

Министерство образования Московской области

ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.472

№ госрегистрации АААА-А17-117020210028-6

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор «МГОТУ»

Т.Е. Старцева

«\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_ г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Приказ от «13» января 2017 г. № 01-04/4

по теме:

**«Модели и методы контроля параметров инфокоммуникационных систем»**

**(заключительный)**

Шифр темы 49.27.31 «Системы и аппаратура цифровой передачи»

Руководитель НИР,  
к.т.н., доцент

Т.С. Аббасова

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Королев 2019

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Должность, ученая степень и звание	Подпись, дата	Фамилия, инициалы и номер раздела выполненной работы
1	2	3
Руководитель работы, к.т.н., доцент		Т. С. Аббасова (раздел 1,2,3,4)
Исполнители темы:		
Заведующий кафедрой информационных технологий и управляющих систем, д.т.н., профессор	_____ подпись, дата	В. М. Артюшенко (раздел 1,2)
Профессор кафедры информационных технологий и управляющих систем, д.т.н., профессор	_____ подпись, дата	Ю. В. Стреналюк (раздел 2,4)
Аспирант кафедры информационных технологий и управляющих систем	_____ подпись, дата	Э. Э. Акимкина (раздел 3)
Аспирант кафедры информационных технологий и управляющих систем	_____ подпись, дата	О. В. Ковалева (раздел 1)
Магистрант кафедры информационных технологий и управляющих систем	_____ подпись, дата	Д. В. Евдокимова (раздел 1)
Студент кафедры информационных технологий и управляющих систем	_____ подпись, дата	В.А. Наумушкин (раздел 2)
Студент кафедры информационных технологий и управляющих систем	_____ подпись, дата	А.И. Зиненко (раздел 2)
Начальник отдела организации научных исследований	_____ подпись, дата	В.Б. Колтакова (раздел 3)
Младший научный сотрудник	_____ подпись, дата	А.А. Семина (раздел 4)
Младший научный сотрудник	_____ подпись, дата	(раздел 4)

## РЕФЕРАТ

Отчет 56 с., 4 ч., 35 рисунков, 2 таблицы, 31 источник.

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ, ИНТЕГРИРОВАННАЯ СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ.

Объектом исследования являются инфокоммуникационные системы.

Предметом исследования являются модели и методы контроля параметров инфокоммуникационных систем для обеспечения помехоустойчивости и электромагнитной совместимости коммуникационного оборудования.

Целью НИР является выработка научно-обоснованных технических решений для обеспечения помехоустойчивости и электромагнитной совместимости оборудования инфокоммуникационных систем с помощью применения инновационных методик контроля параметров на основе компьютерных методов и моделей обработки информации.

Результаты работы:

- исследованы особенности эксплуатации и условия электромагнитной совместимости электропроводных кабельных линий для передачи приложений с требуемой на современном этапе скоростью 10 Гбит/с, проведено аналитическое и геометрическое моделирование параметров помехозащищенности в электрических трактах инфокоммуникационных систем;

- проведен анализ факторов, влияющих на помехоустойчивость современных высокоскоростных электрических и оптических трактов передачи инфокоммуникационных систем;

- разработаны трехмерные модели, которые позволяют осуществить информационную поддержку задач эксплуатации кабельного хозяйства: оперативный доступ к информации о кабельных трассах, контроль над совместной прокладкой кабелей, визуализацию трассировки кабельных трасс и отдельных кабелей; возможность накопления и систематизации данных по результатам тестирования электрических кабельных трактов; имитационное трехмерное моделирование трассировки кабеля на сложных участках;

- на основе трехмерных моделей разработаны организационно-технические мероприятия для детализированного планирования работ по обеспечению электромагнитной совместимости оборудования трактов передачи инфокоммуникационных систем;

- осуществлен синтез систем имитационного моделирования для контроля электромагнитной совместимости коммуникационного оборудования и экспертного моделирования поддержки принятия решений о состоянии инфокоммуникационных систем.

Степень внедрения – результаты исследований могут быть использованы для контроля параметров и повышения помехозащищенности оборудования существующих и вновь разрабатываемых инфокоммуникационных систем.

Область применения – полученные результаты предполагается использовать для решения актуальной научной задачи разработки методов и моделей контроля параметров инфокоммуникационного оборудования, имеющее существенное значение для выполнения жестких требований стандартов по электромагнитной совместимости (ЭМС) к современным высокоскоростным средам передачи.

## Содержание

Определения, обозначения и сокращения	6
Введение	7
1. Модели и методы контроля параметров инфокоммуникационных систем на основе электрической среды передачи	9
1.1 Анализ помех в высокоскоростных электрических трактах передачи	9
1.2 Аналитическое и геометрическое моделирование параметров помехозащищенности в электрических трактах инфокоммуникационных систем	10
2. Модели и методы контроля параметров оптических инфокоммуникационных систем	17
2.1 Анализ факторов, влияющих на помехозащищенность оптических трактов передачи	17
2.2 Аналитическое и геометрическое моделирование параметров помехозащищенности в оптических трактах инфокоммуникационных систем	24
3. Использование трехмерных моделей для детализированного планирования работ по обеспечению электромагнитной совместимости инфокоммуникационного оборудования	29
4. Разработка правил в экспертных системах для анализа и оценки параметров помехозащищенности инфокоммуникационных систем на основе электрической и оптической среды передачи	35
4.1 Организация непрерывного процесса наблюдения состояния инфокоммуникационной системы	35
4.2 Способы представления и анализа данных о состоянии инфокоммуникационной системы в форме конкретных фактов	36
4.3 Способы представления правил при проектировании экспертной системы на основе базы знаний о состоянии инфокоммуникационной системы	40
Заключение	52
Список используемых источников	54

## Определения, обозначения и сокращения

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями:

БЗ (база знаний) – база данных, содержащая правила вывода и информацию о человеческом опыте и знаниях в некоторой предметной области;

ВК (вычислительный комплекс) – взаимосвязанная совокупность средств вычислительной техники, в которую входит не менее 2 процессоров, объединенных системой управления и имеющих общую память;

ВОК (волоконно-оптические коммуникации) – коммуникации для передачи информации от одного места к другому, посредством импульсов света через оптическое волокно;

ПК (персональный компьютер) – персональная электронно-вычислительная машина, настольная микро-ЭВМ, имеющая эксплуатационные характеристики бытового прибора и универсальные функциональные возможности;

РМ (рабочее место) – рабочая станция, комплекс аппаратных и программных средств, предназначенных для решения определённого круга задач;

СКС (структурированная кабельная система) – законченная совокупность кабелей передачи данных и коммутационного оборудования, отвечающая требованиям соответствующих нормативных документов;

ЦОД (центр обработки данных) – это специализированное здание для размещения (хостинга) серверного и сетевого оборудования и подключения абонентов к каналам сети;

ЭМО (электромагнитная обстановка) – совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах;

ЭМС (электромагнитная совместимость) – способность технических средств одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных электромагнитных помех и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам

ЭС (экспертная система) – компьютерная система, способная частично заменить специалиста-эксперта в разрешении проблемной ситуации.

## Введение

Современное оборудование горизонтальных подсистем на основе электрической среды передачи достаточно надежно, однако неуклонное движение в область высоких частот делает все более актуальной проблему обеспечения помехоустойчивости и ЭМС [1 – 5]. Она имеет два аспекта – влияние собственных излучений электрических кабелей на работу других электронных устройств и их уязвимость от внешних электромагнитных воздействий.

При создании инфокоммуникационных систем на основе электрической среды передачи приходится учитывать различные аспекты ЭМС применительно к системам, интегрированным в различные здания и помещения, занимающие площадь в сотни и тысячи квадратных метров [2]. Особую актуальность эта проблема приобретает при прокладке инфокоммуникационных кабелей в непосредственной близости от силовых кабелей, или другого оборудования, являющегося источником сильных электромагнитных помех [2, 4].

Целью НИР является выработка научно-обоснованных технических решений для обеспечения помехоустойчивости и электромагнитной совместимости оборудования инфокоммуникационных систем с помощью применения инновационных методик контроля параметров на основе компьютерных методов и моделей обработки информации.

Прогнозирование ЭМС – сложная задача, которую можно решить, используя виртуальные модели для измерения ЭМС с самого начала процесса проектирования. Если существует проблема ЭМС, то для идентификации источников помех и их изоляции необходимо придерживаться наилучшим опытом в моделировании: точная характеристика электромагнитного поведения электронной системы, имитация ее работы в режиме реального времени, воспроизведение нормативных тестов электромагнитных помех, анализ результатов.

В России электрические каналы инфокоммуникационных систем создаются на основе четырехпарного симметричного неэкранированного кабеля категории ба, они поддерживают скорость передачи информации 10...40 Гбит/с, применяются для высокоскоростных коммуникаций, для вычислительных комплексов (ВК) и центров обработки данных (ЦОД).

Применение волоконно-оптических кабелей для инфокоммуникационных систем офисных зданий нецелесообразно, так как сложно обеспечить гарантированным электропитанием телефонные аппараты пользователей. Возможность поддержки передачи информации со скоростями вплоть до 1 Гбит/с с помощью симметричных кабелей на расстояние до 100 м с заметным запасом перекрывает потребности практики как по скорости, так и по дальности связи [3].

Электромагнитные процессы составляют основу физических принципов функционирования электронного цифрового оборудования инфокоммуникаций. Электромагнитные поля существуют не только в электрических цепях конструктивных элементов инфокоммуникационных сетей, но и в окружающем пространстве. С точки зрения функционального назначения средств поддержки инфокоммуникационной инфраструктуры эти поля надо рассматривать как фактор загрязнения окружающей среды, и как канал утечки информации. Поэтому необходимо анализировать ЭМО внутри помещения, внутри инфокоммуникационного устройства или канала передачи, вне здания, в которое интегрируется инфокоммуникационная система.

Существующие методы построения аналитических, геометрических и трехмерных моделей устройств инфокоммуникационной инфраструктуры для анализа помехоустойчивости необходимо дополнить разработкой методов детализированного планирования работ по обеспечению электромагнитной совместимости инфокоммуникационного оборудования, а также разработкой способов представления и анализа данных о состоянии инфокоммуникационной системы в форме конкретных фактов, на основе которых строится база знаний для экспертной системы мониторинга инфокоммуникационного оборудования и выдачи рекомендаций системному администратору, а также для управления инвентаризацией коммуникационных ресурсов.



# 1 Модели и методы контроля параметров инфокоммуникационных систем на основе электрической среды передачи

## 1.1 Анализ помех в высокоскоростных электрических трактах передачи

Помеха – электромагнитная величина, способная вызвать в электрическом устройстве нежелательный эффект, в рассматриваемом случае нарушение функционирования кабельных каналов (снижение пропускной способности, ошибки в передаваемых битах информации). Помеха определяется разностью между измеренной электромагнитной величиной и содержащимся в этой электромагнитной величине полезным сигналом. Помехоустойчивость – свойство чувствительного элемента нормально работать при воздействии помехи. Количественно помехоустойчивость рассматриваемого объекта (устройства, канала связи) задается в виде допустимого воздействия в форме амплитуды импульса напряжения, напряженности поля и т. п.

При анализе технико-экономических проблем ЭМС необходимо установить значение механизмов связи  $K$  между источником помех  $Q$  и чувствительным к помехам каналом связи (устройством), изображенных на Рисунке 1.1, а также определить соответствующие организационно-технические мероприятия, по которым можно эффективно противостоять этим воздействиям уже на стадии проектирования электрических трактов передачи.



Рисунок 1.1 – Элементарная модель влияния помех в тракте передачи

Проанализируем особенности эксплуатации электропроводных кабельных линий для передачи приложений с требуемой на современном этапе скоростью 10 Гбит/с. Увеличение пропускной способности до 10 Гбит/с приводит к переходу на более высокие частоты передачи (250...500 МГц и выше), поэтому возникает необходимость соблюдения более жестких технических требований к электротехническим параметрам [2]. Так как основное влияние в диапазоне частот 250...500 МГц оказывает межкабельная переходная помеха, ее необходимо контролировать в первую очередь. Поэтому аналитическое и геометрическое моделирование влияния помех рассмотрим на примере межкабельной помехи в электрических трактах.

На частоте 300 МГц и выше наибольшее влияние в электрическом кабельном тракте оказывает межкабельная переходная помеха – АХТ (от англ. Alien Crosstalk – межкомпонентные перекрестные помехи). При двунаправленной передаче наибольший интерес представляет сигнал помехи на ближнем конце – ANEXT (от англ. Alien Near End Crosstalk – межкомпонентные перекрестные помехи на ближнем конце). Помеха на ближнем конце имеет большую величину, поскольку уровень сигнала во влияющей линии по направлению к концу затухает. Помехи на дальнем конце – AFEXT (от англ. Alien Far End Crosstalk – межкомпонентные перекрестные помехи на дальнем конце) – определяются при использовании одновременной передачи и приема информации по всем четырем парам. Межкабельные помехи на ближнем конце линии зависят от характеристик соединительных компонентов, межкабельные помехи на дальнем конце линии зависят от характеристик кабелей [1,2].

## **1.2 Аналитическое и геометрическое моделирование параметров помехозащищенности в электрических трактах инфокоммуникационных систем**

Проведем аналитическое моделирование параметров помех при передаче электрических сигналов в диапазоне частот 250...500 МГц по неэкранированным кабельным линиям на основе «витая пара». Аналитические модели представляют собой отображение взаимосвязей между переменными объекта в виде дифференциальных, алгебраических или любых других систем математических уравнений. Такие модели обычно получают на основе физических законов. Использование аналитических моделей позволяет исследовать фундаментальные свойства объекта, часто без использования персонального компьютера (ПК).

Очень редко влияние ПК приводит к полному нарушению связи; как правило, в первую очередь снижается скорость передачи данных.

Параметр защищенности для кабеля типа «витая пара» относительно межкабельных наводок оценивается формулой:

$$A = A_N - A_L, \quad (1.1)$$

где  $A_N$  – межкабельное переходное затухание на ближнем конце ( $N$  от англ. Near – ближний);  $A_L$  – погонное затухание тракта передачи длиной  $L$ .

Суммарный параметр защищенности оценивается

$$A_\Sigma = \Sigma A_N - A_L. \quad (1.2)$$

где  $\Sigma A_N$  – суммарные переходные помехи на ближнем конце.

Пропускная способность линии передачи информационных сигналов определяется по формуле

$$C = 2f_b \log_2 \sqrt{1 + A}, \quad (1.3)$$

где  $f_b$  – верхняя граничная частота полосы пропускания тракта ( $b$  от англ. border – граничный);  $A$  – параметр защищенности при наличии межкабельных помех.

Чтобы поддерживать скорость передачи на заданном уровне (10 Гбит/с), необходимо контролировать параметр защищенности. Оптимизация параметров кабельного тракта заключается в увеличении параметра защищенности (оценивается для сочетаний  $i$ -й и  $j$ -й пар кабелей в кабельном тракте, для оценки пропускной способности выбирается наихудший вариант). Существует множество  $W$ , равное числу кабелей в кабельном тракте. Системные параметры:  $f$  – полоса частот передачи, МГц;  $C$  – заданная пропускная способность, Гбит/с;  $Q_0$  – требуемое качество услуг (включает допустимые величины погонного затухания и межкабельной помехи, вероятности ошибки бит/кадр, временной задержки, вероятности блокировки вызова предоставляемых услуг). Таким образом, выражение для параметра помехозащищенности электрического кабельного тракта запишется в следующем виде:

$$|A_{ij}^{opt}| = \max_{A_{ij} \in W} |A_{ij}|[f, C, Q_0]. \quad (1.4)$$

Чем больше переходное затухание  $A_N$  и меньше погонное затухание  $A_L$  тракта передачи, тем лучше параметр защищенности. Так как затухания и наводки разъемов и кабелей при передаче в диапазоне частот 250...500 МГц становятся сопоставимыми, то для расчета допустимого затухания кабельного тракта (проброс + шнур сетевого оборудования + кроссовый шнур + шнур рабочего места) необходимо использовать формулу

$$A = \Sigma A_p + A_{к/100 м} \cdot (L_k + 1, 2 \Sigma L_{ш}) \quad (1.5)$$

где  $\Sigma A_p$  – сумма максимально допустимых затуханий, вносимых всеми разъемами;  $A_{к/100 м}$  – максимально допустимое затухание горизонтального кабеля на длине 100 м;  $L_k$  – фактическая длина горизонтального кабеля тракта или проброса;  $\Sigma L_{ш}$  – фактическая сумма длин всех шнуров тракта или проброса.

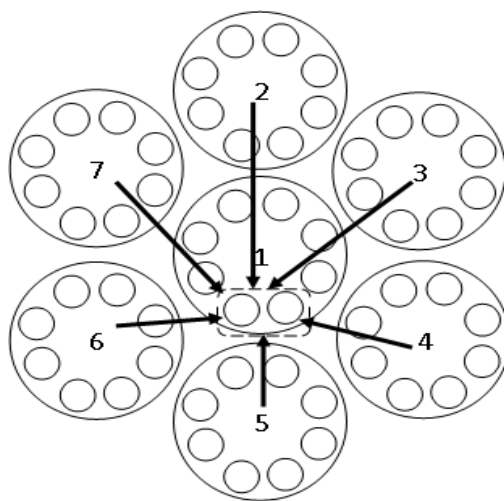
На качество высокоскоростного тракта передачи влияют возвратные потери  $R_L$  (от англ. Return Loss), характеризующие согласованность с кабелем отдельных элементов тракта

(соединители, панели переключений, шнуры). При низких скоростях согласованность не оказывает заметного влияния. Характеристика возвратных потерь  $R_L$  в первую очередь зависит от правильного подбора компонентов проводки, а затем – от качества монтажных работ на объекте.

