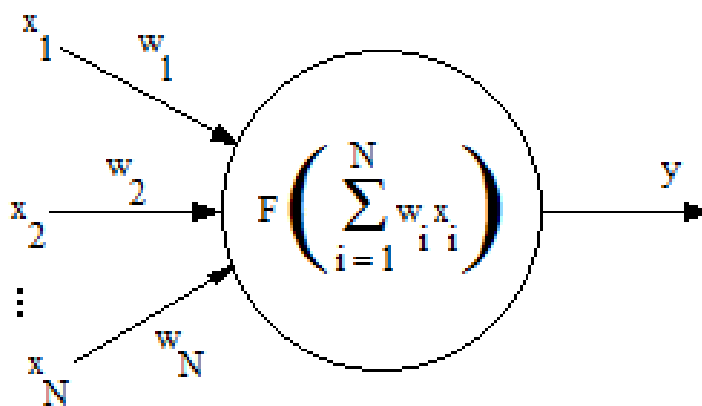


Рис.16 – Искусственный нейрон

Искусственный (или формальный) нейрон является элементом-сумматором подаваемых на обладающих проводящей или тормозящей способностью (обладающих весовой характеристикой) синапсы (входы) возбуждающих сигналов, получая взвешенный сигнал. Взвешенная сумма сигналов проходит сквозь тело нейрона, обладающего определенным порогом пропускания входящих сигналов (через функцию активации нейрона). Результирующий (выходной) сигнал воспринимается последующими нейронами в сети.

Понятие простейшего элемента, а также их совокупность используются и в методологии IDEF0 для описания изучаемого объекта (рис.17).

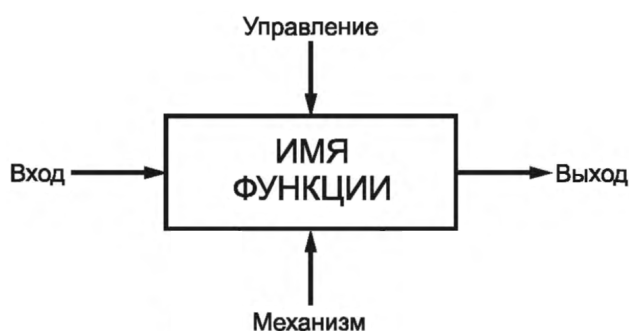


Рис.17 – Простейший элемент по методологии IDEF0 - функциональный блок

Виды сигналов, поступающих на обработку в функцию, различаются в методологии IDEF0 и делятся на:

- вход (сигнал, преобразующийся в сигнал другого типа на выходе);
- управление (сигнал, не изменяющийся под воздействием обрабатывающей функции элемента, участвующий в реализации этой функции, который возможно зафиксировать без изменений на выходе из элемента);
- механизм (сигнал, с помощью которого происходит обработка потока входных данных).

В отличие от нейросетей, количество выходных сигналов - произвольно. Искусственный нейрон имеет один выход, "верно" распространяющийся на входы всех последующих слоев и, следовательно, всех последующих элементов. Таким образом, из функциональных блоков IDEF0 составляется "нейронная сеть" [41] (рис.18).

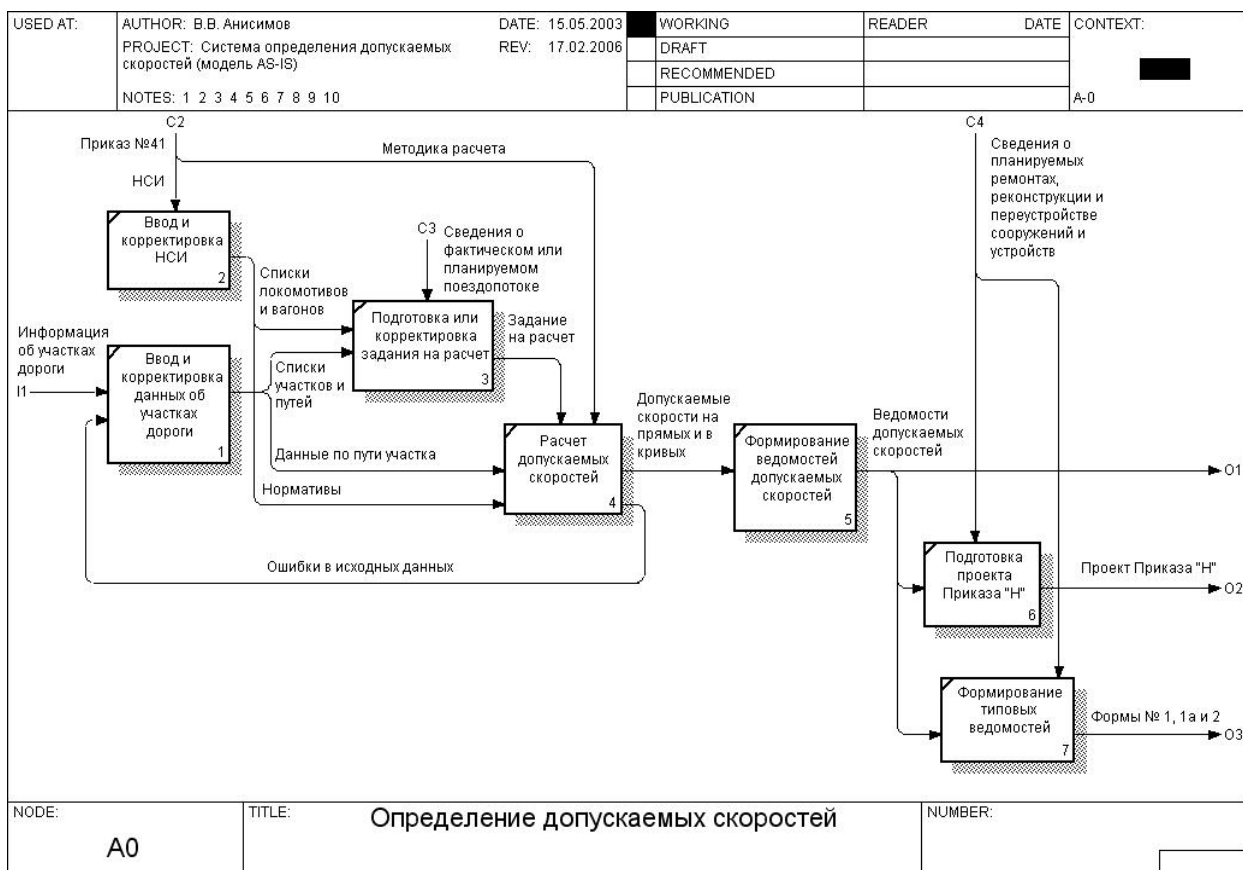


Рис.18 – Пример контекстной диаграммы IDEF0

В отличие от нейронных сетей, в контекстной диаграмме IDEF0 возможно производить структурную декомпозицию поэлементно [42] (рис.19):

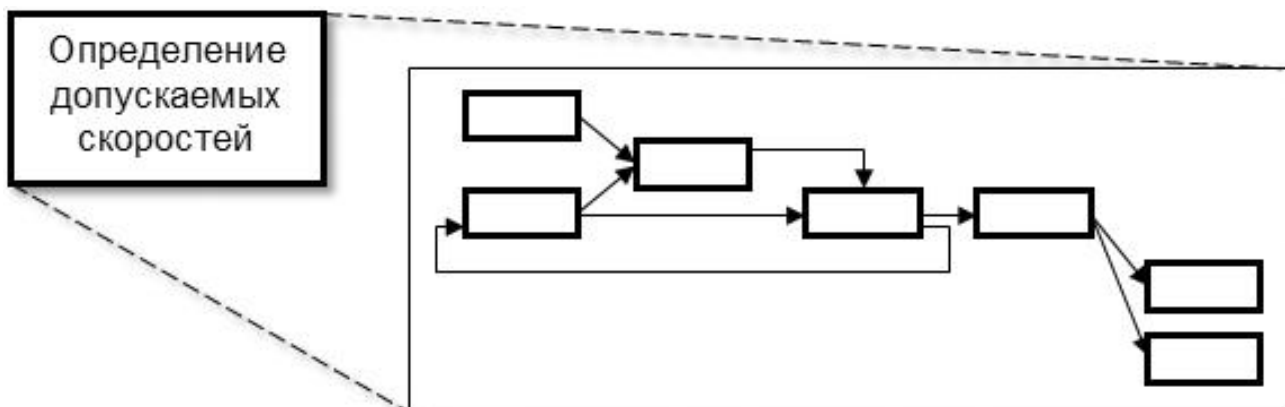


Рис.19 – Структурная декомпозиция функционального блока IDEF0

Декомпозиция является внутренней подсистемой и обменивается данными с порождающей ее родительской системой в обе стороны.

Преобразование контекстную диаграмму IDEF0 в имитационную модель происходит при замене текстового описания функций и межэлементных связей моделируемого объекта на математические преобразования (рис.20).

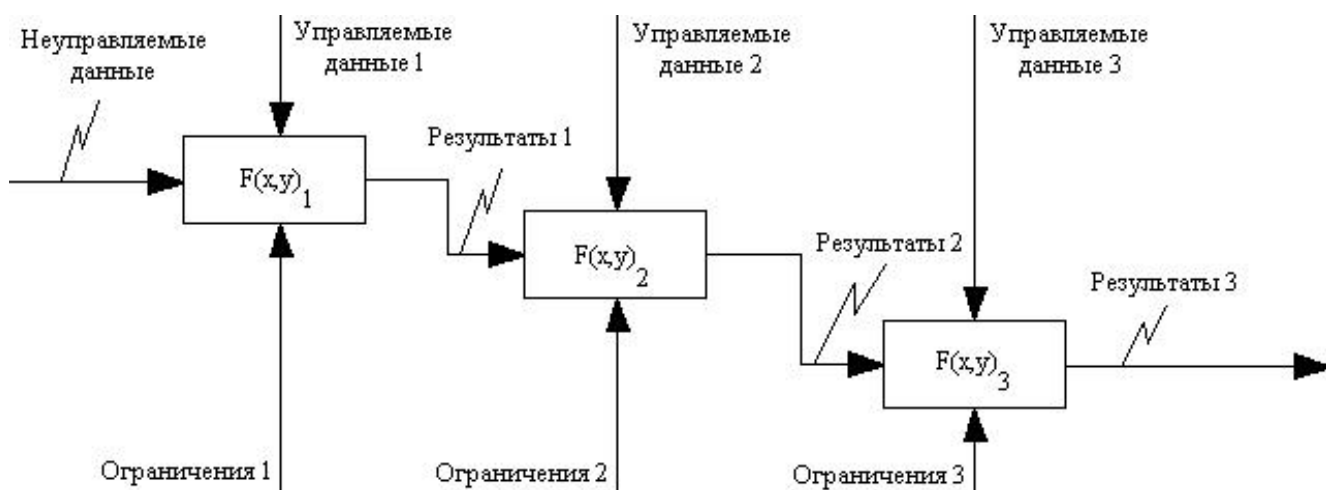


Рис.20 – Пример имитационной модели

IDEF0-методология предназначена отражать взаимоотношения входящих в систему элементов и их поведение, т.е. отвечает на вопрос: “каким образом выполняется задача”?

Процесс детализируется до простейших действий в рассматриваемой модели, последовательное выполнение которых позволяет получить желаемый выход для исследователя.

Имитационная модель, как и IDEF0-диаграмма, детализирует изучаемый процесс вплоть до возможности отражения каждой элементарной задачи или межэлементной связи в виде математического соотношения или величины. Назначение имитационного моделирования заключается в выявлении возможности и целесообразности создания моделируемого объекта на практике на основе анализа предоставленной имитационной моделью статистических результатов ее работы [43].

В исследуемых реальных системах между любыми взаимодействующими элементами всегда имеется обратная связь. Исследователь же при создании модели отражает наиболее существенные и явные из них.

Методология IDEF0 позволяет отразить обратную связь между элементами, обращая прямую связь к предыдущему блоку (рис. 21).



Рис.21 – Пример организации обратной связи в методологии IDEF0

Методология имитационного моделирования, аналогично IDEF0, допускает организацию обратной связи, используя условный оператор или особенности функции (рис.22).

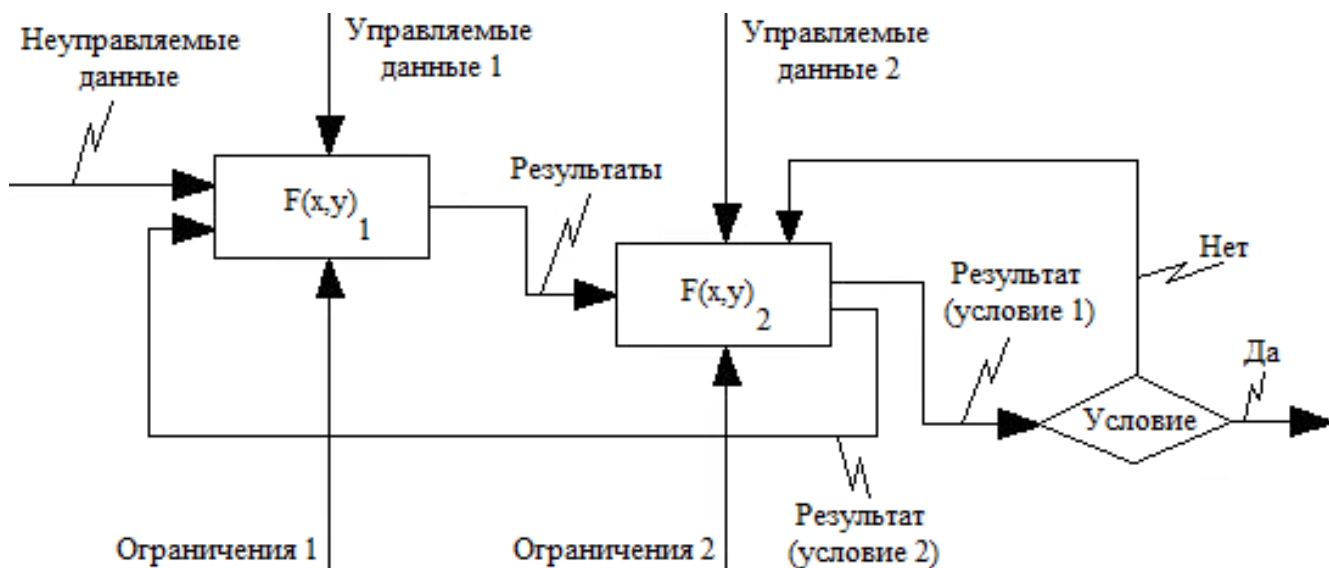


Рис.22 – Пример реализации обратной связи в методологии имитационного моделирования

В ИНС близкий по смыслу механизм представлен в виде части алгоритмов обучения, например, метод обратного распространения ошибки [44] (рис.23).

Особенностью нейросетевой обратной связи является непосредственное влияние на входящие извне сигналы. Кроме того, нейросеть, в отличие от методологии IDEF0 и имитационного моделирования, использует предыдущий результат работы системы, влияя на последующие процессы моделирования, позволяя им проходить в совершенно других условиях. В связи с этим каждый последующий результат работы системы изменяется в зависимости от предыдущего, таким образом реализуется функция памяти предыдущего результата, что позволяет представлять системы с обратной связью в виде ИНС.

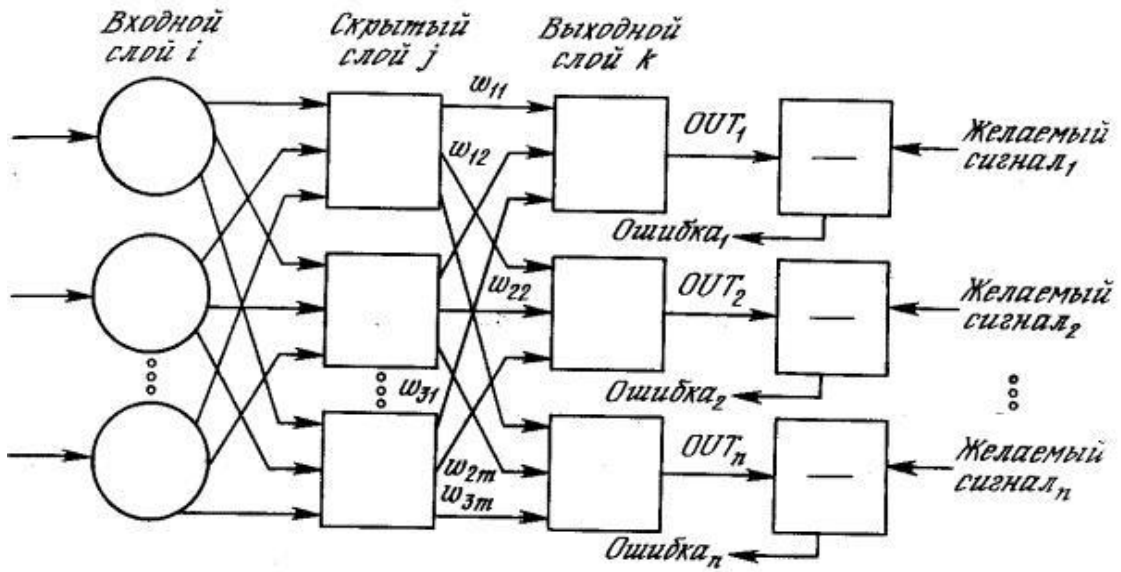


Рис.23 – Механизм обратного распространения ошибки в ИНС

В результате анализа свойств методологии IDEF0, имитационного моделирования и нейронных сетей обнаружены общие функциональные черты (рис.24).

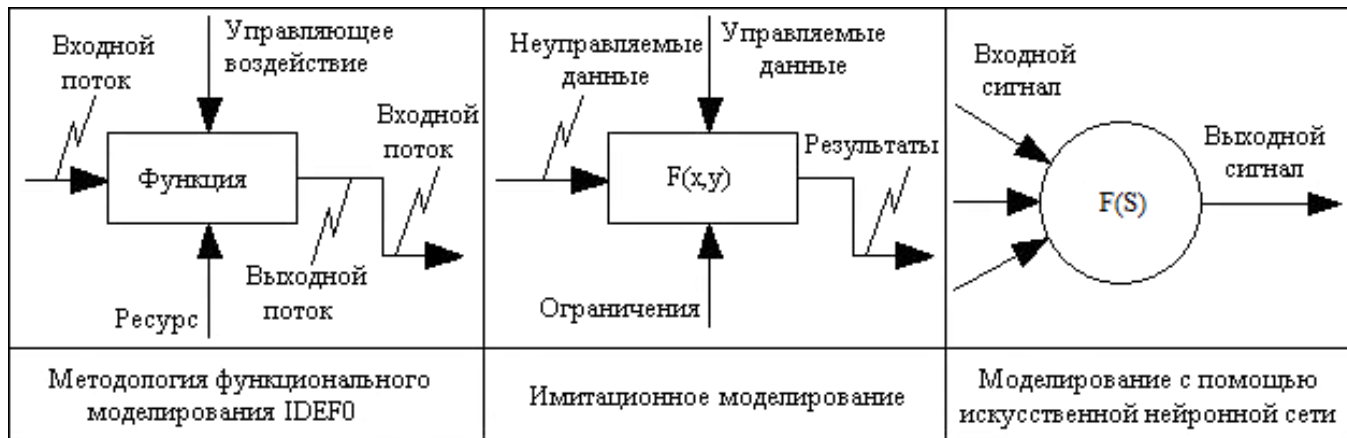


Рис.24 – Общие черты методологий IDEF0, имитационного моделирования и ИНС

В зависимости от ситуации, входные потоки по методологии IDEF0 сводятся к неуправляемым данным имитационной модели, соответственно управляющее воздействие – к управляемым данным, ресурс – к

ограничениям, а выходные потоки – к результатам выполнения математической функции.

Управляемые и неуправляемые внешние воздействия имитационной модели в рамках нейросетей являются входными сигналами формального нейрона, математический закон имитационной модели или текстовое описание IDEF0-диаграмм играет роль функции активации нейрона.

Также, в нейронных сетях, как и в IDEF0-подходе и имитационном моделировании, изначально предусмотрен механизм межэлементной обратной связи - алгоритм обратного распространения ошибки.

Постоянная смена условий работы системы при каждом новом цикле и зависимость последующих результатов работы модели от предыдущих - основное отличие использования нейросетей в рамках имитационного моделирования.

Следовательно, ИНС возможно применять в качестве инструмента имитационного моделирования без существенных ограничений. Математическую модель ТДО, согласно элементам теории ИНС, возможно представить в следующем виде:

$$Y = F_M(F_{M-1}(\dots (F_1(XW_1)W_2)\dots)W_{M-1})W_M), \quad (19)$$

где $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)^T$ — массив входных данных; F_M — преобразовательная функция нейронных элементов M -го слоя ИНС, W_M — матрица весов M -го слоя ИНС, Y — выходные сигналы ИНС. В качестве входных данных ИНС выступает исходная информация для проектировки ТД. Выходными данными ИНС является ТД в зависимости от обрабатываемых входных данных.

1.4.2 Разработка ИМ этапов подготовки ТД организации с применением элементов теории ИНС

При моделировании производственного предприятия целесообразно выделить сведения, содержащиеся в ТД. Данные сведения также не должны подвергаться искажениям при их обработке от начальной до конечной стадии производственного процесса [45].

Условно процесс производства изделий в приборостроительной организации возможно разделить на последовательные этапы (рис. 25):

- определение компонентов разрабатываемой модели изделия, их свойств и функций (Проектирование);
- определение формы, размеров и взаимного расположения элементов модели изделия (Конструирование);
- разработка и определение методов, процессов и материалов, участвующих в производстве изделия (Разработка технологии);
- определение ресурсных и временных потребностей производства (Планирование производства);
- определение трудоемкости производства изделия и распределение производственных мощностей для организации процесса создания изделий (Технологическая подготовка производства);
- завершающий этап производства, включающий в себя испытания и отгрузку изделия (Выпуск изделия).



Рис.25 – Условные этапы производственных процессов приборостроительной организации

В условиях одновременного производства нескольких видов изделий этапы "Конструирование" и "Планирование производства" с этапами "Разработка технологии" и "Технологическая подготовка производства" осуществляются параллельно в условиях одновременного производства нескольких видов изделия (рис.26).

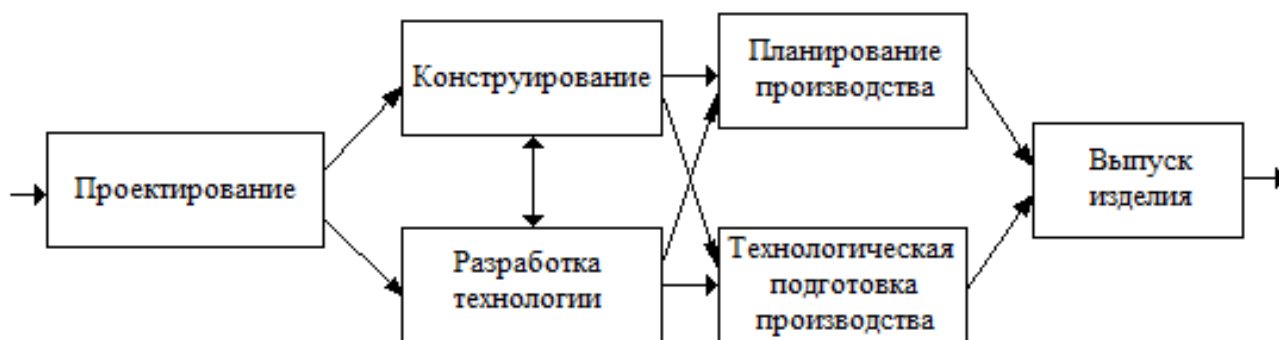


Рис.26 – Производственный процесс предприятия в условиях одновременного производства нескольких видов изделий

На рисунке 27 показан вид системы ТДО в соответствии с методологией IDEF0.

С заключения предприятием контракта на опытно-конструкторские работы (НИОКР) начинается процесс разработки документации об изделии, ряд основополагающих документов об изделии, а именно: схема электрическая принципиальная (ЭЗ), Перечень Элементов (ПЭЗ), который может входить в состав ЭЗ, Ведомость Покупных изделий (ВП) - выпускаются специалистами отдела проектирования. По ГОСТ 2.102-2013 [46] оформляются все документы, которые, затем, передаются на обработку специалистам-конструкторам по окончанию разработки.

Далее выпускается Комплект Конструкторской Документации (ККД), согласно ГОСТ 2.102-2013, и рассылается всем необходимым участникам.

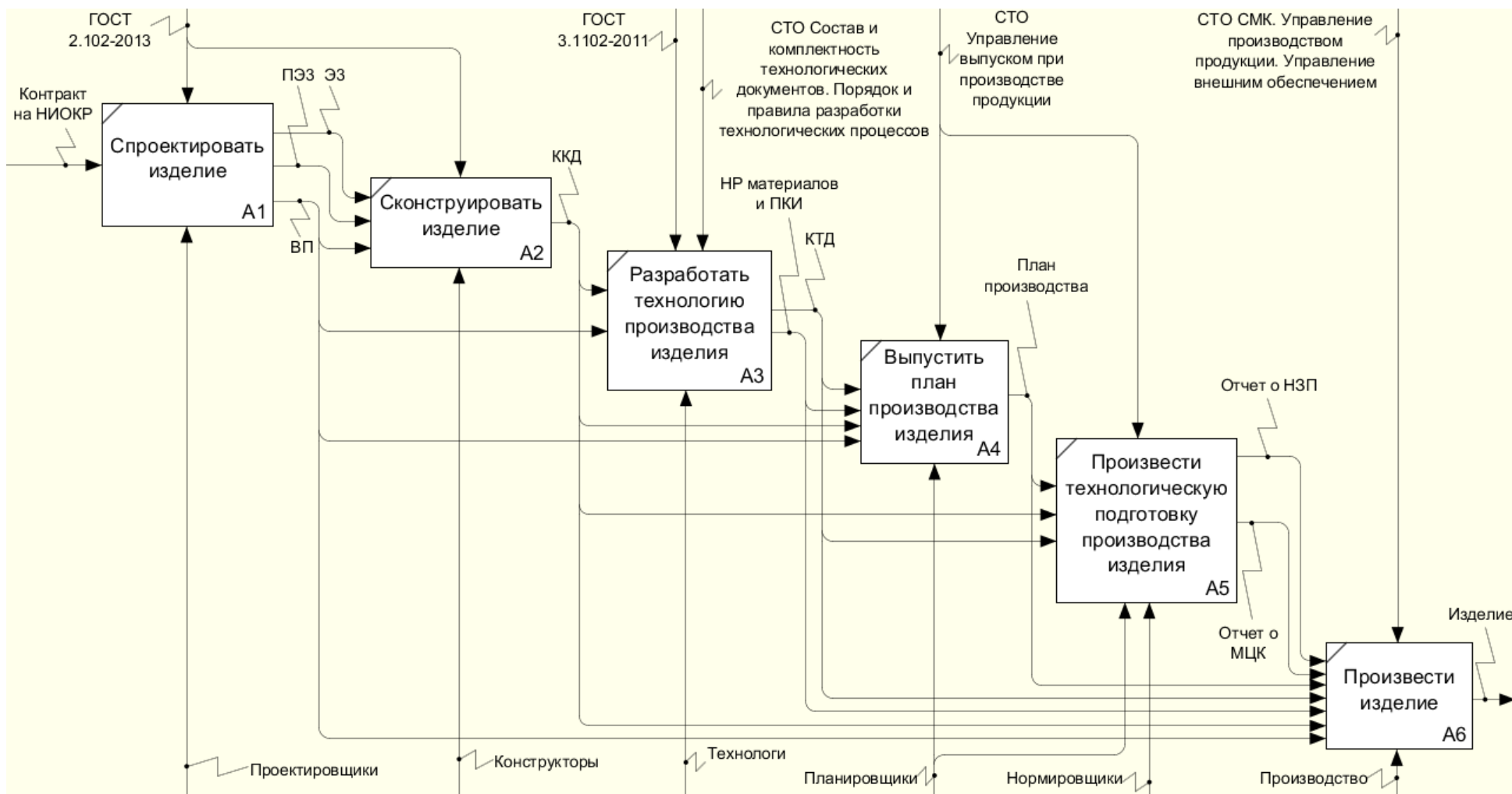


Рис.27 – IDEF0-диаграмма структуры ТДО производственного предприятия

Расчет норм расхода материалов и покупных комплектующих изделий (НР материалов и ПКИ) и выпуск Комплекта Технологической Документации (КТД) становятся возможными при получении информации из комплекта ККД, руководствуясь требованиями ГОСТ 3.1102-2011 [47] и СТО по составу и комплектности технологических документов, порядку и правилам разработки технологических процессов. Созданная КТД с рассчитанными нормами рассылается остальным производственным подразделениям.

Впоследствии на основе полученной ККД и КТД с необходимыми нормами в соответствии с требованиями СТО по управлению выпуском при производстве продукции отделом планирования производства выпускается план, согласно которому для обработки заготовок изделия создается оснастка, к выпуску новых изделий налаживаются технологические линии.

На основе Плана производства и КТД с НР материалов и ПКИ в соответствии с требованиями СТО по управлению выпуском при производстве продукции производятся расчеты трудоемкости изготовления изделия, производится перераспределение имеющихся производственных мощностей предприятия для организации процесса создания изделия. Результатом произведенных действий являются отчеты о незавершенном производстве (НЗП) и о межцеховой кооперации (МЦК).

