

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки Автоматизация технологических процессов и производств
Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка информационной системы поддержки принятия решений в ходе технологического процесса транспортировки газа

УДК 004.9:005.31:622.691.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Петров Павел Владимирович		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР, Доцент ОАР ИШИТР	Воронин Александр Васильевич	К.т.н.		
Руководитель ООП, Доцент ОИТ ИШИТР	Суходоев Михаил Сергеевич	К.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	К.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ИШХБМТ	Невский Егор Сергеевич			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель отделения ОАР	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	К.т.н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код рез-та	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
P1	применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации автоматизированных систем, включая подсистемы управления и их программное обеспечение.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации автоматизированных систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР(пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных автоматизированных систем и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий машинного обучения, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации автоматизированных систем, устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8), Критерий 5 АИОР (п.1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации систем управления технологическим процессом и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями

	отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы.	международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в автоматизированных системах и знать области их применения, в том числе в составе безлюдного производства.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные</i>		
P7	эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК-17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-8, ПК-15, ПК-16, ПК-18, ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEAN</i>
P10	следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-8, ПК-11, ПК-16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

	4. Оценка применимости нейронных сетей для построения систем поддержки принятия решений 5. Разработка методов и моделей выбора структуры системы поддержки принятия решений для газотранспортной системы
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская Марина Витальевна
Социальная ответственность	Невский Егор Сергеевич
Раздел на иностранном языке	Шепетовский Денис Владимирович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Системный анализ методов и моделей управления газотранспортной системой	
Нейросетевые модели в задачах идентификации состояния ГТС	
Программные аспекты создания систем поддержки принятия решений	
Многокритериальная оптимизация и процедуры принятия решений по управлению ГТС	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Воронин Александр Васильевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Петров П.В.		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники _____
 Направление подготовки Информатика и вычислительная техника _____
 Уровень образования магистратура _____
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники _____
 Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года _____

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.04.2018	1. Описание предметной области и задач исследования	15
22.04.2018	2. Описание параметрических моделей физических процессов транспорта газа	20
30.04.2018	3. Анализ методов и алгоритмов выбора структуры иерархической распределенной АСУТП	25
10.05.2018	4. Описание нейросетевых моделей в задачах идентификации и классификации транспорта газа	15
18.05.2018	5. Анализ методов и моделей построения системы поддержки принятия решений	25

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Воронин Александр Васильевич	К.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОАР	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	К.т.н.		

Реферат

Магистерская диссертация содержит 136 страницы, 13 таблиц, 22 рисунка, 1 приложение.

Целью написания данной дипломной работы является повышение эффективности управления технологическими процессами магистрального транспорта газа за счет разработки системы поддержки принятия решений.

Объектом исследования является газотранспортная система.

Предметом исследования являются методы и модели построения системы поддержки принятия решений.

При написании данной дипломной работы использовались теоретический метод исследования и метод анализа.

Затраты на проект составили 90682,796 руб.

В процессе исследования были выявлены проблемы с обучением нейросетей в системе и предложены варианты их решения.