Межкабельные наводки подразделяются на наводки на ближнем конце Alien NEXT (АХТ) и наводки на дальнем конце Alien FEXT.

При оценке помех между двумя кабелями «витая пара» анализируют внутреннюю или внешнюю емкостную связь, (если преобладает электрическое поле), зависящую от частоты и расстояния между источником и чувствительным элементом, или анализируют индуктивную связь (если преобладает магнитное поле). В цепи обратной связи обычно применяют устройства для подавления возникновения помех путем воздействия на источник помех; подавления или ослабления помех в тракте распространения; разделения во времени режимов появления помехи и функционирования чувствительного устройства. В кабельном неэкранированном электрическом тракте помехи ослабляют с помощью пространственного разнесения, но при этом ухудшаются массогабаритные показатели. Чтобы эти показатели оставить на приемлемом уровне, улучшают конструкцию разъемов, коннекторов, других соединителей, конструкция самих кабелей.

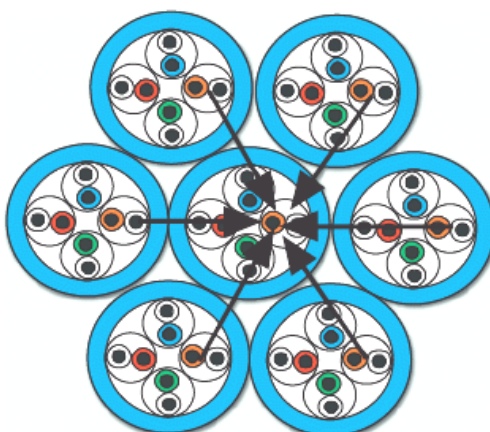
Геометрическое моделирование механизма формирования межкабельной помехи возможно различными способами. На Рисунке 1.2 приведена модель для тестирования АХТ «шесть вокруг одного», которое производится в специализированной лаборатории [2]. Основная причина выбора такой конфигурации состоит в том, что остальные кабели жгута за пределами рассматриваемой семерки практически не создают помехи на тракт передачи, расположенный в центре передачи.



**Рисунок 1.2 – Модель 1 механизма формирования межкабельной переходной помехи**

На Рисунке 1.2 цифрами обозначены порядковые номера кабелей; штриховой линией выделена витая пара (поперечное сечение двух проводников; стрелками схематично представлены влияния соседних кабелей 2...7, оказывающих воздействие на рассматриваемую пару).

Модель, приведенная на Рисунке 1.2, не учитывает, что основное влияние на проводник витой пары оказывает проводник из соседнего кабеля, частота передачи которого совпадает с частотой передачи проводников рассматриваемой пары 1. На Рисунке 1.3 приведена модель, учитывающая, что помеху оказывает проводник витой пары, которой передает сигналы на той же частоте [6].



**Рисунок 1.3 – Модель 2 механизма формирования межкабельной переходной помехи**

Модели, приведенные на Рисунках 1.2 и 1.3, не учитывают, что на надежность функционирования кабельной системы, передающей потоки информации со скоростью 1...10 Гбит/с по неэкранированному электрическому тракту, наибольшее влияние оказывают не только межкабельные переходные наводки; но и конструкция разъемов, коннекторов, других соединителей, длина шнуров, конструкция самих кабелей. Межкабельное переходное затухание (АХТ) также зависит в первую очередь от конструкции кабеля. Также эти модели не характеризуют параметр защищенности при передаче по кабелю «витая пара», оцениваемый формулой (1.2).

Межкабельные переходные помехи на ближнем и дальнем концах проявляются одновременно и снижают пропускную способность канала связи. В процессе определения максимально допустимой скорости передачи данных, т. е. пропускной способности  $C$  по формуле (1.3), их обязательно следует учитывать совместно. Это обусловлено тем, что канал связи информационной системы функционирует в дуплексном режиме, т. е. приемник и передатчик работают одновременно.

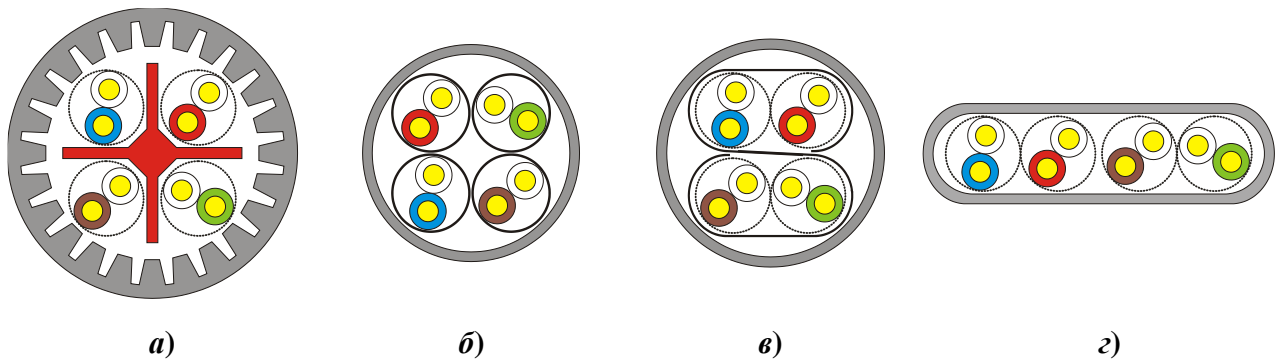
На Рисунке 1.4 приведена модель, учитывающая конструкцию кабеля с сердечником (сепаратором), представляющим пластиковую перегородку х-образного сечения, которая уменьшает межпарные наводки [6].



**Рисунок 1.4 – Модель 3 механизма формирования межкабельной переходной помехи в кабеле с сердечником**

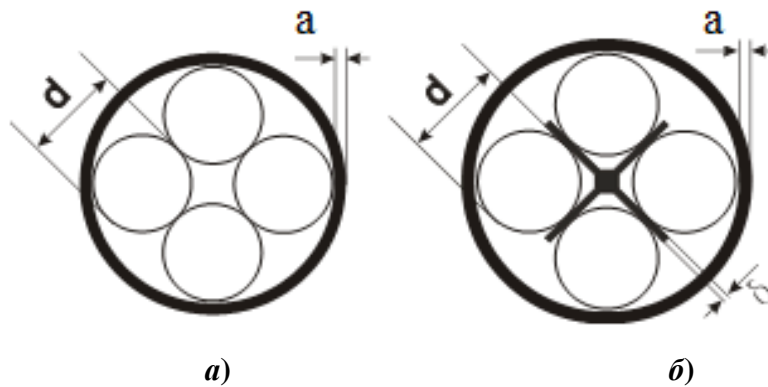
Все вышеприведенные модели позволяют путем тестирования установить уровень ЭМС – установленное значение помехи, при которой с наибольшей вероятностью гарантируется нормальное взаимодействие всех элементов кабельного тракта. Уровень ЭМС предназначен для формулировки требований по помехоустойчивости, а также для установления допустимого уровня излучения помех. Установление уровня совместимости осуществляется на стадии проектирования кабельной подсистемы. Полевое тестирование кабельной системы на основе «витой пары» на совместимость с 10-гигабитными приложениями (10GBASE-T) включает в себя измерение параметров, определенных в действующем стандарте TIA/EIA-568-B: перекрестных и межкабельных помех, вносимых потерь (Insertion Loss), возвратных потерь (Return Loss), задержки распространения (Propagation Delay), длины (Length) и смещения задержки (Delay Skew). Результаты тестирования сохраняются в программе для управления результатами тестирования, например, LinkWare™ от Fluke Networks, а затем используются при оценке результатов межкабельных наводок. Эти результаты будут использованы при прокладке кабельных трасс.

Наличие экрана позволяет отказаться как от сепаратора [7], так и от оболочки с увеличенной эффективной толщиной, что значительно сказывается на диаметре и, соответственно, массе конструкции. На Рисунке 1.5 изображены модели, учитывающие различные варианты исполнения горизонтальных кабелей с уменьшенной массой конструкции [8].



**Рисунок 1.5 – Варианты исполнения горизонтальных кабелей из витых пар категории 6а: а) U/UTP-конструкция с сепаратором и оболочкой увеличенной толщины с внутренним поверхностным структурированием; б) традиционной U/FTP-конструкция; в) камерное исполнение с S-образным незаземленным экраном; г) плоская конструкция**

Модели, приведенные на рисунках 1.1 – 1.5, служат также для оценки величины диаметра кабеля. На рисунке 1.6 приведена модель, по которой далее проведен расчет.



**Рисунок 1.6 – Модели расчета диаметра горизонтального кабеля: а) обычная конструкция; б) конструкция с 4-лучевым сепаратором**

В соответствии с рисунком 1.6  $a$  получаем

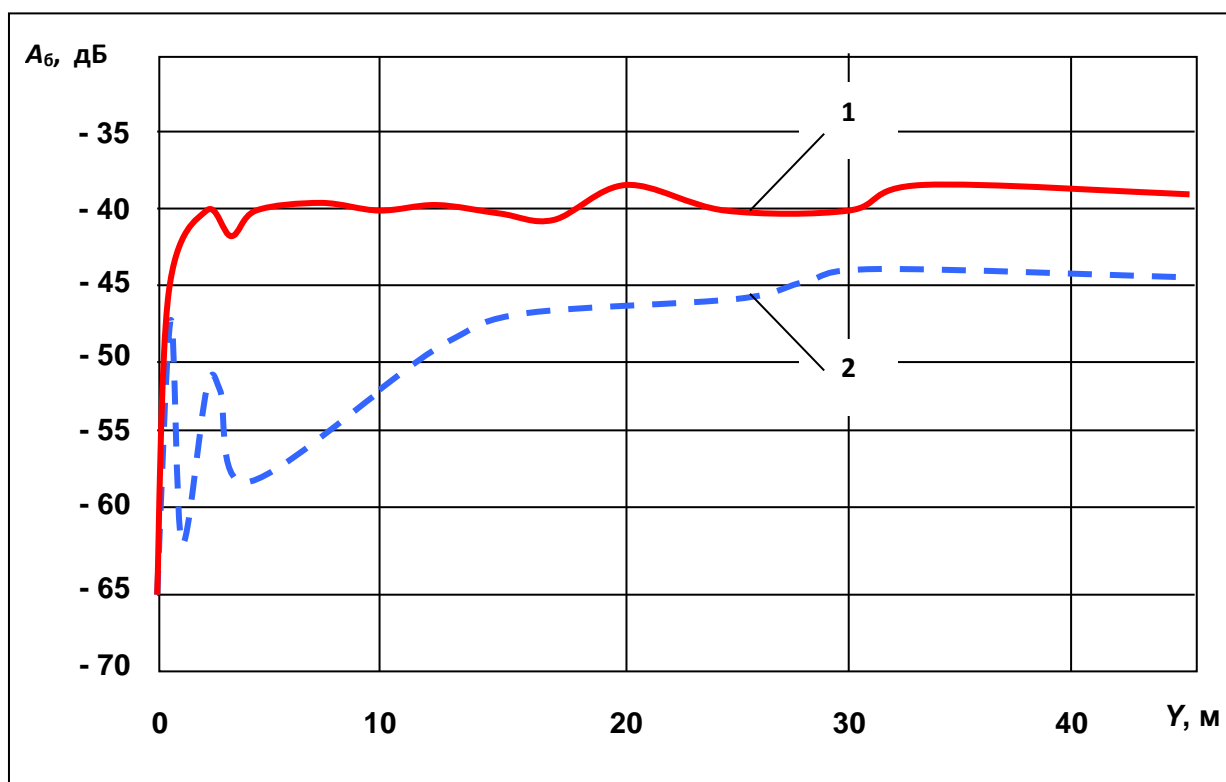
$$D = d(\sqrt{2} + 1) + 2a, \quad (1.6)$$

где  $D$  – общий диаметр кабеля,  $d$  – эффективный диаметр витой пары,  $a$  – толщина оболочки.

Подстановка в (1.6) конкретных численных значений показывает, что типовая конструкция симметричного 4-парного горизонтального кабеля должна иметь внешний диаметр несколько выше 5 мм.

На Рисунке 1.7 представлены результаты тестирования межкабельной помехи следующим методом: при увеличении расстояния между кабелями замерялась величина затухания переходной помехи на ближнем конце  $A_b$ . Результаты полученных исследований величины затухания  $A_b$  на частотах 100 и 600 МГц, как функции величины раскрытия (расстояния между кабелями)  $Y$ . Из представленных на Рисунке 1.8 зависимостей видно, что с увеличением раскрытия  $Y$ , величина затухания переходной помехи  $A_b$  также возрастает. При

этом с увеличением частоты эффективная длина связи уменьшается. Так, на частоте 100 МГц протяженность участка влияния составила около 20 м, а на частоте 600 МГц она сократилась до 4 м.



**Рисунок 1.7 – Экспериментальная зависимость затухания на частотах 100 и 600 МГц от величины раскрытия, где: 1 – 600 МГц; 2 – 100 МГц**

Однако важно не только смоделировать механизм формирования межкабельной помехи, способ ее тестирования и численно оценить параметры кабеля и параметры помехи в соответствии с требованиями стандартов [9 – 11]. Необходимо также численно оценить параметры инфокоммуникационного оборудования (устройств, приборов, соединенных кабелем), которые зависят от действующих помех.

Реальное моделируемое устройство или среда передачи являются трехмерными и, как правило, неоднородными по своим электрическим и магнитным свойствам. Поэтому для получения достоверных результатов часто необходимо решать трехмерные задачи. На трехмерной модели сетевой инфраструктуры можно осуществить детализированное планирование работ по обеспечению ЭМС при интеграции сетевой и ИТ-инфраструктуры. Применение трехмерных моделей позволяет осуществить информационную поддержку задач эксплуатации кабельного хозяйства: оперативный доступ к информации о кабельных трассах, кабелях и наводках, контроль над совместной прокладкой кабелей, визуализация трассировки кабельных трасс и отдельных кабелей; возможность накопления и



систематизации данных по результатам тестирования электрических кабельных трактов; имитационное трехмерное моделирование трассировки кабеля на сложных участках.

## **2. Модели и методы контроля параметров оптических инфокоммуникационных систем**

### **2.1 Анализ факторов, влияющих на помехозащищенность оптических трактов передачи**

Затухание оптических коннекторов вызывается как осевым и поперечным смещением сердцевин оптических волокон (ОВ) в наконечнике, так и геометрией самих сердцевин стыкуемых волокон.

Проанализируем факторы, влияющие на затухание в ОВ:

- 1) Несоответствие размеров сердцевин ОВ.
- 2) Поперечное смещение сердцевин ОВ.
- 3) Некруглость сердцевины ОВ.
- 4) Числовая апертура ОВ.
- 5) Угловая несоосность сердцевин двух стыкуемых ОВ.
- 6) Поперечное смещение наконечников коннекторов.
- 7) Стыковой зазор ОВ.
- 8) Условия ввода излучения в ОВ.

1) Несоответствие размеров сердцевин приводит к следующим последствиям: при передаче света из сердцевины большего диаметра в сердцевину меньшего диаметра часть мощности теряется. По многомодовому ОВ передается несколько групп мод. Число этих групп зависит от размера сердцевины и от длины волны излучения. К примеру, диаметр в 49,2 мкм является границей между возможностью передачи 18-ти и 19-ти групп мод. В случае монохроматического излучения это происходит очень резко. При использовании более широкополосных источников переход будет более плавным. Данное явление нетрудно понять, если мы представим себе ОВ, состыкованное с другим волокном с меньшим диаметром сердцевины. Часть света из первого ОВ попадет в оболочку второго и будет потеряна. Стандарт на ОВ OM3 оговаривает величину допуска на диаметр сердцевины ( $50 \pm 2.5$ ) мкм.

2) Поперечное смещение сердцевин ОВ влияет на затухание в точке стыка волокон. Оно вызывается эксцентриситетом сердцевины относительно оболочки ОВ. Тут также итоговое затухание связано с размером сердцевины, смещением и длиной волны излучения.

Даже если сердцевинки имеют один диаметр, смещение между ними может привести к затуханию в точке контакта. Для ОВ типа ОМЗ (одномодовое волокно) стандарт оговаривает величину поперечного смещения  $< 3.0$  мкм.

3) Некруглость сердцевинки необходимо дополнительно исследовать, ее влияние пока не установлено как отраслью, так и организациями по стандартизации. Стандарт допускает величину некруглости сердцевинки менее 5% (для ОВ 50мкм это 2,5 мкм).