Процесс производства изделия осуществляется в соответствии с требованиями СТО “СМК. Управление производством продукции. Управление внешним обеспечением”. В качестве информации об изделии для производства выступают: ККД, ВП, КТД, НР материалов и ПКИ, План производства, Отчет о НЗП и Отчет о МЦК.

Разработчик модели по методологии IDEF0 обладает существенной информацией о функциях и связях между ними, выраженной словесным описанием. В ИНС связи между элементами «обезличены», будучи

выраженными абстрактными нейронными связями по определенному алгоритму. Следовательно, существенной для отражения в модели ИНС является информация, содержащаяся в ее структурных элементах - искусственных нейронах. Поскольку данная информация содержит в себе внутренние ассоциативные представления ИНС об обрабатываемой информации извне, то следует каждый искусственный нейрон в ИНС именовать именем сущности, выступающей в роли связей в рассматриваемой системе. Например, сущность связи "Схема электрическая принципиальная" в методологии IDEF0 и в ИНС будут выглядеть так, как показано на рисунке 28.



Рис.28 – Сущность связи "Схема электрическая принципиальная" в методологии IDEF0 и в ИНС

Все хранимые внутри нейронных элементов характеристики являются уникальными. Следовательно, необходимо обеспечить уникальность каждого элемента реальной системы, представленного в виде искусственного нейрона.

Каждый нейронный элемент предыдущего и последующего слоев ИНС имеют связь друг с другом. Смысл данной связи заключается в том, что из полученной информации из предыдущего слоя отбирается наиболее

значимая часть, которая участвует в формировании отдельного нейронного элемента последующего слоя, качественно усложняясь.

На этапе проектирования изделия возможно отразить следующие существенные элементы:

- схема электрическая принципиальная (ЭЗ);
- перечень элементов (ПЭЗ);
- схема электрическая принципиальная, содержащая в себе перечень элементов (ЭЗ+ПЭЗ);
- ведомость покупных изделий (ВП).

Сущность «Контракт на НИОКР», являющуюся инициатором процесса создания изделия, не требуется включать в модель ИНС, так как все характеристики изделия, определяемые контрактом на НИОКР, содержатся в ТД на изделие.

Известно, что ЭЗ может содержать в своем составе ПЭЗ, либо ПЭЗ может быть одновременно создан отдельно от ЭЗ. На основе полученных ТД возможно создание ВП. ИНС-модель этапа "Проектирование" представлена на рисунке 29.

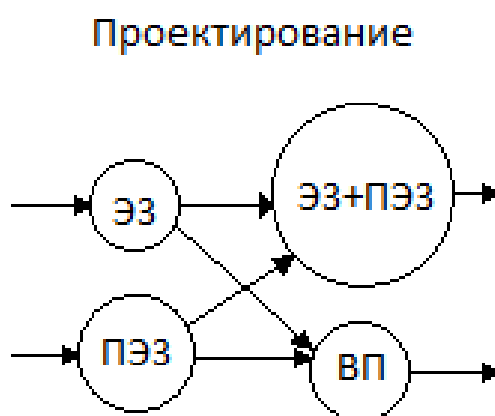


Рис.29 – Модель ИНС этапа «Проектирование»

При конструировании усложняются данные об изделии: информация из Спецификаций на сборочную единицу (Сп. на простую СБ) и Чертежей деталей (Ч. ДЕ) используется при формировании Спецификаций на сложную сборочную единицу (Сп. на сложную СБ), на комплексы (Сп. на комплекс), а также при формировании Монтажных Чертежей (МЧ) и Таблиц соединений (ТБ). Для дальнейшей организации процесса производства необходимые данные содержатся в Спецификациях на комплекс, Ведомостях спецификаций (Вед. спец.), а также Производственной Спецификации (ПСП), которые входят в состав Комплекта Конструкторской Документации (ККД) и передаются на обработку в последующие подразделения.

Данные в ПСП подвержены постоянным изменениям вплоть до момента выпуска ККД. Нейросетевая модель «Конструирование» приведена на рисунке 30.

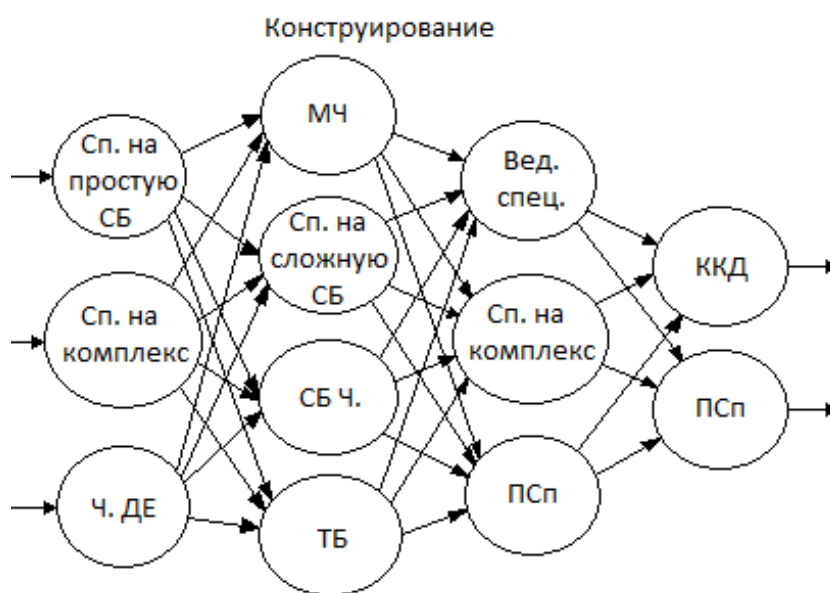


Рис.30 ИНС-модель «Конструирование»

Агрегирование отличительных особенностей входных данных с последующим их объединением и усложнением на каждом последующем слое является отличительной особенностью ИНС. Данное обстоятельство

допускает повторение сущностей с изменением их качественных признаков, что позволяет расценивать их как отдельный уникальный элемент системы.

Карты Типовых Технологических Процессов (КТТП), Карты Эскизов (КЭ) и Маршрутные Карты технологических процессов (МК) являются Результатом проектирования технологии изготовления изделия. Полученная информация

об изделии на этапе "Технология" объединяется в Комплект Технологической Документации (КТД) и используется в формировании производственной спецификации (ПСп) и Ведомости Удельных Норм расхода комплектующих изделий и материалов (ВУН) (рис.31).

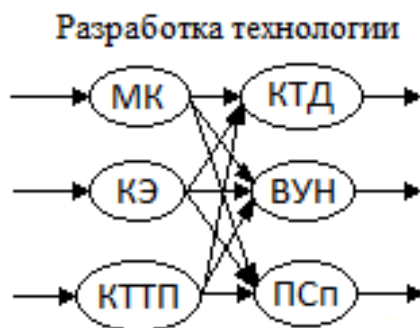


Рис.31 – Нейронная сеть «Разработка технологии»

На этапе Планирования производства на основе конструкторско-технологической информации из ПСп происходит подготовка Плана производства (ППр), затем в цехах предприятия выпускаются документы по организации процесса производства - Производственная программа (ПРп) и План запуска-выпуска изделия по цехам (рис.32).

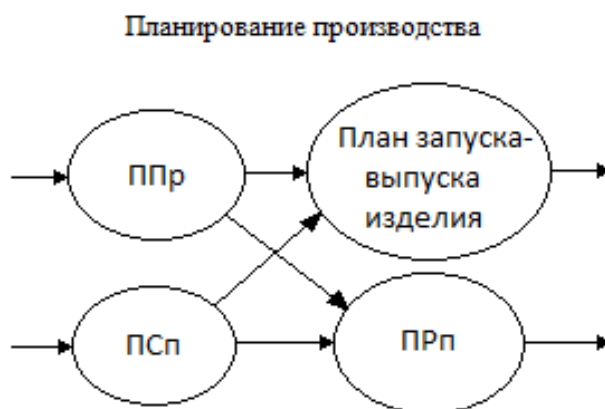


Рис.32 Нейросетевая модель "Планирование производства"

Технологическая подготовка производства предполагает оценку теоретической (теор. тр.) и фактической трудоемкости производства изделия (факт. тр.) на основе полученной КТД. Информация на основе ККД позволяет подготовить свод по деталям (свод по ДЕ). Получив необходимые сведения, становится возможной оценка незавершенности производства, отраженная соответствующем отчете (НЗП) и отчете о межцеховой кооперации (отчет о МЦК). Данные документы необходимы для перераспределения имеющихся производственных мощностей предприятия для запуска производственных процессов нового изделия (рис. 33).



Рис.33 – Нейросетевая модель этапа «Технологическая подготовка производства»

Производственный процесс заканчивается серией типовых испытаний изделий, по окончании которых готовятся соответствующие акты и протоколы-заключения (пр.-закл.) с привлечением служб ОТК. По успешному окончанию испытаний составляется отгрузочная накладная (отгр. накл.) на соответствующее изделие (рис. 34).



Рис.34 – Модель ИНС этапа «Выпуск изделия»

В результате, выполнено нейросетевое представление системы различных этапов ТДО предприятия в виде набора независимых друг от друга ИМ, выраженных в виде ИНС (рис.35).

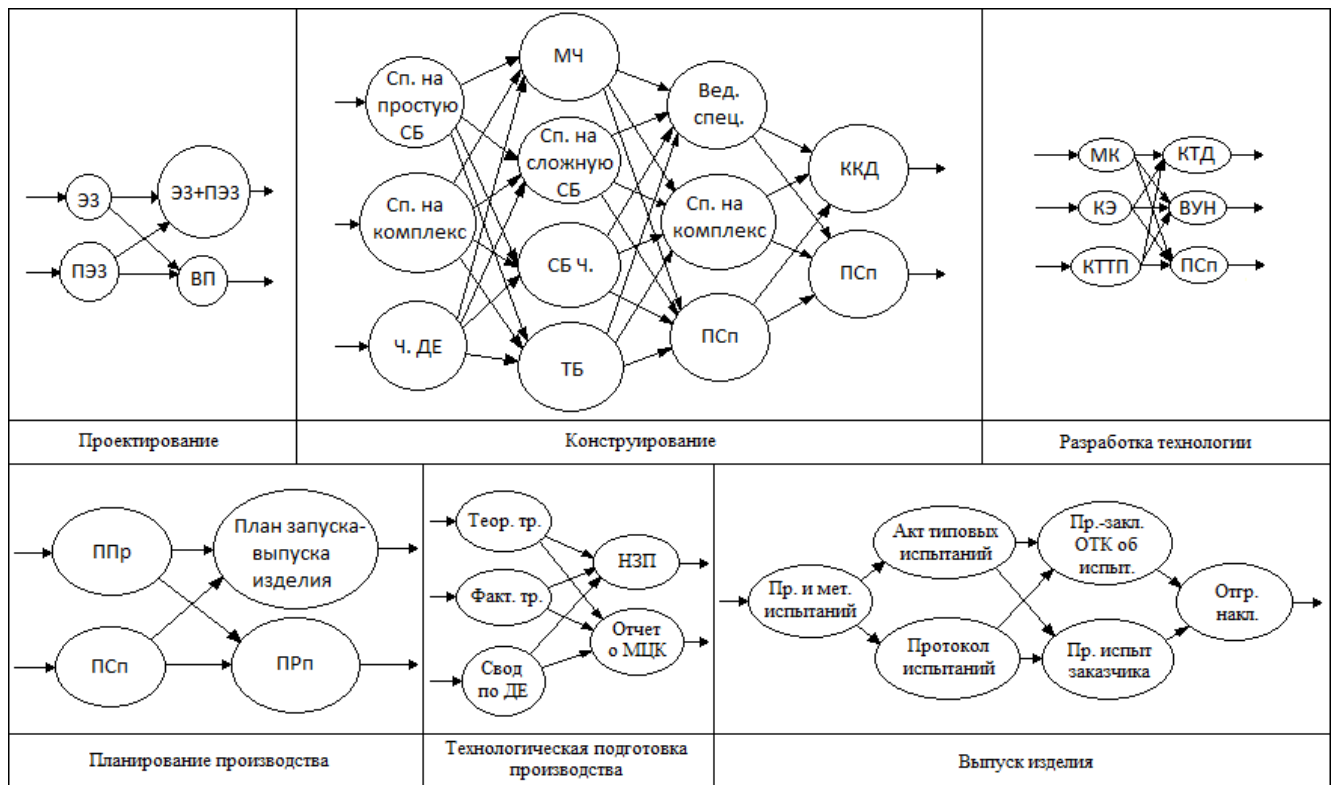


Рис.35 – Этапы подготовки ТД, представленные в виде ИМ

1.4.3 Имитационное моделирование на основе разработанных ИНС-моделей этапов подготовки ТД

ИМ реального объекта или процесса в широком смысле представляет собой «черный ящик», принимающий входные воздействия и выдающий результат.

В зависимости от назначения модели исследователь анализирует полученные данные любым доступным методом и принимает соответствующие решения. Результаты работы модели, расходящиеся с теоретическими, требуют правильной интерпретации.

Если результаты работы ИМ играют важную роль только для исследователя, то в ИНС они также являются неотъемлемым элементом для организации повторяющегося цикла обучения вследствие использования алгоритма обучения, являющегося обратной связью между выходными и

входными данными. Также по результатам работы ИНС, исследователь проверяет качество ее обучения. Следовательно, необходимо сформировать набор данных для обучения ИНС, представляющих собой набор документации о производимых на предприятии изделиях, каждый элемент которого является парой "Входной сигнал - Выходной сигнал". Рассматриваемая система представляет собой набор ИНС-моделей, объединенных в общую систему. Поэтому, прежде всего, необходимо осуществить процесс обучения каждой ИНС-модели в отдельности.

Отберем шесть различных изделий и выразим их наименования в десятичных номерах (рис.36).

кД1. 375. 050	кД1. 375. 064
кД1. 375. 053	кД2. 280. 048
кД1. 375. 055	кД3. 490. 033

Рис.36 – Шесть отобранных изделий

Для реализации модели в виде программы для ЭВМ необходимо подготовить файлы, содержащие набор данных для обучения каждой ИНС-модели. Рассмотрим подмодель этапа "Проектирование". Она имеет два входа и два выхода. Для простоты реализации моделей в виде программ будем подавать на вход каждой ИНС один сигнал. Тогда формат подаваемых в ИНС примет вид, представленный на рисунке 37.

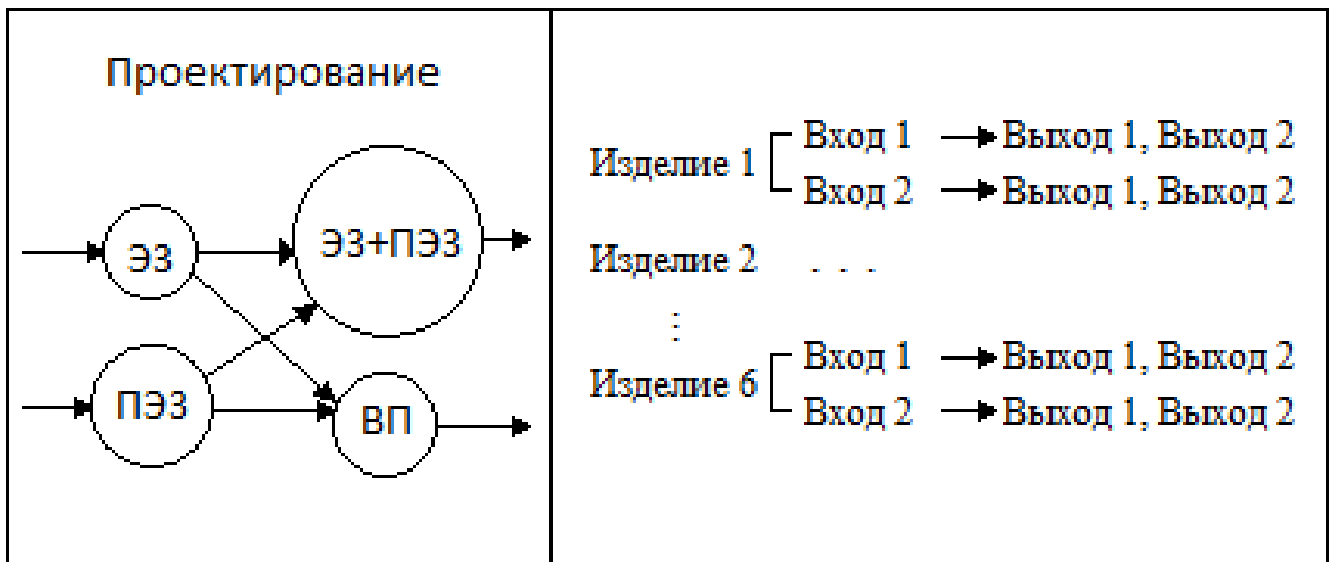


Рис.37 – Формат данных, подаваемых в ИНС-модель этапа "Проектирование"

В общем случае для любой ИНС-модель формат данных примет конфигурацию, представленную на рисунке 38.

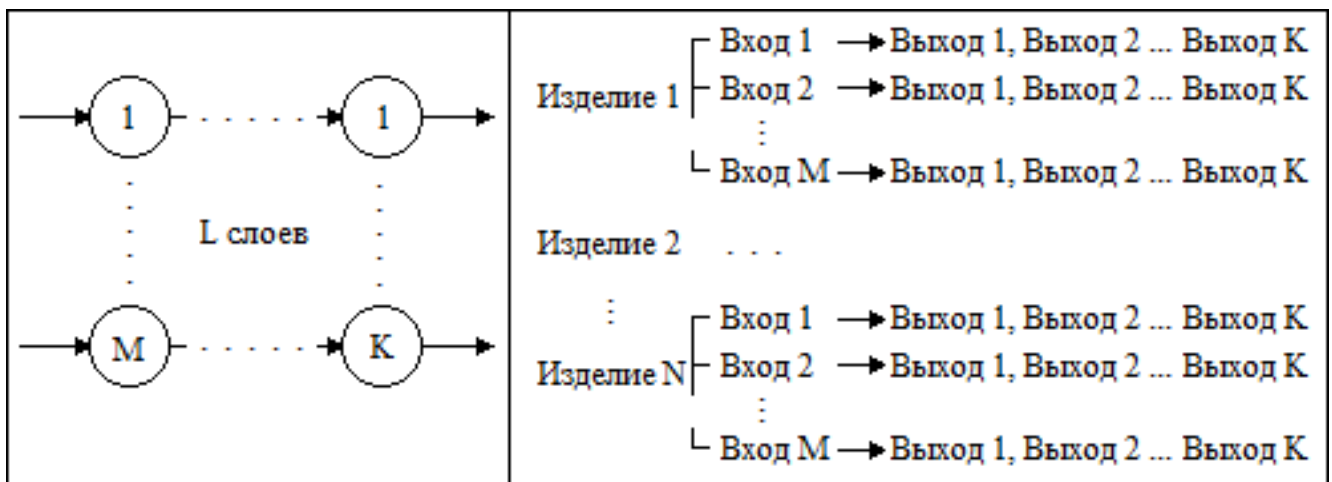


Рис.38 – Общий формат данных для обучения ИНС-моделей

Приведем набор данных для ИНС-модели этапа «Проектирование» к виду, согласно общему формату и поместим его в текстовый файл формата *.txt. В качестве входов выступают документы, представленные схемами электрическими принципиальными (ЭЗ), а также перечнями элементов (ПЭЗ). В качестве выходов выступают схемы электрические

принципиальные, содержащие в своем составе перечни элементов (ЭЗ) и ведомости покупных изделий (ВП) (рис.39).

```
кд1.375.050_эз кд1.375.050_эз кд1.375.050_вп
кд1.375.050_пэз кд1.375.050_эз кд1.375.050_вп
кд1.375.053_эз кд1.375.053_эз кд1.375.053_вп
кд1.375.053_пэз кд1.375.053_эз кд1.375.053_вп
кд1.375.055_эз кд1.375.055_эз кд1.375.055_вп
кд1.375.055_пэз кд1.375.055_эз кд1.375.055_вп
кд1.375.064_эз кд1.375.064_эз кд1.375.064_вп
кд1.375.064_пэз кд1.375.064_эз кд1.375.064_вп
кд2.280.048_эз кд2.280.048_эз кд2.280.048_вп
кд2.280.048_пэз кд2.280.048_эз кд2.280.048_вп
кд3.490.033_эз кд3.490.033_эз кд3.490.033_вп
кд3.490.033_пэз кд3.490.033_эз кд3.490.033_вп
```

Рис.39 – Данные для обучения ИНС-модели этапа «Проектирование»

Большинством обрабатываемой ИНС информацией являются численные данные. Присвоим порядковые номера элементам данных для обучения ИНС-модели этапа «Проектирование» так, как показано на рисунке 40.

```
кд1.375.050_эз кд1.375.050_эз кд1.375.050_вп 1 13 14
кд1.375.050_пэз кд1.375.050_эз кд1.375.050_вп 2 13 14
кд1.375.053_эз кд1.375.053_эз кд1.375.053_вп 3 15 16
кд1.375.053_пэз кд1.375.053_эз кд1.375.053_вп 4 15 16
кд1.375.055_эз кд1.375.055_эз кд1.375.055_вп 5 17 18
кд1.375.055_пэз кд1.375.055_эз кд1.375.055_вп 6 17 18
кд1.375.064_эз кд1.375.064_эз кд1.375.064_вп 7 19 20
кд1.375.064_пэз кд1.375.064_эз кд1.375.064_вп 8 19 20
кд2.280.048_эз кд2.280.048_эз кд2.280.048_вп 9 21 22
кд2.280.048_пэз кд2.280.048_эз кд2.280.048_вп 10 21 22
кд3.490.033_эз кд3.490.033_эз кд3.490.033_вп 11 23 24
кд3.490.033_пэз кд3.490.033_эз кд3.490.033_вп 12 23 24
```

Рис.40 – Данные для обучения ИНС-модели этапа «Проектирование» с численным выражением в виде порядковых номеров

Аналогичным способом готовятся данные для обучения ИНС-моделей всех остальных этапов документооборота в виде текстовых файлов. Их фрагменты представлены в приложении А.

Из языков программирования для реализации ИНС в виде программ для ЭВМ является наиболее часто используется Python [48] с пакетами NumPy (библиотека, предоставляющая возможности работы с многомерными массивами и осуществляющая поддержку высокоуровневых математических

функций, предназначенных для работы с ними) [49] и Matplotlib (библиотека для визуализации данных в виде 2D и 3D графиков, получаемые изображения используются в качестве иллюстраций в публикациях) [50] как универсальная среда для научных расчётов. Наиболее популярной открытой библиотекой для высокоуровневой реализации ИНС в виде программы для ЭВМ используется Keras [51]. В качестве среды для запуска разработанных программ на языке Python используем PyCharm [52].

Все слои ИНС в программном коде объединяются в блок «модель». Поскольку реализация ИНС-подмоделей не предполагает специфических действий над преобразованием слоев, то целесообразно использовать метод последовательного построения ИНС (`model = Sequential()`). Все слои являются полносвязными (`Dense`). Одним из параметров каждого слоя является количество нейронов (`units`). Создание слоев ИНС предполагает определение всех необходимых параметров обучения и функций активаций. Традиционной функцией активации, применяемой при проектировании ИНС считается сигмоидная (`activation = 'sigmoid'`). Чтобы ее использовать, необходимо нормализовать данные - каждый элемент массива разделить на максимальный элемент в массиве, чтобы получить числа в пределах от 0 до 1. Тогда результатом обработки ИНС также будут являться числа в пределах от 0 до 1. Чтобы получить исходные целочисленные значения, необходимо провести процедуру денормализации – умножить каждое результирующее число на максимальный элемент ненормализованного массива. Если в качестве данных для обучения используются целые числа, а задача обучения также заключается в выводе целых чисел, то в качестве функции активации используется линейная (`activation = 'linear'`) (рис. 41).

```

143
144 model = Sequential()
145 model.add(Dense(units=2, activation='linear', input_shape=(1,)))
146 model.add(Dense(units=2, activation='linear'))
147 model.compile(loss = Loss, optimizer = Opt, metrics=['accuracy'])
148

```

Рис.41 – Программная структура ИНС, состоящая из полносвязных слоев, содержащие по два нейрона каждый

Метод обратного распространения ошибки является сутью обучения любой ИНС и заключается в минимизации ошибки обучения, являющейся разницей между желаемым и реальным результатом обработки входного сигнала [53]. В качестве инструмента оптимизации ошибки обучения часто используется алгоритм адаптивной оценки моментов (Adam, Adaptive moment estimator) (рис.42).

```

141
142 Opt = keras.optimizers.Adam(learning_rate=0.095)
143

```

Рис.42 – Использование алгоритма адаптивной оценки моментов в качестве инструмента оптимизации ошибки обучения

Функция потерь или функция ошибки обучения является критерием ошибки обучения, в качестве которой, как правило, используется функция среднеквадратического отклонения (Loss = "mean_squared_error") (рис.43).

```

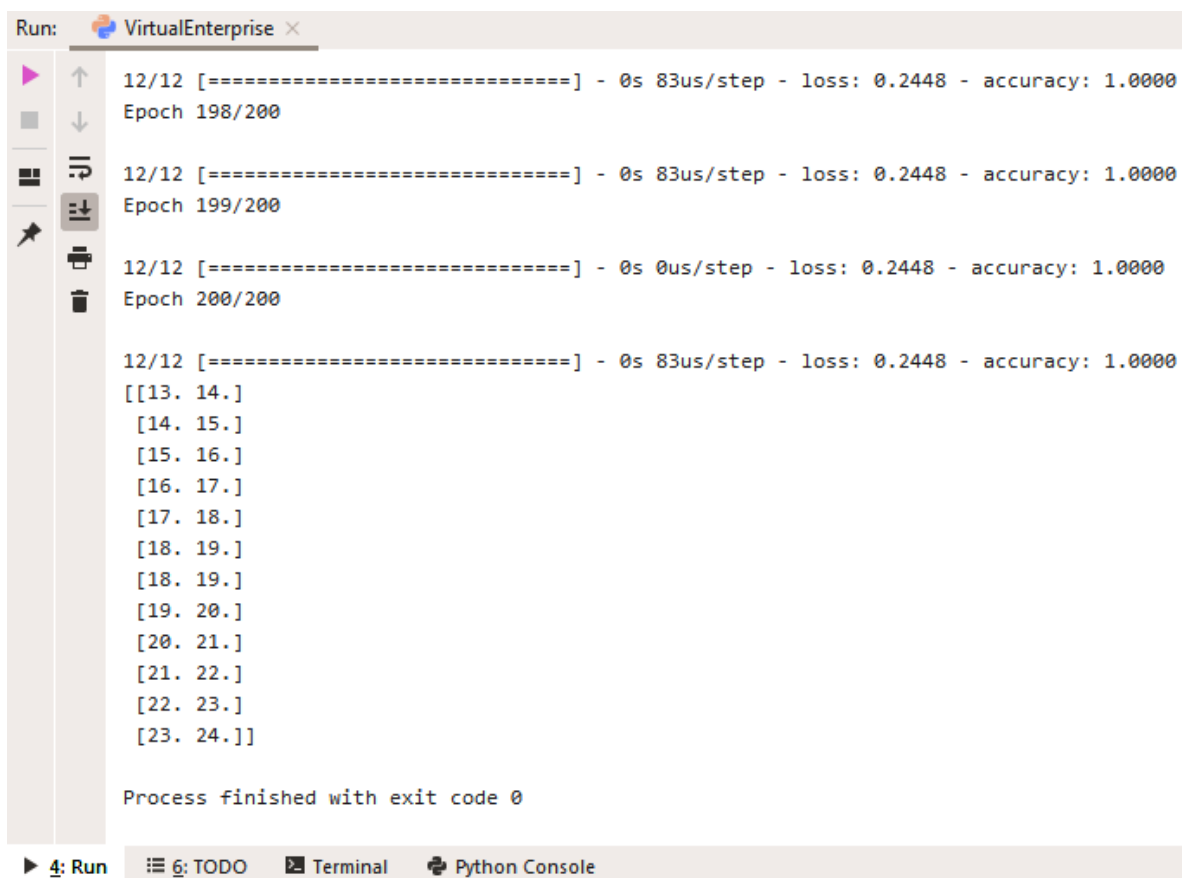
143
144 Loss = 'mean_squared_error'
145

```

Рис.43 – Активация функции ошибки обучения "среднеквадратическое отклонение"

Если полученные результаты обработки данных полностью совпадают с теоретическими значениями из обучающей выборки при

удовлетворительном значении функции потерь, то ИНС-модель считается успешно обученной (рис.44).



```
Run: VirtualEnterprise x
12/12 [=====] - 0s 83us/step - loss: 0.2448 - accuracy: 1.0000
Epoch 198/200
12/12 [=====] - 0s 83us/step - loss: 0.2448 - accuracy: 1.0000
Epoch 199/200
12/12 [=====] - 0s 0us/step - loss: 0.2448 - accuracy: 1.0000
Epoch 200/200

12/12 [=====] - 0s 83us/step - loss: 0.2448 - accuracy: 1.0000
[[13. 14.]
 [14. 15.]
 [15. 16.]
 [16. 17.]
 [17. 18.]
 [18. 19.]
 [18. 19.]
 [19. 20.]
 [20. 21.]
 [21. 22.]
 [22. 23.]
 [23. 24.]]

Process finished with exit code 0
4: Run 6: TODO Terminal Python Console
```

Рис.44 – Заключительный этап обучения ИНС и ее результаты распознавания входного массива данных

График зависимости значения функции потерь (Loss) от пройденной эпохи обучения (Epoch) позволяет оценить качество процесса обучения (рис.45). Фрагменты графиков зависимостей значений функции потерь от пройденной эпохи обучения ИНС-моделей различных этапов ТДО представлены в Приложении Б.