Оглавление

Введение	10
1. Системный анализ методов и моделей управления газотранспортной системой	11
1.1 Автоматизация транспорта газа.....	16
1.2 Особенности организации территориально распределенных автоматизированных систем управления технологическими процессами	17
1.3 Диспетчерское управление транспортом газа	20
1.4 Многокритериальность и процедуры принятия решений по управлению ГТС	27
1.5 Построение многоуровневых АСУТП.....	31
1.6 Нейросетевые модели в задачах идентификации состояния ГТС.....	35
1.7 Программные аспекты создания СППР	39
2. Методы и модели СППР в АСУТП ГТС	46
2.1 Разработки методов и моделей выбора структуры ТРАСУТП.....	46
2.1.1 Выбор варианта иерархического построения.....	57
2.1.2 Распределение задач по уровням иерархии.....	59
2.1.3 Синтез варианта технической структуры	61
2.1.4 Резервирование задач в ТРАСУТП	63
2.2 Задача управления потоками в ГТС	64
2.2.1 Формализованное представление управляемой сети.....	64
2.2.2 Пример расчета вектора управления потоками	67
2.3 Нейросетевые модели в СППР.....	69
2.4 Формализованное представление процесса диспетчерского управления.	73
2.4.1 Формализованная постановка задачи принятия решения по обнаружению неисправностей	74
2.4.2 Процедура поиска рационального решения для конкретной аварийной ситуации	77
2.5 Механизмы представления моделей знаний для динамической среды управления ГТС	79
2.5.1 Разработка базы данных и базы знаний	79
Вывод	85
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение	88
3.1 Потенциальные потребители СППР и область применения.....	88
3.2 SWOT-анализ	89
3.3 Диаграммы Исикавы.....	90
3.4 Оценка коммерческого потенциала	91
3.5 Анализ структуры затрат проекта.....	96
3.5.1 Заработная плата исполнителей.....	96

3.5.2 Затраты на электроэнергию	98
3.5.3 Накладные расходы	99
3.5.4 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.....	99
3.6 Организационная структура проекта	100
3.7 Матрица ответственности	101
3.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	102
4. Социальная ответственность	107
4.1 Введение	107
4.2 Обучение с учителем.....	109
4.3 Обучение без учителя.....	113
4.4 Проблемы НС и варианты их решение.....	114
4.4.1 Проблема ценности данных и предварительной подготовки.....	114
4.4.2 Неравномерность распределения классов в реальных задачах.....	115
4.4.3 Интерпретация модели.....	116
4.5 Интерфейс	117
Список литературы.....	120
Приложение А.....	124

Введение

Российская Федерация является владельцем крупнейшей разветвленной системы магистральных газопроводов. Для полноценного функционирования данной системы приходится осуществлять целый ряд технологических процессов (электроснабжение, добыча и транспорт газа, теплосети и др.), характеризующихся непрерывностью работы при любом режиме (штатном или нештатном). Для подобных систем необходим постоянный контроль над управлением с участием диспетчера. Автоматизация процессов также является неотъемлемой частью системы.

Диспетчерская служба обеспечивает управление всеми технологическими процессами по добычи и транспорту газа, благодаря чему данной службе отводится важная роль в газодобывающих и газотранспортных предприятиях. В настоящее время системы автоматизированного управления (САУ) обеспечивают диспетчеров полной первичной информацией для решения задач управления. Но даже данный уровень развития технологий управления не гарантирует правильность принимаемых решений. Системы диспетчерского управления должны иметь возможность выявления и диагностики аварийных ситуаций. Для осуществления этого необходимо использовать методы искусственного интеллекта и реализации систем поддержки принятия решений (СППР). В диссертационной работе СППР разрабатывается для систем транспортировки газа.

Задачами диспетчеров и диспетчерских систем является обеспечение безопасности эксплуатации технологических процессов транспорта газа за счет минимизации энергозатрат без ущерба для поставок. Для решения этих задач разрабатываются и улучшаются системы диспетчерского управления, локальной автоматики и телемеханики. Системы телемеханики являются узлами связи между территориально-распределенными объектами, предоставляют необходимую информацию и обеспечивают передачу команд управления диспетчера на исполнительные устройства. В штатном режиме