4) Различие в числовых апертурах (NA) стыкуемых ОВ также влияет на затухание. Требования к NA оговорены стандартом:  $0,20 \pm 0,015$ . Воздействие такого отклонения в соответствии с новой моделью ИЕС (Международной электротехнической комиссии) пока находится в стадии обсуждения. Старые же руководства [12] указывают, что в худшем случае затухание растет на 0,1 дБ.

5) Угловая несоосность сердцевин двух стыкуемых ОВ определяется размерами и совместимостью наконечников (феррулов) коннекторов и диаметром оболочки волокон. Для наконечников современных коннекторов данная несоосность весьма мала и вызываемым ею затуханием можно пренебречь.

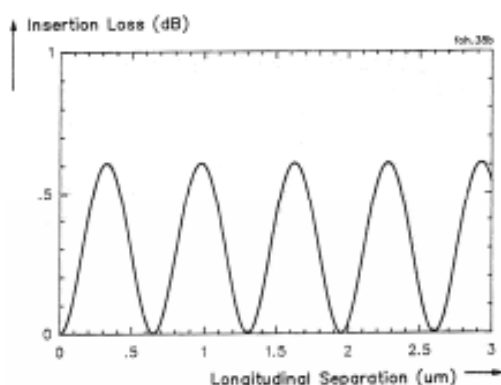
6) Поперечное смещение наконечников зависит от совместимости наконечников, эксцентриситета их внутренних каналов, несовпадения диаметров оболочки ОВ и канала наконечника, а также несоосности сердцевинки и оболочки. Смещение составляет менее 7мкм для современных многомодовых коннекторов.

7) Смещение по направлению оси, или стыковой зазор, описывает ситуацию, когда два торца волокон не имеют физического контакта. Чем больше зазор, тем больше затухание. Когда свет переходит из одной физической среды (волокна) в другую (воздух), часть его отражается в обратном направлении. Степень отражения света при переходе из одной физической среды в другую зависит от коэффициентов преломления этих сред. При переходе между средами волокно и воздух отражается около 3,4% передаваемой мощности. Если зазор между средами имеет очень малый размер (единицы мкм), то между границами полости может наблюдаться интерференция отраженных лучей, что может вызвать затухание величиной примерно в 0,7 дБ, как показано на Рисунке 2.1.

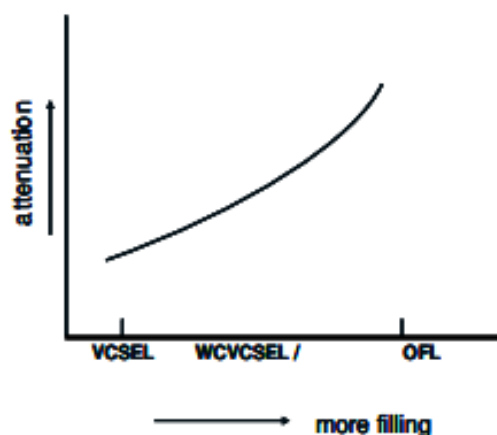
8) Условия ввода излучения в ОВ, при которых осуществляется измерение (Рисунок 2.2), оказывают влияние на измеренную величину.

Для одномодовых ОВ ввод излучения осуществляется лучом точно вдоль оси оптоволокна с помощью лазерного диода. Для многомодовых ОВ может использоваться более дешевый светодиодный излучатель, имеющий более широкую диаграмму направленности излучения. Возможно применение нового дешевого излучателя, имеющего более узкую диаграмму направленности с большой интенсивностью излучения. Это

поверхностно-излучающий лазер с вертикальным объемным резонатором VCSEL (от англ. Vertical Cavity Surface Emitting Laser), работающий на длине волны 850 нм и 1300 нм.



**Рисунок 2.1 – Интерференционные эффекты в зазоре между ОВ**

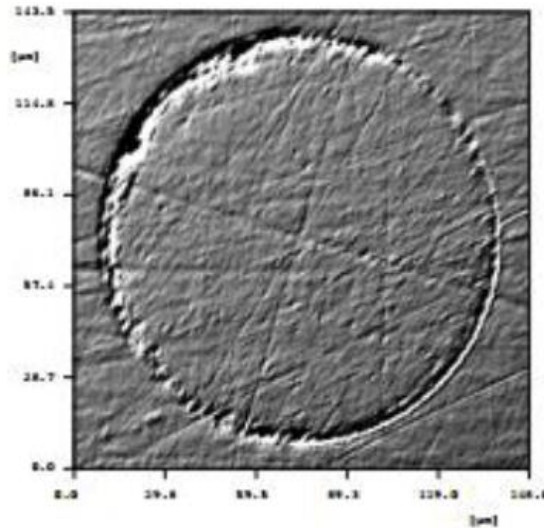


**Рисунок 2.2 – Затухание в зависимости от способа ввода**

При прочих равных условиях на величину затухания коннектора влияет величина пути распространения света в ОВ. Коннекторы с большей величиной поперечного смещения будут показывать большую зависимость измеренного затухания при изменении условий ввода.

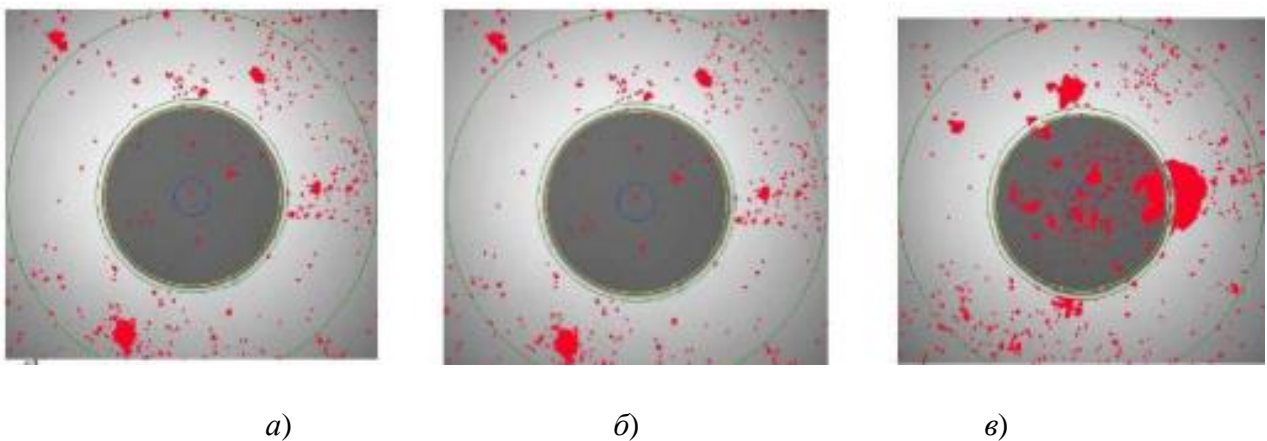
На Рисунке 2.2 показан пример измерений [12], из которого следует, что затухание одного и того же коннектора при вводе излучения с помощью поверхностно-излучающего лазера с вертикальным объемным резонатором VCSEL будет меньше, чем при вводе с полным заполнением светом OFL.

Проанализируем факторы, влияющие на возвратные потери в многомодовых коннекторах. От торцов стыкуемых ОВ всегда будет происходить некоторое отражение сигнала. Причиной этого являются дефекты полировки, такие как царапины или лунки, изображенные на Рисунке 2.3, а также поверхностный слой с другим коэффициентом рефракции, связанный с материалом, используемым для полировки. Базовым требованием к величине возвратных потерь многомодового коннектора является  $\geq 20$  дБ. Такую величину обеспечить нетрудно стандартной полировкой, даже в случае поврежденной поверхности скола ОВ. Это объясняется большим размером сердцевины и величины NA (от англ. Numerical Aperture – числовая апертура), характеризующей максимальный угол ввода оптических лучей в волокно.



**Рисунок 2.3 – Поврежденный торец с  $RL \geq 20$  дБ**

Важность чистоты торца волокна в наконечнике оптического соединителя демонстрируется на Рисунке 2.4, где показана проверка чистоты торца после 1, 3 и 5 подключений. Показано, что торцевая поверхность волокна всё больше загрязняется при каждом следующем подключении все больше, при этом грязь смещается к центру волокна. Это значительно влияет на результаты тестирования канала 1 и 10 Гбит/с. Любое загрязнение торцевой поверхности волокна может стать критическим, так как международным стандартом ISO/IEC 11801 определен бюджет потерь.



**Рисунок 2.4 – Поверхность торцевого волокна:  
а) при первом подключении; б) при втором подключении; в) при третьем подключении**

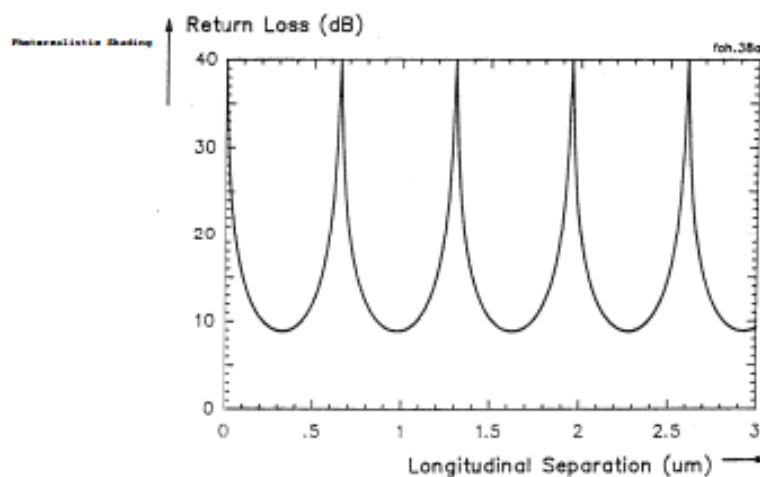
Рекомендуется всегда проверять состояние торцов соединителей перед их соединением друг с другом, перед подключением к коммутационной панели или к активному

оборудованию. Важно своевременно удалять пыль и грязь с торца волокна, на Рисунке 2.5 [13] представлены результаты очистки торца волокна.



**Рисунок 2.5 – Результаты очистки торца волокна:  
а) осмотр торца; б) очистка; в) повторный осмотр**

Для стабильного уровня отражения чрезвычайно важен физический контакт между торцами стыкуемых волокон. На Рисунке 2.6 [13] показаны большие колебания величины возвратных потерь при изменении продольного зазора между стыкуемыми ОВ.

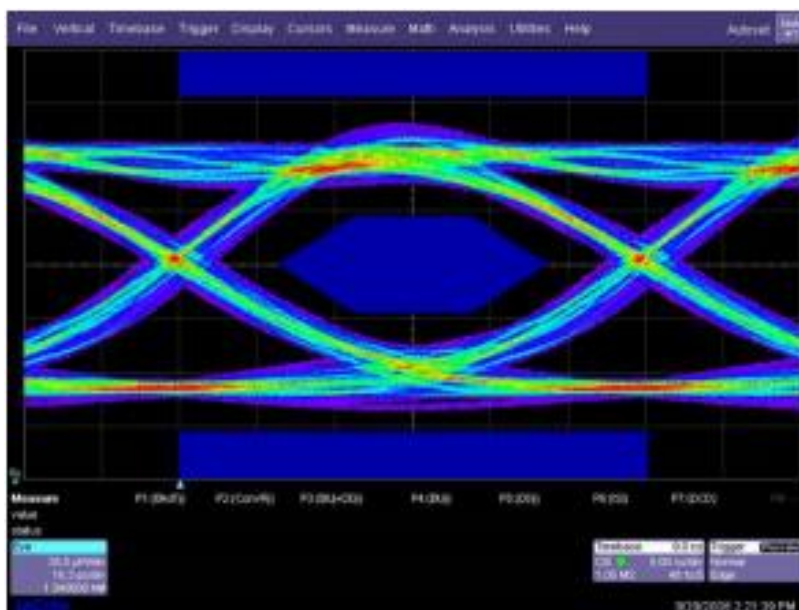


**Рисунок 2.6 – Возвратные потери для малых зазоров**

Для того чтобы обеспечить низкое затухание и стабильный уровень возвратных потерь, превышающий 20 дБ, физический контакт между торцами стыкуемых волокон является неременным требованием. Когда в линии установлено несколько коннекторов, суммарные возвратные потери от кабельного тракта в направлении к излучателю будут увеличиваться. Стандарты на приложения [14] определяют максимально допустимую

величину возвратных потерь в 12 дБ. Если величина возвратных потерь будет выше этого порогового уровня, то качество передачи данных будет ухудшаться. В соответствии с требованиями IEEE (от англ. Institute of Electrical and Electronics Engineers – Институт Инженеров Электротехники и Электроники), разрешается применение в оптическом тракте не более двух коннекторов с возвратными потерями  $\geq 20$  дБ. Это требование накладывает еще одно ограничение на число стандартных коннекторов, которые могут быть установлены последовательно.

На Рисунке 2.7 [13] приведены результаты теста «глаз-диаграмма» для качественной оценки передачи по оптическим коммуникациям.



**Рисунок 2.7 – Тест «глаз-диаграмма»**

Зазор между шаблоном и сигналом является мерой качества передачи данных. Шаблон задается соответствующим стандартом на приложение. На рисунке 7 построен тест для линии 10 GBASE-SR Ethernet, состоящей из 8-ми оптимизированных кассет с общим числом коннекторов, равным 16, и 216 м кабеля типа OM3.

При анализе характеристик ВОК важно также измерить модовую полосу пропускания BW (от англ. bandwidth).

В Таблице 2.1 [15] представлены методы измерения BW в соответствии со способами ввода излучения. Как правило, данные об измеренной полосе пропускания не коррелируют между собой, следовательно, не могут быть использованы произвольно (без привязки к типу источника излучения) для расчета ВОК.



Таблица 2.1 – Методы измерения модовой полосы пропускания

Обозначение метода	Суть метода	Соответствие метода стандартам	Применение
OFL (от англ. Over Filled Launch condition – полное заполнение (переполнение) светом)	Измерение модовой полосы пропускания (BW) многомодового оптоволокна (ММ ОВ) при полном заполнении светом (возбуждаемым от СИД) его сердцевины	ТИА FOTP 204, IEC 60793-1-41	Предназначен для окон прозрачности 850 и 1300 нм. Метод и полученные с его помощью данные целесообразно использовать в тех случаях, когда источником излучения в системе с ММ ОВ является СИД
RML (от англ. Restricted Mode Launch Bandwidth – частичное заполнение ОВ светом)	Измерения BW ММ ОВ при ограниченном возбуждении мод, возбуждаемым от лазеров типа VCSEL	ТИА FOTP 204	Предназначен для окон прозрачности 850 и 1300 нм. Метод и полученные с его помощью данные целесообразно использовать в тех случаях, когда источником излучения в системе с ММ ОВ является VCSEL
DMD (от англ. Differential Mode Delay Mask Set Bandwidth – дифференциальная модовая задержка)	Измерения BW ММ ОВ на основании дифференциальной модовой задержки (DMD), измеренной с помощью установки маски, пропускающей возбуждаемое источником световое пятно. Формирование с помощью маски светового пятна излучения диаметром 5 мкм, которое в зависимости от положения на плоскости среза ММ ОВ возбуждает свой набор мод.	ТИА FOTP 220, IEC 60793-2-10	Измеряя интенсивность пучка и DMD для данного набора, например, при смещении/сканировании пятна по радиусу ОВ, можно оценить радиальное распределение мощности излучения произвольного источника, а затем пересчитать его на полосу BW
min EMBc (от англ. Minimum Effective Mode Bandwidth – метод измерения минимальной эффективной модовой BW)	Метод основан на знании радиального распределения мощности световой энергии.	ТИА FOTP 220, IEC 60793-2-10	Для минимизации по множеству стандартных источников. Универсален и может заменить все три предыдущие

Указанные методы измерений применимы к новым стандартам TIA/EIA, IEC и ISO и их спецификациям.

## 2.2 Аналитическое и геометрическое моделирование параметров помехозащищенности в оптических трактах инфокоммуникационных систем

Алгоритм вычисления минимальной эффективности полосы пропускания можно упростить и вместо DMD маски, используемой для измерений, использовать несколько стандартных источников светового излучения для анализа полученного набора значений ЕМВс и выбора из них минимального значения.

Для исследования методом DMD распределения мощности оптического сигнала строится трехмерный график. На Рисунке 2.8 [15] показано, что при построении графика радиальное положение пятна определяется по осям  $x$  и  $y$ , мощность определяется по оси  $z$  (выделена цветом). Можно считать, что при вводе через 5-ти микронное модовое пятно распределение мощности является гауссовым. Пик мощности на графике обозначен красным цветом, снижение мощности – через желтый цвет к зеленому и синему цвету.