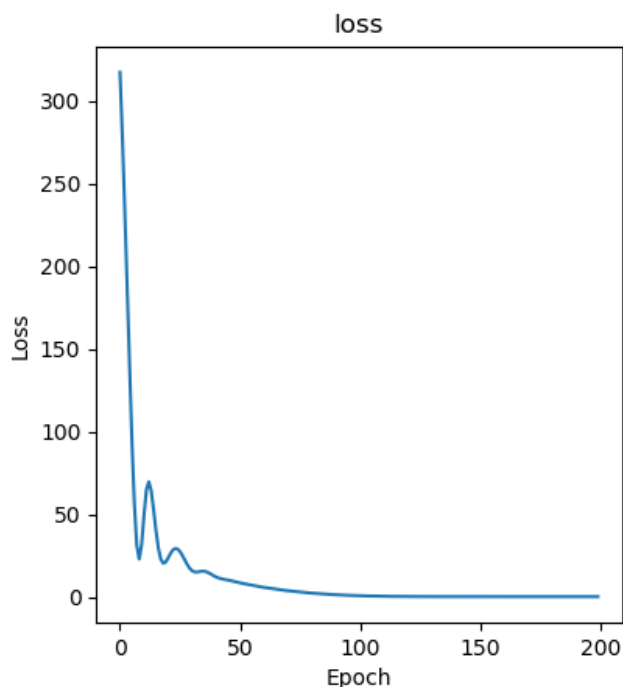


Рис.45 – Пример графика зависимости значения функции потерь от пройденной эпохи обучения

Также инструментом оценки качества обученных моделей служит F-мера, зависящая от двух параметров: точности и полноты [54]. Точность оценки в пределах распознаваемого класса представляет собой долю результатов обработки, действительно принадлежащих данному классу относительно всех результатов, которые система отнесла к этому классу. Точность вычисляется по следующей формуле:

$$A = \frac{TP}{TP + FP}, \quad (20)$$

где TP — число истинно-положительных решений, FP — число ложноположительных решений.

Полнота системы — это доля найденных результатов, принадлежащих классу относительно всех изображений этого класса в тестовой выборке. Полнота рассчитывается по следующей формуле:

$$R = \frac{TP}{TP + FN}, \quad (21)$$

где TP — число истинно-положительных решений, FN — число ложно-отрицательных решений.

Часть обученных ИНС-моделей имеют несколько выходных результатов, возьмем среднее арифметическое значений точности и полноты на всех выходах ИНС-модели соответственно:

$$A_{\epsilon} = \frac{\sum_{i=1}^e A_i}{e}, R_{\epsilon} = \frac{\sum_{i=1}^e R_i}{e}, \quad (22)$$

где, A_i и R_i — значение точности и полноты на i -том выходе ИНС-модели соответственно, e — количество выходов ИНС-модели.

Тогда среднее значение точности и полноты по всем распознаваемым классам вычисляется соответственно следующим образом:

$$A_{\kappa} = \frac{\sum_{i=1}^c A_{\epsilon_i}}{c}, R_{\kappa} = \frac{\sum_{i=1}^c R_{\epsilon_i}}{c}, \quad (23)$$

где, A_{ϵ_i} и R_{ϵ_i} — среднее значение точности и полноты на всех выходах ИНС-модели соответственно, c — количество распознаваемых классов ИНС-моделью.

F-мера вычисляется, как среднее гармоническое точности и полноты ИНС-моделей:

$$F = 2 \frac{A_{\kappa} R_{\kappa}}{A_{\kappa} + R_{\kappa}}, \quad (24)$$

где A_{κ} и R_{κ} — среднее значение точности и полноты по всем распознаваемым классам соответственно.

В таблице 3 представлены параметры обучения, позволившие достичь наилучшие значения средней точности (A_{κ}) и полноты (R_{κ}) по всем распознаваемым классам всех ИНС-моделей. Под обычной нормализацией принимаем значения входных данных, разделенных на максимальный

элемент входной выборки. Под двойной нормализацией принимаем разность между входным и соответствующим ему выходным значением, разделенную на максимальный элемент входной выборки.

Таблица 3 – Параметры обучения ИНС-моделей, их значения точности, полноты и F-меры

ИНС-модель	Функция активации	Нормализация входных данных	Скорость обучения	Количество эпох обучения	A_k	R_k	F
Проектирование (ANN-1)	Сигмоидная	Обычная	0,5	10000	0,74	0,39	0,51
Конструирование (ANN-2)	Сигмоидная	Обычная	0,05	100000	0,85	0,45	0,59
Разработка технологии (ANN-3)	Сигмоидная	Двойная	0,035	3000	0,49	0,3	0,37
Планирование производства (ANN-4)	Линейная	Нет	0,045	200	0,58	0,58	0,58
Технологическая подготовка производства (ANN-5)	Линейная	Нет	0,01	400	0,25	0,11	0,15
Выпуск изделия (ANN-6)	Линейная	Нет	0,03	200	0,99	0,99	0,99

Результаты оценки F-меры свидетельствуют о проблемах обработки данных об изделии на этапе технологической подготовки производства (модель ANN-5, в среде научной литературы значение F-меры менее 0,25 считается недостаточным показателем адекватности разработанной модели). Перспективным решением является изменение потоков обмена информацией об изделии между проектным и производственным циклом путем их цифровизации, что также увеличит их оперативность. В условиях отсутствия цифровой связи невозможно изменение информационных потоков, поэтому

альтернативным решением является модернизация процессов согласования технической документации [55].

Полученную конфигурацию ИНС-модели после обучения необходимо сохранить дальнейшего использования в специализированном формате обмена научными данными (рис.46).

```
158  
159 | model.save(Path + '\ANN-1.h5')  
160
```

Рис.46 – Сохранение конфигурации ИНС-модели, полученной после обучения

Фрагменты программных кодов, реализующих ИНС-модели шести различных этапов, представлены в Приложении В.

1.4.4 Разработка обобщенной ИНС-модели ТДО организации

1.4.4.1 Метод последовательного объединения ИНС-подмоделей

Каждая модель этапа создания документации об изделии представляет собой отдельную изолированную подсистему, решающую задачу распознавания конкретных входных сигналов и выдачу соответствующих результатов [56]. Данное обстоятельство делает принципиально невозможным создание общей системы путем последовательного соединения ее подсистем. Необходим механизм, обеспечивающий передачу корректных данных из предыдущей подсистемы в последующую, расширяющий возможности построения нейросетевой системы.

По методологии IDEF0 моделируемая система представляет собой совокупность подмоделей, представленных структурными декомпозициями функциональных блоков. Связи между функциональными блоками верхнего и нижнего уровней при проведении структурной декомпозиции остаются

неизменными. В ИНС неизменность передачи сигнала от одной модели к другой

не предусмотрена, что значительно ограничивает спектр решаемых искусственной нейросетью задач. Имитация функций мозга человека - основное назначение искусственных нейронных сетей [57], а именно: памяти, распознавания информации и ее предсказывание.

Для того, чтобы объединить совокупность ИНС в одну систему, представляющую собой обобщенную искусственную нейронную сеть (ОИНС), необходимо, чтобы имелся аппарат, поддерживающий связь подмоделей с внешней средой без потери свойств распространяемых сигналов. При этом, данная связь также должна подчиняться принципам обработки информации в ИНС.

Рассмотрим набор обученных, независимых друг от друга нейросетевых моделей этапов ТДО. Их конфигурации в упрощенном виде представлены на рисунке 47.

Каждая из предложенных ИНС обрабатывает и возвращает определенный набор числовых характеристик в заданных диапазонах. На практике очень часто возникает проблема создания такой ИНС, которая бы могла быть решать определенное количество задач, обрабатывая несколько видов входящих в нее данных. Реализация подобной ИНС представляет собой модель, потоки данных внутри которой подразделяются на несколько подмоделей, чьи выходные потоки данных, затем, вновь объединяются в одной заключительной подмодели. Таким образом, решение нескольких задач требует разработки сложной монолитной нейросетевой модели.

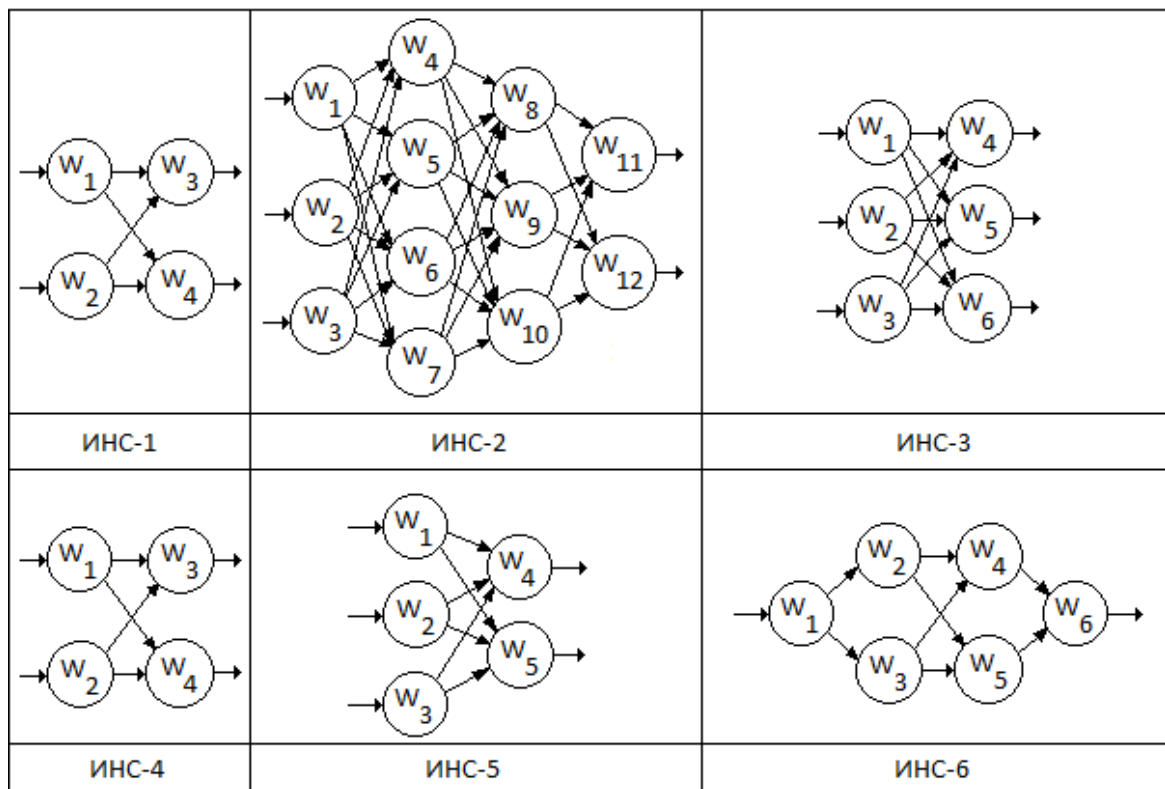


Рис.47 – Набор обученных, независимых друг от друга ИНС-моделей

Самым простым способом получения ОИНС-модели является последовательное соединение ее подмоделей. Полученная система будет иметь конфигурацию, представленную на рисунке 48.

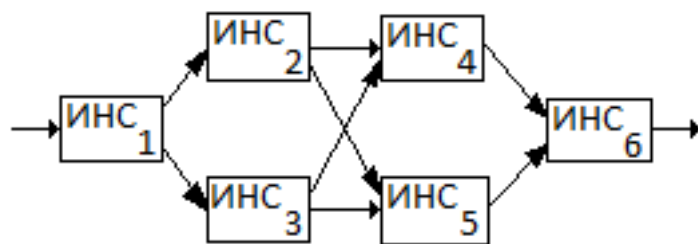


Рис. 48 – ОИНС, полученная последовательным соединением набора ИНС

В общем случае ОИНС-модель представляет собой «черный ящик», принимающий входные значения и с выхода которого принимаются выходные значения. Входными значениями для ОИНС-модели являются данные, подаваемые на вход ИНС-1 (рис.49).

```

КД1.375.050_ЭЗ КД1.375.050_ЭЗ КД1.375.050_ВП 1 13 14
КД1.375.050_ПЭЗ КД1.375.050_ЭЗ КД1.375.050_ВП 2 13 14
КД1.375.053_ЭЗ КД1.375.053_ЭЗ КД1.375.053_ВП 3 15 16
КД1.375.053_ПЭЗ КД1.375.053_ЭЗ КД1.375.053_ВП 4 15 16
КД1.375.055_ЭЗ КД1.375.055_ЭЗ КД1.375.055_ВП 5 17 18
КД1.375.055_ПЭЗ КД1.375.055_ЭЗ КД1.375.055_ВП 6 17 18
КД1.375.064_ЭЗ КД1.375.064_ЭЗ КД1.375.064_ВП 7 19 20
КД1.375.064_ПЭЗ КД1.375.064_ЭЗ КД1.375.064_ВП 8 19 20
КД2.280.048_ЭЗ КД2.280.048_ЭЗ КД2.280.048_ВП 9 21 22
КД2.280.048_ПЭЗ КД2.280.048_ЭЗ КД2.280.048_ВП 10 21 22
КД3.490.033_ЭЗ КД3.490.033_ЭЗ КД3.490.033_ВП 11 23 24
КД3.490.033_ПЭЗ КД3.490.033_ЭЗ КД3.490.033_ВП 12 23 24

```

Рис.49 – Входные данные модели ОИНС и подмодели ИНС-1

Выходными значениями ОИНС становятся результаты обработки подмодели ИНС-6 (рис.50).

```

КД1.375.050_ПМИ КД1.375.050 5444 5450
КД1.375.053_ПМИ КД1.375.053 5445 5451
КД1.375.055_ПМИ КД1.375.055 5446 5452
КД1.375.064_ПМИ КД1.375.064 5447 5453
КД2.280.048_ПМИ КД2.280.048 5448 5454
КД3.490.033_ПМИ КД3.490.033 5449 5455

```

Рис.50 – Выходные значения ОИНС-модели и подмодели ИНС-6

Подавая на вход числовые значения от 1 до 12 на выходе необходимо получить значения от 5450 до 5455. Таким образом, конфигурация "черного ящика" ОИНС принимает вид, представленный на рисунке 51.

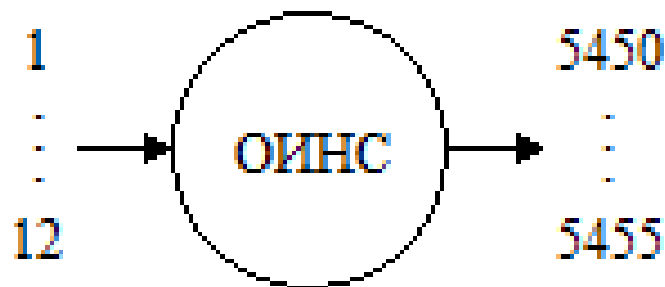


Рис.51 – Общий вид ОИНС-модели

Целесообразно объединить обрабатываемую информацию в один файл для удобства использования (рис.52).

КД1.375.050_ЭЗ	КД1.375.050	1	5450
КД1.375.050_ПЭЗ	КД1.375.050	2	5450
КД1.375.053_ЭЗ	КД1.375.053	3	5451
КД1.375.053_ПЭЗ	КД1.375.053	4	5451
КД1.375.055_ЭЗ	КД1.375.055	5	5452
КД1.375.055_ПЭЗ	КД1.375.055	6	5452
КД1.375.064_ЭЗ	КД1.375.064	7	5453
КД1.375.064_ПЭЗ	КД1.375.064	8	5453
КД2.280.048_ЭЗ	КД2.280.048	9	5454
КД2.280.048_ПЭЗ	КД2.280.048	10	5454
КД3.490.033_ЭЗ	КД3.490.033	11	5455
КД3.490.033_ПЭЗ	КД3.490.033	12	5455

Рис.52 – Объединенные данные для обучения ОИНС

Для программной реализации ОИНС используем ранее подготовленный набор обученных ИНС-подмоделей (рис.53).

```

457 ANN1 = keras.models.load_model(Path + '\ANNs\ANN-1.h5')
458 ANN2 = keras.models.load_model(Path + '\ANNs\ANN-2.h5')
459 ANN3 = keras.models.load_model(Path + '\ANNs\ANN-3.h5')
460 ANN4 = keras.models.load_model(Path + '\ANNs\ANN-4.h5')
461 ANN5 = keras.models.load_model(Path + '\ANNs\ANN-5.h5')
462 ANN6 = keras.models.load_model(Path + '\ANNs\ANN-6.h5')
463

```

Рис.53 – Загрузка конфигураций готовых ИНС-подмоделей в программный код

Значения, передаваемые из одной ИНС в другую, необходимо приводить к соответствующему формату - одномерному числовому массиву (.flatten()). Значения нескольких ИНС-подмоделей, образующих слой ОИНС, также необходимо объединять в один числовой массив (np.concatenate()) (рис.54).

Результаты работы ОИНС, полученной методом последовательного соединения ИНС-подмоделей, значительно расходятся с теоретическими и являются неудовлетворительными. Фрагменты начала, середины и конца списка результатов обработки данных ОИНС представлены на рисунке 55.

```

590 ANN1_PREDICTED = ANN1.predict(NP_X); #print('ANN1 = ', ANN1_PREDICTED)
591 ANN1_FLAT = ANN1_PREDICTED.flatten(); #print(ANN1_FLAT)
592
593 ANN2_PREDICTED = ANN2.predict(ANN1_FLAT); #print('ANN2 = ', ANN2_PREDICTED)
594 ANN2_FLAT = ANN2_PREDICTED.flatten()
595
596 ANN3_PREDICTED = ANN3.predict(ANN1_FLAT); #print('ANN3 = ', ANN3_PREDICTED)
597 ANN3_FLAT = ANN3_PREDICTED.flatten()
598
599 ANN2_3 = np.concatenate((ANN2_FLAT, ANN3_FLAT)); #print(ANN2_3)
600
601 ANN4_PREDICTED = ANN4.predict(ANN2_3); #print('ANN4 = ', ANN4_PREDICTED)
602 ANN4_FLAT = ANN4_PREDICTED.flatten()
603
604 ANN5_PREDICTED = ANN5.predict(ANN2_3); #print('ANN5 = ', ANN5_PREDICTED)
605 ANN5_FLAT = ANN5_PREDICTED.flatten()
606
607 ANN4_5 = np.concatenate((ANN4_FLAT, ANN5_FLAT)); #print(ANN4_5)
608
609 ANN6_PREDICTED = ANN6.predict(ANN4_5); print('ANN6 RESULT = ', ANN6_PREDICTED)

```

Рис.54 – Реализация программного кода ОИНС-модели методом последовательного объединения

```

ANN6 RESULT = [[2690.7395] [2692.3635] [5372.1216]
[2691.3186] [5369.095 ] [5373.0967]
[2691.7427] [5370.111 ] [5373.094 ]
[2692.3223] [5370.0664] [5374.069 ]
[2690.743 ] [5371.083 ] [5374.094 ]
[2691.3225] [5371.0654] [5375.07 ]
[2691.7468] [5372.0815] [5372.1294]
[2692.3264] [5369.102 ] [5373.1045]
[2690.743 ] [5370.118 ] [5373.1006]
[2691.3225] [5370.073 ] [5374.0767]
[2691.7468] [5371.0894] [5374.101 ]
[2692.326 ] [5371.073 ] [5375.0767]]
[2690.7466] [5372.09 ]
[2691.3257] [5369.102 ]
[2691.7502] [5370.118 ]
Process finished with exit code 0

```

Рис.55 – Фрагменты начала, середины и конца списка результатов обработки данных ОИНС

Поскольку непересекающиеся множества значений входов обрабатываются во всех используемых в ОИНС подмоделях, то воспринимаемый последующей подмоделью ошибочный выходной сигнал порождается каждой предыдущей подмоделью. С каждой пройденной ИНС-подмоделью растет цена ошибки, приводя в конечном итоге к получению

ошибочного результата работы ОИНС. Построенная подобным образом нейросетевая модель не в состоянии обучаться правильной обработке входящих сигналов, так как в ней отсутствуют элементы, способные к обучению. необходима корректирующая ошибочные сигналы, распространяющиеся внутри рассматриваемой системы, внешняя ОИНС.

1.4.4.2 Построение модели ОИНС методом представления ИНС-подмоделей в виде нейронных элементов

Каждая модель этапа создания документации об изделии представляет собой отдельную изолированную подсистему, решающую задачу распознавания конкретных входных сигналов и выдачу соответствующих результатов. Данное обстоятельство делает принципиально невозможным создание общей системы путем последовательного соединения ее подсистем. Необходим механизм, обеспечивающий передачу корректных данных из предыдущей подсистемы в последующую, расширяющий возможности построения нейросетевой системы.

По методологии IDEF0 моделируемая система представляет собой совокупность подмоделей, представленных структурными декомпозициями функциональных блоков. Связи между функциональными блоками верхнего и нижнего уровней при проведении структурной декомпозиции остаются неизменными. В ИНС неизменность передачи сигнала от одной модели к другой не предусмотрена, что значительно ограничивает спектр решаемых искусственной нейросетью задач. Имитация функций мозга человека, а именно: памяти, распознавания информации и ее предсказывание - основное назначение искусственных нейронных сетей.

Для того, чтобы объединить совокупность ИНС в одну систему, представляющую собой обобщенную искусственную нейронную сеть

(ОИНС), необходимо, чтобы имелся аппарат, поддерживающий связь подмоделей

с внешней средой без потери свойств распространяемых сигналов, подобный механизму структурной декомпозиции по методологии IDEF0. При этом, данная связь также должна подчиняться принципам обработки информации в ИНС. Тогда ИНС-подсистема должна представлять собой отдельный "нейрон" в системе ИНС верхнего уровня и функционировать соответственно, как искусственный нейрон [58].

Настройка весов нейронов ИНС служит ее обучением с целью получения желаемого результата при прохождении входных сигналов. С точки зрения алгоритмов обучения нейронный элемент - основа структуры ИНС, несущая в себе значения весов (рис. 56).

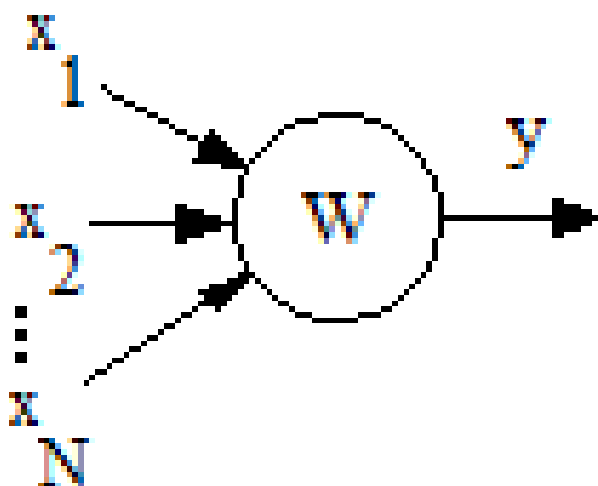


Рис.56 – Нейронный элемент с точки зрения алгоритма обучения

ИНС не обладает собственными весами. Следовательно, необходимо, чтобы результаты, выдаваемые ИНС, представляли собой значения весов нейронного элемента в среде ОИНС (рис. 57).

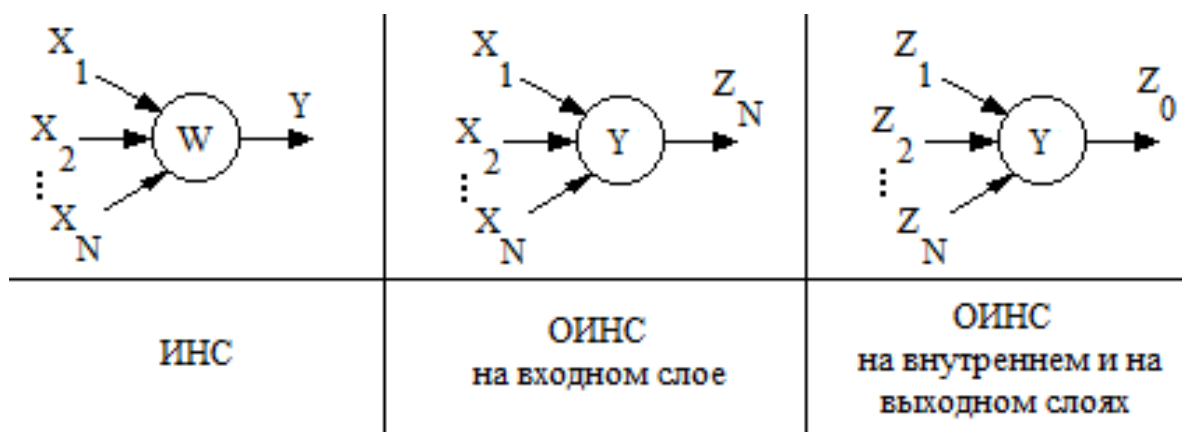


Рис.57 – Представление выходного сигнала ИНС как веса в масштабе ОИНС

Для получения выходного сигнала нейронного элемента ОИНС, необходимо обработать соответствующим образом входные сигналы с помощью внутренней ИНС с последующей повторной их обработкой по алгоритму функционирования искусственного нейрона совместно с результатом внутренней ИНС (рис. 58).

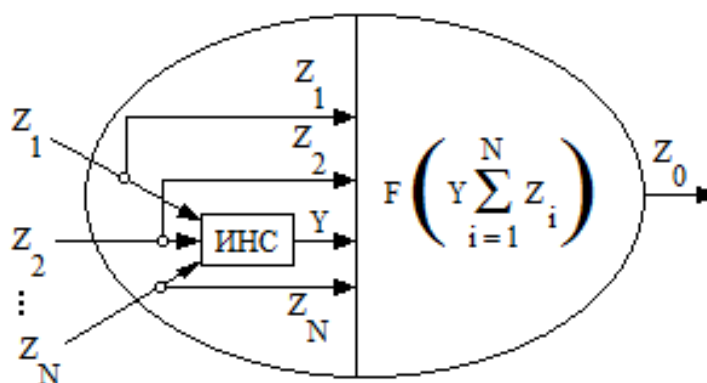


Рис.58 – Обработка сигналов нейронным элементом ОИНС

Соответственно, вычисление результирующего сигнала нейронного элемента ОИНС производится по следующему закону:

$$Z_0 = F\left(Y \sum_{i=1}^N Z_i\right), \quad (25)$$

где Y - результат обработки входных сигналов Z_i внутренней ИНС, F - функция активации нейронного элемента ОИНС.

Следуя сформулированным правилам, представим производственный процесс одновременного изготовления нескольких изделий в виде системы ИНС-подмоделей (рис.59).

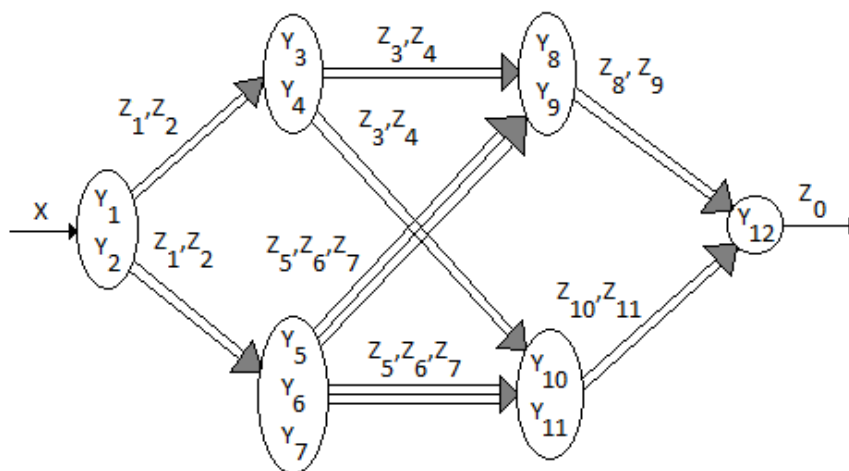


Рис.59 – ОИНС, содержащая несколько весов в каждом структурном элементе

Вследствие наличия двух и более выходных сигналов в рассматриваемых моделях ИНС, то в полученной ОИНС присутствуют элементы с несколькими весами. Целесообразно привести ОИНС к виду, в котором каждый нейронный элемент содержит в себе один из весов, полученный из внутренней ИНС (рис. 60).