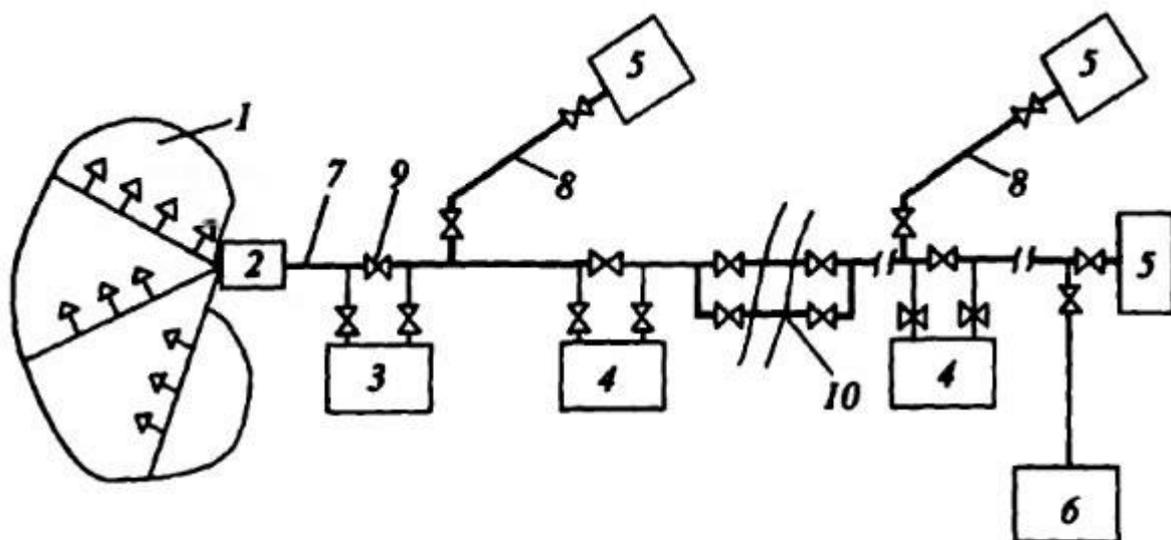
работы данные системы предоставляют данные для анализа и оптимизации работы технологических процессов. При нештатных ситуациях данные позволяют выявить причины, место аварий, а также варианты локализации аварийного участка.

На данный момент анализ ситуаций и принятие решений является обязанностью диспетчера. В нештатных ситуациях необходимо принимать ответственные решения в сжатые сроки на основе множества данных, что является большой нагрузкой на диспетчера. Задача принятия решений усложняется при необходимости анализа технологического объекта сложной структуры, например, закольцованной трубопроводной системы с перемычки и различными вариантами потоков газа. Поэтому, появляется необходимость в разработке СППР для решения задач управления газопроводами и другими распределенными объектами. Данные системы не должны быть жестко запрограммированы для дальнейшего динамического развития, усовершенствования и возможности адаптации к изменяющимся условиям. Для обеспечения гибкости системы необходимо использовать элементы искусственного интеллекта.

Цель данной работы – это повышение эффективности управления транспортом газа за счет предоставления диспетчеру дополнительной информации для принятия решений.

1. Системный анализ методов и моделей управления газотранспортной системой

Основные элементы газотранспортной системы (ГТС) газотранспортного предприятия представлены на рисунке 1.



1 — газосборные сети; 2 — промышленный пункт сбора газа; 3 — головные сооружения; 4 — компрессорная станция; 5 — газораспределительная станция; 6 — подземные хранилища; 7 — магистральный трубопровод; 8 — ответвление; 9 — линейная арматура; 10 — двухниточный переход через водную преграду

Рисунок 1 – Основные элементы ГТС

Транспортировка газа – это доставка газа от промыслов и газоперерабатывающих заводов для электростанций, промышленных предприятий, жилого сектора и на экспорт.

Газ с месторождений поступает через газосборный пункт по промышленному коллектору на установку подготовки газа, где производится осушка газа, очистка от механических примесей, углекислого газа и сероводорода. Далее газ поступает на головную компрессорную станцию и в магистральный газопровод (МГ).

В состав сооружений магистрального газопровода входят следующие основные объекты:

- Головные сооружения;
- Компрессорные станции (КС);
- Газораспределительные станции (ГРС);
- Подземные хранилища газа (ПХГ);
- Линейные сооружения;

МГ в зависимости от рабочего давления подразделяются:

I класс – от 2,5 до 10 Мпа включительно;

II класс – от 1,2 до 2,5 Мпа включительно;

На головных сооружениях добываемый газ подготавливается к транспортировке. В первый период разработки месторождений давление газа достаточно велико, поэтому нет необходимости в использовании головной компрессорной станции. Эту станцию строят на более поздних этапах разработки газовых месторождений.