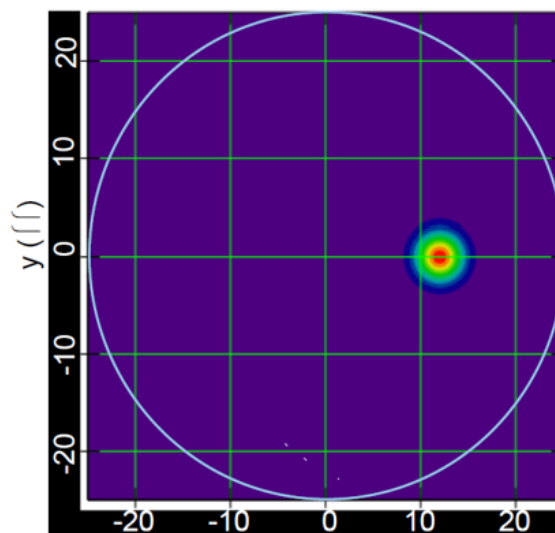
Для оценки радиального распределения мощности излучения вычисляется

$$P(t) = \sum_{k=0}^n u_i(p, t)w_i(p), \quad (2.1)$$

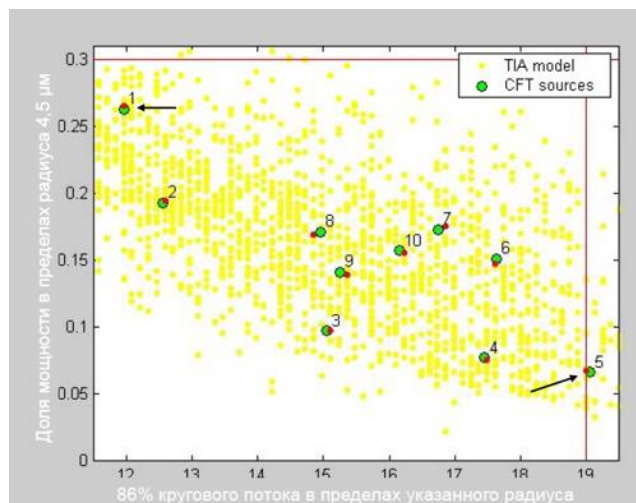
где  $i$  – номер шага радиального сдвига ввода излучения в ОВ от 0 до 25  $\mu\text{m}$ ,  $u_i$  – временной отклик волокна на шаге  $i$  в процессе DMD измерения,  $w_i$  – взвешивающая функция.

Согласно требованиям стандарта TIA 492AAAC, 86% кругового потока источника светового излучения должно быть в радиусе 19 $\mu\text{m}$ . С другой стороны, стандарт требует, чтобы не более 30% кругового потока содержалось в круге радиусом 4,5 $\mu\text{m}$ . На Рисунке 2.9 [15] показаны данные по многотысячной выборке источников оптического излучения. По оси абсцисс отложены значения тех источников, которые вписываются в рамки 86% кругового потока в круге радиусом 19 $\mu\text{m}$ , по оси ординат – в рамках 30% кругового потока в круге радиусом 4,5 $\mu\text{m}$ . Выбраны 10 источников для вычисления минимальной эффективности модовой полосы пропускания.





**Рисунок 2.8 – Исследование распределения мощности методом DMD**



**Рисунок 2.9 – Исследование распределения мощности методом DMD**

Выбирая минимальную ЕМВс из результатов измерений для широкой выборки источников, можно вычислить минимально возможную модовую полосу пропускания для наихудшего случая.

Проведение измерений и их результаты используются для того, чтобы оценить, будут ли созданные в модернизированных оптических системах условия ввода излучения в ОВ, обеспечиваемые в лабораторных, производственных и полевых тестах, обеспечивать требования по затуханию к оптическим коммуникациям с применяемыми для приложений источниками излучения.

Провести измерения при вводе излучения в ОВ на соответствие требованиям к бюджету мощности в 2,6 дБ, определяемого спецификацией 10Gigabit Ethernet, возможно в

специальных лабораторных условиях, с использованием дорогостоящего измерительного оборудования.

При введении в эксплуатацию инфокоммуникационной системы необходимо учитывать, что часто измерения на месте эксплуатации оборудования инфокоммуникационных систем невозможны. Например, действительная величина ширины полосы пропускания уже построенных волоконно-оптических коммуникаций не замеряется [16]. Требуемые по стандарту частотные параметры и параметры задержки распространения сигнала проектируемых трактов гарантируются выбором элементной базы и чётким выполнением заданного ограничения на максимальную длину кабеля, в соответствии с международными и отечественными стандартами.

Для анализа эксплуатационных характеристик ВОК предлагается моделирование ОВ и типов соединений ОВ в трехмерной среде. Моделирование позволяет задать геометрические и конструктивные параметры оптической системы, варьировать длину волн и величину синуса максимального входного угла волновода или оптоволокну (апертуру), осуществлять предпроектный анализ с визуализацией трехмерных сечений оптических кабелей.

На Рисунке 2.10 [15] показаны результаты построения в среде Zemax трехмерного (Рисунок 2.10,*а*) и твердотельного (Рисунок 2.10,*б*) изображения оптического кабеля, на Рисунок 2.11,*а* [15] приведены результаты моделирования диаграммы пятна рассеяния светового пучка.

Эти визуализированные данные используются для анализа волоконно-оптических коммуникаций. Диаграмма пятна рассеяния служит для того, чтобы отображать в одном месте пятна рассеяния всех позиций полей для иллюстрирования распределения световой энергии. Из диаграммы, представленной на Рисунок 2.11,*а*, можно сделать вывод о том, что вследствие явления дифракции световых лучей распределение энергии неравномерное. С помощью используемой программы можно выполнить не только моделирование, но и расчет дифракционной модуляционной функции для заданного поля (Рисунок 2.11,*б*) [15], используя алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Анализ геометрического распределения концентрации энергии, который можно осуществить по графическим зависимостям Рисунок 2.12 [15], показывает, как распределена энергия в зависимости от координат исходного поля и зависимости от расстояния до центра. График геометрического распределения энергии ВОК и точечная диаграмма пятна рассеяния используются для анализа характеристики ВОК совместно.

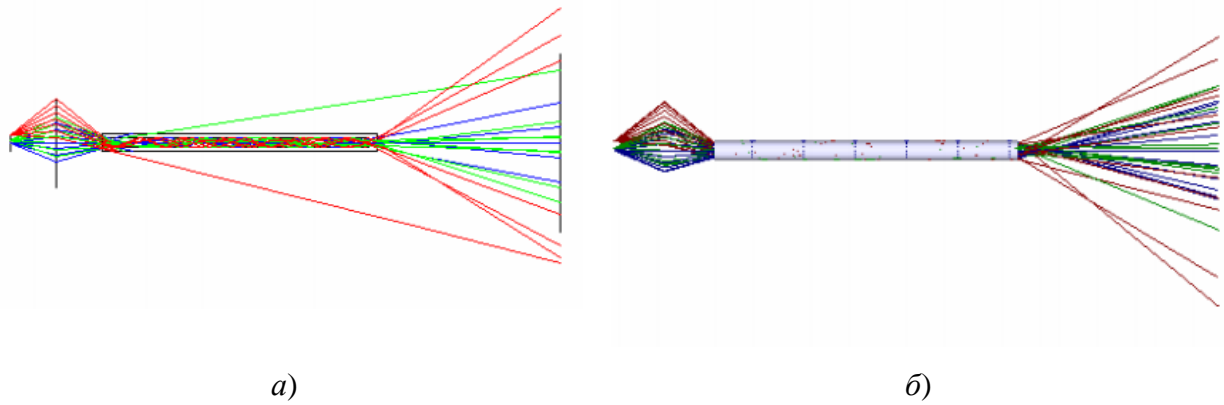


Рисунок 2.10 – Модель оптического волокна: *а* - трехмерное изображение ОВ; *б* - твердотельное изображение ОВ

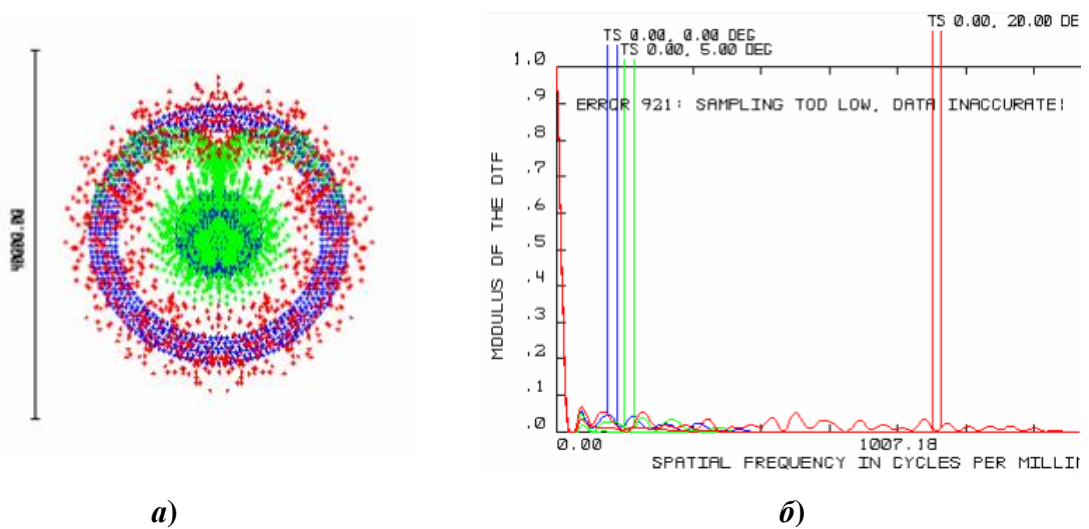


Рисунок 2.11 – Моделирование характеристик ВОК: *а* - точечная диаграмма пятна рассеяния по всему полю ВОК; *б* - модуляционная передаточная функция ВОК

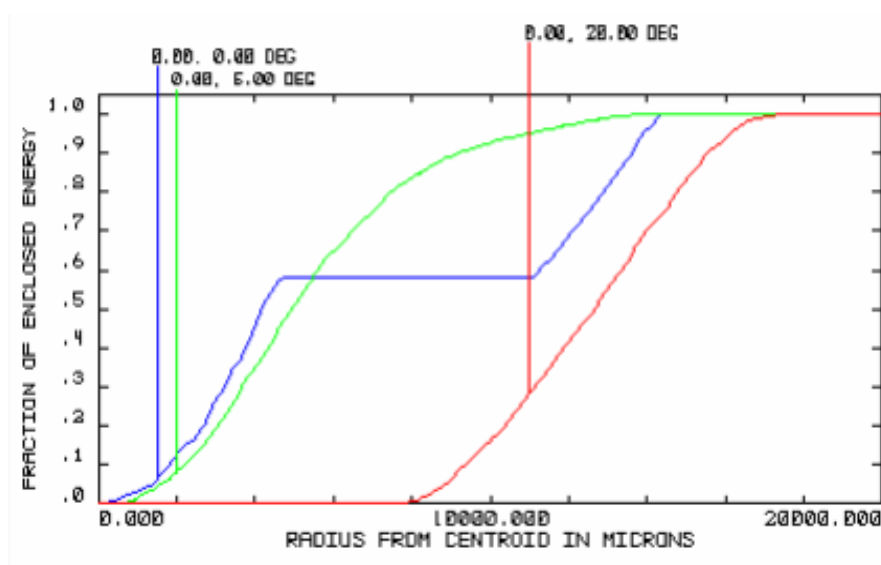


Рисунок 2.12 – Распределение энергии ВОК

При создании модели различных типов соединений ВОК и анализе основных характеристик волокон с такими соединениями необходимо учитывать зазор между ОВ; смещение ОВ относительно друг друга; угловое рассогласование ориентации осей ОВ и зазор между осями. Параметры ОВ обычно одинаковы, можно варьировать те параметры ОВ, которые характеризуют условия соединения волокон. Анализ для трех позиций полей, создаваемых ВОК можно осуществить, используя смоделированную диаграмму пятна рассеяния, которая характеризует световой пучок на выходе первого волокна (Рисунок 2.12,а) [15].

Для анализа равномерности распределения световой энергии ОВ строится точечная диаграмма пятна рассеяния с учетом всех создаваемых полей на входе второго волокна (Рисунок 2.13,б) [15]. Из диаграммы Рисунка 2.13,б можно сделать вывод о равномерном распределении энергии на выходе первого ОВ и неравномерном распределении энергии при вводе оптического излучения во второе ОВ, это объясняется дифракцией и потерями в зазоре. Результаты распределения энергии показаны на Рисунке 2.14 [15].

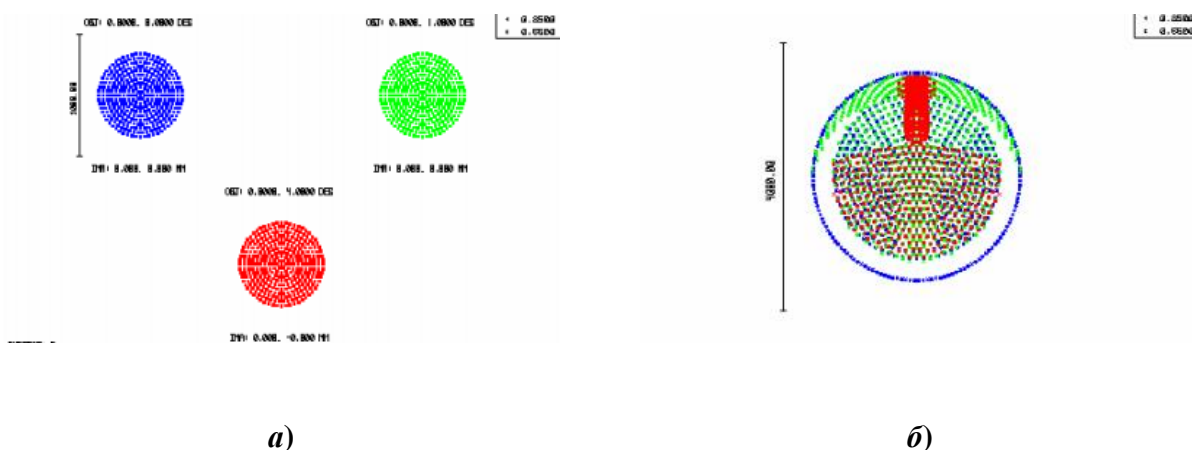


Рисунок 2.13 – Модели соединений ВОК: *а* - диаграмма пятна рассеяния для трех позиций полей на выходе первого волокна; *б* - точечная диаграмма пятна рассеяния по всем полям на входе второго волокна

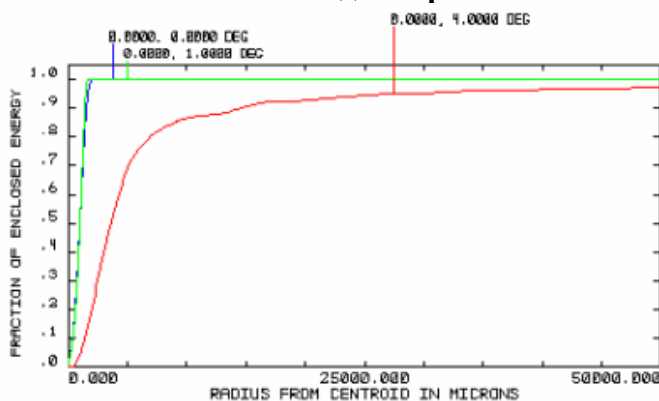


Рисунок 2.14 – Геометрическое распределение энергии при соединении ВОК

Применение моделей ВОК и их обработка в современных компьютерных средах позволяет обеспечить гибкость решений при построении высокоскоростных систем передачи данных и уменьшить количество измерительных процедур в специализированных лабораторных условиях, с использованием дорогостоящего оборудования для измерения параметров волоконно-оптических коммуникаций [16 – 18].

### **3. Использование трехмерных моделей для детализированного планирования работ по обеспечению электромагнитной совместимости инфокоммуникационного оборудования**

Рассмотрим три случая моделирования ЭМО для определения ЭМС:

1) моделирование ЭМО внутри специализированного помещения (аппаратные, серверные, вычислительные комплексы, транспортные средства, локальные вычислительные сети, горизонтальная подсистема структурированных кабельных систем);

2) моделирование ЭМО внутри инфокоммуникационного устройства (аппарата) или канала передачи, при внутриприборном и межприборном монтаже;

3) моделирование ЭМО вне специализированного помещения (территориальные и глобальные сети, магистральные подсистемы структурированных кабельных систем) с учетом трехмерного 3D-представления окружающей среды [17].

Для выбора среды моделирования ЭМО внутри специализированного помещения учтем, что инфокоммуникационное оборудование, как правило, располагается на небольшой площади, представляет собой консолидированную вычислительную инфраструктуру с высокой степенью интеграции электронных технических средств. В соответствии со стандартом MIL-STD-461F измерения излучений (напряженностей электрического или магнитного полей) производятся на расстоянии 1 м от испытуемого технического средства. На более близких расстояниях от технических средств калибровочные характеристики антенн ухудшаются, и точно оценить напряженность излучаемого поля не представляется возможным.

В реальных условиях, при установке электронной аппаратуры в специализированных помещениях, промежуток, разделяющий эту аппаратуру, значительно меньше 1 м (зачастую он составляет порядка 5 см). Не принятое во внимание того, что на сверх близких расстояниях от источника генерации поле может существенно отличаться от измеренного и увеличиться за счет соседней электронно-технической аппаратуры, может привести к тому, что фактически установленные модули будут подвергаться излучению в разы больше

рассчитанного. Поэтому существует большой риск того, что они будут функционировать неправильно или совсем не функционировать.