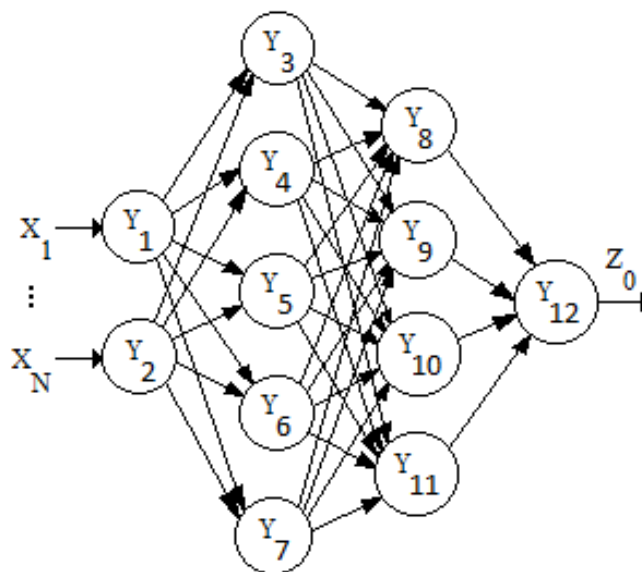


Рис.60 – ОИНС, приведенная к стандартному виду ИНС

Таким образом, получена двухуровневая нейронная сеть, способная к структурной декомпозиции, подобно методологии IDEF0.

Одним из возможных вариантов корректировки сигналов, поступающих на каждый элемент ИНС является изменение веса каждого нейрона на специфический. Рассмотрим конфигурацию ОИНС, в которой вес каждого нейрона меняется на значение выходного сигнала соответствующей ИНС-подмодели (рис. 61).

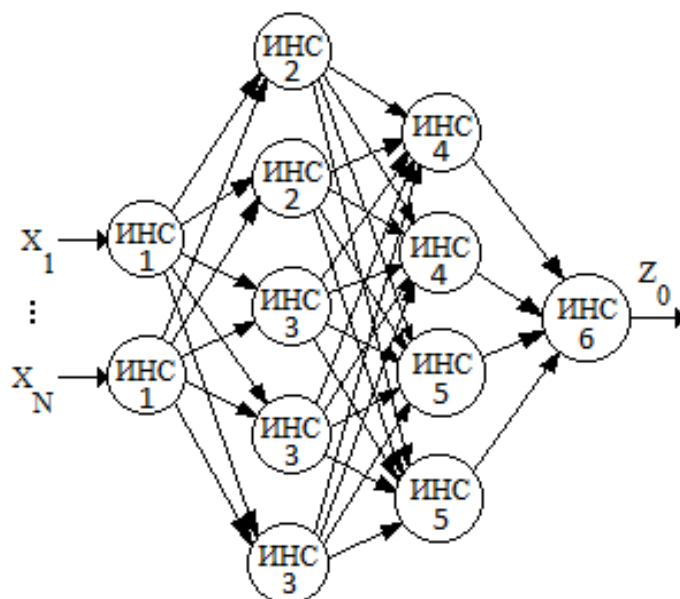


Рис.61 – ОИНС с корректировкой весов нейронов с помощью отдельных ИНС-подмоделей

Реализация концепции ИНС-подмодели в виде отдельного нейрона ОИНС в виде программного кода предполагает представление каждого нейронного элемента в виде отдельной модели с принудительной подстройкой весов, согласно конфигурации используемой ИНС-подмодели. Фактическая конфигурация ОИНС представлена на рисунке 62.

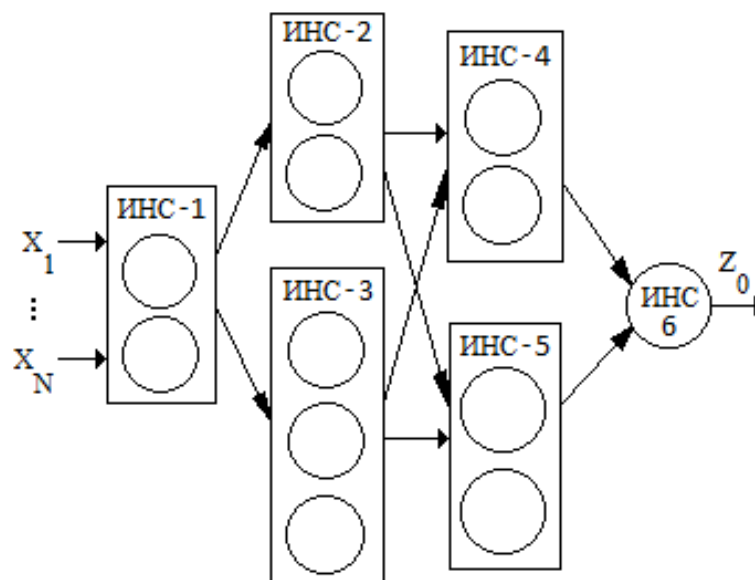


Рис.62 – Фактическая конфигурация ОИНС

Программная реализация нейронного элемента ОИНС этапа "Проектирование" в виде отдельной модели представлена на рисунке 63.

```

479
480 ANN_in = Input(shape=(1,), name='ANN_IN')
481 L1 = Dense(1, activation='linear', name='L1_Dense')(ANN_in)
482 L1_M = Model(inputs=ANN_in, outputs=L1)
483 ANN1_PREDICTED = ANN1.predict(NP_X); #print(ANN1_PREDICTED)
484 L1_W = L1_M.get_weights()
485 L1_W[1][0] = ANN1_PREDICTED[0][0]
486 L1_M.set_weights(L1_W);
487 #print(L1_M.get_weights())
488 L1_M_out = L1_M.predict(NP_X)
489

```

Рис.63 – Реализация нейронного элемента ОИНС в виде программной подмодели, содержащую ИНС этапа «Проектирование»

Все остальные ИНС-подмодели формируются аналогичным способом. Их реализации, включенные в общую структуру ОИНС-модели, представлены в приложении Г.

Результаты обработки слоев, содержащих более чем один нейрон ОИНС, необходимо представить в виде объединения одномерных числовых массивов для передачи данных следующему слою (рис. 64).

```

490 L2_1 = Dense(2, activation='linear', name='L2_Dense_1')(L1)
491 L2_1_M = Model(inputs=ANN_in, outputs=L2_1)
492 ANN2_PREDICTED = ANN2.predict(L1_M_out); #print(ANN2_PREDICTED)
493 L2_1_W = L2_1_M.get_weights()
494 L2_1_W[3][0] = ANN2_PREDICTED[0][0]
495 L2_1_W[3][1] = ANN2_PREDICTED[0][0]
496 L2_1_M.set_weights(L2_1_W)
497 #print(L2_1_M.get_weights())
498 L2_1_M_out = L2_1_M.predict(NP_X)
499
500
501
502 L2_2 = Dense(3, activation='linear', name='L2_Dense_2')(L1)
503 L2_2_M = Model(inputs=ANN_in, outputs=L2_2)
504 ANN3_PREDICTED = ANN3.predict(L1_M_out); #print(ANN3_PREDICTED)
505 L2_2_W = L2_2_M.get_weights()
506 L2_2_W[3][0] = ANN3_PREDICTED[0][0]
507 L2_2_W[3][1] = ANN3_PREDICTED[0][0]
508 L2_2_W[3][2] = ANN3_PREDICTED[0][0]
509 L2_2_M.set_weights(L2_2_W)
510 #print(L2_2_M.get_weights())
511 L2_2_M_out = L2_2_M.predict(NP_X)
512
513
514 combined_L2 = Concatenate()([L2_1, L2_2])
515 combined_L2_out = np.concatenate((ANN2_PREDICTED.flatten(), ANN3_PREDICTED.flatten()))
516 #print(combined_L2_out)

```

Рис.64 – Объединение результатов обработки информации ОИНС-нейронов этапов «Конструирование» и «Технология» в один числовой массив

Результат, выдаваемый данной ОИНС, имеет интересную особенность в том, что каждому значению из диапазона входных сигналов соответствует противоположное значение из диапазона выходных сигналов (рис. 65).

```

[[5455.]
 [5455.]
 [5454.]
 [5454.]
 [5453.]
 [5453.]
 [5452.]
 [5452.]
 [5451.]
 [5451.]
 [5450.]
 [5449.]]

Process finished with exit code 0

```

Рис.65 – Результат работы ОИНС, использующей ИНС-подмодели в качестве нейронных элементов

Процесс обучения нейронных сетей основан на свободном изменении значений весов нейронов на величину ошибки, оцениваемую на основе разницы между теоретическим и полученным значениями результатов обработки данных с учетом параметров обучения. Принудительная подстройка весов нейронов существенно ограничивает свободу их изменения, вызывая эффект паралича в процессе обучения [59], что приводит к неверному результату работы ОИНС.

1.4.4.3 Построение модели ОИНС с межслойным включением ИНС-подмоделей

Изменение весов искусственных нейронов на специфические всегда сопряжено с опасностью возникновения эффекта паралича во время обучения. Одновременно, последовательное соединение ИНС-подмоделей в одну систему возможно лишь тогда, когда множество выходных значений ИНС и принимаемых ею входных совпадают. Соединение в общую систему абсолютно разных по своим функциям и свойствам ИНС не имеет смысла.

Основой любой производственной системы предприятия являются его сотрудники. Человек, с точки зрения когнитивных наук, представляет собой чрезвычайно мощный биологический нейрокомпьютер, способный решать нетривиальные задачи, с которыми современные вычислительные системы справляются с трудом, также с помощью человека.

В производственных системах выполняемые сотрудниками задачи подразделяются на типовые, периодически выполняемые, и интеллектуальные, решаемые различными способами. Если в типовых задачах установлена регламентированная последовательность действий, их набор и длительность, то интеллектуальные задачи лишены этих свойств.

Они могут возникать при любых обстоятельствах, в любое время и зачастую имеют решение, не поддающееся регламентации.

Совокупность подсистем, занимающихся решением интеллектуальных задач, в том числе и смежного характера, образуют сложную интеллектуальную систему. Поскольку человек является ее главным элементом, то, фактически, интеллектуальная система становится одной общей нейронной сетью. При этом, человек, являясь ее элементом, легко решает задачи различные задачи нетривиального характера, в том числе и те, которые далеки от его области деятельности [60].

Известно, что ИНС - это инструмент, не обладающей абсолютной точностью. Человеческий фактор при решении задач также имеет место в деятельности человека. Но при возникновении ошибки, распространяющейся внутри системы, она оперативно отслеживается и устраняется, позволяя системе функционировать дальше и получать ожидаемый результат.

Следовательно, человек представляет собой либо нейронную сеть, обученную широкому диапазону задач, в том числе и задачам, выходящим за рамки его сферы деятельности, либо существует внешняя контролирующая среда, оперативно устраняющая ошибки, возникающие результате интеллектуальной деятельности, реальным аналогом которой выступает единая интегрированная электронная среда АС [61].

Поскольку существует набор обученных, независимых друг от друга ИНС-подмоделей, решающих узкий спектр собственных задач, которые требуется объединить в единую систему, то необходимо рассмотреть концепцию, при которой существует внешняя ОИНС, корректирующая ошибки при обработке данных каждой ИНС-подмодели.

Рассмотрим концепцию, при которой существует внешняя корректирующая внутренние ошибки ОИНС, построенная по принципу

чередования слоев со свободными для обучения нейронными элементами и обученных ИНС-подмоделей, также образующих слои (рис. 66).

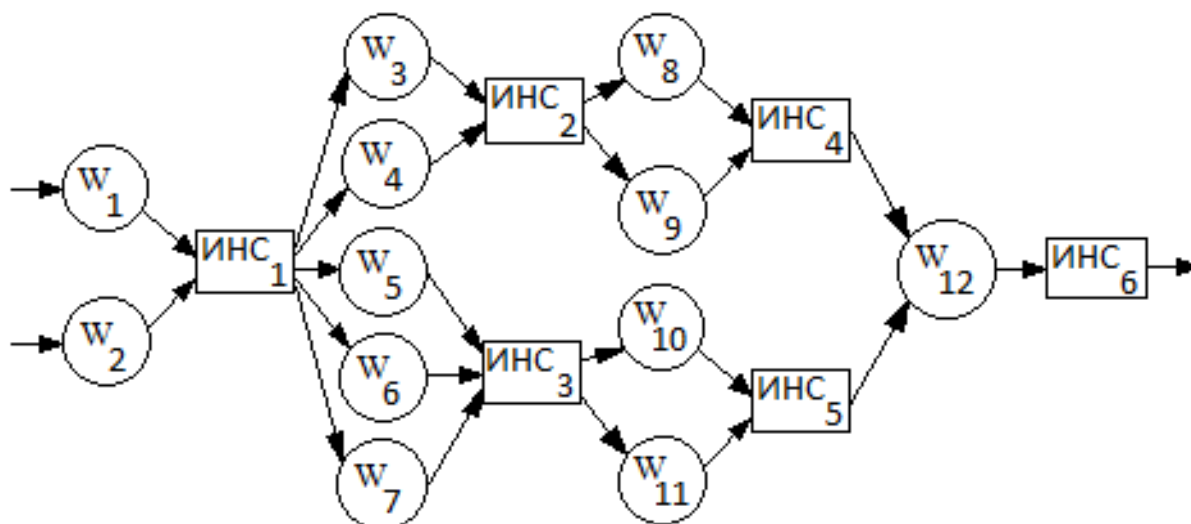


Рис.66 – ОИНС с чередованием слоев со свободными для обучения нейронными элементами и слоев, содержащих ИНС-подмодели

Поскольку чередование слоев подразумевает изменение стандартного подхода к построению структуры ИНС, необходимо представлять каждый слой в виде отдельной модели. Обобщающая способность промежуточных моделей также должна быть достаточной, для чего в них необходимо установить количество нейронных элементов, совпадающее с количеством нейронных элементов на входных слоях обученных ИНС-подмоделей (рис.67).

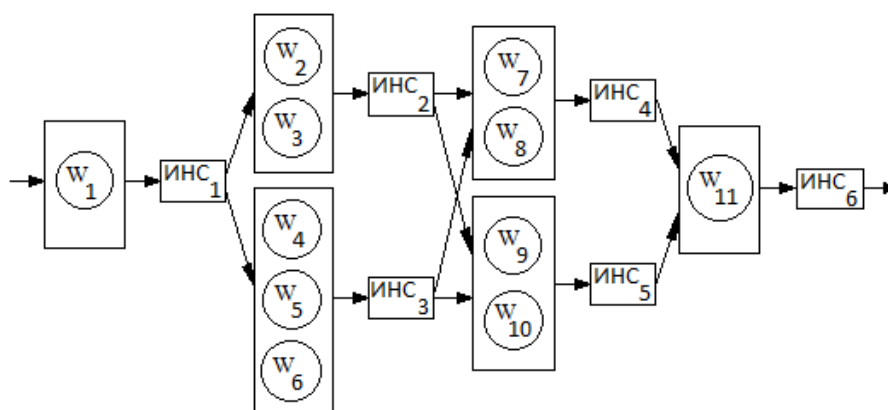


Рис.67 – Фактическое представление ОИНС с чередующимися слоями и ИНС-подмоделями

Следуя данной концепции, становится возможной программная реализация ОИНС-модели (рис. 68).

```

633
634 L2_1_in = Input(shape=(2,), name='L2_1_IN')
635 L2_1 = Dense(2, activation='linear', name='L2_Dense_1')(L2_1_in)
636 L2_1_M = Model(inputs=L2_1_in, outputs=L2_1)
637
638 L2_1_out = L2_1_M.predict(ANN1_PREDICTED); #print(L2_1_out)
639 L2_1_out_1 = L2_1_out[:,0]; #print(L2_1_out_1)
640 L2_1_out_2 = L2_1_out[:,1]; #print(L2_1_out_2)
641 #L2_1_FLAT = L2_1_M.predict(ANN1_PREDICTED).flatten()
642 #ANN2_PREDICTED = ANN2.predict(L2_1_FLAT); #print(ANN2_PREDICTED)
643 #ANN2_FLAT = ANN2_PREDICTED.flatten()
644 ANN2_PREDICTED_1 = ANN2.predict(L2_1_out_1); #print(ANN2_PREDICTED_1)
645 ANN2_PREDICTED_2 = ANN2.predict(L2_1_out_2); #print(ANN2_PREDICTED_2)
646
647 #-----
648
649 L2_2_in = Input(shape=(2,), name='L2_2_IN')
650 L2_2 = Dense(3, activation='linear', name='L2_Dense_2')(L2_2_in)
651 L2_2_M = Model(inputs=L2_2_in, outputs=L2_2)
652
653 L2_2_out = L2_2_M.predict(ANN1_PREDICTED); #print(L2_1_out)
654 L2_2_out_1 = L2_2_out[:,0]; #print(L2_2_out_1)
655 L2_2_out_2 = L2_2_out[:,1]; #print(L2_2_out_2)
656 #L2_2_FLAT = L2_2_M.predict(ANN1_PREDICTED).flatten()
657 #ANN3_PREDICTED = ANN3.predict(L2_2_FLAT); #print(ANN3_PREDICTED)
658 #ANN3_FLAT = ANN3_PREDICTED.flatten()
659 ANN3_PREDICTED_1 = ANN3.predict(L2_2_out_1); #print(ANN3_PREDICTED_1)
660 ANN3_PREDICTED_2 = ANN3.predict(L2_2_out_2); #print(ANN3_PREDICTED_2)
661

```

Рис.68 – Программная реализация моделей второго слоя и слоев ИНС-подмоделей этапов "Конструирование" и "Технология"

Результаты обработки данных ИНС-подмоделей непосредственно участвуют в процессе вычисления ОИНС, для чего их необходимо объединять в один числовой массив для дальнейшей обработки последующими слоями (рис.69).

```

663
664 combined_L2 = Concatenate()([L2_1, L2_2])
665 combined_L2_NP_1 = np.concatenate((ANN2_PREDICTED_1, ANN3_PREDICTED_1), axis=1); #print(combined_L2_NP_1)
666 combined_L2_NP_2 = np.concatenate((ANN2_PREDICTED_2, ANN3_PREDICTED_2), axis=1); #print(combined_L2_NP_2)
667 combined_L2_NP = np.concatenate((combined_L2_NP_1, combined_L2_NP_2), axis=1); #print(combined_L2_NP)
668

```

Рис.69 – Промежуточное объединение результатов обработки данных ИНС-подмоделями этапов «Конструирование» и «Технология»

Входные данные для проверки результатов обучения ОИНС имеют сложную структуру, выражающуюся в различной размерности подаваемых на вход числовых массивов. Необходимо разработать соответствующий тест, удовлетворяющий условиям размерностей. В отдельные переменные запишем специфические данные, например, в переменную T_1 запишем документ с номером 10 (соответствует КД2.280.048 ПЭЗ). Все остальные переменные T_2, T_3 и T_4 соответственно содержат в себе последовательные результаты обработки данных каждой предыдущей ИНС-подмодели. Если размерность числового массива слишком большая для ее восприятия последующей ИНС-подмоделью, то часть значений отсекается для достижения требуемой размерности (рис.70).

```

750     T_1 = np.array([10])
751     T_2 = np.array([[21.4272, 22.42643]])
752     T_3 = np.array([[2681.7856, 2682.786, 5371.3843, 5372.368, 5373.3735,
753         2681.789, 2682.7893, 5371.3916, 5372.3755, 5373.381]])
754     T_4 = np.array([[2687.658, 2688.2366, 2689.242, 2689.2515,
755         5384.7974, 5385.815, 5387.753, 5388.735]])
756
757
758     classes = MainModel.predict([T_1, T_2, T_2, T_3, T_3, T_4])
759     #print(classes)
760     print('RESULT:\n',classes.round())

```

Рис.70 – Реализация теста для проверки правильности обучения ОИНС

Далее все переменные последовательно подаются на вход ОИНС-модели. Результат работы ОИНС, созданной чередованием слоев и обученных ИНС-подмоделей представлен на рисунке 71.

```
12/12 [=====] - 0s 83us/step - loss: 3.0623 - accuracy: 0.1667
Epoch 499/500

12/12 [=====] - 0s 83us/step - loss: 3.0535 - accuracy: 0.1667
Epoch 500/500

12/12 [=====] - 0s 83us/step - loss: 3.0465 - accuracy: 0.1667
RESULT:
[[-2742.]]

Process finished with exit code 0
```

Рис.71 – Результат работы ОИНС, созданной чередованием слоев и обученных ИНС-подмоделей

Данная концепция приводит к ошибочным результатам обработки данных, так как ИНС-подмодели выступают как "нейроны" без возможности обучения, что приводит к местным параличам в процессе обучения и, следовательно, к снижению точности результатов работы ОИНС [62]. Кроме того, внутренние свободные нейроны обучаются восприятию только ошибочных данных, генерируемых ИНС-подмоделями, что в совокупности с "паралитической" составляющей также порождает ошибку в формировании результатов.

1.4.4.4 Построение модели ОИНС с использованием дополнительных входов от ИНС-подмоделей

Включение в общую систему отдельных элементов контроля ошибок данных не обеспечивает ее корректную работу. ОИНС должна непрерывно охватывать все этапы подготовки производственной документации, оставаясь при этом внешней структурой. Следовательно, необходимо рассмотреть такую ИНС-структуру, при которой общая нейросетевая модель могла бы адаптироваться к входным сигналам с шумовой составляющей, генерируемой ИНС-подмоделями. Данное обстоятельство означает, что на

каждом слое ОИНС располагается дополнительный вход для шумовых данных [63].

Следуя данным принципам, построена ОИНС модель, особенностью которой является использование одних и тех же входных данных для каждой ИНС-подмодели для гарантированной генерации шума на дополнительных входах ИНС [64] (рис.72).

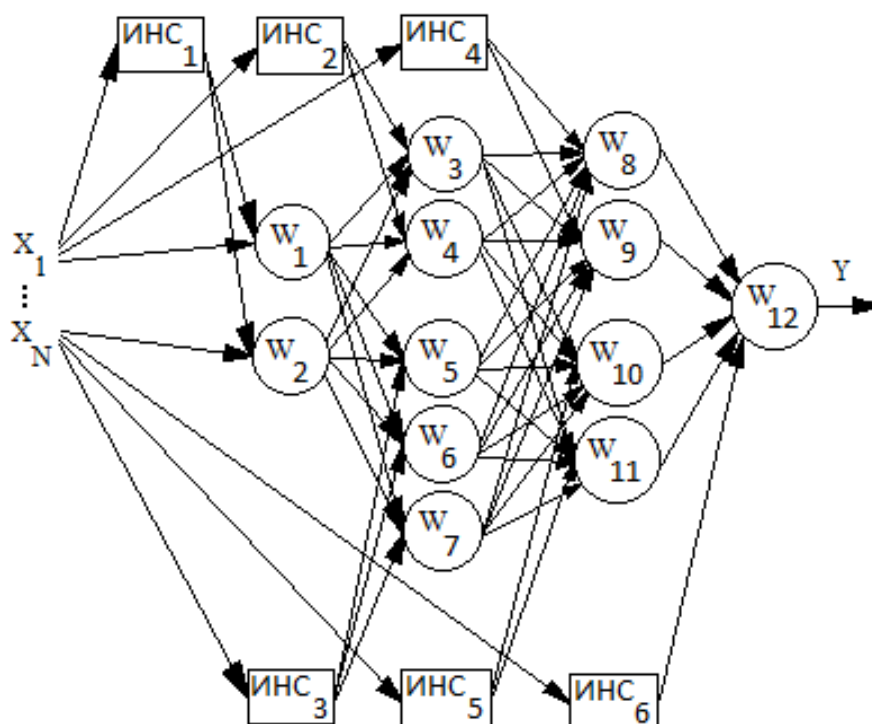


Рис.72 – ОИНС с дополнительными шумовыми входами на каждом слое

Реализация входного слоя с несколькими входами требует создания нескольких входных слоев и формирования дополнительного слоя, объединяющего входные (рис. 73).

Данными для обучения являются ОИНС являются подготовленный текстовый файл и результаты обработки данных каждой из шести обученных ИНС-подмоделей различных этапов. Подадим на вход каждой ИНС-подмодели один и тот же набор данных, который они обрабатывают, согласно своим внутренним ассоциациям.

```

781
782 ANN_in_1 = Input(shape=(1,), name='ANN_IN_1')
783 ANN_in_2 = Input(shape=(1,), name='ANN_IN_2')
784 merge_IN = Concatenate()([ANN_in_1, ANN_in_2])
785
786 L1 = Dense(2, activation='linear', name='L1_Dense')(merge_IN)
787
788 L2_1_in = Input(shape=(1,), name='L2_1_IN')
789 merge_L2_1 = Concatenate()([L1, L2_1_in])
790 L2_1 = Dense(2, activation='linear', name='L2_Dense_1')(merge_L2_1)
791
792 L2_2_in = Input(shape=(1,), name='L2_2_IN')
793 merge_L2_2 = Concatenate()([L1, L2_2_in])
794 L2_2 = Dense(3, activation='linear', name='L2_Dense_2')(merge_L2_2)
795
796 combined_L2 = Concatenate()([L2_1, L2_2])
797

```

Рис.73 – Программная реализация входных слоев для ИНС-моделей этапов «Проектирование», «Конструирование» и "Технология"

Поскольку результаты обработок различных ИНС-подмоделей имеют разную размерность, но одинаковый входной формат в виде одномерного числового массива, то имеет смысл каждую полученную матрицу значений привести в числовой массив средних значений по каждой строке (рис. 74).

```

821
822 ANN1_PREDICTED = ANN1.predict(NP_X); #print('ANN1:\n', ANN1_PREDICTED)
823 ANN1_MEAN = np.array(np.mean(ANN1_PREDICTED, axis=1)); #print('ANN1_MEAN:\n', ANN1_MEAN)
824
825 ANN2_PREDICTED = ANN2.predict(NP_X); #print('ANN2:\n', ANN2_PREDICTED)
826 ANN2_MEAN = np.array(np.mean(ANN2_PREDICTED, axis=1)); #print('ANN2_MEAN:\n', ANN2_MEAN)
827
828 ANN3_PREDICTED = ANN3.predict(NP_X); #print('ANN3:\n', ANN3_PREDICTED)
829 ANN3_MEAN = np.array(np.mean(ANN3_PREDICTED, axis=1)); #print('ANN3_MEAN:\n', ANN3_MEAN)
830
831 ANN4_PREDICTED = ANN4.predict(NP_X); #print('ANN4:\n', ANN4_PREDICTED)
832 ANN4_MEAN = np.array(np.mean(ANN4_PREDICTED, axis=1)); #print('ANN4_MEAN:\n', ANN4_MEAN)
833
834 ANN5_PREDICTED = ANN5.predict(NP_X); #print('ANN5:\n', ANN5_PREDICTED)
835 ANN5_MEAN = np.array(np.mean(ANN5_PREDICTED, axis=1)); #print('ANN5_MEAN:\n', ANN5_MEAN)
836
837 ANN6_PREDICTED = np.array(ANN6.predict(NP_X)); #print('ANN6 RESULT:\n', ANN6_PREDICTED)
838

```

Рис.74 – Вычисление выходных матриц каждой ИНС-подмодели на основе одинакового набора входных данных и получение одномерного массива средних значений

Результат распознавания данных полученной ОИНС из текстового файла представлен на рисунке 75.

```
RESULTS:  
[[5450.]  
[5450.]  
[5451.]  
[5451.]  
[5452.]  
[5452.]  
[5453.]  
[5453.]  
[5454.]  
[5454.]  
[5455.]  
[5455.]
```

Рис.75 – Результат распознавания данных внешней ОИНС с дополнительными шумовыми входами

График зависимости значения функции потерь (Loss) ОИНС-модели с использованием дополнительных входов от ИНС-подмоделей от пройденной эпохи обучения (Epoch) представлены на рисунке 76.

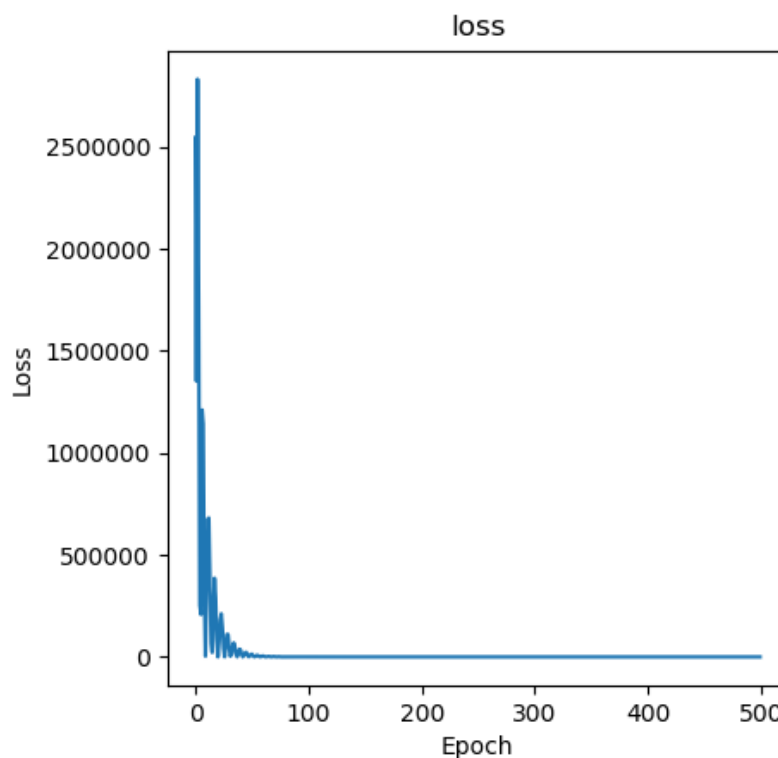


Рис.76 – График зависимости значений функции потерь ОИНС-модели с использованием дополнительных входов от ИНС-подмоделей от пройденной эпохи обучения

Полученная ОИНС является работоспособной и позволяет получить верные результаты обработки входных сигналов благодаря непрерывной нейросетевой структуре, не препятствующей корректному обучению, позволяющей подавлять ошибки в распространяющихся сигналах между ИНС-подмоделями. При значении скорости обучения 0,07 и количестве эпох обучения 500 точность ОИНС модели составляет 99%, полнота – 99%.