Компрессорные станции (КС) предназначены для перекачки газа от месторождений или подземных хранилищ до потребителя. Кроме того, на КС производится очистка газа от жидких и твердых примесей, а также его осушка.

Газоперекачивающие агрегаты (ГПА) предназначены для сжатия природного газа, достаточного для обеспечения его транспортировки с заданными технологическими параметрами.

Газораспределительные станции (ГРС) сооружают в конце каждого МГ или отвода от него. Высоконапорный газ не может быть непосредственно подан потребителям. На ГРС осуществляется понижение давления газа до требуемого уровня, очистка от механических частиц и конденсата, одоризация и измерение расхода.

К линейным сооружениям относятся собственно МГ, линейные запорные устройства, узлы очистки газопровода, переходы через препятствия, станции противокоррозионной защиты, линии технологической связи, отводы от МГ и сооружения линейной эксплуатационной службы.

Линейные сооружения газопроводов отличаются от аналогичных сооружений нефтепроводов тем, что вместо линейных задвижек используются линейные шаровые краны, расстояние между которыми должно быть не более 30 км. Кроме того, для сбора выпадающего конденсата сооружаются конденсатосборники. Большая часть газопроводов имеет диаметр от 720 до 1420 мм. Трубы и арматура рассчитаны на рабочее давление до 10 МПа.

При параллельной прокладке двух и более МГ в одном технологическом коридоре предусматривается соединение их перемычками с

запорной арматурой. Перемычки размещаются на расстоянии не менее 40 км друг от друга, а также перед компрессорными станциями и после них.

Подземные хранилища газа (ПХГ) служат для компенсации неравномерности газопотребления. Использование подземных структур для хранения газа позволяет существенно уменьшить капиталовложения в хранилища [1].

Во время транспортировки газа необходимо перекрыть участок или перенаправить газовые потоки. Перекрытие участка может быть полезно для локализации аварий на трубопроводе или для проведения ремонтных работ. Перекрытие участка происходит за счет закрытия кранов на соседних крановых узлах, после чего происходит выпуск газа в атмосферу через свечи. Перенаправление газовых потоков применяется для многониточных газопроводов для регулирования потоков в сложных схемах трубопроводов.

Итоги анализа традиционного управления технологическими объектами выявили следующие свойства:

- Уникальность – это отличительные особенности структуры ГТС. Они заключаются в условиях работы технологического оборудования: окружающая среда (влажность, запыленности и т.д.), ограничения, связанные с типом оборудования;
- Неформализуемость описания некоторых ситуаций – существуют такие ситуации, развития которых невозможно предсказать, что говорит о невозможности составить математические модели абсолютно всех организационно-технических мероприятий.
- Эволюционность – это не только усовершенствование методов и средств управления, но также изменение структуры ГТС, связей ее элементов, состав перекачиваемого газа в течение времени. Данные изменения происходят при введении в эксплуатацию нового оборудования, газопроводов, появление новых поставщиков и потребителей газа. Кроме того, изменения происходят и за счет старения оборудования, коррозионных эффектов, истощения месторождений и т.д.;

- Функциональная ситуационность – выбор управляющих воздействий, зависящих от конкретной ситуации. В течение многолетней эксплуатации ГТС в различных ситуациях могут проявиться особые свойства системы, которые влияют на возможности управления системы.