Моделирование ЭМО сводится к поочередному моделированию работающих на некотором участке электронных устройств (в том числе устройств каналов связи) и последующем объединении их в систему по определению параметров напряженностей их совместного поля в любых точках моделируемого сегмента. Поочередное моделирование каждого электронного устройства в отдельности состоит в предварительной замене его эквивалентным источником в зависимости от значений силы тока и напряжения в их электрических схемах. Предварительная замена заключается в подборе параметров эквивалентного источника, основанной на совпадении динамики распределения напряженности поля на некотором удалении от источника. В дальнейшем получившийся эквивалентный источник представляется в виде 3D-модели в программной среде. 3D-модель строится с учетом геометрических размеров реального электронного устройства с использованием компьютерных сред Kompas 3D, Solid Works, MatLab.

Рассмотрим результаты анализа воздействия ЭМП внутри инфокоммуникационного помещения с помощью 2D и 3D сред моделирования. Проверку превышения порогового значения восприимчивости кабеля для всех вариантов его прокладки между устройствами предлагается провести в программной среде, использующей стандартные 2D-образы (графики и диаграммы программ Excel, MatLab, MatCad), математические модели реализовать на языке программирования MatLab. На Рисунке 3.1 приведены диаграммы, отображающие результаты применения алгоритма, построенные в среде MatLab [6].

На Рисунке 3.1 *а* приведен вариант прокладки трассы жгута кабелей, при котором уровень индуцированной кондуктивной помехи превышает заданное стандартом нормативное значение. На Рисунке 3.1 *б* индуцированная кондуктивная помеха ниже нормативного значения.

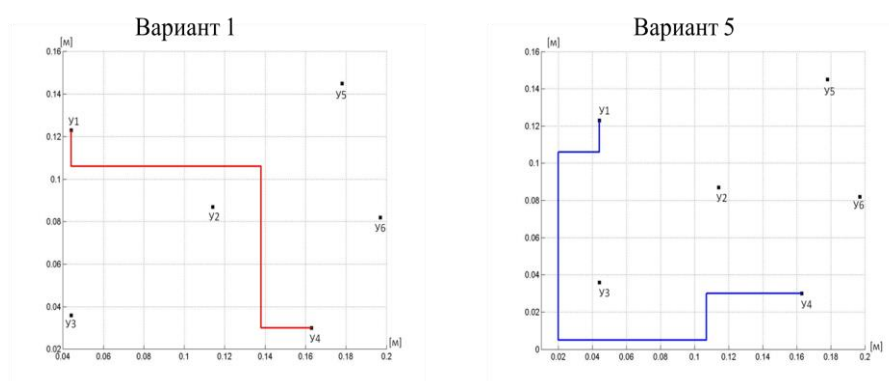
На Рисунке 3.2 приведен результат моделирования ЭМО специализированного помещения (модуля) с тремя имитаторами электронных устройств, создающих ЭМП.

Результаты моделирования ЭМО могут быть представлены 3D-моделями в различные моменты времени для визуального отображения показателей ЭМС.

При анализе ЭМО внутри приборов (кабелей, аппаратов, телекоммуникационных шкафов) их электродинамические модели строятся на основе экспериментальных характеристик электромагнитных помех (ЭМП). При использовании программ «Кабели и жгуты 3D» (приложение Компас 3D) параметры монтажа кабеля с учетом подавления помех и размещения инфокоммуникационных устройств определяются автоматически.

Для изучения поведения электромагнитных полей в кабельных трассах (например, при экранировании кабеля, электростатическом разряде, обеспечении комплекса мер по электромагнитной совместимости) возможно использовать созданную в среде Компас-3D модель и перенести ее в среду ANSYS Maxwell (ведущее программное обеспечение для моделирования 2D и 3D-электромагнитных полей).

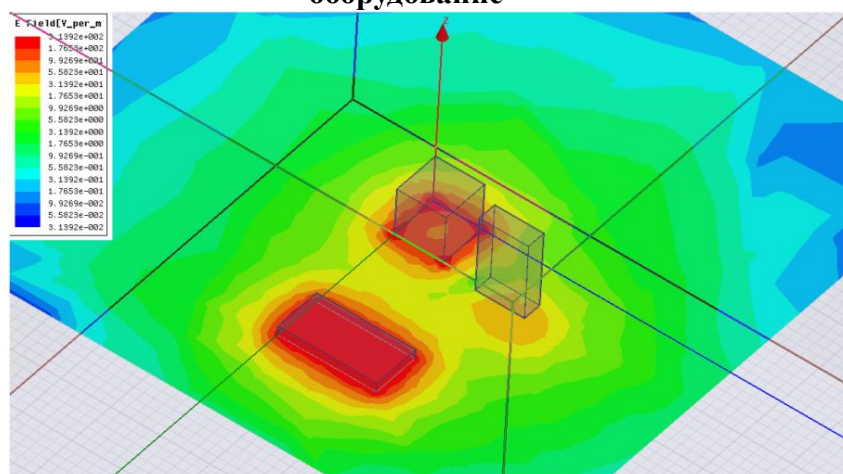
Для определения границ кабельных трасс выполнено 3D моделирование, которое позволило уточнить границы расположения кабеля при его прокладке с учетом требований ЭМС. На Рисунке 3.3 показано, как с помощью различных инструментальных средств программного приложения формируется кабельная трасса с учетом размещения приборов (устройств, блоков) и проверки превышения порогового значения восприимчивости кабеля для всех вариантов его прокладки между устройствами.



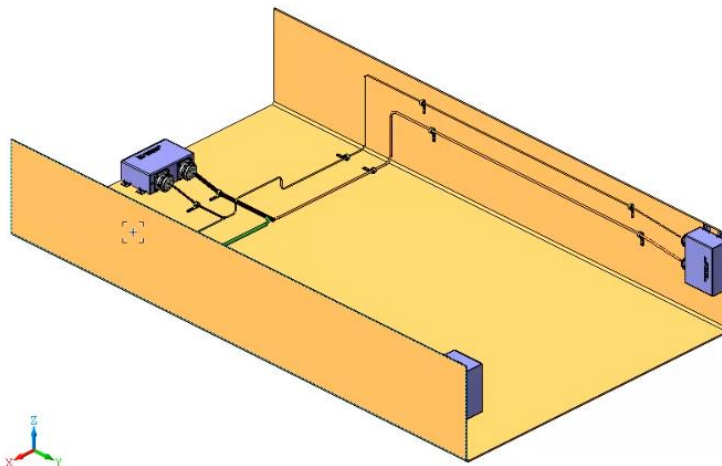
а) Превышение уровня восприимчивости.  
несоответствие условию ЭМС

б) Ниже уровня восприимчивости  
соответствие условию ЭМС

**Рисунок 3.1 – 2D-образы воздействия ЭМП на инфокоммуникационное оборудование**



**Рисунок 3.2 – Результат моделирования специализированного помещения с тремя имитаторами электронных устройств**

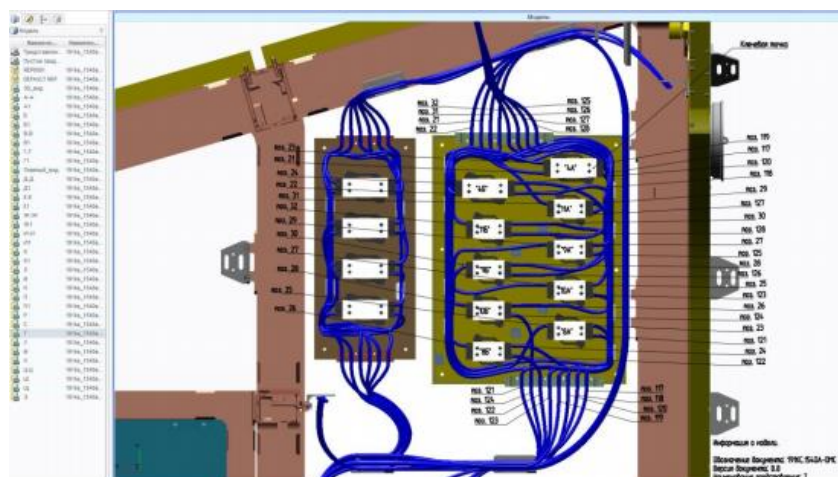


**Рисунок 3.3 – Результат моделирования сегментов кабельной трассы в программном приложении КОМПАС-3D «Кабели и жгуты 3D»**

Трехмерные модели также можно использовать для прокладки экранированного электрического кабеля с учетом влияния проникновения электромагнитных воздействий через экраны.

С помощью полученной электронной модели телекоммуникационного шкафа, приведенной на Рисунке 3.4, можно осуществить виртуальный монтаж кабелей и патч-кордов внутри шкафа с учетом минимально допустимых расстояний между ними.

Трехмерные модели кабелей и жгутов создаются с учетом количества и диаметра проводников, проходящих по трассам; с учетом скруглений в точках поворота трассы и автоматически рассчитываемого условного диаметра кабеля или ветви жгута [6].

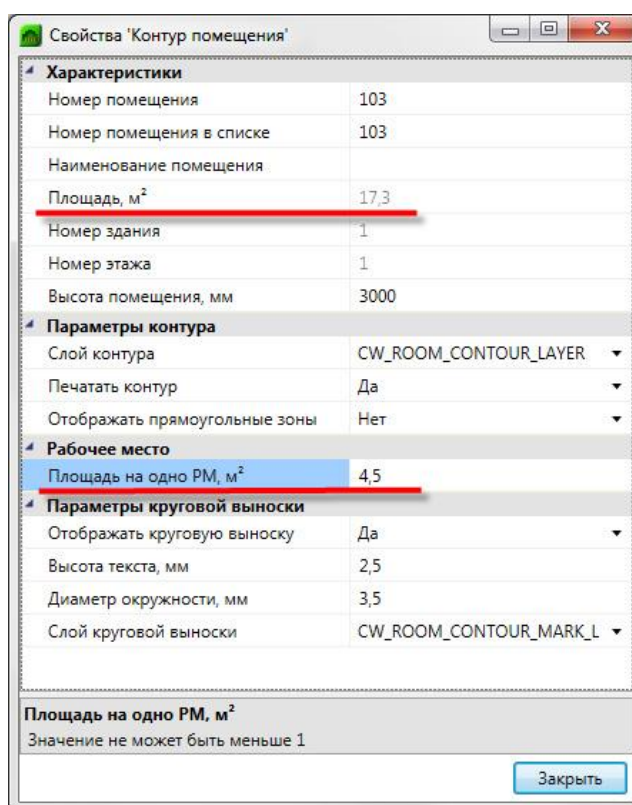


**Рисунок 3.4 – Электронная модель телекоммуникационного шкафа с соответствующими аннотациями и представлениями**

Приведение ЭМО в соответствие заключается в определении допустимого уровня ЭМП и допустимых расстояний между цифровым электронным оборудованием. Затем эти значения, полученные путем анализа компьютерных моделей, конвертируются в

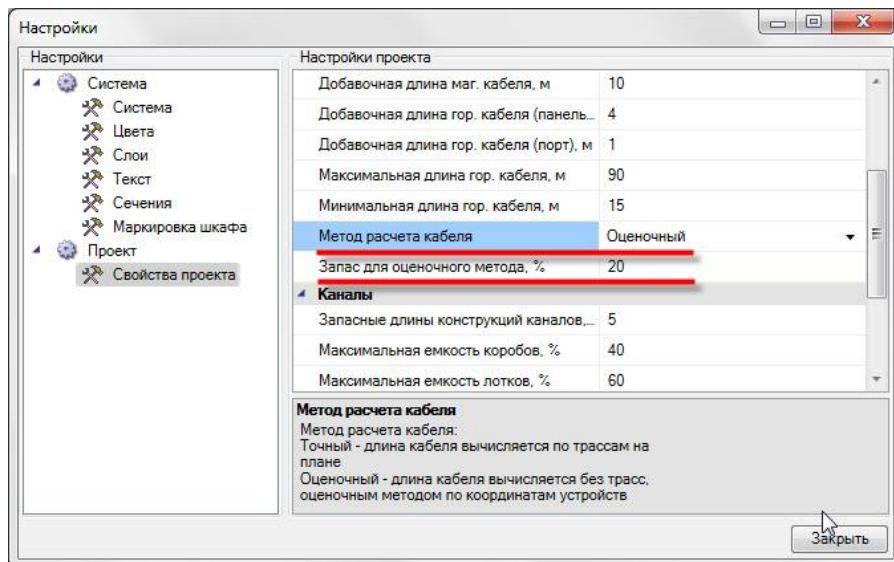


компьютерную среду для построения модели специализированного помещения. Наиболее распространённая среда для профессионального моделирования и проектирования структурированных кабельных систем – nanoCAD СКС, в которую добавлен новый функционал, базирующийся на объектах программы «Помещения». В каждом проекте приходится определять параметры специализированного помещения с точки зрения ЭМС расположенного в нем оборудования и для полного заполнения кабельного журнала. Инструментов для определения помещений в программе несколько, существует как ручное определение, так и в автоматическом режиме по замкнутому контуру. После определения помещений автоматически по контуру рассчитывается их площадь. Также имеется свойство Площадь на одно рабочее место (РМ), м<sup>2</sup>, значение которого можно изменить в любой момент выполнения проекта. Интерфейс окна программы приведен на Рисунке 3.5.



**Рисунок 3.5 – Определение параметров специализированного помещения в программной среде**

Установка шкафа для кросса СКС также определяется с учетом параметров полученной 3D-модели шкафа. В каждом шкафу присутствует группа подключений, на основании выбранного в ней оборудования и количества портов РМ будет подобрано необходимое количество патч-панелей кросса СКС. Затем в свойствах проекта устанавливается метод расчета кабеля как оценочный, а также процент запаса для оценочного метода, как показано на рисунке 3.6.

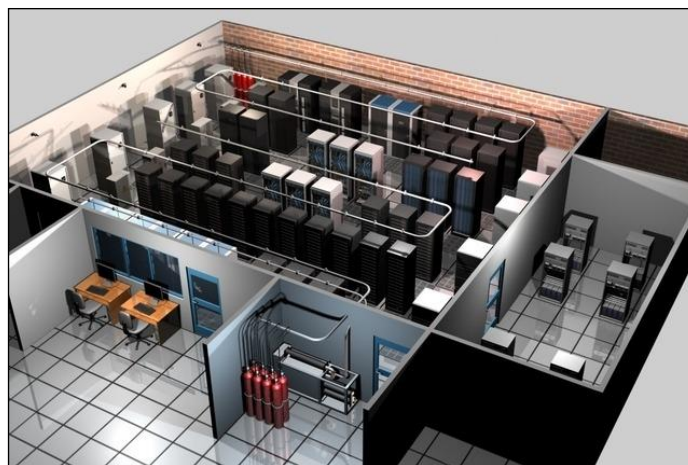


**Рисунок 3.6 – Установка оценочного метода расчета кабеля**

По результатам оценки ЭМО в трехмерных средах определяются защитные мероприятия, направленные на приведение ЭМО в соответствие с требованиями цифровой электронной аппаратуры и каналов передачи данных.

С помощью трехмерных моделей коммуникационной инфраструктуры оборудование распределяется по смежным модулям в зависимости от предназначения (операционный центр, помещение для ввода кабелей, пункт распределения горизонтальной подсистемы и т.д.) в соответствии с американским стандартом ANSI/TIA/EIA-942 Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers. Это повышает надежность и физическую защищенность оборудования. На Рисунке 3.7 приведена построенная по результатам оценки ЭМО в среде Solid Works модель ЦОД с распределением оборудования по смежным модулям.

Таким образом, получены пространственные 3D-модели оценки ЭМО цифровых электронных устройств в специализированных коммуникационных помещениях, электрических каналов передачи, распределения оборудования по модулям.



**Рисунок 3.7 – 3D модель центра обработки данных**

При моделировании ЭМО вне коммуникационных помещений необходимо учитывать, что городская (сельская) инфраструктура характеризуется взаимосвязанностью всех объектов. Нельзя изменить пространственные характеристики одного объекта, не учитывая последствий для других. Для аналитических расчетов местоположения ретрансляторов магистральных каналов связи создается упрощенная модель городской застройки с использованием автоматических технологий в программном обеспечении MicroStation V8. Исходными данными будут являться космические снимки с пространственным разрешением не менее 0,8 м. Для снижения расходов на разработку моделей возможно применение технологий 2,5-D вместо 3D, так как технология 2,5-D позволяет оперативно получать результаты по наиболее конкурентной стоимости. Большое значение при проектировании беспроводных коммуникаций имеют 2,5 и 3D-представления окружающей среды.

#### **4 Разработка правил в экспертных системах для анализа и оценки параметров помехозащищенности инфокоммуникационных систем на основе электрической и оптической среды передачи**

##### **4.1 Организация непрерывного процесса наблюдения состояния инфокоммуникационной системы**

На современном этапе развития инфокоммуникационных систем необходима организация непрерывного процесса наблюдения и регистрации параметров коммуникационного оборудования, в сравнении с заданными критериями [19]. Одна из важных проблем при разработке экспертных систем (ЭС) – выбор инструментальных средств для представления различных типов знаний (временных, пространственных), которые не могут быть легко представлены одинаковыми языковыми средствами.