1.5 Выводы по главе 1

Анализ опыта в области моделирования технического документооборота предприятия показывает, что предприняты попытки создания всеобщей методологии моделирования предприятия в части описания структурных элементов и связей между ними, но полученные на их основе модели предприятия неспособны к адаптации к внешним и внутренним изменениям системы, происходящим в реальном масштабе времени. Следовательно, необходимо разработать новый подход, лишенный данных недостатков.

Получена функциональная модель жизненного цикла ТД и ее передачи производство с помощью методологии IDEF0, позволившая выявить информацию о протекающих в системе основных процессах, а также связанными с ними проблемами на стадии производства изделий.

FMEA-анализ рисков, связанных с процессами согласования ТД и ее передачи в производство, а также анализ причин возникновения несоответствий в процессе производства изделий по методу Исикавы показывают, что основной причиной возникновения несоответствий является

неоперативный обмен информацией об изделии между участниками процесса ТДО организации, в связи с чем необходимо провести реструктуризацию маршрута ТДО. Результаты QFD-анализа возможных альтернатив реализации нового маршрута согласования ТД показывают, что наиболее предпочтительным вариантом является модернизация существующего маршрута, для чего необходимо использовать подход к моделированию систем, позволяющий учитывать влияние постоянного возникновения несоответствий на функционирование системы в целом.

Наиболее часто используемые для этих целей методологии функционального моделирования IDEF0 и имитационного моделирования подходят лишь отчасти, так как обладают одним и тем же существенным недостатком - невозможностью самостоятельно адаптироваться к изменениям внешней и внутренней среды, что требует периодического пересмотра структуры созданных моделей и их актуализации.

Перспективным инструментом в области имитационного моделирования систем выбраны искусственные нейронные сети. Выявлены общие черты рассмотренных методологий в сравнении с аппаратом ИНС, а именно: создание моделей систем из простейших структурных элементов, сходство во входных и внутренних сигналах систем, организации межэлементной обратной связи. Следовательно, ИНС возможно использовать в качестве инструмента моделирования реальных объектов и процессов. Способность ИНС адаптироваться к изменениям внешних и внутренних условий реальной среды позволяет рассматривать данный инструмент как наиболее подходящий для задач имитационного моделирования.

На основе информации, полученной из функциональной модели жизненного цикла ТД и ее передачи в производство, сформированы нейросетевые представления отдельных этапов ТДО, реализованных в виде

самостоятельных моделей, которые необходимо объединить в единую систему для получения имитационной модели ТДО организации.

Соединение независимых в функциональном и информационном отношении блоков не позволяет реализовать алгоритм обработки информации, позволяющем достичь корректных данных, выдаваемых обобщенной моделью. Следовательно, необходимы либо специализированные этапы обработки информации о производстве, переводящие один тип информации в другой и наоборот, либо необходимо наличие внешней управляющей среды, корректирующей ошибки распространяемых внутри системы сигналов. Если существует внешняя система контроля ошибок, то она также представляет собой нейросетевую структуру. При этом, данная структура обязана быть сквозной и для корректной работы всей системы должна охватывать все входящие в ее структуру подсистемы. В реальности инструментом системы контроля ошибок выступает единая интегрированная электронная среда автоматизированных систем. Она позволяет сотрудникам предприятия оперативно отслеживать и устранять ошибки при во время подготовки документации об изделиях, а также при их проектировании.

Разработана имитационная модель обмена информацией о технической документации на изделие между участниками технического документооборота, отличающаяся от известных применением элементов теории искусственных нейронных сетей в качестве инструмента моделирования систем и позволяющая описать систему технического документооборота в условиях реакции на возникающие в процессе производства изделий несоответствия, выявить проблемы процессов обработки информации об изделии на различных стадиях проектно-производственного цикла и обосновать необходимость их дальнейшей

цифровизации, а также модернизации процессов согласования технической документации.

На основе обученных ИНС-подмоделей различных этапов ТДО путем их объединения создана с внешняя обрабатывающая ОИНС. Полученная ИМ показывает результаты, совпадающие с теоретическими, что подтверждает применимость элементов теории ИНС в качестве инструмента для построения имитационных моделей, а также реализуемость моделируемой системы ТДО предприятия на практике. Разработанный алгоритм и ОИНС-модель реализованы в программном обеспечении, позволяющем проанализировать поведение ТДО (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020611400, представлено в приложении Д).

Глава 2. Разработка методики создания ИНС-модели и модернизация исследуемого маршрута согласования ТД в среде автоматизированной системы

2.1 Модернизация маршрута согласования ТД с помощью элементов теории искусственных нейронных сетей

С целью улучшения процессов согласования ТД в рамках СМК предприятия необходимо разработать подход, позволяющий получить нейросетевое представление анализируемой системы.

В среде автоматизированной системы (АС), используемой на предприятии, реализован маршрут согласования ТД в соответствии с СТО, регламентирующими требования к согласованию, утверждению и передаче в производство ТД на бумажном носителе (традиционный маршрут).

Маршрут согласования ТД в среде АС предприятия представляет собой цепь последовательно соединенных между собой статусов ТД. Связями между статусами являются переходы из одного статуса в другой. Продвижение ТД по маршруту осуществляется с помощью протокола электронного согласования, допускающего смену статуса ТД, согласно маршруту. Переход между статусами возможен при наличии всех необходимых электронных цифровых подписей лиц, согласующих ТД на каждом конкретном переходе. Структура статусов ТД, включающая в себя переходы, доступные на каждом статусе и необходимые для осуществления перехода подписи лиц, приведена в таблице 4.

При создании ТД присваивается начальный статус «Разработка». Окончательным статусом ТД, допускающим его свободное использование в производстве, является «Действует». Действующий ТД также может

получить статус “Аннулирован”, если он заменяется другим действующим ТД.

Традиционный маршрут согласования в среде АС организации представлен на рисунке 77. Согласно требованиям ГОСТ 14.206 [65], ГОСТ Р 21.1101 [66],

Таблица 4 – Структура статусов ТД

Статус ТД	Доступные переходы	Требуемые подписи
Разработка	На проверку	Разработчик
Проверка	На согласование	Проверяющий Технологический контроль
	На доработку	
Согласование (предварительный нормоконтроль)	На утверждение	Нормоконтроль
	На доработку	
Утверждение	На нормоконтроль	Утверждающий
	На доработку	
Нормоконтроль (окончательный нормоконтроль)	В архив	Нормоконтроль
	На доработку	
В архиве	Принять документ на учет	
	Аннулирование действующего	
Действует	Аннулирование действующего	Архив
Аннулирован	Восстановление в действующие	Архив

ГОСТ 2.111 (для конструкторской документации) [67] и ГОСТ 3.1116 (для технологической документации основного и сквозного производства) [68], процессы проверки, согласования, предварительного и окончательного

нормоконтроля, отправки на учет в архив происходят в определенной последовательности. Доработка ТД происходит при возникновении несоответствий на любом из этапов согласования ТД. Возврат ТД на доработку или выпуск новой версии ТД с соответствующими исправлениями отражены в маршруте согласования ТД обратной связью.

При создании ИНС-модели традиционного маршрута согласования ТД [69] необходимо учитывать, что распространение данных в ИНС возможно только в одном направлении, роль обратной связи играет механизм обратного распространения ошибки. Структуру маршрута следует читать справа налево, сверху вниз, выделяя необходимые структурные элементы для будущей ИНС-модели, а именно: в качестве искусственных нейронов выступают возможные в статусе переходы. Обратные переходы также преобразуются в нейронные элементы, так как обратная связь в той или иной мере всегда присутствует при прямом распространении информации о ТД в рассматриваемой системе, последующие статусы ТД всегда достижимы вне зависимости от того, сколько процедур доработок претерпевает ТД в процессе согласования [70].

Совокупность полученных при анализе статуса ТД нейронных элементов составляет слой ИНС. Слои нейронных элементов составляются таким образом, чтобы обеспечивались связи между всеми нейронами соседних слоев (рис. 78).

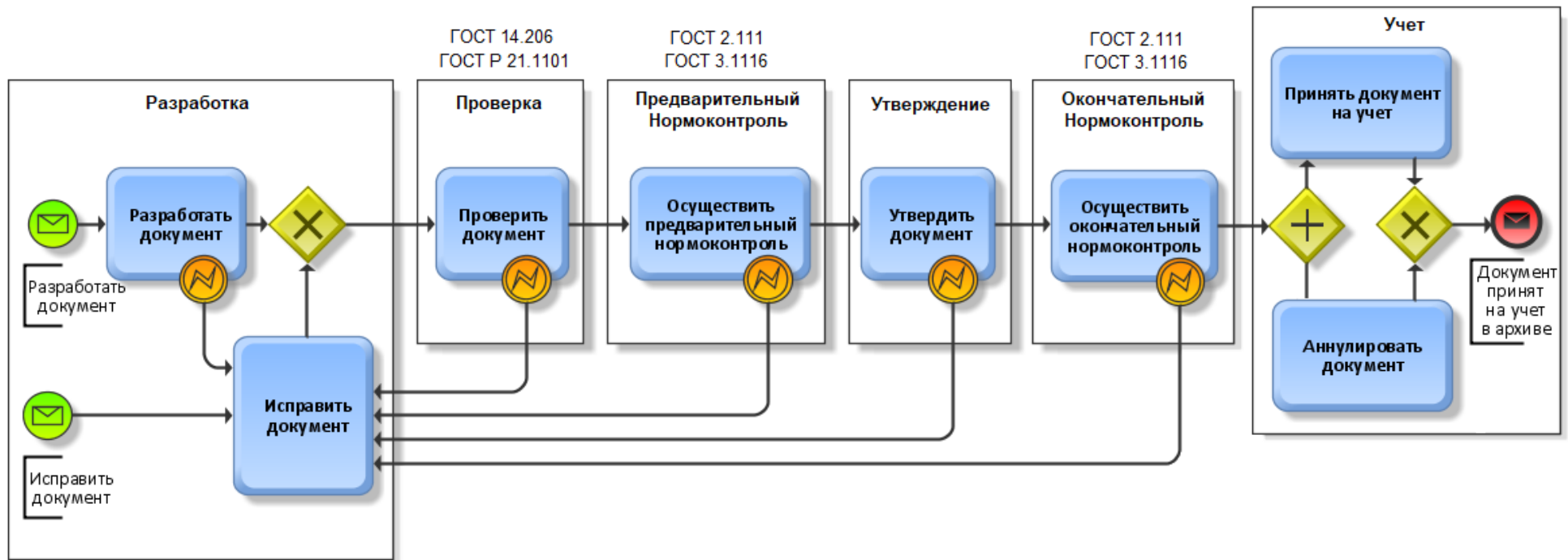


Рисунок 77 – Традиционный маршрут согласования ТД в среде АС организации

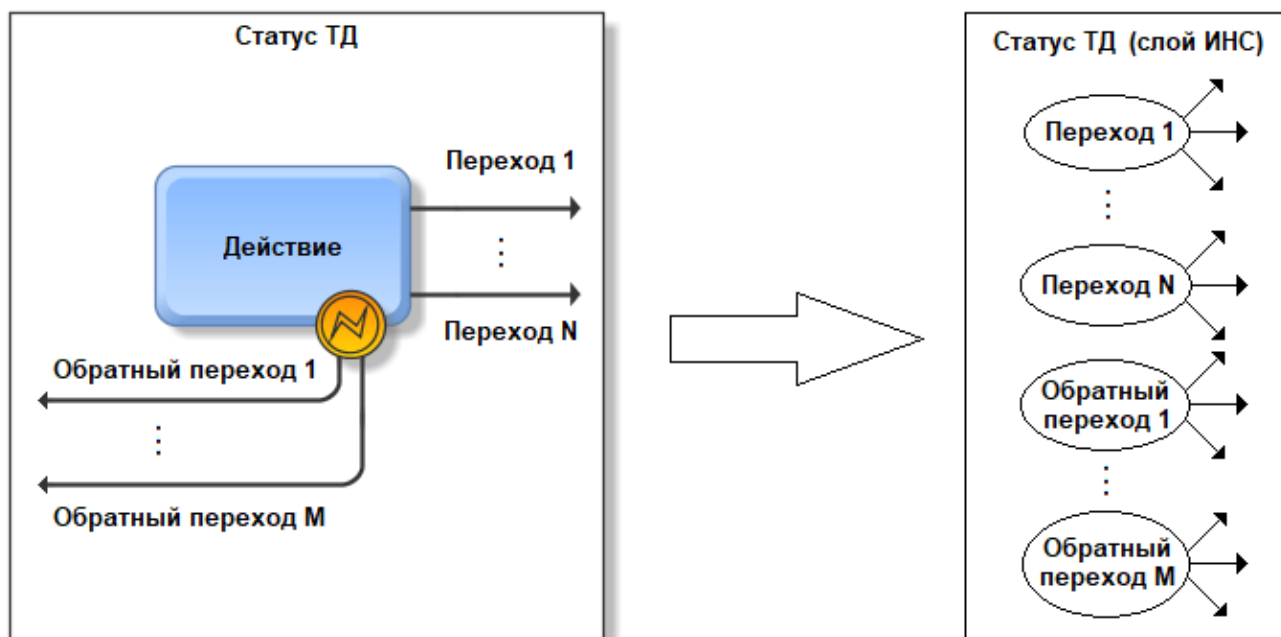


Рисунок 78 – Преобразование статуса ТД в слой ИНС-модели маршрута согласования ТД

Таким образом, становится возможным получить ИНС-модель традиционного маршрута согласования ТД, в которой выделяются группы однотипных элементов:

- элементы, возвращающие ТД в начало маршрута (группа 1);
- элементы промежуточной обработки ТД (группа 2);
- элементы окончательной обработки ТД (группа 3).

ИНС-модель традиционного маршрута согласования ТД с выделенными группами элементов представлена на рисунке 79.

В среде АС часть процессов возможно осуществлять параллельно, что позволяет распределить группы элементов в слое ИНС. В полученных слоях ИНС-модели повторяющиеся в функциональном назначении нейронные элементы объединяются в подгруппы (рис. 80).

Функционально повторяющиеся элементы в подгруппах возможно заменить одним нейронным элементом с аналогичной функцией. Четыре элемента отправки ТД на доработку заменяются одним элементом. Согласно

СМК организации конечным результатом операций предварительного (согласование) и окончательного нормоконтроля становится отправка ТД на окончательное решение о приеме ТД или его аннулировании. Вследствие того, что данные операции производятся одним и тем же лицом, в совокупности с возможностями АС параллельной обработки ТД, становится возможным их объединение в один нейронный элемент. Модернизированная ИНС-модель маршрута согласования ТД с замененными подгруппами на соответствующие нейронные элементы представлена на рисунке 81.

Каждый слой полученной модели возможно представить в виде отдельного статуса согласования ТД с указанием лиц, участвующих в подписании ТД в соответствии с действующими СТО. В результате создан модернизированный маршрут согласования ТД, отличающийся от исходного меньшим количеством статусов с возможностью параллельной процедуры подписания, что достигается веерной рассылкой ТД абонентам, позволяя сократить длительность согласования ТД (рис.82).

Разработанный маршрут согласования ТД на основе улучшенной структуры ИНС-модели стандартизован и введен в действие СТО, актуализированы смежные СТО [71].

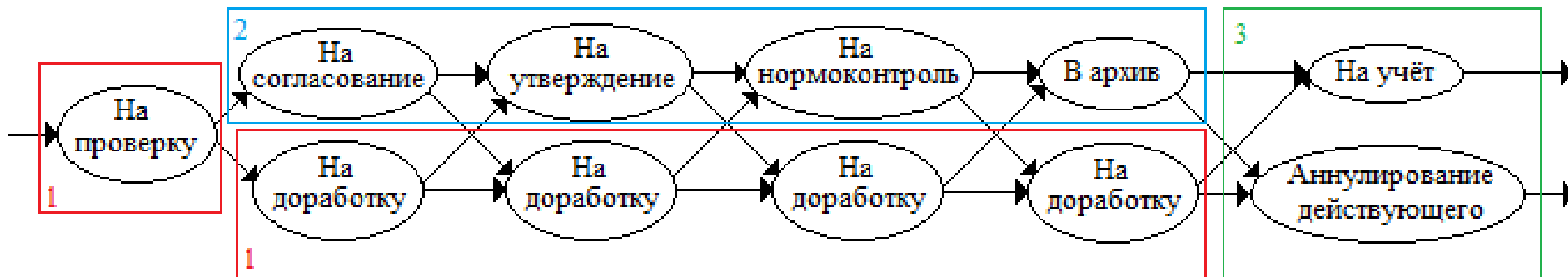


Рисунок 79 - ИНС-модель традиционного маршрута согласования ТД с выделенными группами элементов

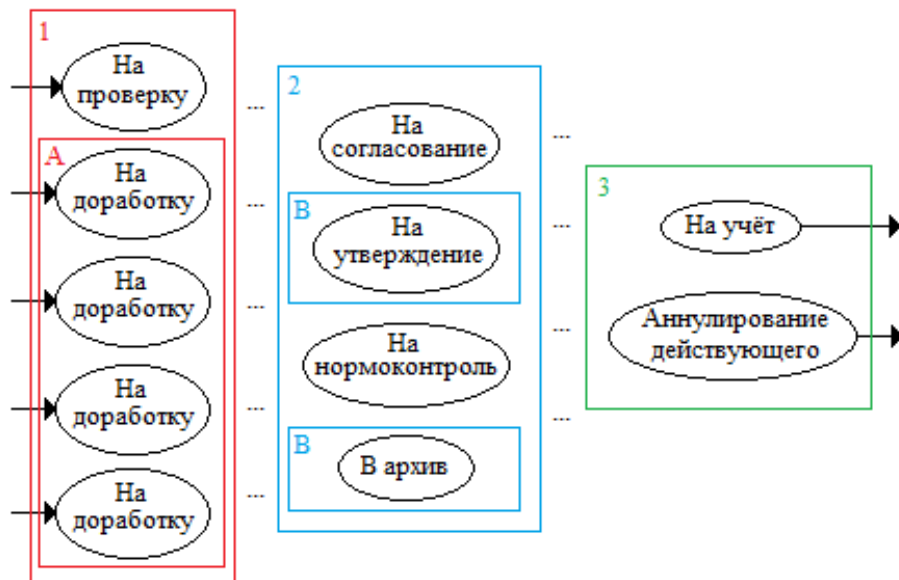


Рисунок 80 – ИНС-модель традиционного маршрута согласования ТД с учетом возможностей АС с выделением подгрупп функционально повторяющихся нейронных элементов

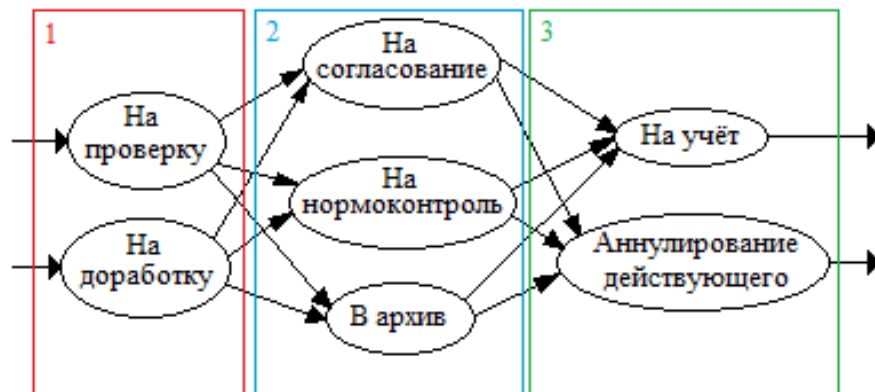


Рисунок 81 – Модернизированная ИНС-модель маршрута согласования ТД

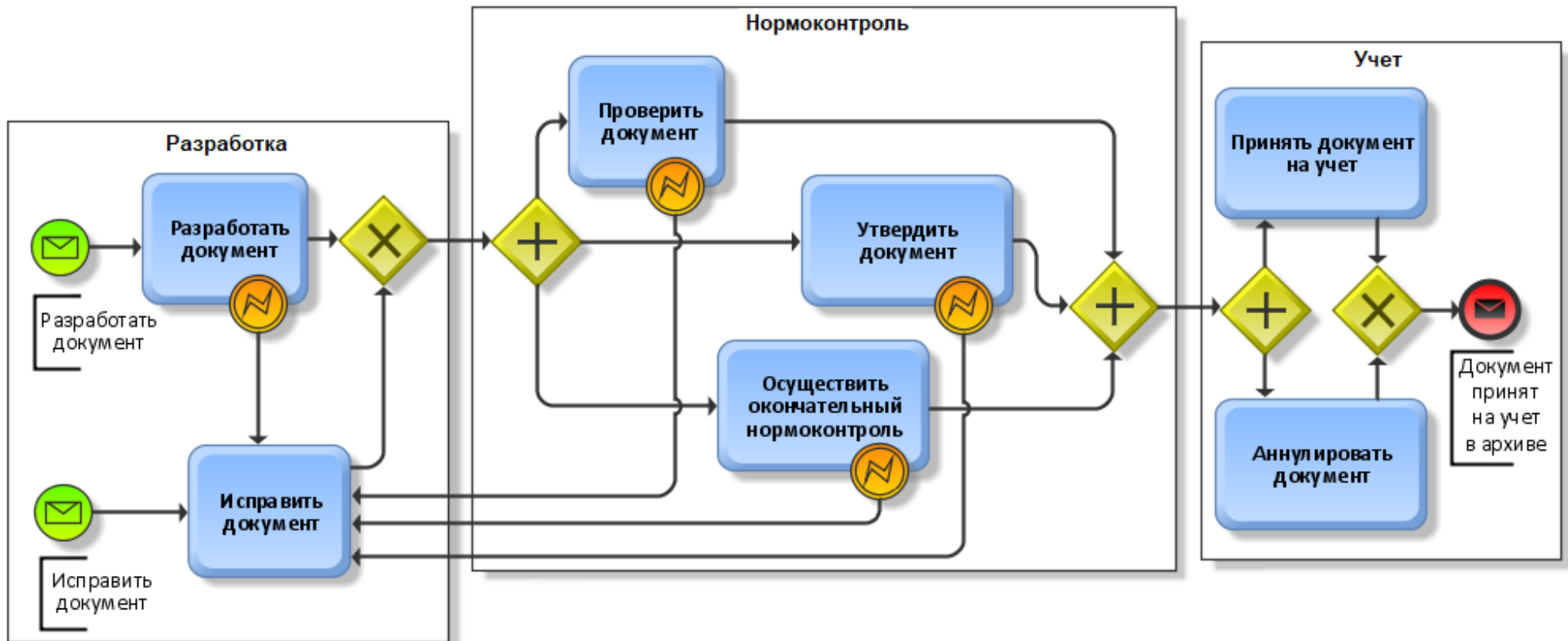


Рисунок 82 – Модернизированный маршрут согласования ТД

2.2 Выводы по главе 2

Разработана модель маршрута согласования технической документации на основе анализа предложенной имитационной модели технического документооборота, отличающаяся от известных использованием возможностей среды автоматизированной системы в рамках системы менеджмента качества предприятия, меньшим количеством статусов технической документации и возможностью параллельного согласования. Внедрение модернизированного маршрута согласования технической документации позволило сократить жизненный цикл технологической документации сквозного производства, реализуемого на нескольких производственных площадках предприятия на 41% (приложение И).

Модернизированная конфигурация маршрута согласования ТД принята за основу в обновленном стандарте организации и введена в действие в рабочие процессы организации.

Разработана методика создания ИНС-модели исследуемого маршрута согласования технической документации в среде автоматизированной системы, отличающаяся от известных использованием элементов теории искусственных нейронных сетей, позволяющая определить структуру маршрута согласования технической документации в условиях возникновения несоответствий в процессе производства изделий и оперативной реакции на них с целью ее стандартизации.

Применение разработанной методики позволило сократить длительность согласования конструкторской документации на 20% (приложение Л).

Глава 3. Разработка методики улучшения качества процессов согласования технической документации

3.1 Разработка инструмента оценки готовности изделия к производству, реализованного на базе АС

Оценка результативности до и после внедрения модернизированного маршрута согласования ТД в среде АС требует статистических данных о результатах согласования, в связи с чем необходимо разработать соответствующий инструмент.

В среде АС, используемой в организации, конструкторские и технологические данные об изделиях хранятся в электронном виде, а встроенные в АС средства разработки позволяют расширить функционал за счет доработки и настройки соответствующих отчетов [72].

Состав ТД на изделие подвержен постоянным обновлениям и дополнениям на этапе подготовки производства, связанными с изменениями в спецификациях и чертежах, в материальных и трудовых нормативах, в оснастке и оборудовании, в покупных изделиях и материалах, в технологических процессах и расцеховках. Обновление информации, содержащейся в ТД, осуществляется с помощью извещений об изменении, порождая новую версию каждого измененного документа. Такие изменения могут оказать влияние на другие документы, связанные с основным документом, например по первичной применяемости. Также изделие может иметь множество вариантов собственного исполнения, порождая необходимость ведения ТД на каждое исполнение соответственно. Учетные копии новых версий документов доводятся до абонентов в подразделениях,

участвующих в подготовке производства. Количество порождаемых документов увеличивается в геометрической последовательности.

Для запуска изделий в производство необходима своевременная подготовка ТД, не содержащей ошибок и с минимальным количеством отклонений от состава и комплектности документов на изделие, в связи с чем необходим периодический контроль готовности ТД, что занимает значительное время, а также требует дополнительных специалистов при ручном методе. При этом стоит учесть, что в составе разных изделий могут быть применены одни и те же узлы.

АС обрабатывает и собирает информацию о всех имеющихся в составе изделия номенклатурных позициях, о их применяемости, а также содержащихся в них конструкторских и технологических документах, информацию о разработчиках документов, позволяет учитывать связанность различных документов.

Оценка готовности отправки ТД об изделии в производство требует соблюдения следующих правил:

- 1) каждая номенклатурная позиция должна иметь основной ТД: для сборочных единиц - чертеж и спецификация, для деталей - чертеж;
- 2) учитывается только последняя утвержденная версия ТД;
- 3) технологический документ проектируется после утверждения конструкторского документа на одну и ту же позицию;
- 4) номенклатурная позиция, готовая к передаче в производство, содержит в себе спецификации (для сборочных единиц), чертежи и комплекты технологической документации, имеющие статус «Действует»;
- 5) входящие в состав сборочной единицы номенклатурные позиции, содержащие информацию о стандартных и покупных изделиях, не содержат в себе конструкторско-технологической документации, так как данные позиции не требуется производить;

б) итоговая спецификация на изделие формируется для получения информации

по всем сборочным узлам, входящим в состав изделия;

7) при необходимости доработки ТД требуется информация о их разработчиках. Пример отображения реквизитов автора чертежа и конструкторско-технологической документации представлен на рисунке 83;

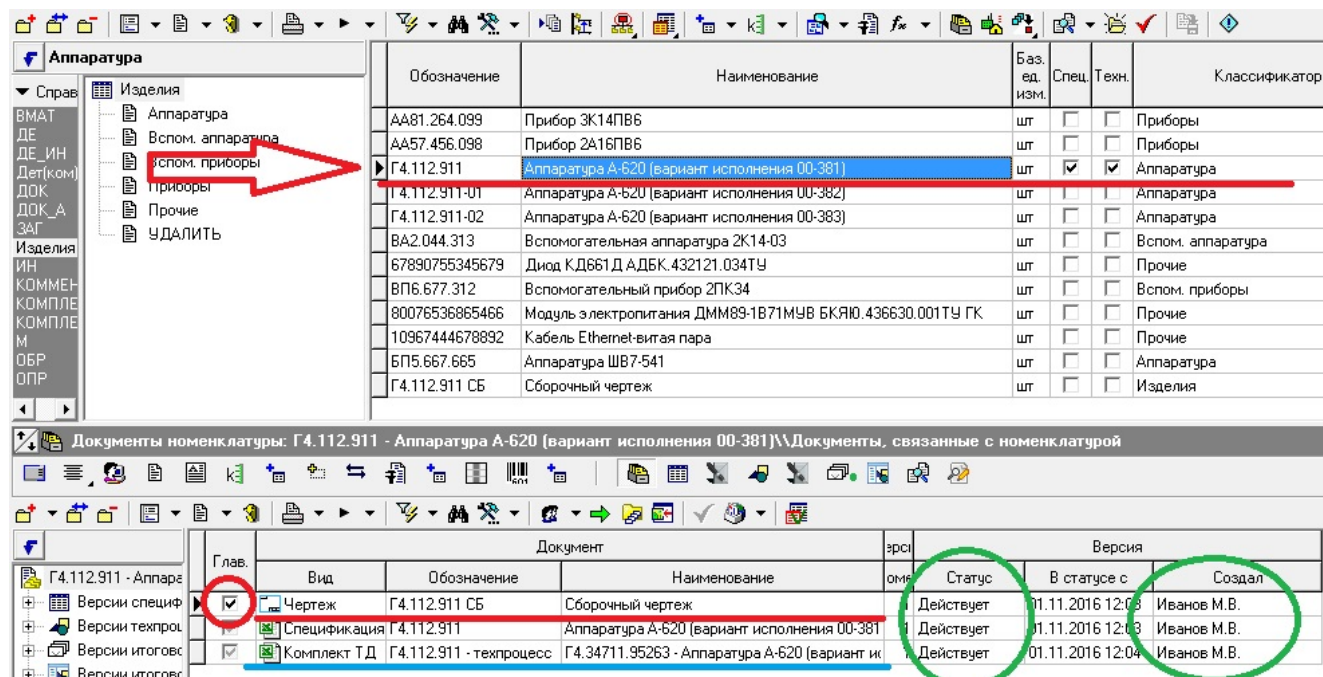


Рисунок 83 – Номенклатурная позиция, содержащая утвержденные ТД с реквизитами авторов

8) содержащиеся в номенклатурной позиции конструкторский и технологический документы имеют различные обозначения, что затрудняет оценку готовности изделия (рис. 84);

9) важной для разработчика информацией является входимость номенклатурных позиций в другие, отражающая очередность подготовки документов для данной позиции и характер применения данной сборочной единицы или детали.