- Рациональность управляющих решений - рациональное управление, приводящее к улучшению ряда критериев в определенный момент времени. Проблема выбора данного решения заключается в сложности сравнения режимов, вариантов управления, а также предсказать последствия от управляющих воздействий;

- Многокритериальность функционирования – необходимость рассмотрения различных качественных критериев для принятия управляющих решений. Проблема заключается в противоречивости критериев, например, таковыми критериями являются критерии максимального давления на выходе КС и максимальной производительности КС. Зачастую выбор критерия управления зависит от интуиции диспетчера;

- Статическая не интерпретируемость – соответствие одинаковых изменений параметров в различных ситуациях. Кроме того, важным параметром является изменение параметров во времени, зачастую для анализа ситуации необходимо длительное наблюдение за изменениями параметров;

- Большая инерционность объекта – большое время запаздывание реакции на управляющие воздействия, что вынуждает делать упреждающие действия, для чего необходимо прогнозирование состояния газопроводов, возможных нештатных ситуаций и т.д.;

- Не стационарность системы – изменение параметров и состояний элементов ГТС, а также различных условий, влияющих на систему во времени;

- Недостоверность информации – неконтролируемые возмущения, погрешности приборов, отказы оборудования, случайные помехи и т.д.

Проблема заключается в ограничении скорости передачи, что не позволяет часто реагировать на неверные данные;

При создании систем оперативного диспетчерского управления необходимо учитывать свойства системы, перечисленные выше. Эти свойства приводят нас к тому, что система должна обладать элементами искусственного интеллекта для адаптации к изменяющейся структуре объекта, условиям функционирования, а также иметь устойчивость к неполноте информации и иметь возможность дополняться новыми данными и правилами.

1.1 Автоматизация транспорта газа

Для повышения надежности и эффективности производства объекты ГТС подлежат комплексной автоматизации [2]. Общая схема автоматизации транспорта газа представлена на рисунке 2, в данную систему входят следующие системы [3]:

- Системы линейной телемеханики (СЛТМ) – система, предназначенная для управления различными устройствами на трубе;
- Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) КС;
- АСУТП газоизмерительных станций – система управления режимами работы оборудования и отслеживание параметров расхода газа;
- АСУТП ПХГ – система управления режимами работы оборудования ПХГ;
- Другие системы.

Большинство систем ГТС типа «человек-машина», что означает, что системы только обеспечивают человека информацией об объекте о режимах, измерениях для того, чтобы оператор принял решения и выдал команды управления.