Актуально совершенствование структуры базы знаний (БЗ) для обеспечения удобного человеко-компьютерного интерфейса; сокращения времени, необходимого для создания БЗ; снижения уровня трудоемкости при работе с ЭС; уменьшения количества потенциальных ошибок; а также для представления временных и пространственных знаний. Указанные задачи можно решить с помощью инструментальных средств новейших информационных технологий, позволяющих осуществить пространственное моделирование, реализовать

проверки правил на противоречивость, цикличность, неполноту, избыточность, минимизировать множество правил, заданных в БЗ.

В качестве модели представления знаний в ЭС мониторинга наиболее часто применяется продукционная модель, основанная на правилах [20]. В состав ЭС входит программное и информационное обеспечение, выполняющее функции эксперта для решения задач из некоторой области. В БЗ формируются правила, на основе которых работают ЭС. По результатам анализа состояния инфокоммуникационных систем ЭС выдает рекомендации по их эксплуатации, осуществляет консультацию в интерактивном режиме по необходимым корректировкам, ставит диагноз в случае обнаружения неполадки [20 – 23].

Получение пространственных знаний связано с информационным моделированием и пространственным анализом [24]. С помощью современных инструментальных средств пространственные знания можно представить в виде цифровых моделей, пространственных схем, трехмерных визуализаций. Пространственные знания также могут быть адекватно представлены и в традиционной форме (логические в виде множеств и процедур над множествами), сетевые (классифицирующие сети, функциональные сети и сценарии), продукционные (правила), фреймовые (числа, соотношения, тексты, ссылки на другие слоты). В данной работе для представления знаний в ЭС мониторинга инфокоммуникаций используются модели, основанные на правилах, пространственных схемах и трехмерных визуализациях.

#### **4.2 Способы представления и анализа данных о состоянии инфокоммуникационной системы в форме конкретных фактов**

В зависимости от типа собираемой и обрабатываемой системой информацией проводится структуризация БЗ, в которой хранятся данные о параметрах системы в форме конкретных фактов. Структуризация осуществляется путем разбиения ее на модули, как показано на Рисунке 4.1. При этом способе обеспечивается хранение данных в отдельных файлах, доступных для обработки несколькими программными приложениями [25]. При разработке или использовании уже имеющихся программных приложений необходимо учитывать разбиение на модули БЗ, этапы ввода и получения информации, разделение потенциальных ошибок на ошибки первого и второго рода.

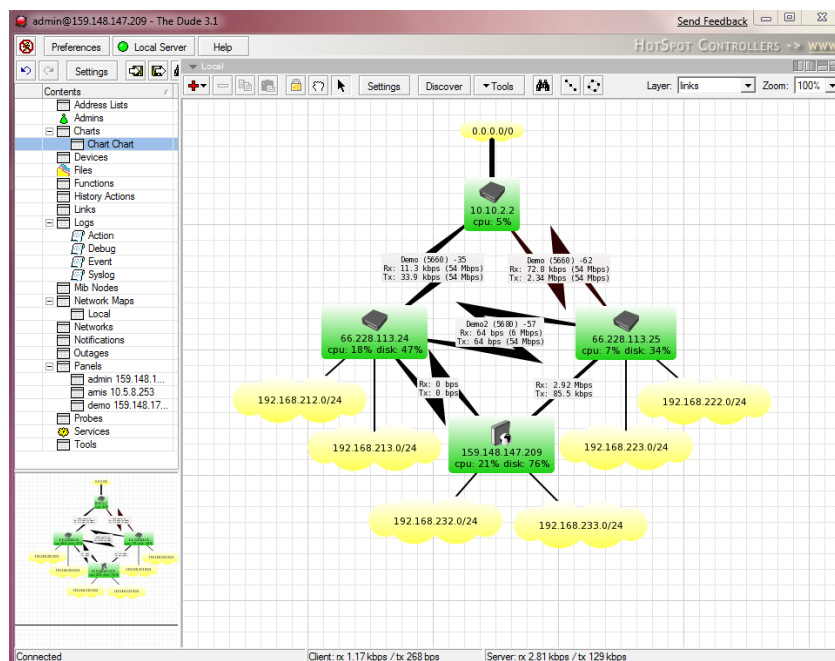


**Рисунок 4.1 – Структуризация контролируемых объектов при оценке их состояния**

Для устранения ошибок и минимизации ущерба от отклонения контролируемых параметров необходима дополнительная информация о тенденциях изменения параметров из 2-ой базы знаний и информация для прогноза развития аварийной ситуации из 3-ей базы знаний. Информация о контролируемых параметрах инфокоммуникационных систем используется для выработки соответствующих регулирующих воздействий и прогнозирования состояния инфокоммуникационного оборудования [17].

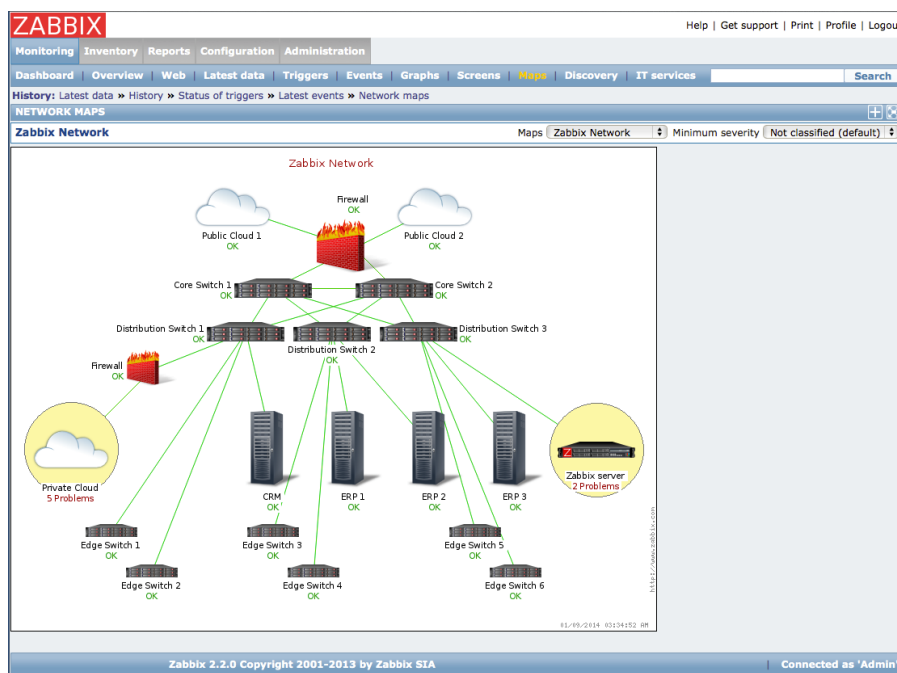
Способы измерения трафика, количества запросов, количества потерянных пакетов, напряжения в отдельных узлах инфокоммуникационной системы, времени обработки запросов; а также режимы хранения измеренных результатов также необходимо определить при проектировании БЗ.

Для представления знаний о параметрах инфокоммуникаций учитываются результаты мониторинга, полученные с помощью различных средств администрирования, например, утилиты PerformanceMonitor. Система мониторинга Dude, интерфейс которой приведен на Рисунке 4.2, несмотря на невысокую стоимость, позволяет анализировать состояние отдельных серверов, сетей и сетевых сервисов любой степени сложности.



**Рисунок 4.2 – Интерфейс программы мониторинга Dude**

На UNIX-подобных или Windows-хостах для получения данных о нагрузке процессора, использования сети, дисковом пространстве и т. д. наиболее часто применяется ZABBIX agent, интерфейс которого приведен на Рисунке 4.3.



**Рисунок 4.3 – Интерфейс программы мониторинга ZABBIX**

Для представления сведений о параметрах магистральных каналов связи применяется удаленный мониторинг. Для небольших систем удаленный мониторинг реализуется через коммуникационные порты, релейные контакты и SNMP-адаптеры (от англ. Simple Network Management Protocol — простой протокол сетевого управления). Для сложных территориально-распределенных инфокоммуникационных систем удаленный мониторинг реализуется с помощью первичных датчиков, контроллеров и управляющего программного обеспечения.

Оперативный многомерный анализ данных для хранения и представления знаний о параметрах инфокоммуникационной системы возможен с помощью применения технологии OLAP (от англ. On-Line Analytic Processing – от англ. online analytical processing, интерактивная аналитическая обработка). Инфокоммуникационную систему, состоящую из объединенных каналами передачи данных коммуникационных узлов, можно представить в виде расширенного куба (гиперкуба) [26].

При описании предметной области инфокоммуникационной системы объекты предметной области можно поставить в соответствие суперклассам из тройки «Запросы – Производительность – Инфокоммуникационный ресурс» OLAP-куба, структура которого приведена на Рисунке 4.4.



**Рисунок 4.4 – Типовая структура многомерного куба для хранения и обработки данных о состоянии инфокоммуникационной системы**

Таблица фактов в пространственной модели многомерного куба хранит измерения производительности и других параметров, полученных в результате событий измерения с помощью инструментальных средств мониторинга.

Для анализа состояния большой территориально-распределенной инфокоммуникационной системы возможно комбинированное использование всех вышеперечисленных способов. Для анализа локальной вычислительной сети, проектируемой в пределах горизонтальной подсистемы, достаточно одного программного средства мониторинга Dude или ZABBIX.

#### 4.3 Способы представления правил при проектировании экспертной системы на основе базы знаний о состоянии инфокоммуникационной системы

На Рисунке 4.5 представлена типовая структурная схема взаимодействия редактора знаний и системы мониторинга. Серой заливкой выделены компоненты системы, связанные с разработкой правил.



**Рисунок 4.5 – Типовая структурная схема взаимодействия редактора знаний с системой мониторинга инфокоммуникаций**

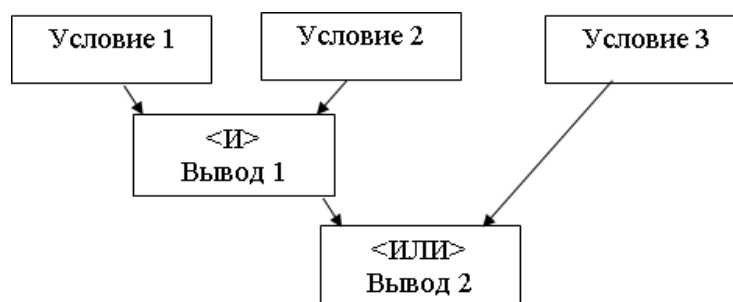
Обычно в качестве формы представления знаний для использования в системах мониторинга выбираются факты и правила [27,28]. Такая форма представления знаний выгодно отличается от других близостью к естественному языку, что означает легкость



формулирования знаний. Но проверка правил в таком виде затруднена при большом количестве правил. В частности, крайне трудно отслеживать взаимосвязи между правилами.

Решением этой проблемы является альтернативное представление правил в виде И/ИЛИ графа [29].

На Рисунке 4.6 представлен граф, вершинами которого являются условия и выводы правил, а дуги задают отношения между ними, объединяя их в правила.



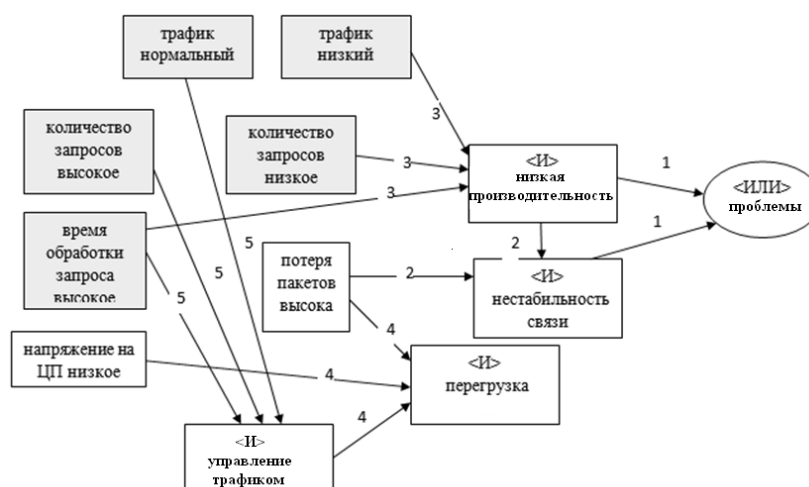
**Рисунок 4.6 – Схема представления правил с помощью И/ИЛИ графа**

Весы дуг соответствуют номерам правил. Так решается проблема недостатка наглядности, так как с помощью графа удобно проследить условия и вывод каждого правила, а также взаимосвязи в иерархии правил. На рисунке 6 показаны два правила, связанные между собой одним утверждением, которое является одновременно выводом правила 1 и условием правила 2.

Для преобразования И/ИЛИ графа в правила в текстовом виде предложен рекурсивный обход графа, начиная с корня дерева. Использование графа для представления набора правил обуславливает ряд особенностей. Во-первых, все дуги ориентированы, поскольку выражают связь «условие правила» – «вывод» от условий к выводу, т.е. И/ИЛИ граф является орграфом. Во-вторых, в графе есть как минимум одна вершина, которая является конечной для алгоритма вывода и обозначает вывод из системы правил.

Все дуги, инцидентны ей, являются входными. Также И/ИЛИ граф должен иметь набор вершин, которые обозначают исходные условия. Эти исходные условия являются входными для алгоритма вывода. Все инцидентные этим вершинам дуги являются выходными. Другие вершины, которые имеют как входные, так и выходные дуги, являются одновременно и условиями одних правил, и выводами других. Ни одна вершина не может быть одновременно условием и заключением одного правила. Таким образом, при отсутствии циклов И/ИЛИ граф системы правил можно считать деревом (или лесом, в случае наличия нескольких конечных вершин).

В виде И/ИЛИ графа на Рисунке 4.7 представлен граф для правил базы знаний 1, отображающей информацию о допустимых параметрах инфокоммуникационного оборудования передачи и обработки данных и величинах их допустимых отклонений.



**Рисунок 4.7 – Схема представления знаний о состоянии инфокоммуникационной системы с помощью графов И/ИЛИ**

На Рисунке 4.7 показано, что с помощью правила 1 проверяются проблемы передачи, обработки и защиты данных. С помощью правила 2 определяется нестабильность связи при передаче данных. С помощью правила 3 определяется производительность инфокоммуникаций. С помощью правила 4 определяется перегрузка системы. С помощью правила 5 выявляется необходимость управления трафиком.

Таким образом, с помощью схемы И/ИЛИ графа для анализа состояния системы надо учитывать достаточно большое количество правил. Однако такие схемы достаточно громоздки. Их можно упростить путем применения алгоритма определения выполнимости булевых формул. Этот алгоритм позволяет уменьшить количество правил и автоматизировать проверку непротиворечивости правил [29].

Существуют различные источники знаний, в том числе с привлечением людей-экспертов, знания которых могут быть неполными, противоречивыми, субъективными, ошибочными. Для проверки источников знаний приходится прodelывать большой объем механической работы, которую необходимо автоматизировать – это, в частности, проверки правил на непротиворечивость, отсутствие циклов, полноту и избыточность [30].

Одним из аспектов, поддающихся автоматизации, является проверка противоречивости правил. Противоречие – ситуация, когда истинны несколько

несовместимых утверждений об одном объекте. В случае правил, в частности, могут быть противоречия между условиями правила, между условием и выводом, а также между правилами. Такого рода противоречия в [27] было предложено проверять с применением задачи SAT (SAT isfiabilityproblem – задача выполнимости булевых формул), так как правила разбивались на группы так, чтобы в каждой группе были правила, имеющие один и тот же вывод.

Таким образом, можно определить правила, которые никогда не смогут выполняться либо будут выполняться всегда. Оба этих варианта недопустимы и свидетельствуют о противоречиях в системе правил. На Рисунке 4.8 представлены правила, содержащие противоречия (в текстовом виде и графическом) о показателях ЭМС инфокоммуникаций, где  $U$  – предельное допустимое значение общих потерь, связанных с отклонениями как контролируемых, так и неконтролируемых параметров инфокоммуникаций.

<b>Пример 1</b>	<b>Пример 2</b>
<b>Правило</b>	<b>Правила</b>
<p><b>Если</b> уровень электромагнитных помех (ЭМП) выше допустимого</p> <p><b>И</b></p> <p><b>Если</b> уровень электромагнитных помех соответствует требованиям стандартов</p> <p><b>То</b></p> <p>Организационно-технические мероприятия по обеспечению ЭМС неэффективны</p>	<p><b>Если</b> уровень электромагнитных помех выше допустимого</p> <p><b>То</b></p> <p>Организационно-технические мероприятия по обеспечению ЭМС неэффективны</p> <p><b>Если</b> уровень электромагнитных помех соответствует требованиям стандартов</p> <p><b>То</b></p> <p>Организационно-технические мероприятия по обеспечению ЭМС эффективны</p>
$U$ – если уровень ЭМП выше допустимого	$U$ – уровень ЭМП соответствует требованиям стандартов
<b>булева формула</b> $a \wedge \bar{a} \rightarrow SAT$	<b>«инверсная» булева формула</b> $\bar{a} \wedge \bar{\bar{a}} \rightarrow SAT$
<b>всегда=FALSE</b>	<b>всегда=FALSE</b>
Правило никогда не выполняется, убирается из системы	Правило выполняется

**Рисунок 4.8 – Пример противоречивых правил при анализе ЭМС инфокоммуникационной системы**

Рисунок 4.8 состоит из двух частей правил – левого и правого. Каждое правило подается на вход задачи SAT. Формула для каждого правила означает, что уровень ЭМП выше допустимого. Таким образом, мы определяем, существует ли такой набор значений переменных, при котором эта формула истинна (т.е. уровень ЭМП выше допустимого). Если такой набор значений переменных не существует (левая часть Рисунка 4.8), т.е. задача SAT

выдала Ложь, то на выходе ЭС не будет вывода о том, что уровень ЭМП выше допустимого. Такое правило никогда не сработает, и его можно удалить.