и. аппаратура	AA57.456.098	Прибор 2А16ПВ6	шт	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Приборы
и. приборы	Г4.112.911	Аппаратура А-620 (вариант исполнения 00-381)	шт	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Аппаратура
оры	Г4.112.911-01	Аппаратура А-620 (вариант исполнения 00-382)	шт	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Аппаратура
ле	Г4.112.911-02	Аппаратура А-620 (вариант исполнения 00-383)	шт	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Аппаратура
ИТЬ	BA2.044.313	Вспомогательная аппаратура 2К14-03	шт	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Вспом. аппаратура
	67890755345679	Диод КД661 Д АДБК.432121.034ТУ	шт	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Прочие
	ВП6.677.312	Вспомогательный прибор 2ПК34	шт	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Вспом. приборы
	80076536865466	Модуль электропитания ДММ89-1В71МУВ БКЯЮ.436630.001ТУ ГК	шт	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Прочие
	10967444678892	Кабель Ethernet-витая пара	шт	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Прочие
	БП5.667.665	Аппаратура ШВ7-541	шт	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Аппаратура
	Г4.112.911 СБ	Сборочный чертеж	шт	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Изделия

менклатуры: Г4.112.911 - Аппаратура А-620 (вариант исполнения 00-381) \ \ Документы, связанные с номенклатурой

Глав.	Документ				версия	Версия		
	Вид	Обозначение	Наименование	номер		Статус	В статусе с	Создал
<input checked="" type="checkbox"/>	Чертеж	Г4.112.911 СБ	Сборочный чертеж		1	Действует	01.11.2016 12:03	Иванов М.В.
<input checked="" type="checkbox"/>	Спецификация	Г4.112.911	Аппаратура А-620 (вариант исполнения 00-381)		1	Действует	01.11.2016 12:03	Иванов М.В.
<input checked="" type="checkbox"/>	Комплект ТД	Г4.112.911 - техпроцесс	Г4.34711.95263 - Аппаратура А-620 (вариант исполнения 00-381)		1	Действует	01.11.2016 12:04	Иванов М.В.

Рисунок 84 - Номенклатурная позиция, содержащая ТД с конструкторским и технологическим десятичным номером

Основой для отчета служит итоговая спецификация, содержащая в себе результат разузлования всех элементов изделия в виде номенклатурных позиций (рис. 85).

Сборочные единицы

Обозначение	Наименование	Баз. ед. изм.	Спец.	Техн.	Классификатор
Г4.112.911	Аппаратура А-620 (вариант исполнения 00-381)	шт	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Сборочные единицы
Г4.112.911-01	Аппаратура А-620 (вариант исполнения 00-382)	шт	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Сборочные единицы
Г4.112.911-02	Аппаратура А-620 (вариант исполнения 00-383)	шт	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Сборочные единицы

Итоговая спецификация: Г4.112.911 - Аппаратура А-620 (вариант исполнения 00-381) \ \ Итог. спец.: Г4.112.911 - Аппаратура А-620 (вариант исполнения 00-381) Версия: 0 - Активная(ред.)

Номенклатура		Код		Раздел	
Обозначение	Наименование	Обоз.	Наимен.	Обоз.	Наимен.
Г4.112.911	Аппаратура А-620 (вариант исполнения 00-381)	СБ	Сборочные единицы		
67890755345679	Диод КД661 Д АДБК.432121.034ТУ	Изделия	Изделия		
80076536865466	Модуль электропитания ДММ89-1В71МУВ БКЯЮ.436630.001ТУ ГК	Изделия	Изделия		
10967444678892	Кабель Ethernet-витая пара	Изделия	Изделия		
AA81.264.099	Прибор 2К14ПВ6	СБ	Сборочные единицы		
	Втулка 5-5 ГОСТ19421-74/ГО-68-1 ТУ38 005 1166-73	СТД	Стандартные изделия		
	Шайба 3.65Г.016 ГОСТ6702-70	СТД	Стандартные изделия		
	Шуруп 1-2,5*10.016 ГОСТ 1145-80	СТД	Стандартные изделия		
ВП6.677.312	Вспомогательный прибор 2ПК34	СБ	Сборочные единицы		
	Кварц ГОСТ 9077-82	04850701005	М	Материалы	
	Изолон ППЭ 3002 ТУ2244-012-00203476-98	05826375020	М	Материалы	
	Полиамид ПД1-35-01 ТУ16-50.3208-81	03261320051	М	Материалы	
BA2.044.313	Вспомогательная аппаратура 2К14-03	СБ	Сборочные единицы		
BA2.044.313 СБ	Сборочный чертеж	Изделия	Изделия		
AA81.264.099 СБ	Сборочный чертеж	ДОК	Документация		
AA57.456.098	Прибор 2А16ПВ6	СБ	Сборочные единицы		
	Вилка СНЦ127-7/12 ВП117-1-В НКЦС.434410.511ТУ	Прочие	Прочие изделия		
	Розетка СНП347-10РВ11-В РЮМК.430420.012 ТУ	Прочие	Прочие изделия		
	Фильтр 523А-1000нФ-В О.ЖО.206.021ТУ	6289107055	Прочие	Прочие изделия	
БП5.667.665	Аппаратура ШВ7-541	СБ	Сборочные единицы		
БП5.667.665 СБ	Сборочный чертеж	ДОК	Документация		
МД77.554.298	Модуль ПР-4389-С	СБ	Сборочные единицы		
Г4.112.911 СБ	Сборочный чертеж	ДОК	Документация		

Рисунок 85 – Итоговая спецификация изделия

Оценка готовности изделия к передаче в производство предполагает наличие информации об имеющихся в изделии номенклатурных позициях, содержащих в себе утвержденные ТД, а именно: обозначение и фамилию автора чертежа, спецификации и технологии на деталь и сборочную единицу соответственно, а также о применимости данной номенклатурной позиции. Также необходимо получить данные о соотношении количества разработанных ТД к незавершенным, выраженном в абсолютном значении и в процентном отношении. Необходимые данные для формирования отчета выбираются автоматизированным способом с помощью запросов из базы данных MS Access на языке SQL средствами АС.

Фрагмент отчета о ТД для оценки готовности к запуску изделия в производство представлен на рисунке 86.

Изделие: Г4.112.911 "Аппаратура А-620 (вариант испо									
			Не разработанных чертежей: 4 из 7 (43 %)		Не разработанных Спецификаций: 0 из 4 (100 %)		Не разработано ТД: 5 из 7 (29 %)		
			Разработано чертежей: 3		Разработано Спецификаций: 4		Разработано ТД: 2		
№	Номенклатура		Чертеж		Спецификация		Технология		Применимость
	Обозначение	Наименование	Обозначение	Разработчик	Обозначение	Разработчик	Обозначение	Разработчик	
1	AA57.456.098	Прибор 2А16ПВ6			AA57.456.098	Иванов М.В.			Г4.112.911
2	AA81.264.099	Прибор 3К14ПВ6	AA81.264.099 СБ	Иванов М.В.	AA81.264.099	Иванов М.В.			Г4.112.911
3	БП5.667.665	Аппаратура ШВ7-541		Иванов М.В.			РУ.10161.01099 - Аппаратура ШВ7-541	Иванов М.В.	Г4.112.911
4	ВА2.044.313	Вспомогательная аппаратура 2К14-03	ВА2.044.313 СБ	Иванов М.В.					AA81.264.099
5	ВП6.677.312	Вспомогательный прибор 2ПК34			ВП6.677.312	Иванов М.В.			AA81.264.099
6	Г4.112.911	Аппаратура А-620 (вариант исполнения 00-381)	Г4.112.911 СБ	Иванов М.В.	Г4.112.911	Иванов М.В.	Г4.34711.95263 - Аппаратура А-620 (вариант исполнения 00-381)	Иванов М.В.	Г4.112.911
7	МД77.554.298	Модуль ПР-4389-С						Иванов М.В.	Г4.112.911

Рисунок 86 - Фрагмент отчета о готовности ТД

Разработанный отчет предоставляет данные для оценки готовности ТД к запуску изделия в производство вместо оценки состояния документации об изделии вручную, позволяя в реальном масштабе времени контролировать его состояние [73]. Полученные при формировании отчета статистические данные используются для оценки качества маршрута согласования ТД до и после модернизации.

3.2 Разработка методики улучшения качества процессов согласования ТД

Внедрение в рабочие процессы модернизированного маршрута согласования ТД, полученного путем использования элементов теории ИНС, влияет на качество рассматриваемой системы, в связи с чем необходима разработка соответствующей методики оценки параметров качества процессов согласования ТД.

Для расчета показателей качества маршрута согласования ТД за основу взята модель качества при использовании программных продуктов, согласно ГОСТ ИСО/МЭК 25022 [74].

В соответствии с выбранной моделью качества, полная структура методики улучшения качества процессов согласования ТД [75] представлена на рисунке 87 и включает в себя:

- анализ структуры и модернизация маршрута согласования ТД с применением элементов теории ИНС;
- внедрение в рабочие процессы полученного в результате модернизации маршрута согласования ТД;
- расчет показателей результативности процессов согласования ТД после модернизации маршрута;
- оценка частных и интегральных показателей качества процессов согласования ТД.

Одним из показателей результативности рассматриваемой системы служит Средняя длительность согласования по каждому виду ТД. Согласно ГОСТ ИСО/МЭК 25022, этому показателю наиболее соответствует Эффективность затраченного времени (формула Еу-2-S), вычисляемая следующим образом:

$$X = \frac{A}{T}, \quad (26)$$

где A – количество достигнутых целей, T – время выполнения задач.

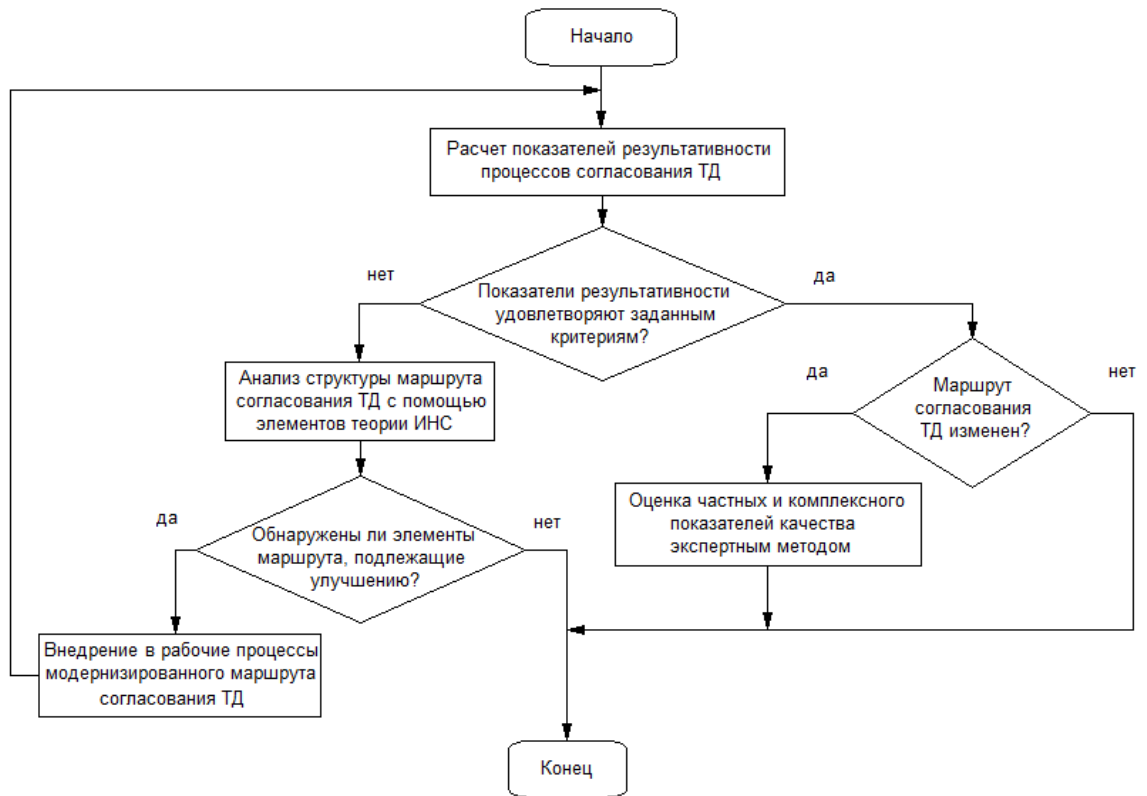


Рисунок 87 – Структура методики улучшения качества процессов согласования ТД

Тогда Средняя длительность согласования по каждому виду ТД – это величина, обратная эффективности затраченного времени, которая вычисляется по формуле:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}, \quad (27)$$

где T_i - длительность согласования i -го ТД, n - количество утвержденных ТД за рассматриваемый период;

Другим показателем результативности является Доля утвержденной ТД. Ближайший по смыслу показатель из ГОСТ ИСО/МЭК 25022 - Выполнение задачи (Ef-1-G):

$$X = \frac{A}{B}, \quad (28)$$

где A – количество выполненных уникальных задач, B – общее количество выполненных уникальных задач

Соответственно Доля утвержденной ТД вычисляется следующим образом:

$$A = \frac{n}{n_{\text{общ}}}, \quad (29)$$

где n - количество утвержденных ТД за рассматриваемый период, $n_{\text{общ}}$ - общее количество ТД за рассматриваемый период;

Еще одним показателем результативности является Доля ошибок при проектировании ТД, которой соответствует величина ГОСТ ИСО/МЭК 25022 Задачи с ошибками (Ef-4-G):

$$X = \frac{A}{B}, \quad (30)$$

где A – количество задач с ошибками, B – общее количество задач.

В процессе согласования ТД возможно возникновении двух и более ошибок при обработке одного ТД, поэтому Доля ошибок при проектировании ТД вычисляется следующим образом:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n k_i}{n}, \quad (31)$$

где k_i - количество возвратов i -го ТД на доработку, n - количество утвержденных ТД за рассматриваемый период.

Оценка единичных показателей качества при рассмотрении системы до и после ее модернизации производится по формуле:

$$Q_i = \frac{P - P_{\text{баз}}}{P_{\text{баз}}}, \quad (32)$$

где $P_{\text{баз}}$ и P - значения показателей результативности до и после внедрения разработки соответственно.

Количество рассмотренных показателей качества – небольшое, они неоднородны и разброс между ними составляет менее 0,5. В данных условиях

в среде научной литературы расчет комплексного показателя качества рекомендуется осуществлять по формуле среднего гармонического взвешенного. Поскольку признаком улучшения характеристики рассматриваемой системы является снижение комплексного показателя качества, то значение комплексного показателя качества должно быть отрицательным:

$$Q_{\text{комп}} = -\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{Q_i}}, \quad (33)$$

где α_i - весовой коэффициент частного показателя качества, Q_i - частный показатель качества, рассчитанный по формуле (32).

Весовые коэффициенты частных показателей качества определяются методом экспертных оценок, при этом оценки экспертов должны быть согласованными, что проверяется расчетом коэффициента конкордации экспертных оценок методом Кендалла [76]:

$$W = \frac{12S_W}{m^2(n^3 - n)}, \quad (34)$$

где

$$S_W = \sum_{i=1}^n (Q_i - Q)^2, \quad (35)$$

где Q - суммарный средний вес частного показателя качества, определяется по формуле:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}, \quad (36)$$

где n – количество оцениваемых частных показателей качества.

При помощи критерия согласия Пирсона (χ^2) проводится проверка гипотезы о несогласованности оценок экспертов. Значение критерия согласия Пирсона определяется по формуле:

$$\chi^2 = m \cdot (n - 1) \cdot W, \quad (37)$$

где m – количество экспертов, n – количество оцениваемых параметров, W – коэффициент конкордации Кендалла.

Приемлемыми результатами расчета уровня согласованности экспертных оценок по Кендаллу в соответствии с шкалами Марголина и Харрингтона являются результаты в пределах 0,83-0,85. Данные результаты экспертной оценки обладают достаточным уровнем согласованности, что позволяет использовать их для дальнейшего расчета комплексного показателя качества.

3.3 Применение методики улучшения качества при внедрении модернизированного маршрута согласования ТД

Для оценки результативности процессов согласования ТД требуется формирование количественных критериев, согласно требованиям СМК организации в области документооборота в бумажном виде. (таблица 5). ТД представлены несколькими видами:

- конструкторская документация;
- технологическая документация;
- сквозная технологическая документация (разрабатываемая несколькими производственными площадками организации) [77].

Таблица 5 – Критерии результативности процессов согласования ТД

Показатель процессов согласования ТД	Критерий		
	Не требуются улучшения	Необходимы предупреждающие действия	Необходимы корректирующие действия
Средняя длительность согласования конструкторской документации	< 1 месяц	1-2 месяцев	> 2 месяцев
Средняя длительность согласования технологической документации	< 1 месяц	1-2 месяцев	> 2 месяцев
Средняя длительность согласования сквозной технологической документации	< 1 месяц	1-2 месяцев	> 2 месяцев
Доля утвержденной ТД	> 90%	60-90%	< 60%
Доля ошибок при проектировании ТД	< 10%	10-20%	> 20%

Для предупреждения рисков, связанных с использованием обновленного маршрута, для пользователя АС предусмотрен выбор между традиционным и модернизированным маршрутами согласования ТД средствами АС.

Согласно разработанной методике улучшения качества, необходим предварительный сбор статистических данных по результатам согласования ТД до и после внедрения обновленного маршрута согласования ТД с помощью специально разработанного для этих целей инструмента.

Оценка средней длительности согласования ТД осуществляется по формуле (27) по каждому виду ТД соответственно. Доля утвержденной ТД и доля ошибок при проектировании ТД оценивается по формулам (29) и (31) соответственно.

Результаты расчета показателей результативности процессов согласования ТД до (t_1) и после (t_2) внедрения обновленного маршрута представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчета показателей результативности процессов согласования ТД до (t_1) и после (t_2) внедрения обновленного маршрута

Показатель результативности процесса согласования ТД	t_1	t_2
Средняя длительность согласования конструкторской документации (дней)	52	42
Средняя длительность согласования технологической документации (дней)	35	24
Средняя длительность согласования сквозной технологической документации (дней)	45	26
Доля утвержденной ТД	0,73	0,62
Доля ошибок при проектировании ТД	0,17	0,09

Оценка результативности процессов согласования ТД в соответствии с критериями (из табл.5) показывает, что:

- средняя длительность согласования конструкторской документации снизилась с 52 до 42 дней, что требует разработки предупреждающих действий по дальнейшему снижению данного показателя;
- средние длительности согласования технологической и сквозной технологической (выполняемых на различных площадках предприятия) документации снизились до приемлемого уровня (с 35 до 24 дней и с 45 до 26 дней соответственно);

- ввиду увеличения объема обрабатываемой ТД, доля введенной в действие ТД уменьшилась (с 73% до 62%), требуется разработки предупреждающих мер;

- доля ошибок при проектировании ТД снизилась до приемлемого уровня (с 17% до 9%).

Весовые коэффициенты частных показателей качества определены на методом экспертных оценок. Расчет коэффициента конкордации Кендалла

$$W = \frac{12 \cdot 845,199}{10^2 (5^3 - 5)} = 0,845$$

показывает, что его значение соответствует высокой согласованности экспертов в соответствии со шкалой Марголина и Харрингтона.

Для экспертных оценок значение критерия согласия Пирсона составляет:

$$\chi^2 = 10 \cdot (5 - 1) \cdot 0,845 = 33,808$$

Значение критерия согласия Пирсона, полученное в результате расчетов, больше необходимого значения для уровня значимости 5% (9,49) и числа степеней свободы 4 ($n-1=4$). Гипотеза о несогласованности оценок экспертов отклонена.

Полученные результаты ранжирования экспертным методом могут быть использованы для расчета комплексных показателей качества за рассматриваемые периоды: до ($p_{\text{до}}$) и после (p) внедрения вновь разработанного маршрута согласования ТД. Значения частных и комплексного показателей качества рассчитываются по формулам (31) и (32) соответственно (табл.7).

Таблица 7 - Значения показателей качества процесса согласования ТД до и после обновления маршрута

Наименование показателя, единица измерения	$p_{баз}$	p	Q_i	α_i
Средняя длительность согласования конструкторской документации (дней)	52	42	-0,2	0,24
Средняя длительность согласования технологической документации (дней)	35	24	-0,32	0,2
Средняя длительность согласования сквозной технологической документации (дней)	45	26	-0,41	0,16
Общее количество ТД, введенное в действие	3032	5188	0,71	0,15
Общее количество ошибок в ТД, выявленных в процессе согласования	509	292	-0,43	0,24
Комплексный показатель качества (Q)	0,39			
Коэффициент конкордации (W)				0,845

Внедрение модернизированного маршрута согласования ТД позволило сократить среднюю продолжительность согласования конструкторской, технологической и сквозной технологической документации соответственно на 20%, 32% и 41%, что в положительную сторону влияет на предупреждении рисков, связанных с непредвиденными задержками в процессе согласования ТД. Общее количество введенных в действие ТД увеличилось на 71%. Общее количество ошибок, выявленных в ТД в процессе согласования увеличилось на 43%. Значение комплексного показателя качества свидетельствует об общем улучшении маршрута согласования ТД по сравнению с его предыдущим состоянием на 39%.

3.4 Выводы по главе 3

Разработана методика улучшения качества процессов согласования ТД, отличающаяся от известных оценкой количества ошибок, позволяющей

учитывать множественный возврат ТД на доработку в процессе согласования в условиях отсутствия цифровой связи с производством. Применение разработанной методики позволило сократить на 32% жизненный цикл технологической документации (приложение К).

Для оценки результативности процессов согласования ТД сформированы количественные критерии, согласно требованиям СМК организации в области документооборота в бумажном виде.

Предупреждение рисков с использованием обновленного маршрута согласования ТД осуществлен предоставлением пользователю АС возможности выбора между традиционным и модернизированным маршрутами согласования ТД средствами АС.

Модернизация и внедрение обновленного маршрута согласования ТД позволили сократить среднюю продолжительность согласования ТД по всем видам, что положительно отражается на предупреждении рисков, связанных с непредвиденными задержками в процессе согласования ТД. Объем введенной в действие ТД и общее количество ошибок, выявляемых в процессе согласования увеличились. Значение комплексного показателя качества свидетельствует об общем улучшении качества согласования ТД.

Заключение

По совокупности полученных в работе результатов возможно сделать вывод о решении важной **научно-практической задачи** комплексного развития производства посредством повышения результативности процессов согласования ТД на основе положений Всеобщего управления качества и возможностей информационных технологий и перспективных инновационных технологий путем улучшения структуры СМК организации в части ТДО с помощью элементов теории ИНС, позволяя повысить результативность процессов согласования ТД наукоемкого производства.

Основные результаты исследования следующие:

1. Предложена ИМ обмена информацией о ТД на изделие между участниками ТДО с применением элементов теории ИНС, позволяющая описать систему технического документооборота в условиях реакции на возникающие в процессе производства изделий несоответствия, выявить проблемы процессов обработки информации об изделии на различных стадиях проектно-производственного цикла и обосновать необходимость дальнейшей их цифровизации, а также модернизации процессов согласования ТД. Использование ИМ позволяет повысить результативность конструкторских и технологических отделов за счет увеличения производительности труда на 4-6% и снижения затрат на производство на 7-13%;
2. Предложена модель маршрута согласования ТД на основе анализа предложенной ИМ ТДО, отличающаяся от известных использованием возможностей среды АС в рамках СМК предприятия, меньшим количеством статусов ТД и возможностью параллельного ее согласования и позволяющая повысить результативность процесса согласования технологической документации сквозного производства путем сокращения жизненного цикла,

реализуемого на нескольких производственных площадках предприятия, на 41%;

3. Разработана методика создания ИНС-модели исследуемого маршрута согласования ТД в среде АС, позволяющая определить структуру маршрута согласования ТД в условиях возникновения несоответствий в процессе производства изделий, отличающаяся от известных использованием элементов теории ИНС. Применение разработанной методики позволяет повысить действенность процесса согласования конструкторской документации на 20%;

4. Разработана методика улучшения качества процессов согласования ТД, отличающаяся от известных оценкой количества ошибок, позволяющей учитывать множественный возврат ТД на доработку в процессе согласования в условиях отсутствия цифровой связи с производством. Применение разработанной методики позволяет повысить эффективность работы пользователей на 32%.

Полученные в диссертационной работе результаты применимы для:

- улучшения качества технического документооборота наукоемких производств;

- описания системы технического документооборота в условиях постоянного возникновения несоответствий в процессе производства изделий;

- выявления проблем процессов обработки информации об изделии на различных стадиях проектно-производственного цикла;

- определения структуры маршрута согласования технической документации в условиях возникновения несоответствий в условиях отсутствия цифровой связи с производством.

Список литературы

- 1 Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П., Шандров Б.В., Научность машиностроительного производства и его элементов // Научность технологии в машиностроении. 2019. № 6 (96). С. 37-44.
- 2 ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь // М: Стандартинформ, 2020, 54 с.
- 3 ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования // М.: Стандартинформ, 2020, 32 с.
- 4 ГОСТ 2.103-2013 ЕСКД. Стадии разработки // М.: Стандартинформ, 2019, 10 с.
- 5 ГОСТ 15.016-2016 Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требование к содержанию и оформлению // М.: Стандартинформ, 2020, 31 с.
- 6 ГОСТ 2.114-2016 ЕСКД. Технические условия // М.: Стандартинформ, 2019, 15 с.
- 7 Р 50-81-88 Рекомендации. Порядок передачи документации // М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989, 14 с.
- 8 ГОСТ Р 2.504-2021 ЕСКД. Электронная конструкторская документация. Правила внесения изменений // М.: Российский институт стандартизации, 2021, 12 с.
- 9 ГОСТ Р ИСО 15489-1-2019 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Информация и документация. Управление документами. Часть 1. Понятия и принципы // М.: Стандартинформ, 2019, 23 с.
- 10 ГОСТ 2.109-73 ЕСКД. Основные требования к чертежам, М.: Стандартинформ, 2007, 34 с.

- 11 ГОСТ 2.106-2019 ЕСКД. Текстовые документы, М.: Стандартиформ, 2019, 40 с.
- 12 ГОСТ 3.1105-2011 ЕСТД. Формы и правила оформления документов общего назначения, М.: Стандартиформ, 2020, 30 с.
- 13 ГОСТ 3.1118-82 ЕСТД. Формы и правила оформления маршрутных карт, М.: Стандартиформ, 2012, 23 с.
- 14 ГОСТ Р МЭК 62502-2014 Менеджмент риска. Анализ дерева событий // М.: Стандартиформ, 2015, 35 с.
- 15 ГОСТ Р 51901.12-2007 Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов, М.: Стандартиформ, 2008, 40 с.
- 16 Р 50.1.028-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования, М.: ИПК Издательство стандартов, 2003, 54 с.
- 17 Integration Definition for Function Modeling (IDEF0) // Draft Federal Information Processing Standards Publication 183, p.128.
- 18 Кукарцева О.И., Имитационное моделирование производственных процессов на предприятии / Кукарцева О.И., Куимова О.В. // Молодежь. Общество. Современная наука, техника и инновации. 2022. № 21. С. 277-278.
- 19 Сидоренко В.Н., Имитационное моделирование в науке и бизнесе: подходы, инструменты, применение / Сидоренко В.Н., Красносельский А.В. // Бизнес-информатика. 2009. № 2 (8). С. 52-57.
- 20 Емельянов В.Ю., Лихолет Н.О., Адаптивный алгоритм статистического моделирования // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2008. №2(58). С. 54-57.
- 21 Емельянов В.Ю., Докучаева А.Н., Исследование методов поиска приближенного решения в задаче сокращения трудоемкости статистического моделирования // Информационно-управляющие системы. 2015. №1(74). С. 43-49.