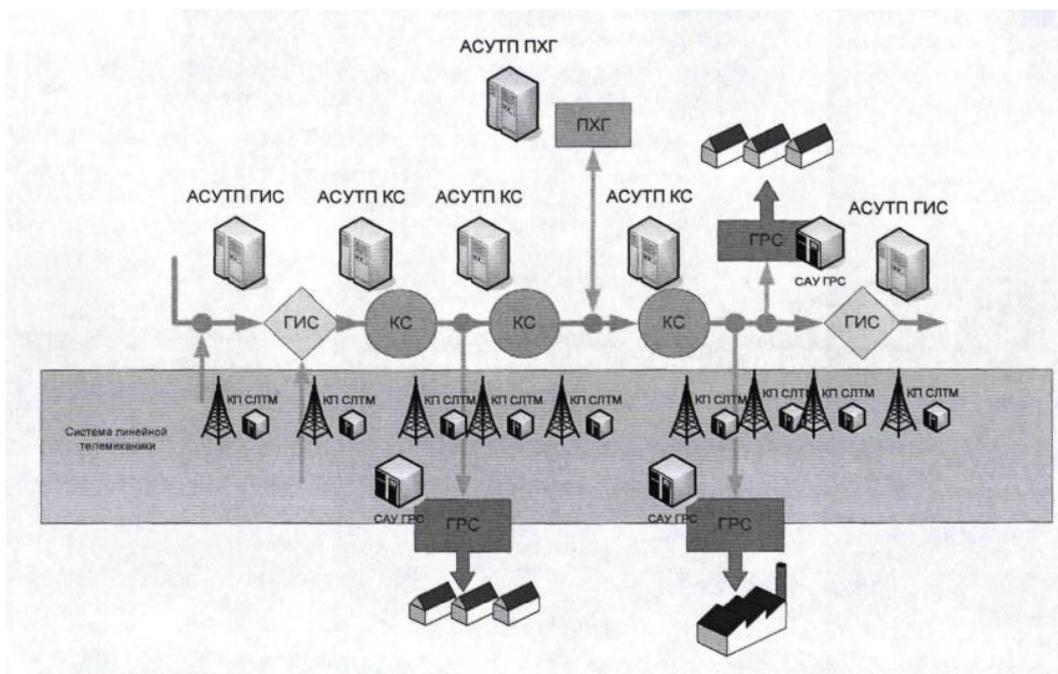


Рисунок 2 – Общая схема автоматизации транспорта газа

Для помощи диспетчеру и разделения обязанностей для упрощения работ диспетчерского оперативного управления отдельно выстраивается иерархическая схема с выделением уровней управления.

Нижние уровни иерархии занимает различные системы для автоматизации всех объектов ГТС, таких как СЛТМ, предназначенных для автоматизации линейной части газопроводов, цеховых и агрегатных систем КС.

1.2 Особенности организации территориально распределенных автоматизированных систем управления технологическими процессами

Основными целями функционирования территориально распределенных автоматизированных систем управления технологическими процессами (ТРАСУТП) являются контроль и оптимальное управление процессами, реализуемыми большим числом территориально распределенных, но взаимосвязанных объектов. Составными частями или элементами ТРАСУТП являются узлы управления, функциональные задачи, программно-технические средства, диспетчерские ресурсы, а структура ТРАСУТП есть сочетание иерархического построения, распределения задач, технической структуры [4].

В соответствии с существующей практикой разработка ТРАСУТП разделяется на стадии, каждая из которых характеризуется своей, последовательно повышающейся степенью точности исходных знаний о системе, детализацией рассмотрения.

Каждая из структур – иерархическая, функциональная, техническая – является сложным, агрегативным понятием, вариант которой состоит из компонентов, причем каждый из них детализируется в соответствии с данной фазой рассмотрения структуры [5].

Распределение задач устанавливает соответствие между задачей и узлом. Под задачей на начальных этапах разработки может пониматься: функция, алгоритм, комплекс программ, программный модуль с данными (т.е. совокупность операций обработки, хранения и передачи данных), деление которого между узлами или уровнями ТРАСУТП нецелесообразно.

Формируя множество задач ТРАСУТП, необходимо включить в него также задачи, которые решаются диспетчерами различных уровней. Это связано с высокими требованиями к надежности и бесперебойности работы объектов многих ТРАСУТП. Следует отметить, что задачи, решаемые диспетчером, имеют, как правило, наибольшую эффективность (при принятии диспетчером оптимальных решений в нештатной ситуации). Поэтому как можно больше этих задач должно быть формализовано и запрограммировано в виде системы поддержки принятия решений как подсистемы АСУТП.

Вариант технической структуры (ВТС) системы является допустимым сочетанием ВТС узлов, каждый из которых представляет собой допустимое сочетание комплекта вычислительной техники и телемеханики. Учитывая, что диспетчерские задачи связаны с вычислительными, а диспетчерский ресурс тесно связан с комплектом ВТС, значение диспетчерского ресурса можно условно включить в ВТС узла.

В работе рассматривается выбор структуры ТРАСУТП в основном на начальной стадии, поскольку именно на ней разработчик сталкивается с максимальным числом вариантов структуры представляющих собой

некоторые варианты каркаса будущей системы, из которых необходимо выбрать наилучший в смысле эффективности создаваемой ТРАСУТП.

При этом, в зависимости от степени новизны, разрабатываемой ТРАСУТП, могут решаться две задачи. Первая задача состоит в нахождении варианта структуры для новой перспективной системы, для которой часть исходных данных может быть задана с погрешностью. Вторая задача заключается в корректировке разработанного головного образца ТРАСУТП при его тиражировании с целью повышения эффективности системы на основе достаточно точных исходных данных, меньшего числа возможных вариантов структуры и более жестких ограничений.