Справа на Рисунке 4.8 изображено отрицание совокупности правил, которое подается на вход задачи SAT. Инверсная формула означает, что уровень ЭМП соответствует требованиям стандартов. Таким образом, можно определить, есть ли такой набор значений переменных, при котором эта формула истинна (т.е. ЭМС в норме). Если задача SAT выдала Ложь, то нет таких значений переменных, при которых ЭМС в норме. Это значит, что хоть одно из начальных правил будут срабатывать всегда, и всегда будет происходить вывод, что уровень ЭМП соответствует требованиям стандартов. Такие правила несовместимы, т.е. противоречивы.

Понятно, что такие противоречия представляются очевидными, однако такие правила могут быть не выявлены своевременно, а проверка с помощью ЭС осуществляется автоматически. В [27] таким образом, проверялись базы независимых правил. Такой подход применим и для базы связанных правил, так как база из связанных правил может быть преобразована в базу из одного или нескольких независимых правил, если связанные правила соединить в одно. Например, связанные правила могут быть приведены к одному правилу. Их изначальное разделение в базе правил могло быть вызвано необходимостью в понятности и простоте описания.

Циклические зависимости можно также обнаруживать автоматически путем осуществления серии поисков в глубину в графе: цикл обнаруживается, если происходит попытка перехода к вершине, которая была использована ранее [29].

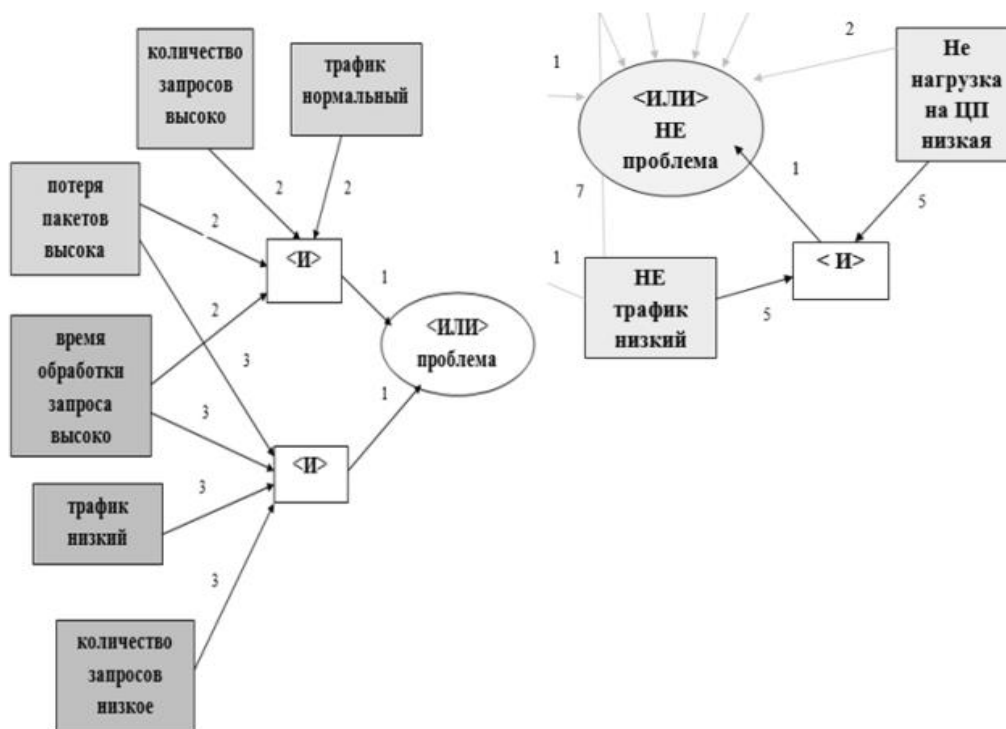
Под полнотой базы правил подразумевается достаточность содержащихся в ней правил для решения задач, поставленных перед экспертной системой. В работе [27] в качестве способа проверки полноты предложено автоматическое дополнение набора правил противоположным по смыслу («инверсным») и оценка экспертом правил противоположного набора.

Процедура построения «инверсного» набора правил схематически изображена на Рисунке 4.9.

1	выполняется преобразование И/ИЛИ графа, соответствующего правилам, в булево выражение
2	берется отрицание этого выражения, которое с помощью тождественных преобразований приводится в ДНФ (дизъюнктивная нормальная форма, в которой булева формула имеет вид дизъюнкции конъюнкций литералов)
3	по полученной ДНФ выполняется построение И/ИЛИ графа инверсного набора правил
4	анализ И/ИЛИ графа инверсного набора правил

**Рисунок 4.9 – Схема процедуры построения «инверсного набора правил»**

Рассмотрим проверку на полноту на примере группы правил ЭС мониторинга инфокоммуникаций, приведенную на Рисунке 4.10. В левой части рисунка 10 изображен граф исходного набора правил, в правой части – фрагмент графа для инверсного набора.



**Рисунок 4.10 – Проверка на полноту правил ЭС мониторинга инфокоммуникаций**

Из Рисунка 4.10 можно сделать вывод, что если трафик не низкий (т.е. высокий) и нагрузка на процессор не низкая (т.е. высокая), то проблемы нет. Очевидно, что это правило некорректно, так как высокие значения трафика и загрузки процессора означают перегрузку узлов коммуникаций.

Наличие такого правила означает, что исходная система правил, возможно, неполная. В данном случае неполнота заключается в отсутствии правил в исходном наборе для случая, когда нагрузка на процессор высокая.

В [27] был описан предложенный способ проверки правил на полноту. Приведем формальное доказательство правомочности описанных выше преобразований булевых формул.  $A_i$  обозначают посылки правил, где  $i$  – номер посылки,  $B$  – вывод правил.

Длинная горизонтальная черта при формулировке утверждений разделяет то, от чего отталкиваются в утверждении (то, что дано), и то, что нужно доказать.

Утверждение 1.

$A_1 \rightarrow B$  (импликация,  $A_1$  следует  $B$ )

$A_2 \rightarrow B$  (импликация,  $A_2$  следует  $B$ )

$A_1 \vee A_2 \rightarrow B$  (логическое сложение  $A_1$  и  $A_2$ )

Доказательство:

$(A_1 \rightarrow B) \wedge (A_2 \rightarrow B) \leftrightarrow (A_1 \vee A_2 \rightarrow B)$  (логическое умножение  $(A_1 \rightarrow B)$  и  $(A_2 \rightarrow B)$  эквивалентно логическому сложению  $A_1$  и  $A_2$ , и наоборот), что и требовалось доказать, т.е. если есть несколько правил в БЗ и вывод у них один и тот же, то из дизъюнкции посылок тоже следует этот же вывод. Таким образом, мы показали, правомочность выполнения п. 1 построения «инверсного» набора правил, т. е. преобразования всего набора правил в булево выражение

$A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_i \rightarrow B$ ,

где  $A_i$  – логическое выражение, соответствующее посылкам правила  $i$ .

Утверждение 2

$A_1 \rightarrow B$

$A_2 \rightarrow B$

$\overline{A_1 \wedge A_2} \rightarrow B$  (логическое умножение инверсных значений  $A_1$  и  $A_2$ )

$(A_1 \vee A_2 \leftrightarrow B) \vee (\overline{A_1 \vee A_2} \rightarrow \overline{B})$

Доказательство:

$\overline{A_1 \wedge A_2} = \overline{A_1} \vee \overline{A_2}$

по закону де Моргана, так как по условию  $\overline{A_1 \wedge A_2} \rightarrow B$ ,

то и  $\overline{A_1 \vee A_2} \rightarrow \overline{B}$ , отсюда  $B \rightarrow A_1 \vee A_2$ . Из утверждения 1 следует  $A_1 \vee A_2 \rightarrow B$ . Значит,  $A_1 \vee A_2 \leftrightarrow B$ .

Также из эквивалентности следует  $\overline{A_1 \vee A_2} \rightarrow \overline{B}$ . Что и требовалось доказать.

Пусть в БЗ есть несколько правил, и вывод у них один тот же. Если из того, что все правила неверны, следует, что и общий вывод неверен, то дизъюнкция посылок

эквивалентна выводу. Т.е. из дизъюнкции посылок следует этот же вывод, а также из вывода следует дизъюнкция посылок. Это же верно и для отрицаний.

Сформулированное утверждение нужно для того, чтобы дальше можно было ставить отрицание над формулой и получать «инверсные» правила.

Теперь докажем правомочность следующего вывода.

Утверждение 3.

$$\overline{A_1 \vee A_2} \rightarrow \bar{B}$$

Приведем левую часть эквивалентности к ДНФ:

$$\dot{A}_1 \vee \dot{A}_2 \vee \dot{A}_3 \leftrightarrow \bar{B}$$

$$\dot{A}_1 \rightarrow \bar{B}$$

$$\dot{A}_2 \rightarrow \bar{B}$$

$$\dot{A}_3 \rightarrow \bar{B},$$

где  $\dot{A}_i$  – значение  $A_i$  в ДНФ.  $F(x_1, x_2) = x_1 \vee x_2 = x_1 + x_2 = x_1/x_2$ .

Доказательство: если  $\dot{A}_i$  – истина, то  $\dot{A}_1 \vee \dot{A}_2 \vee \dot{A}_3$  – тоже истина. А так как  $\dot{A}_1 \vee \dot{A}_2 \vee \dot{A}_3 \leftrightarrow \bar{B}$ , то  $\bar{B}$  – истина. То есть, из заключения « $\dot{A}_i$  – истина» следует « $\bar{B}$  – истина». Аналогично доказывается и для остальных  $A_i$ .

Таким образом, из прямых правил БЗ, у которых один и тот же вывод, правомерно получать так называемые «инверсные» правила, у которых вывод противоположный относительно исходных правил.

При контроле избыточности базы правил проверяется наличие в базе большего количества правил, чем требуется для решения задачи ЭС. Следствием наличия в базе лишних правил, может быть снижение производительности при получении вывода либо, если есть правила-дубли, усложнение внесения изменений, а также опасность появления ошибок второго рода.

Проверку избыточности предлагается производить путем построения минимального набора правил в соответствии с алгоритмом, приведенным на Рисунке 4.11.

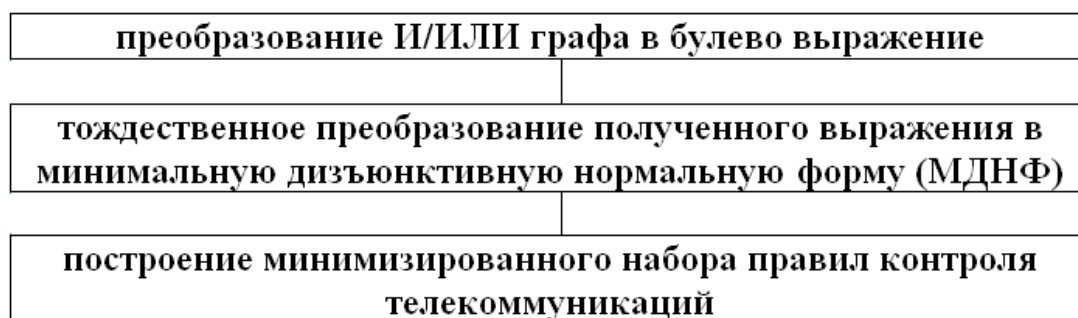


Рисунок 4.11 – Проверка на полноту правил ЭС мониторинга инфокоммуникаций

Для преобразования в МДНФ используется метод Квайна Мак Класки [31], который заключается в минимизации булевых функций табличным методом.

Пример проверки на избыточность в системе правил ЭС мониторинга информационных коммуникаций представлен на Рисунке 4.12.

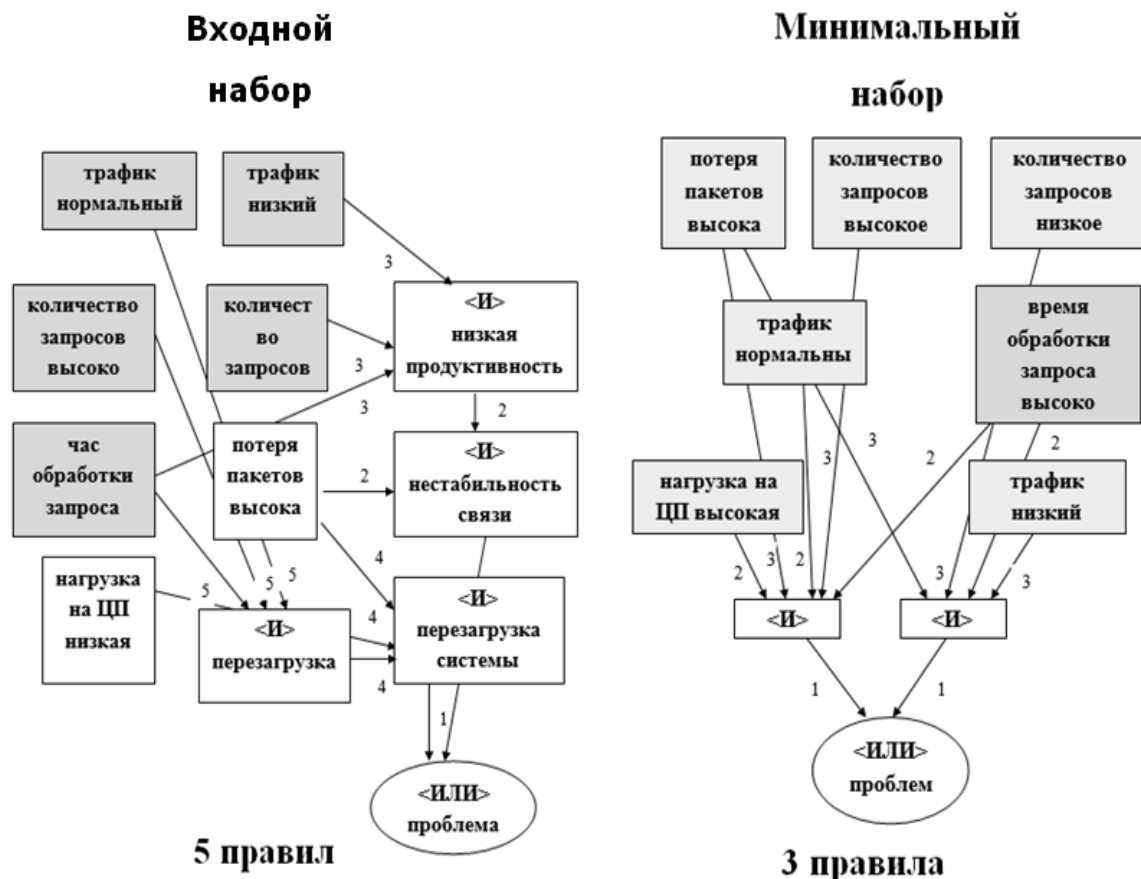


Рисунок 4.12 – Пример минимизации набора правил

Цифрами обозначены номера правил. В соответствии с правилом 1 оценивается необходимость решения возникшей проблемы. В соответствии с правилом 2 оценивается низкая производительность, доля потерянных пакетов. В соответствии с правилом 3 оценивается время обработки запроса и его зависимость от величины трафика, а также количество запросов. В соответствии с правилом 4 оценивается доля потерянных пакетов. В соответствии с правилом 5 оценивается соответствие количества запросов нагрузке на ЦП. Если получены оценки, которые свидетельствуют о неустойчивой работе инфокоммуникационной системы (низкая производительность, нестабильность связи), то следует правило перезагрузки системы.



На Рисунке 4.12 (левая часть) изображен И/ИЛИ граф исходного набора, который включает пять правил. На Рисунке 4.12 (правая часть) изображен минимизированный набор, включающий три правила. Таким образом, путем замены набора из пяти правил на набор из трех правил, связанные правила объединяются вместе. Эксперт выбирает первый или второй набор правил в зависимости от того, важна ли детализация проблем.

Правила для БЗ целесообразно разделить на несколько групп, что позволяет облегчить их восприятие, наладку, внесение изменений. Ниже приведены полученные группы.

В группе правил «ЭМС» собраны правила, касающиеся условий помехозащищенности, в которых функционирует оборудование инфокоммуникационной системы, а также средств, обеспечивающих ЭМС.

Например, правило из данной группы: если уровень электромагнитных помех (ЭМП) выше допустимого или организационно-технические мероприятия по обеспечению ЭМС неэффективны или неправильно спроектированная кабельная система или необходима реконфигурация инфокоммуникационной системы, то имеется проблема, которая требует вмешательства системного администратора и проектировщиков сети.