- 22 Rosenblatt F., Principles of neurodynamics. perceptrons and the theory of brain mechanisms // Cornell Aeronautical Lab Inc Buffalo NY, 1961. – №. VG-1196-G-8.
- 23 Богославский С.Н., Область применения искусственных нейронных сетей и перспективы их развития / Богославский С.Н. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2007. № 27. С. 228-238.
- 24 McCulloch W.S., Pitts W., A logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity // Bulletin of Mathematical Biology, vol.52, issue 1-2, 1990, pp. 99-115.
- 25 Sharma V., Rai S., Dev A., A comprehensive study of artificial neural networks // International Journal of Advanced research in computer science and software engineering. – 2012. – vol. 2. – №. 10.
- 26 Новиков А.С., Ежов А.А., Многослойная нейронная сеть Розенблатта и ее применение для решения задачи распознавания подписей / Новиков А.С., Ежов А.А. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 2. С. 188-197.
- 27 Rosenblatt F., The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain // Psychological review. – 1958. – vol. 65. – №. 6. – pp. 386.
- 28 Романов Д.Е., Нейронные сети обратного распространения ошибки / Романов Д.Е. // Инженерный вестник Дона. 2009. № 3 (9). С. 19-24.
- 29 LeCun Y, Bengio Y., Hinton G.E., Deep learning // Nature, vol.521, 2015, pp. 436–444.
- 30 Каюмова А.Г., Искусственный интеллект в сфере технических наук / Каюмова А.Г. // Моя профессиональная карьера. 2023. Т. 2. № 54. С. 21-26.
- 31 Lapedes A. S., Farber R. M., How neural nets work // Neural information processing systems. – 1988. – pp. 442-456.

- 32 Kohonen T., A principle of neural associative memory // Neuroscience. – 1977. – vol. 2. – №. 6. – pp. 1065-1076.
- 33 Паникарчик М.В., Исследование алгоритма обучения многослойного персептрона / Паникарчик М.В., Токарев А.И. // В сборнике: Российская наука в современном мире. сборник статей X международной научно-практической конференции. 2017. С. 80-81.
- 34 Васильков Д.В., Тариков И.Я., Миллер А.С., Повышение надежности и оперативности производственной технологической системы за счет интеллектуальной оценки запросов с применением механизмов искусственных нейронных сетей // Металлообработка. 2017. №3(99). С. 58-64.
- 35 Манукян Р.Л., Машинное зрение. Основные компоненты машинного зрения / Манукян Р.Л., Петрашин И.В. // В сборнике: Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей VII Международной научно-практической конференции : в 4 ч.. 2019. С. 295-297.
- 36 Иванов М.В., Применение искусственных нейронных сетей в задачах имитационного математического моделирования систем / М.В. Иванов // Наука и бизнес: пути развития. 2019. №8(98). С. 57–60.
- 37 Гирфанов А.М., Методология применения искусственных нейронных сетей в задаче имитации нагружения одновинтового вертолета / Гирфанов А.М., Ледянкина О.А. // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2015. № 4. С. 26-30.
- 38 Гирфанов А.М., Имитационная модель нагружения бесшарнирного несущего винта вертолета / Гирфанов А.М., Ледянкина О.А. // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2015. № 2. С. 29-33.
- 39 Берёза Я.А., Примеры задач ассоциативной памяти с применением искусственных нейронных сетей / Берёза Я.А. // В сборнике: Информационно-телекоммуникационные системы и технологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2014. С. 227-228.

- 40 Загинайло М.В., Влияние количества нейронов искусственной нейронной сети на эффективность ее работы / Загинайло М.В // E-Scio. 2019. № 6 (33). С. 867-871.
- 41 Приходько Н.А., Кулаченко А.К., Моделирование в нотации IDEF0 / Приходько Н.А., Кулаченко А.К. // Моя профессиональная карьера. 2022. Т. 1. № 36. С. 137-141.
- 42 Waissi G.R., Demir M., Humble J.E., Lev B., Automation of strategy using IDEF0 - A proof of concept // Operations Research Perspectives, vol.2, 2015, pp.106-113.
- 43 Пушкина Н.Б., Подходы к имитационному моделированию при моделировании дорожного движения / Пушкина Н.Б., Горбатов А.В. // Научный вестник Московского государственного горного университета. 2011. № 6. С. 56-68.
- 44 Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J., Learning Internal Representations by Error Propagation // Parallel Distributed Processing, vol. 1, 1986, pp. 318—362.
- 45 Иванов М.В., Исследование структуры документооборота предприятия с помощью искусственных нейронных сетей / М.В. Иванов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2019. Т. 21. №3. С. 41–46.
- 46 ГОСТ 2.102-2013 ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов, М.: Стандартинформ, 2020, 21 с.
- 47 ГОСТ 3.1102-2011 ЕСТД. Стадии разработки и виды документов, М.: Стандартинформ, 2011, 12 с.
- 48 The Python Language Reference [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.python.org/3.6/reference/index.html#reference-index> (Дата доступа: 25.07.2023).

- 49 NumPy Reference [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://numpy.org/doc/stable/reference/index.html#reference> (Дата доступа: 25.07.2023).
- 50 Matplotlib Pyplot tutorial [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://matplotlib.org/stable/tutorials/introductory/ pyplot.html> (Дата доступа: 25.07.2023).
- 51 About Keras [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://keras.io/about/> (Дата доступа: 25.07.2023).
- 52 Возможности PyCharm [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/pycharm/features/> (Дата доступа: 25.07.2023).
- 53 Wythoff B. J., Backpropagation neural networks: a tutorial // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. – 1993. –vol. 18. – №. 2. – pp. 115-155.
- 54 Fawcett T., An introduction to ROC analysis // Pattern Recognition Letters, vol.27, issue 8, 2006, pp.861-874.
- 55 Иванов М. В., Улучшение процессов согласования технической документации в рамках системы менеджмента качества наукоемкого производства / М.В. Иванов // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2. №6. С. 17–24.
- 56 Widrow B., Hoff M.E., Adaptive switching circuits // 1960 IRE WESCON Conferencion Record, New York, 1960, pp.96-104.
- 57 Grossberg D., Nonlinear neural networks: Principles, mechanisms, and architectures // Neural Networks, vol. 1, issue 1, 1988, pp. 17-61.
- 58 Иванов М.В., Разработка концепции обобщенной нейронносетевой модели / М.В. Иванов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2019. Т. 21. №. 5. С. 11–15.
- 59 Back A., Tsoi A. C., On the backpropagation algorithm: Paralysis in multilayer perceptrons // Proceedings of the fifth Australian conference on neural networks. – 1994. – pp. 102-104.

- 60 Иванов М.В., Федоров А.Г., Современное состояние аппаратно-программных тренажерных комплексов промышленного предприятия / М.В. Иванов, А.Г. Федоров // Общероссийская молодежная научно-техническая конференция «Молодежь. Техника. Космос», 19-21 апр. 2017г., Санкт-Петербург; Молодежь. Техника. Космос. 2017. С.222-223.
- 61 Иванов М.В., Разработка нейронносетевой модели документооборота для организации тренажерного комплекса производственного предприятия/ М.В. Иванов // В сборнике: Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук. Материалы VI Международной научно-практической конференции (школы-семинара) молодых ученых. 2020. С. 261-265.
- 62 Zeng X., Yeung D. S., Sensitivity analysis of multilayer perceptron to input and weight perturbations // IEEE Transactions on Neural Networks. – 2001. – vol. 12. – №6. – pp. 1358-1366.
- 63 Murray A. F., Edwards P. J. Synaptic weight noise during multilayer perceptron training: fault tolerance and training improvements // IEEE Transactions on Neural Networks. – 1993. – vol. 4. – №. 4. – pp. 722-725.
- 64 Ivanov M.V., Development of an Approach to Implementation of a Model Based on a Generalized Artificial Neural Network Concept / M.V. Ivanov // В сборнике: Proceedings - 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2020. 2020. pp. 352 – 356.
- 65 ГОСТ 14.206-73 Технологический контроль конструкторской документации // М.: Стандартинформ, 2009, 6 с.
- 66 ГОСТ Р 21.1101-2013 Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации // М.: Стандартинформ, 2014, 58 с.
- 67 ГОСТ 2.111-2013 ЕСКД. Нормоконтроль // М.: Стандартинформ, 2014, 12 с.

- 68 ГОСТ 3.1116- 2011 ЕСТД. Нормоконтроль // М.: Стандартиформ, 2019, 11 с.
- 69 Иванов М.В., Использование аппарата нейросетевых технологий для улучшения качества электронного документооборота жизненного цикла создания изделия / М.В. Иванов, С.А. Афанасенков, Е.А. Скорнякова // В сборнике: Метрологическое обеспечение инновационных технологий. Материалы III Международного форума в рамках празднования 80-летия Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, 300-летия Российской академии наук. Под редакцией В.В. Окрепилова. Санкт-Петербург, 2021. С. 75-76.
- 70 Иванов М.В., Разработка методики модернизации маршрута технического документооборота наукоемкого производства / М.В. Иванов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2023. Т. 25. №2(112). С. 22-26.
- 71 Ivanov M.V., Improvement of electronic design and technological documentation approval procedure quality by using the apparatus of artificial neural networks, / M.V. Ivanov, S.A. Afanassenkov, E.A. Skorniakova // Journal of Physics: Conference Series 2021, 1889(2), 022070.
- 72 Иванов М.В., Управление данными о средствах вычислительной техники промышленного предприятия в среде системы TechnologiCS / М.В. Иванов, И.Л. Юнаков // Материалы VIII Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. «Молодежь. Техника. Космос». 2016. С.45.
- 73 Иванов М.В., Разработка инструмента контроля готовности конструкторско-технологической документации к запуску изделия в производство на платформе IT-технологии / С.А. Бабаев, М.В. Иванов, Г.В. Невокшенов // Радиопромышленность. 2017. №4 С.110-115.
- 74 ГОСТ Р ИСО/МЭК 25022-2021 Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения

(SQuaRE). Измерение качества при использовании, М: Российский институт стандартизации, 2021, 44 с.

75 Иванов М.В., Методика улучшения качества маршрута технического документооборота / М.В. Иванов // Компетентность. 2023. № 6. С. 37-40.

76 Постников В.М., Подход к расчету весовых коэффициентов ранговых оценок экспертов при выборе варианта развития информационной системы / Постников В.М., Спиридонов С.Б. // Наука и образование. 2013. № 8. С. 395-412.

77 Иванов М.В., Исследование особенностей цифровизации организаций, выпускающих изделия приборостроения, с использованием импортозамещающего программного обеспечения / М.В. Иванов, С.А. Афанасенков // Наука и бизнес: пути развития. 2021. №4(118). С. 72-77.

Приложение А

Фрагменты данных для обучения ИНС-моделей различных этапов ТДО

«Проектирование»

кд1.375.050_эз кд1.375.050_эз кд1.375.050_вп 1 13 14
кд1.375.050_пэз кд1.375.050_эз кд1.375.050_вп 2 13 14
кд1.375.053_эз кд1.375.053_эз кд1.375.053_вп 3 15 16
кд1.375.053_пэз кд1.375.053_эз кд1.375.053_вп 4 15 16
кд1.375.055_эз кд1.375.055_эз кд1.375.055_вп 5 17 18
кд1.375.055_пэз кд1.375.055_эз кд1.375.055_вп 6 17 18
кд1.375.064_эз кд1.375.064_эз кд1.375.064_вп 7 19 20
кд1.375.064_пэз кд1.375.064_эз кд1.375.064_вп 8 19 20
кд2.280.048_эз кд2.280.048_эз кд2.280.048_вп 9 21 22
кд2.280.048_пэз кд2.280.048_эз кд2.280.048_вп 10 21 22
кд3.490.033_эз кд3.490.033_эз кд3.490.033_вп 11 23 24
кд3.490.033_пэз кд3.490.033_эз кд3.490.033_вп 12 23 24

«Конструирование»

2а7.732.127 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 25 2684 2685
2а7.732.129 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 26 2684 2685
2а8.220.415 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 27 2684 2685
2а8.667.972 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 28 2684 2685
и1.8356.01 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 29 2684 2685
и1.8356.02 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 30 2684 2685
и1.8356.03 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 31 2684 2685
и1.8356.04 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 32 2684 2685
и1.8356.06 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 33 2684 2685
к8.135.627 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 34 2684 2685
к8.210.099 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 35 2684 2685
к8.278.420 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 36 2684 2685
к8.539.009 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 37 2684 2685
к8.563.059 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 38 2684 2685
к8.563.060 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 39 2684 2685
к8.564.097 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 40 2684 2685
к8.605.057 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 41 2684 2685
к8.701.711 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 42 2684 2685
к8.757.021 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 43 2684 2685
к8.757.022 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 44 2684 2685
к8.772.438 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 45 2684 2685
к8.772.439 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 46 2684 2685

кк7.773.331 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 51 2684 2685
кк7.774.303 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 52 2684 2685
кк7.774.327 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 53 2684 2685
кк7.804.311 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 54 2684 2685
кк8.131.324 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 55 2684 2685
кк8.206.279 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 56 2684 2685
кк8.224.363-02 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 57 2684 2685
кк8.228.077 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 58 2684 2685
кк8.315.476 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 59 2684 2685
кк8.352.493 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 60 2684 2685
кк8.366.769 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 61 2684 2685
кк8.683.342 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 62 2684 2685
кк8.934.315 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 63 2684 2685
кк8.935.901 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 64 2684 2685
кк8.942.062 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 65 2684 2685
кк8.942.154-1 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 66 2684 2685
кк8.942.190-1/Т кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 67 2684 2685
кк8.942.190-2/Т кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 68 2684 2685
кк8.942.190-3/Т кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 69 2684 2685
кк8.942.412 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 70 2684 2685
кк8.942.488 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 71 2684 2685
кк8.942.534-03 кд1.375.050_ккд кд1.375.050_псп 72 2684 2685

ТД.10160.00841	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4728	5381	5382	5383
ТД.10160.00842	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4729	5381	5382	5383
ТД.10160.00843	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4730	5381	5382	5383
ТД.10160.00846	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4731	5381	5382	5383
ТД.10160.00854	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4732	5381	5382	5383
ТД.10161.00135	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4733	5381	5382	5383
ТД.10161.00139	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4734	5381	5382	5383
ТД.10162.00460	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4735	5381	5382	5383
ТД.10162.00539	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4736	5381	5382	5383
ТД.10162.00610	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4737	5381	5382	5383
ТД.10162.00619	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4738	5381	5382	5383
ТД.10162.00636	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4739	5381	5382	5383
ТД.10162.00640	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4740	5381	5382	5383
ТД.10162.00641	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4741	5381	5382	5383
ТД.10162.00651	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4742	5381	5382	5383
ТД.10162.00664	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4743	5381	5382	5383
ТД.10162.00666	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4744	5381	5382	5383
ТД.10162.00680	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4745	5381	5382	5383
ТД.10167.00040	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4746	5381	5382	5383
ТД.10167.00046	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4747	5381	5382	5383
ТД.10167.00228	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4748	5381	5382	5383
ТД.10167.00330	КД1.375.064-02_КТД	КД1.375.064-02_ВУН	КД1.375.064-02_ПСН	4749	5381	5382	5383

«Планирование производства»

КД1.375.050_ппр	КД1.375.050_пзви	КД1.375.050_прп	5390	5402	5403
КД1.375.050_псп	КД1.375.050_пзви	КД1.375.050_прп	5391	5402	5403
КД1.375.053_ппр	КД1.375.053_пзви	КД1.375.053_прп	5392	5404	5405
КД1.375.053_псп	КД1.375.053_пзви	КД1.375.053_прп	5393	5404	5405
КД1.375.055_ппр	КД1.375.055_пзви	КД1.375.055_прп	5394	5406	5407
КД1.375.055_псп	КД1.375.055_пзви	КД1.375.055_прп	5395	5406	5407
КД1.375.064_ппр	КД1.375.064_пзви	КД1.375.064_прп	5396	5408	5409
КД1.375.064_псп	КД1.375.064_пзви	КД1.375.064_прп	5397	5408	5409
КД2.280.048_ппр	КД2.280.048_пзви	КД2.280.048_прп	5398	5410	5411
КД2.280.048_псп	КД2.280.048_пзви	КД2.280.048_прп	5399	5410	5411
КД3.490.033_ппр	КД3.490.033_пзви	КД3.490.033_прп	5400	5412	5413
КД3.490.033_псп	КД3.490.033_пзви	КД3.490.033_прп	5401	5412	5413

«Технологическая подготовка производства»

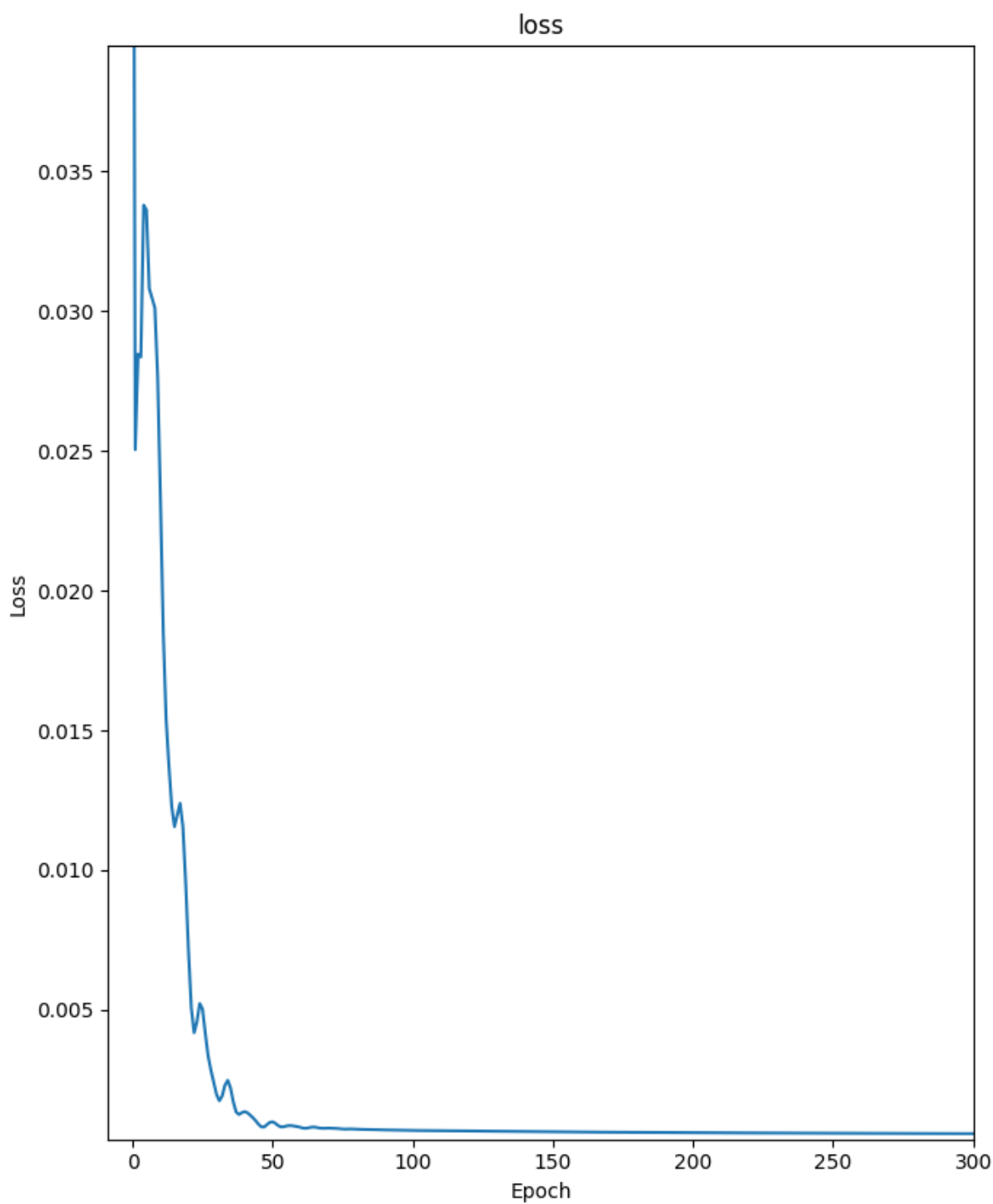
КД1.375.050_ттр	КД1.375.050_нзп	КД1.375.050_мцк	5414	5432	5433
КД1.375.050_фтр	КД1.375.050_нзп	КД1.375.050_мцк	5415	5432	5433
КД1.375.050_свде	КД1.375.050_нзп	КД1.375.050_мцк	5416	5432	5433
КД1.375.053_ттр	КД1.375.053_нзп	КД1.375.053_мцк	5417	5434	5435
КД1.375.053_фтр	КД1.375.053_нзп	КД1.375.053_мцк	5418	5434	5435
КД1.375.053_свде	КД1.375.053_нзп	КД1.375.053_мцк	5419	5434	5435
КД1.375.055_ттр	КД1.375.055_нзп	КД1.375.055_мцк	5420	5436	5437
КД1.375.055_фтр	КД1.375.055_нзп	КД1.375.055_мцк	5421	5436	5437
КД1.375.055_свде	КД1.375.055_нзп	КД1.375.055_мцк	5422	5436	5437
КД1.375.064_ттр	КД1.375.064_нзп	КД1.375.064_мцк	5423	5438	5439
КД1.375.064_фтр	КД1.375.064_нзп	КД1.375.064_мцк	5424	5438	5439
КД1.375.064_свде	КД1.375.064_нзп	КД1.375.064_мцк	5425	5438	5439
КД2.280.048_ттр	КД2.280.048_нзп	КД2.280.048_мцк	5426	5440	5441
КД2.280.048_фтр	КД2.280.048_нзп	КД2.280.048_мцк	5427	5440	5441
КД2.280.048_свде	КД2.280.048_нзп	КД2.280.048_мцк	5428	5440	5441
КД3.490.033_ттр	КД3.490.033_нзп	КД3.490.033_мцк	5429	5442	5443
КД3.490.033_фтр	КД3.490.033_нзп	КД3.490.033_мцк	5430	5442	5443
КД3.490.033_свде	КД3.490.033_нзп	КД3.490.033_мцк	5431	5442	5443

«Выпуск изделия»

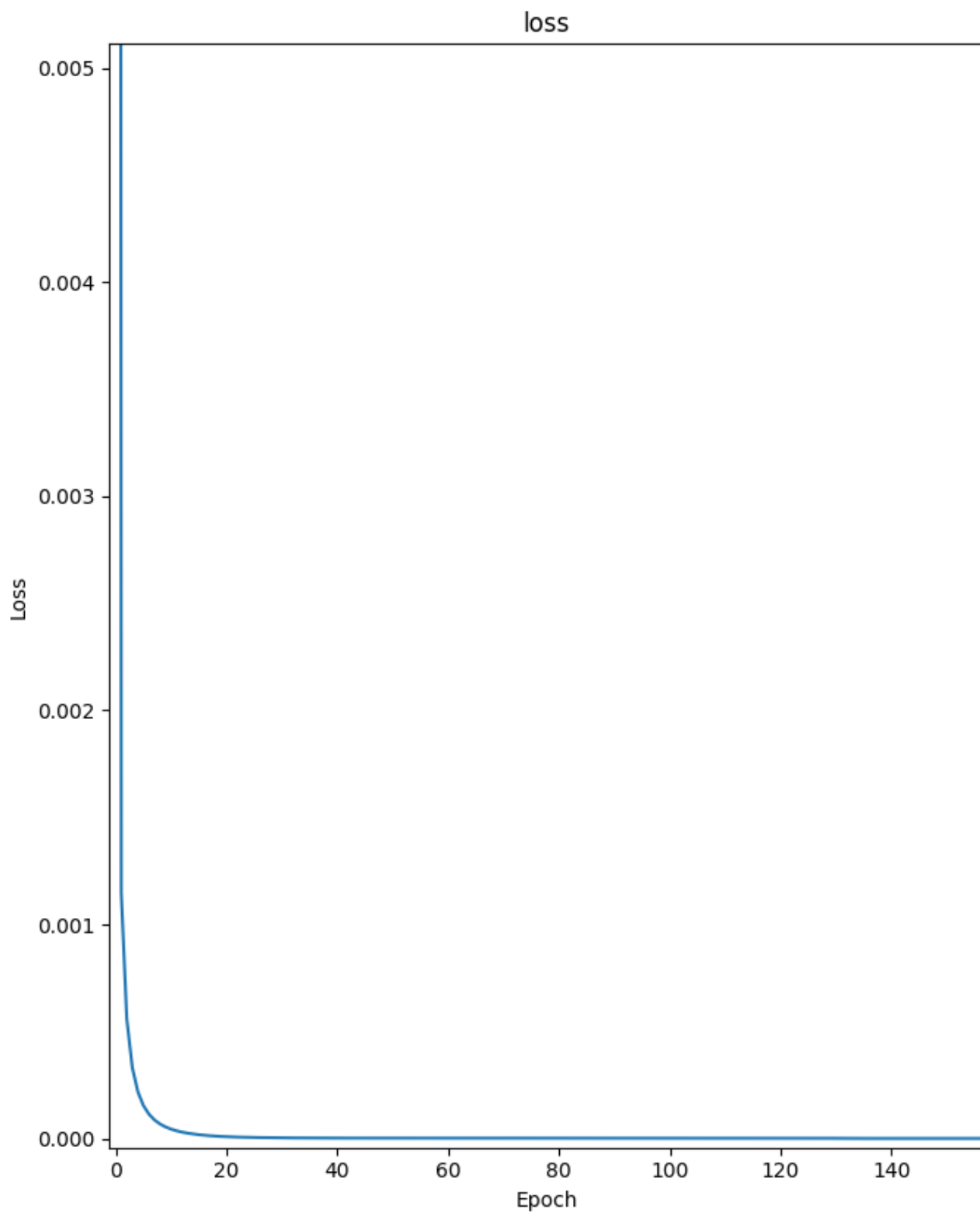
КД1.375.050_пими	КД1.375.050	5444	5450
КД1.375.053_пими	КД1.375.053	5445	5451
КД1.375.055_пими	КД1.375.055	5446	5452
КД1.375.064_пими	КД1.375.064	5447	5453
КД2.280.048_пими	КД2.280.048	5448	5454
КД3.490.033_пими	КД3.490.033	5449	5455

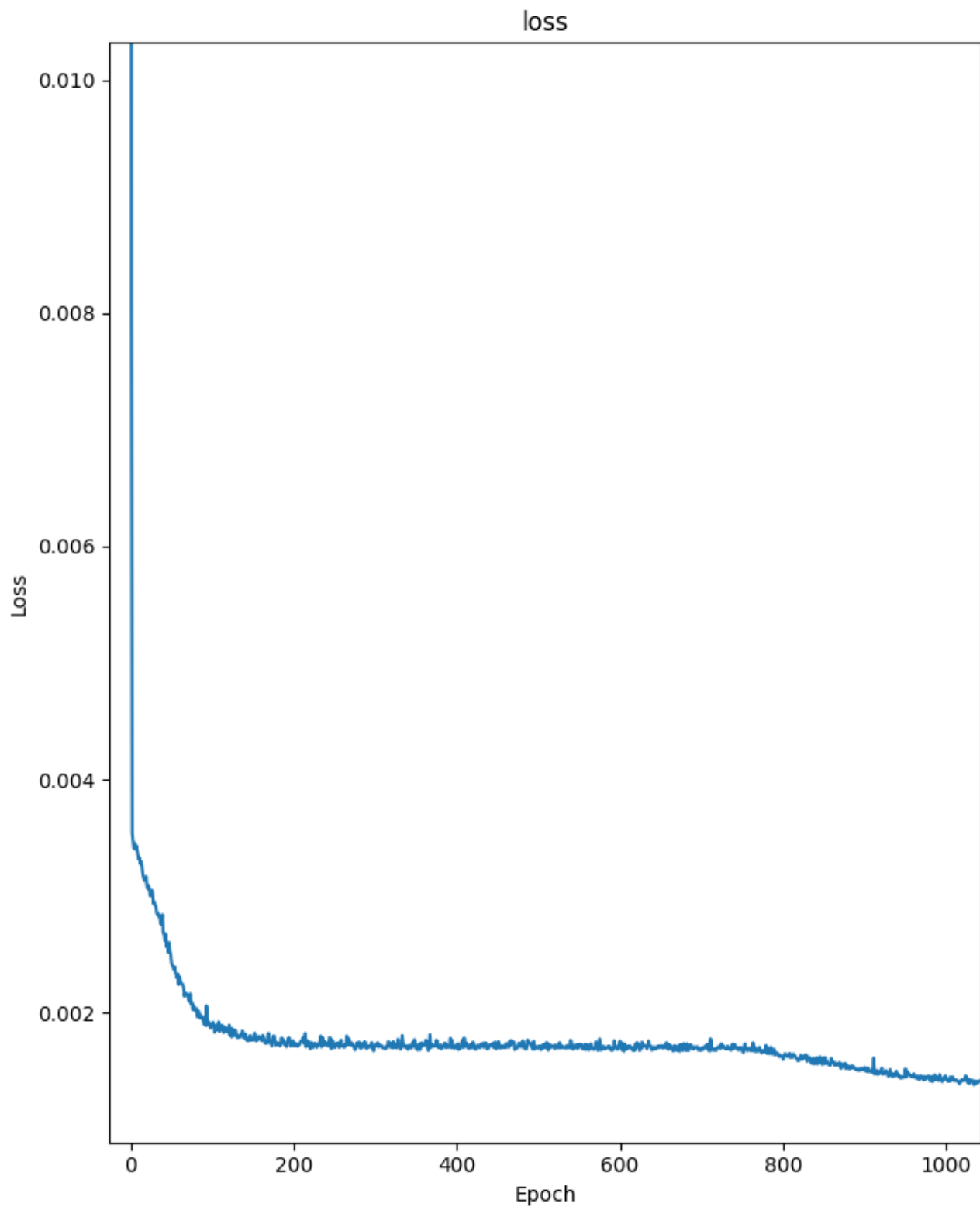
Фрагменты графиков зависимости функции потерь (Loss) от пройденной эпохи обучения (Epoch) различных ИНС-моделей этапов ТДО