Варианты технической структуры ТРАСУТП различаются не только комплектом ВТ узлов, но и применяемой телемеханикой и видом организации каналов (кабельные, радиоканалы). Многие типы ТМ позволяют реализовывать различные протоколы и дисциплины обмена информацией. Нижние уровни иерархии могут объединяться по иерархическому принципу или в виде локальной вычислительной сети (ЛВС).

Не стационарность процесса транспорта газа, возможность значительных потерь эффективности работы объекта управления, при выходе из строя отдельных частей ТРАСУТП, ставят повышенные требования к отказоустойчивости разрабатываемой системы управления.

Необходимо, прежде всего, выявить круг важнейших показателей, применяемых в постановках задач в качестве критериев и ограничений. Ошибки в выборе основных показателей качества приводят к значительным материальным, временным и другим издержкам в процессе создания и эксплуатации систем.

Ранжирование показателей качества и выделение критериальных показателей, как правило, зависит от конкретного вида выбираемой структуры. Чем сложнее класс систем, для которого решается задача выбора структуры, и чем большее число элементов системы управления задействовано в задаче (т.е. чем сложнее вводимое определение искомой

структуры), тем большее число показателей необходимо привлечь для выбора лучшего варианта. При этом практически все показатели, используемые в работах в качестве критериев и ограничений в постановках задач оптимизации структур распределенных систем управления, могут быть отнесены к показателям стоимости, надежности и времени или к их комбинациям [6].

При выборе рационального варианта структуры ТРАСУТП в качестве важнейших, критериальных показателей следует использовать стоимость и отказоустойчивость. При этом отказоустойчивость можно также свести к стоимостному показателю через эффективность задач системы.

Временные показатели могут быть учтены в критерии (как, например, объем передаваемой между узлами управления информации) и должны обязательно присутствовать в постановке в виде ограничений на загрузку узлов и каналов, время прохождения информации от места возникновения до места потребления (отклик системы) и другие.

1.3 Диспетчерское управление транспортом газа

Диспетчеризация сочетает в себе управление бизнесом (потоками и поставками) и контроль за технологическим оборудованием и обеспечением безопасности. К задачам диспетчеризации относятся:

- Безопасность людей, окружающей среды;
- Безопасность и выполнение поставок;
- Безопасность (износ) оборудования.

Диспетчеризация ГТС является непрерывным управлением потоками однородного газа, что отличает ее от работы диспетчера «пакетного» производства. Кроме того, есть отличие и от транспорта нефтепродуктов: нефтепродукты можно разделить на партии, а транспортировка газа осуществляется не физически по нужному маршруту, а происходит замещение объемов схожим по качеству газа. Диспетчерское управление транспортировки газа похоже на оперативное управление в телекоммуникационных компаниях, так как там также необходимо обеспечивать непрерывное подключение сетевого сервиса, но транспорт газа

сложнее за счет активного движущегося объекта управления, изменяющего свои параметры движения. Наиболее схожим для диспетчеризации ГТС является муниципальные сети, обеспечивающие непрерывную поставку воды и тепла, но в данных сетях нет аналогов КС и ПХГ, что влияет на технологию управления.

Диспетчерское управление – это планирование и реализация комплекса мероприятий, направленных на обеспечение безопасного функционирования газотранспортной сети с целью выполнения производственных заданий по транзиту и поставкам природного газа [7].

Диспетчерское управление реализуется соответствующим персоналом газотранспортных обществ, работающим в производственно-диспетчерских службах. За исключением автоматического управления газоперекачивающими агрегатами (ГПА) и рядом другого, менее сложного оборудования, управление ГТО осуществляется в автоматизированном режиме с непосредственным участием человека-диспетчера.