В группе правил «Телекоммуникации» собраны правила, которые касаются собственно электрических, волоконно-оптических и беспроводных коммуникаций, в частности состояния коммуникационного оборудования и нагрузки на него. Например, правило из данной группы: если скорость передачи информации равна нулю или инфокоммуникационная система вышла из строя или инфокоммуникационная система неэффективна или интерфейсы инфокоммуникационной системы неэффективны или необходимо налаживание коммуникационного оборудования, то имеется проблема, требующая вмешательства системного администратора.

На основе анализа способов иерархии правил, а также методов проверки качества БЗ разработан редактор правил БЗ для мониторинга инфокоммуникационной системы. Функции системы правил (редактирование графа, группировка правил, группировка условий, проверка качества знаний, а также сохранение состояния) описаны диаграммой вариантов использования на Рисунке 4.13.



**Рисунок 4.13 – Диаграмма вариантов использования правил ЭС мониторинга инфокоммуникаций**

В свою очередь в прецеденты, изображенные на Рисунке 4.13, входят подгруппы, действия с которыми перечислены в Таблице 4.1.

**Таблица 4.1 – Группировка прецедентов**

Объекты группировки	Действия с объектами группировки
Редактирование графа	Создание или редактирование И/ИЛИ графа, открытие существующего И/ИЛИ графа, добавление/редактирование вершин графа, добавление/удаление дуги графа, изменение расположения вершин графа
Группировка условий	Создание или редактирование группы исходных условий, просмотр группы исходных условий
Группировка правил	Создание или редактирование группы правил, просмотр группы правил
Проверка качества знаний	Проверка системы правил на противоречивость, неполноту, избыточность, цикличность
Чтение состояния	Чтение состояния существующего графа в текстовом виде, в виде изображения
Сохранение состояния	Сохранения графа в текстовом виде, сохранения графа в виде изображения

На Рисунке 4.14 изображена структура диалогового окна редактора правил, ставшего результатом разработки. Для редактирования графа определена область в левой части окна, для изменения свойств вершин, группы условий, правил, вывода сообщения о событиях сконструированы элементы управления, находящиеся в правой части окна. Кнопки, позволяющие запустить проверки качества базы правил, находятся внизу окна в том месте, где обычно находится строка состояния программного приложения MicrosoftOffice. Как и в приложениях MicrosoftOffice, команды, которые наиболее часто применяются, продублированы пунктами в главном меню, а также клавиатурными сокращениями.

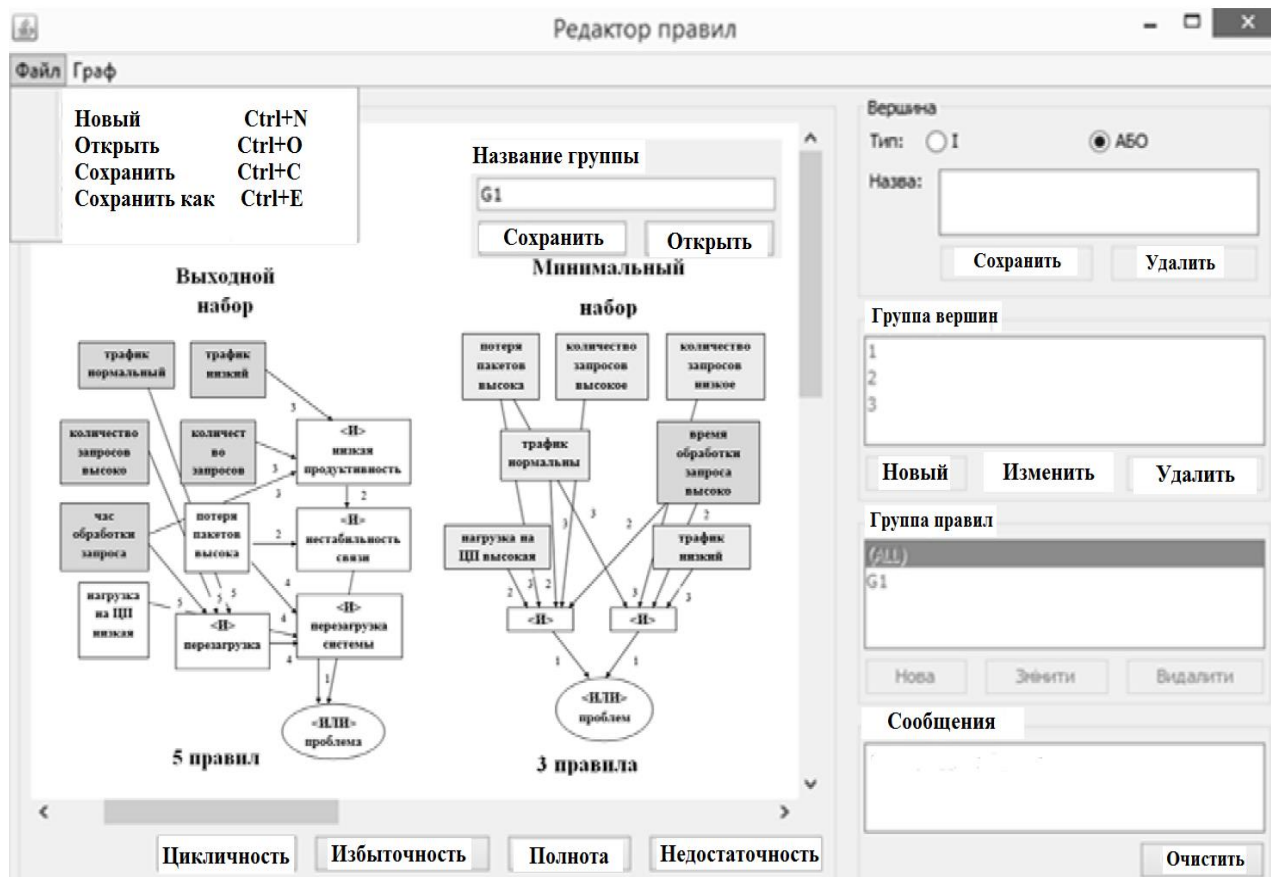


Рисунок 4.14 – Структура диалогового окна редактора правил

Для разработки применен язык Java с использованием библиотеки для работы с графами JUNG 2.0 и библиотеки графического интерфейса пользователя JavaSwing в среде IntelliJ IDEA с использованием Git для контроля версий. Предложенные выше способы контроля БЗ были опробованы при разработке набора правил для мониторинга инфокоммуникаций. Показано, что с помощью предложенных методов можно находить ошибки первого и второго рода, показанные на Рисунках 4.6, 4.7 и 4.8.

Разработанную базу знаний можно применять для управления инвентаризацией инфокоммуникационных ресурсов и организации единого хранилища данных, являющегося основой информационно-инфокоммуникационной системы технического учета кабельных и беспроводных коммуникаций; а также в системах обработки информации и поддержки принятия решений.

Таким образом, усовершенствованы существующие формы представления правил для мониторинга инфокоммуникационной системы с использованием традиционных представлений и для визуализации правил ЭС (экспертной системы), что позволило представлять связанные правила, характерные для большинства предметных областей.

Проведено формальное обоснование предложенных методов контроля качества правил для контроля параметров инфокоммуникационной системы на противоречивость, неполноту, цикличность и избыточность, что доказало их надежность при проверке правил.

БЗ по неполадкам инфокоммуникационной системы, которая может быть использована в ЭС мониторинга для анализа и контроля параметров инфокоммуникационного оборудования и выдачи рекомендаций системному администратору, а также для управления инвентаризацией коммуникационных ресурсов.

## **Заключение**

1) Разработаны пространственные 3D-модели оценки ЭМО электронных устройств в специализированных коммуникационных помещениях, трактов передачи, распределения оборудования по модулям. Для электронных моделей коммуникационного оборудования с соответствующими аннотациями и представлениями реализована возможность дальнейшей работы с вычислительной моделью в различных компьютерных средах (Компас 3D, 3D(2D)-Maxwell и др.).

2) Предлагаемые трехмерные модели учета электромагнитных помех на цифровое электрическое оборудование и электрические каналы передачи инфокоммуникационных систем отличается от известных: выявлением устройств, приборов, рабочих станций, соединенных кабелем; применением визуализации для процесса численного моделирования, обеспечивающей анализ и интерпретацию результатов вычислений не только величины самих помех, но и параметров монтажа кабеля с учетом подавления помех и размещения коммуникационных устройств; определения размеров специализированных помещений и взаимного расположения оборудования, межприборного и внутриприборного монтажа; восприятием и интерпретацией визуальных образов разработчиком кабельной системы.

3) Применение моделей волоконно-оптических кабелей и их обработка в современных компьютерных средах позволяет обеспечить гибкость решений при построении высокоскоростных систем передачи данных и уменьшить количество измерительных процедур в специализированных лабораторных условиях, с использованием дорогостоящего оборудования для измерения параметров волоконно-оптических коммуникаций.

4) Предложены организационно-технические мероприятия для детализированного планирования работ по обеспечению электромагнитной совместимости инфокоммуникационного оборудования с помощью трехмерных моделей.

5) Использование синтеза систем имитационного моделирования для контроля электромагнитной совместимости коммуникационного оборудования и экспертного моделирования поддержки принятия решений о состоянии инфокоммуникационных систем играет важную роль в решении всевозможных интеллектуальных задач, связанных с анализом работы инфокоммуникаций в различных условиях эксплуатации. Объединение этих технологий позволяет формировать и развивать новые инновационные решения в области разработки моделей и методов контроля параметров инфокоммуникационных систем.

## Список использованных источников

1. Семенов, А. Б. Структурированные кабельные системы [Текст] / А. Б. Семенов, С. К. Стрижаков, И. Р. Сунчелей. ДМК-Пресс. 2017. 640 с.
2. Артюшенко В. М., Аббасова Т. С. Проектирование мультисервисных систем в условиях воздействия внешних электромагнитных помех. – под науч. ред. док. технич. наук, проф. В.М. Артюшенко. – Москва, ФГОУ ВПО РГУТиС, 2011. – 110 с. ISBN 978-5-9902787-1-4.
3. Семенов А.Б., Артюшенко В.М., Аббасова Т.С. Введение в структурированные кабельные системы [Текст] / А. Б. Семенов, В. М. Артюшенко, Т. С. Аббасова: учебное пособие / под редакцией д.т.н. профессора Семенова А.Б. – М.: Издательство «Научный консультант», 2018. – 206 с.
4. Артюшенко В. М. Семенов, А. Б., Аббасова Т.С. Построение и функционирование структурированных кабельных систем: учебное пособие // под науч. ред. док. техн. наук, проф. А. Б. Семенова. – Королев МО: МГОТУ, 2017. – 171 с.
5. Загайнова Л. А., Кузовкова Т. А. Оценка динамики развития сектора инфокоммуникационных технологий в России, США и Германии // Телекоммуникации и информационные технологии. 2016. № 2. Т. 3. С. 69-72.
6. Аббасова, Т. С. Модели расчета помех в экранированных кабельных системах [Текст] / Т. С. Аббасова // Электросвязь. – №12. – 2015. – С. 74 – 80.
7. Семенов, А. Б. Улучшение массогабаритных характеристик типовых горизонтальных кабелей СКС [Текст] / А. Б. Семенов // Информационно-технологический Вестник. №6(08). 2015. С. 46 – 59.
8. Семенов, А. Б. Влияние конструктивных особенностей симметричных цепей передачи данных на процесс оптимизации физического уровня [Текст] / А. Б. Семенов, А. Л. Зубилевич, Т. С. Аббасова // Информационно-технологический Вестник. – № 3 (17). – 2018. – С. 99 – 107.
9. ГОСТ Р 53246-2008. Группа T00. Национальный стандарт Российской Федерации. Информационные технологии. Системы кабельные структурированные. Проектирование основных узлов системы. Общие требования. Information technologies. Structured cabling systems. Main system elements design. General requirements. ОКС 35.020. Дата введения 2010-01-01. – М.: Стандартинформ. – 2009. – 77 с.
10. ГОСТ Р 53245-2008. Группа T00. Национальный стандарт Российской Федерации. Информационные технологии. Системы кабельные структурированные. Монтаж основных узлов системы. Методы испытания. Information technologies. Structured cabling systems. Main

system elements installation. Test methods. ОКС 35.020. Дата введения 2010-01-01. – М.: Стандартиформ. – 2009. – 39 с.

11. ГОСТ Р 54429-2011. Кабели связи симметричные для цифровых систем передачи. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ. – 2009. – 78 с.

12. Optical Fibre Splices and Connectors. С.М. Miller ISBN 0-8247-7250-1.

13. Incites T11: Fibre Channel standards, Infiniband TA: Infiniband standards, IEEE 802.3: Gigabit Ethernet standards.

14. Семенов, А. Б. Совершенствование многомодовой волоконной оптики для СКС [Текст] / А. Б. Семенов, Б. Н. Фомичев // Вестник связи. – 2015. – № 3. – С. 32-34.

15. Аббасова, Т. С. Современные информационные технологии для анализа помехозащищенности волоконно-оптических коммуникаций [Текст] / Т. С. Аббасова // Информационно-технологический Вестник. – № 4(10). – 2016. – С. 3 – 17.

16. Семенов, А. Б. Совершенствование многомодовой волоконной оптики для СКС [Текст] / А. Б. Семенов, Б. Н. Фомичев // Вестник связи. – 2015. – № 3. – С. 32-34.

17. Аббасова, Т. С. Политика контроля электромагнитной совместимости телекоммуникаций в контексте системного анализа [Текст] / Т. С. Аббасова, В. Н. Зиновьев, Ю. В. Стреналюк, К. Л. Самаров // Двойные технологии. – №2 (75). – 2016. – С. 46 – 48.

18. Исследование волоконно-оптических инфокоммуникаций для передачи, обработки, хранения и защиты больших объемов информации: отчет о НИР, выполняемой в рамках тематического плана по заданию Минобрнауки РФ в 2017 году, фундаментальное исследование, № госрегистрации АААА-А17-117020210028-6 / руководитель и ответственный исполнитель НИР Аббасова Т.С. – Москва: ФГБОУ ВПО «МГУС», 2017. – 69 с.

19. Аббасова, Т. С. Задачи оптимизации инфокоммуникационных систем [Текст] / Т. С. Аббасова // Информационно-технологический Вестник. – № 3 (17). – 2018. – С. 55 – 65.

20. Комашинский В., Мардер Н., Парамонов А. От телекоммуникационной к когнитивной инфокоммуникационной системе // Технологии и средства связи. 2011. №4. С. 52 – 54.

21. Акимкина Э. Э. Развитие и адаптация имитационного и компьютерного моделирования в системах поддержки принятия решений // Современные информационные технологии / сборник трудов по материалам II-ой межвузовской научно-технической конференции 14 сентября 2016 года, г. Королев, «МГОТУ» / Под общей науч. ред. док. техн. наук, проф. В.М. Артюшенко. – М.: Издательство «Научный консультант». – 2016. – С. 112 – 121 (182 с.).

22. Зудилова Т. В. Методы моделирования и оптимизации в инфокоммуникационных системах и сетях // Учебное пособие. Санкт-петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. 2013. 131 с.
23. Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных технических систем. – М.: Высш. Школа. – 1982. – 231 с.
24. Цветков, В. Я. Пространственные знания [Текст] /В. Я.Цветков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – №7. – 2013. – С. 43 – 46.
25. Старцева, Е. Б. Этапы построения модульной структуры базы знаний экспертной системы на основе системного подхода [Текст] / Е. Б. Старцева // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – №2. – Т.7. – 2006. – С. 178 – 181.
26. Аббасова, Т. С. Разработка правил в экспертных системах для анализа и оценки телекоммуникаций [Текст] / Т. С. Аббасова // Информационно-технологический Вестник. – № 2 (12). – 2017. – С. 47 – 63.
27. Wu, C. I., Kung, H. Y., Chen, C. H., Kuo, L. C. An Intelligent Slope Disaster Prediction and Monitoring System Based on WSN and ANP, UK.: Elsevier Limited, (2013), Expert Systems with Applications, ISBN09574174, DOI: 10.1016/j.eswa.2013.12.049.
28. Суботін, С. О. Подання обробка знань у системах штучног оінтелекту та підтримки прийняття рішень: [навчальний посібник] / С. О. Суботін – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2008. – 341 с.
29. Тройніна, А. С. Редактор знань для експертних систем моніторингу [Текст] / А. С.Тройніна, В. М. Рувінська, М. С. Ніколенко // Вестник Херсонского национального технического университета (ХНТУ). – 2013. – №1(46). – С. 183 – 185.
30. Селезнева, С. Н. Основы дискретной математики: Учебное пособие. – М.: Издательский отдел факультета ВМК МГУ имени М.А. Ломоносова (лицензия ИД N 05899 от 24.09.2001 г.); МАКС Пресс, 2010. – 60 с.
31. Дмитриев, Г.А. Программа минимизации функций алгебры логики методом Мак-Класки [Текст] / Г.А. Дмитриев // Программные продукты и системы. – №2. – 1997.