«Проектирование»

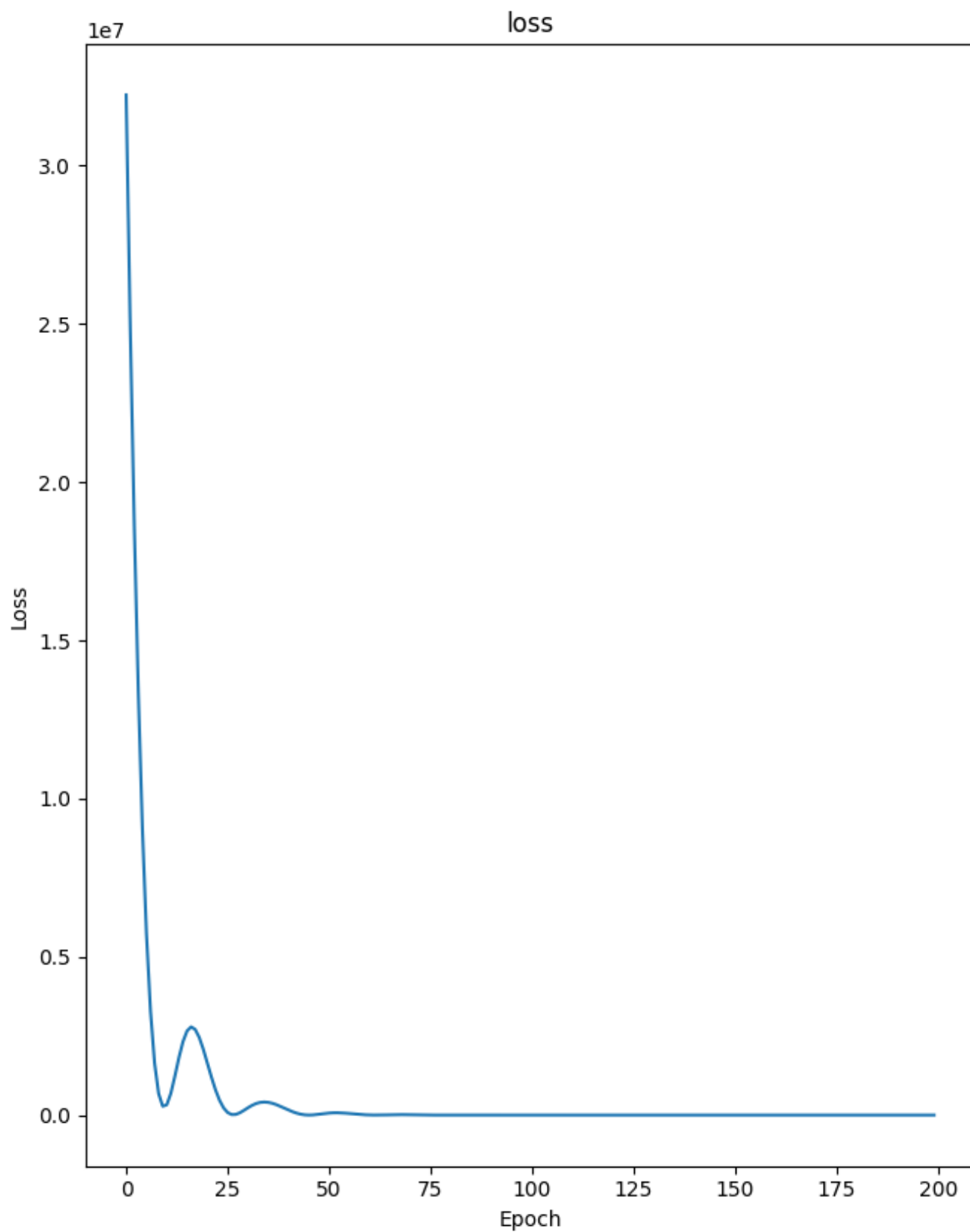


«Конструирование»

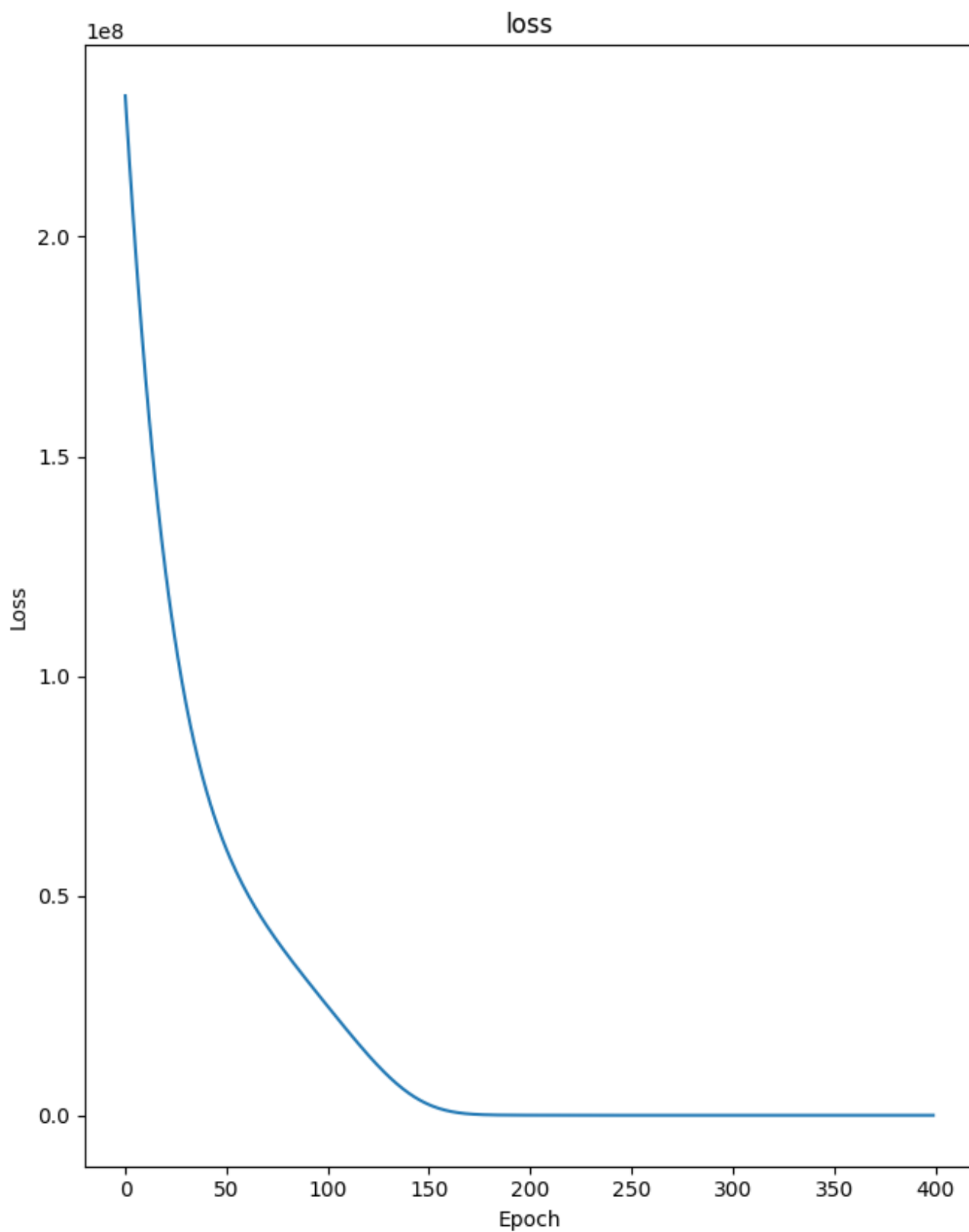




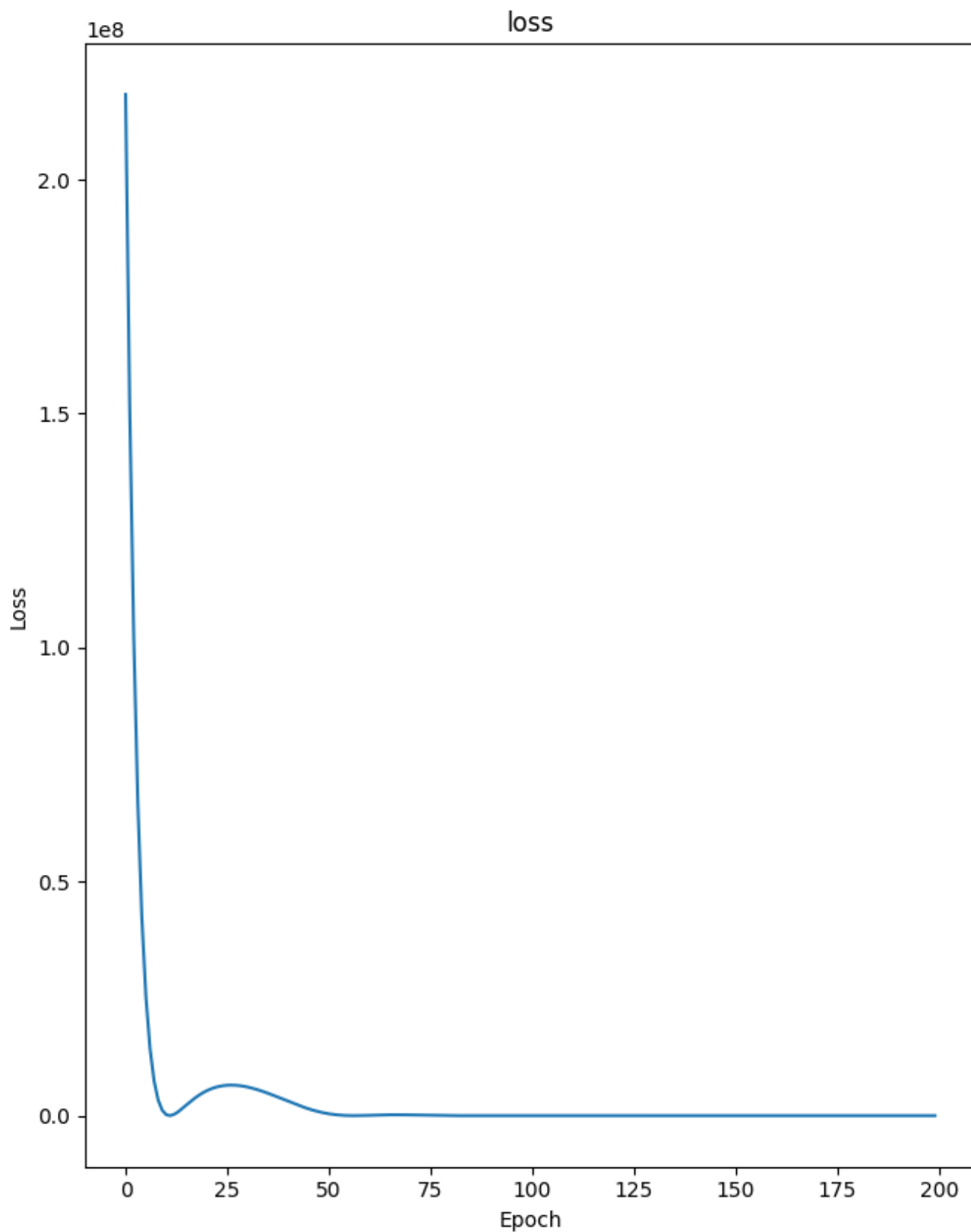
«Планирование производства»



«Технологическая подготовка производства»



«Выпуск изделия»



Программная реализация ИНС-моделей различных этапов ТДО

«Проектирование»

```
Opt = keras.optimizers.Adam(learning_rate=0.5)
Loss = 'mean_squared_error'

model = Sequential()
model.add(Dense(units=2, activation='sigmoid', input_shape=(1,)))
model.add(Dense(units=2, activation='sigmoid'))
model.compile(loss = Loss, optimizer = Opt, metrics=['accuracy'])

history = model.fit(NP_X_Data_Norm, NP_Y_Data12T_Norm, epochs=10000)
classes = model.predict(NP_X_Data_Norm) * MAX_Y
```

«"Конструирование»

```
Opt = keras.optimizers.Adam(learning_rate=0.025)
Loss = 'mean_squared_error'

model = Sequential()
model.add(Dense(units=3, activation='sigmoid', input_shape=(1,)))
model.add(Dense(units=4, activation='sigmoid'))
model.add(Dense(units=3, activation='sigmoid'))
model.add(Dense(units=2, activation='sigmoid'))
model.compile(loss = Loss, optimizer = Opt, metrics=['accuracy'])

earlyStop = EarlyStopping(monitor='loss', min_delta=0, patience=10, verbose=1,
                           mode='auto', baseline=None, restore_best_weights=True)

history = model.fit(NP_X_Data_Norm, NP_Y_Data12T_Norm, epochs=30000)

classes = model.predict(NP_X_Data_Norm) * MAX_Y
```

«Разработка технологии»

```
Opt = keras.optimizers.Adam(learning_rate=0.029)
Loss = 'mean_squared_error'

model = Sequential()
model.add(Dense(units=3, activation='sigmoid', input_shape=(1,)))
model.add(Dense(units=3, activation='sigmoid'))
model.compile(loss = Loss, optimizer = Opt, metrics=['accuracy'])

history = model.fit(NP_X_Data_Norm, NP_Y_Data123T_Norm, epochs=10000)
classes = model.predict(NP_X_Data_Norm) * MAX_Y
```

«Планирование производства»

```
Opt = keras.optimizers.Adam(learning_rate=0.045)
Loss = 'mean_squared_error'

model = Sequential()
model.add(Dense(units=2, activation='linear', input_shape=(1,)))
model.add(Dense(units=2, activation='linear'))
model.compile(loss = Loss, optimizer = Opt, metrics=['accuracy'])

history = model.fit(NP_X_Data, NP_Y_Data12T, epochs=200)
classes = model.predict(NP_X_Data)
```

«Технологическая подготовка производства»

```
Opt = keras.optimizers.Adam(learning_rate=0.01)
Loss = 'mean_squared_error'

model = Sequential()
model.add(Dense(units=3, activation='linear', input_shape=(1,)))
model.add(Dense(units=2, activation='linear'))
model.compile(loss = Loss, optimizer = Opt, metrics=['accuracy'])

history = model.fit(NP_X_Data, NP_Y_Data12T, epochs=400)
classes = model.predict(NP_X_Data)
```

«Выпуск изделия»

```
Opt = keras.optimizers.Adam(learning_rate=0.03)
Loss = 'mean_squared_error'

model = Sequential()
model.add(Dense(units=1, activation='linear', input_shape=(1,)))
model.add(Dense(units=2, activation='linear'))
model.add(Dense(units=2, activation='linear'))
model.add(Dense(units=1, activation='linear'))
model.compile(loss = Loss, optimizer = Opt, metrics=['accuracy'])

history = model.fit(NP_X_Data, NP_Y_Data1, epochs=200)
classes = model.predict(NP_X_Data)
```

Программная реализация ОИНС-модели на основе на нейронных элементов, включающих в себя ИНС-подмодели различных этапов ТДО

«Проектирование», «Конструирование» и «Разработка технологии»:

```

Opt = keras.optimizers.Adam(learning_rate=0.03) #0.03
Loss = 'mean_squared_error'

ANN_in = Input(shape=(1,), name='ANN_IN')
L1 = Dense(1, activation='linear', name='L1_Dense')(ANN_in)
L1_M = Model(inputs=ANN_in, outputs=L1)
ANN1_PREDICTED = ANN1.predict(NP_X); #print(ANN1_PREDICTED)
L1_W = L1_M.get_weights()
L1_W[1][0] = ANN1_PREDICTED[0][0]
L1_M.set_weights(L1_W);
#print(L1_M.get_weights())
L1_M_out = L1_M.predict(NP_X)

L2_1 = Dense(2, activation='linear', name='L2_Dense_1')(L1)
L2_1_M = Model(inputs=ANN_in, outputs=L2_1)
ANN2_PREDICTED = ANN2.predict(L1_M_out); #print(ANN2_PREDICTED)
L2_1_W = L2_1_M.get_weights()
L2_1_W[3][0] = ANN2_PREDICTED[0][0]
L2_1_W[3][1] = ANN2_PREDICTED[0][0]
L2_1_M.set_weights(L2_1_W)
#print(L2_1_M.get_weights())
L2_1_M_out = L2_1_M.predict(NP_X)

L2_2 = Dense(3, activation='linear', name='L2_Dense_2')(L1)
L2_2_M = Model(inputs=ANN_in, outputs=L2_2)
ANN3_PREDICTED = ANN3.predict(L1_M_out); #print(ANN3_PREDICTED)
L2_2_W = L2_2_M.get_weights()
L2_2_W[3][0] = ANN3_PREDICTED[0][0]
L2_2_W[3][1] = ANN3_PREDICTED[0][0]
L2_2_W[3][2] = ANN3_PREDICTED[0][0]
L2_2_M.set_weights(L2_2_W)
#print(L2_2_M.get_weights())
L2_2_M_out = L2_2_M.predict(NP_X)

combined_L2 = Concatenate()([L2_1, L2_2])
combined_L2_out = np.concatenate((ANN2_PREDICTED.flatten(), ANN3_PREDICTED.flatten()))

```

«Планирование производства», «Технологическая подготовка производства»
и «Выпуск изделия»:

```
L3_1 = Dense(2, activation='linear', name='L3_Dense_1')(combined_L2)
L3_1_M = Model(inputs=ANN_in, outputs=L3_1)
ANN4_PREDICTED = ANN4.predict(combined_L2_out); #print(ANN4_PREDICTED)
L3_1_W = L3_1_M.get_weights()
L3_1_W[7][0] = ANN4_PREDICTED[0][0]
L3_1_W[7][1] = ANN4_PREDICTED[0][0]
L3_1_M.set_weights(L3_1_W)
#print(L3_1_M.get_weights())
L3_1_M_out = L3_1_M.predict(NP_X)

L3_2 = Dense(3, activation='linear', name='L3_Dense_2')(combined_L2)
L3_2_M = Model(inputs=ANN_in, outputs=L3_2)
ANN5_PREDICTED = ANN5.predict(combined_L2_out); #print(ANN5_PREDICTED)
L3_2_W = L3_2_M.get_weights()
L3_2_W[7][0] = ANN4_PREDICTED[0][0]
L3_2_W[7][1] = ANN4_PREDICTED[0][0]
L3_2_W[7][2] = ANN4_PREDICTED[0][0]
L3_2_M.set_weights(L3_2_W)
#print(L3_2_M.get_weights())
L3_2_M_out = L3_2_M.predict(NP_X)

combined_L3 = Concatenate()([L3_2, L3_2])
combined_L3_out = np.concatenate((ANN4_PREDICTED.flatten(), ANN5_PREDICTED.flatten()))
#print(combined_L3_out)

ANN_out = Dense(1, activation='linear', name='ANN_OUT')(combined_L3)
ANN6_PREDICTED = ANN6.predict(combined_L3_out); #print(ANN6_PREDICTED)
MainModel = Model(inputs=ANN_in, outputs=ANN_out)
L4_W = MainModel.get_weights()
L4_W[9][0] = ANN6_PREDICTED[0][0]
MainModel.set_weights(L4_W)
#print(MainModel.get_weights())

MainModel.compile(loss = Loss, optimizer = Opt, metrics=['accuracy'])
history = MainModel.fit(NP_X, NP_Z, epochs=500) # 500
classes = MainModel.predict(NP_X)
#print(classes)
print(classes.round())
```


Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020611400

Программная реализация нейронносетевой модели
документооборота производственного предприятия

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Балтийский
государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им.
Д.Ф. Устинова» (RU)*

Автор: *Иванов Максим Викторович (RU)*




Заявка № 2020610449

Дата поступления 21 января 2020 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 30 января 2020 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

Акт об использовании материалов диссертационной работы в АНО ДПО
«Высшая школа современного образования»



Автономная некоммерческая организация
дополнительного профессионального образования
«Высшая школа современного образования»

**ВЫСШАЯ ШКОЛА СОВРЕМЕННОГО
ОБРАЗОВАНИЯ**

Черкесская ул., д. 5А, Самара, 443058
ИНН/КПП:6319229100/ КПП:631901001
ОГРН:1186313048074
ОКПО:28665698
E-mail: market@ofernio.su
<http://vshco.pf>

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
Высшей школы современного
образования»

И.А. Григорьянц

05 2023 г.



АКТ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

материалов диссертационной работы Иванова Максима Викторовича «Модели и методики цифровизации систем менеджмента качества наукоемкого производства» представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.22 – Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

Настоящим актом подтверждаем, что результаты работы Иванова Максима Викторовича:

- имитационная модель обмена информацией о технической документации на изделие между участниками технического документооборота приборостроительной организации, позволяющая описать систему технологического документооборота в условиях реакции на возникающие в процессе производства изделий несоответствия с использованием элементов теории искусственных нейронных сетей;
- модель маршрута согласования технической документации на основе анализа предложенной имитационной модели технического документооборота с учетом возможностей среды автоматизированной системы в рамках СМК предприятия;
- методика создания ИНС-модели исследуемого маршрута согласования технической документации в условиях появления несоответствий и оперативной реакции на них в среде автоматизированной системы на основе результатов работы имитационной модели с целью ее стандартизации;

– методика улучшения качества процессов согласования технической документации.

использованы в АНО ДПО «Высшая школа современного образования» при разработке индивидуальных образовательных треков слушателей программ дополнительного профессионального образования (программ профессиональной подготовки и повышения квалификации) и включены в образовательный контент следующих программ дополнительного профессионального образования: «Внутренний аудит системы менеджмента качества организации ИСО-9001», «Основы стандартизации, сертификации и технического регулирования», «Автоматизация технологических процессов в пищевой промышленности»; «Специалист по метрологии», «Техносферная безопасность», «Экономическая безопасность», «Основы метрологии», «Основы стандартизации, сертификации и технического регулирования», «Бережливое производство», «Управленческие компетенции руководителя».

Председатель комиссии

Генеральный директор
Высшей школы современного образования
к.э.н


Григорьянц И.А.

Члены комиссии:

Директор по стратегическому развитию
и экономико-аналитической работе
Высшей школы современного образования
к.п.н, доцент


Бобкова Е.Ю.

Руководитель проектов
Высшей школы современного образования
к.п.н, доцент


Нелюбина Е.Г.

Акт о внедрении результатов диссертационной работы в ФГАОУ ВО ГУАП
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического
приборостроения»



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
(ГУАП)

Санкт-Петербург

№ _____

УТВЕРЖДАЮ
Ректор ГУАП,
доктор экономических наук
профессор

Ю.А. Антохина

Ю.А. Антохина

МП

«30» _____ 2023 г.



АКТ О ВНЕДРЕНИИ

результатов диссертационной работы
Иванова Максима Викторовича

«Модели и методики цифровизации систем менеджмента качества наукоемкого производства», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.22 Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

Комиссия в составе:

Председатель – заместитель директора Института ФПТИ, канд. техн. наук
А.В. Чабаненко

Члены комиссии:

Милова В.М., доцент, канд. техн. наук, доцент кафедры инноватики и интегрированных систем качества;

Смирнова В.О., доцент, канд. техн. наук, доцент кафедры инноватики и интегрированных систем качества;

Щеников Я.А., доцент, канд. техн. наук, доцент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Модели и методики цифровизации систем менеджмента качества наукоемкого производства», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук:

– имитационная модель обмена информацией о технической документации на изделие между участниками технического документооборота приборостроительной организации;

– методика улучшения качества процессов согласования технической документации; использованы в деятельности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Материалы диссертационной работы Иванова Максима Викторовича были использованы в учебном процессе в дисциплинах «Ситуационное управление качеством сложных систем», «Организация проектно-конструкторской деятельности», «Основы проектирования продукции», «Основы технической документации», «Промышленные технологии и инновации», «Методы и средства процессов проектирования», читаемых на кафедре №5 Инноватики и интегрированных систем качества для студентов направлений «Управление качеством», «Инноватика», «Стандартизация и метрология» уровня бакалавриата и магистратуры.

Председатель комиссии
зам. директора института ФПТИ,
канд. техн. наук

А.В. Чабаненко

Члены комиссии:

доцент кафедры
инноватики и интегрированных систем качества
канд. техн. наук, доцент

В.М. Милова

доцент кафедры
инноватики и интегрированных систем качества
канд. техн. наук, доцент

В.О. Смирнова

доцент кафедры
инноватики и интегрированных систем качества
канд. техн. наук, доцент

Я.А. Щеников

Акт внедрения научных результатов работы в АО «НПП «Сигнал»

Утверждаю

Генеральный директор
АО «НПП «Сигнал»

Некрасов А.В.
«Сигнал» 2023г.



Акт

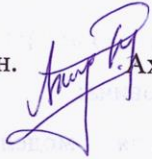
внедрения в АО «НПП «Сигнал» научных результатов работы Иванова Максима Викторовича:

- имитационная модель обмена информацией о технической документации на изделие между участниками технического документооборота приборостроительной организации, позволяющая описать систему технологического документооборота в условиях реакции на возникающие в процессе производства изделий несоответствия с использованием элементов теории искусственных нейронных сетей;
- модель маршрута согласования технической документации на основе анализа предложенной имитационной модели технического документооборота с учетом возможностей среды автоматизированной системы в рамках СМК предприятия.

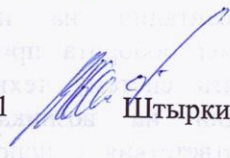
Комиссия в составе: председателя - начальника научно-конструкторского отдела, к.т.н, Ахмадуллина Радика Минзагитовича и членов комиссии: начальника научно-исследовательского отдела №1, Штыркина Василия Анатольевича, начальника технологического отдела, Грачёва Алексея Вячеславовича в период с 1 по 7 августа 2023г. провела проверку реализации научных результатов работы Иванова М.В. и установила: внедрение указанных результатов позволили повысить производительность труда технологического отдела на 6% за счет сокращения на 41% жизненного цикла технологической документации сквозного производства, реализуемого на нескольких производственных площадках предприятия, а также добиться снижения затрат на производство изделий гражданской продукции на 11-13%.

Научные результаты работы введены в состав СМК организации в качестве положений стандарта организации и применены при разработке маршрута согласования технологической документации в среде автоматизированной системы TechnologiCS, используемой на АО «НПП «Сигнал».

Председатель комиссии:

Начальник научно-конструкторского отдела, к.т.н.  Ахмадуллин Р.М.

Члены комиссии:

Начальник научно-исследовательского отдела №1  Штыркин В.А.

Начальник технологического отдела  Грачёв А.В.

Приложение К

Акт о внедрении результатов научной работы в Учреждении науки «Инженерно- конструкторский центр сопровождения эксплуатации космической техники»

Утверждаю

Директор

Учреждения науки ИКЦ СЭКТ

Краснов О.В.

2023г.

АКТ

О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНОЙ РАБОТЫ


Иванова Максима Викторовича

Настоящим актом подтверждаем, что научные результаты работы
Иванова М.В.:

- методика создания ИНС-модели исследуемого маршрута согласования технической документации в условиях появления несоответствий и оперативной реакции на них в среде автоматизированной системы на основе результатов работы имитационной модели с целью ее стандартизации;
- методика улучшения качества процессов согласования технической документации

использованы при модернизации процессов согласования технологической документации при проектировании изделий гражданской продукции, что позволило снизить затраты на производство на 7-9%, а также повысить производительность труда технологического отдела на 4-5% за счет сокращения на 32% жизненного цикла технологической документации.


Председатель комиссии:

Заместитель директора по НИОКР, к.т.н.  Быченков В.А.

Члены комиссии:

Начальник проектно-конструкторского отдела

– старший инженер, к.т.н.  Сергеев Д.С.

Заместитель начальника отдела научных исследований и технических разработок – ведущий научный сотрудник, к.т.н.  Коняшова К.А.

Акт о внедрении научных результатов работы в ООО «НЕЛА»

Утверждаю
 Заместитель генерального директора
 ООО «НЕЛА»
 Щербаков А.П.
 «07» 09 2023г.



АКТ О ВНЕДРЕНИИ

научных результатов работы Иванова Максима Викторовича


Комиссия в составе: научного руководителя предприятия д.ф.м.н Беликова Андрея Вячеславовича (председателя комиссии) и членов: начальника лаборатории Батова Юрия Николаевича, инженера Губина Антона Борисовича, составила настоящий акт в том, что научные результаты диссертационной работы Иванова Максима Викторовича:

1. модель маршрута согласования технической документации на основе анализа предложенной имитационной модели технического документооборота с учетом возможностей среды автоматизированной системы в рамках СМК предприятия;
2. методика создания ИНС-модели исследуемого маршрута согласования технической документации в условиях появления несоответствий и оперативной реакции на них в среде автоматизированной системы на основе результатов работы имитационной модели с целью ее стандартизации.


внедрены в ООО «НЕЛА» и используются в обеспечении качества процессов жизненного цикла конструкторской документации предприятия.

Внедрение указанных результатов позволило сократить длительность согласования конструкторской документации на 20%, повысить производительность труда конструкторского отдела, а также снизить затраты на производстве.

Председатель комиссии:

Научный руководитель, д.ф.м.н., профессор  Беликов А.В.

Члены комиссии:

Начальник лаборатории  Батов Ю.Н.

Инженер  Губин А.Б.