Особенностью отечественной газовой промышленности является многоуровневая организация диспетчерского управления. Иерархия диспетчерского управления в целом совпадает с иерархией организации дочерних обществ, участвующих в транспорте и распределении природного газа. В ОАО «Газпром» выделяется несколько уровней диспетчерского управления, а в европейских компаниях, как правило, один диспетчер и операторы КС, которые выполняют команды диспетчера.

Координацию между всеми рассмотренными диспетчерскими центрами осуществляет Центральный производственно-диспетчерский департамент, уполномоченный в критических ситуациях давать команды на изменение режимов работы оборудования и изменения потоков поставок газа.

Диспетчер управляет не только оборудованием. Диспетчер управляет также выполнением контрактных обязательств на поставку газа. При этом действия диспетчера определяются различными регламентами и ограничениями: технологическими, законодательными, контрактными.

Диспетчерское управление «неоднородно» и условно может быть разделено на два больших комплекса:

- Управление поставками или потоками газа;
- Управление работой технологическим оборудованием.

Данные комплексы взаимосвязаны, но различают и по методам управления, и по применяемым средствам автоматизации.

Управление поставками в целом первично. Определив объемы поставок и, рассчитав потоки газа, диспетчер может выдавать задания на режимы работы технологическим оборудованием. Вместе с тем, на возможности осуществления поставок влияет пропускная способность трубопроводов, запасы газа и возможности отбора из ПХГ, параметры газораспределительных станций и другие «чисто технические» факторы.

Необходимо учитывать также технический уровень состояния газотранспортной сети, планы проведения ремонтов и реконструкций. Данные факторы и обстоятельства могут существенно ограничить пропускную способность ГТС и возможности, как выполнения контрактных обязательств, так и заключения новых договоров.

На рисунке 3 обобщенно показаны составляющие процесса диспетчерского управления, совместно как оборудованием, так и потоками газа, и поставками потребителям.

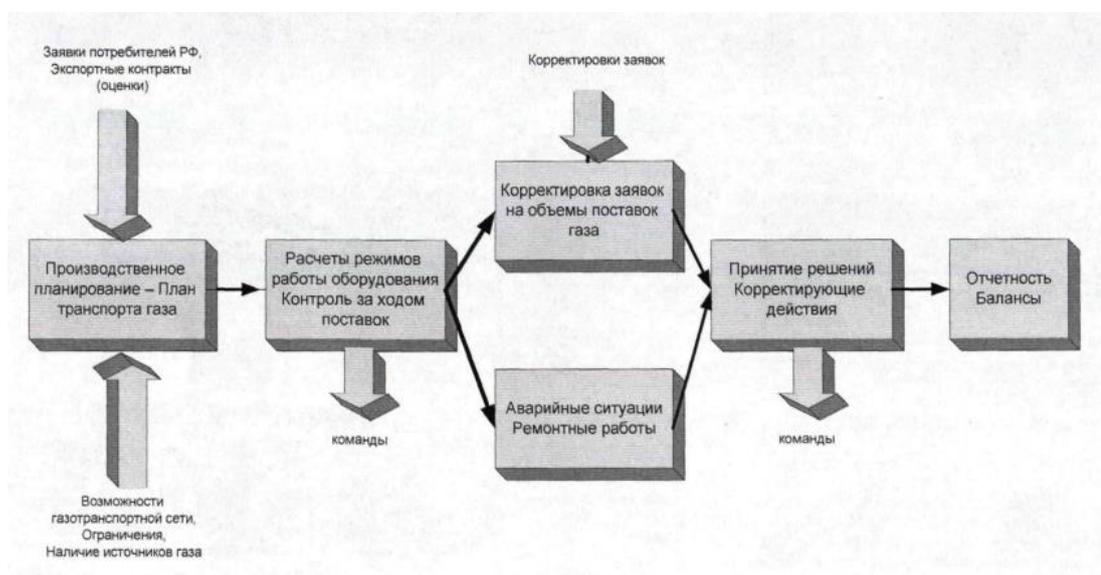


Рисунок 3 – Процесс диспетчерского управления ГТО

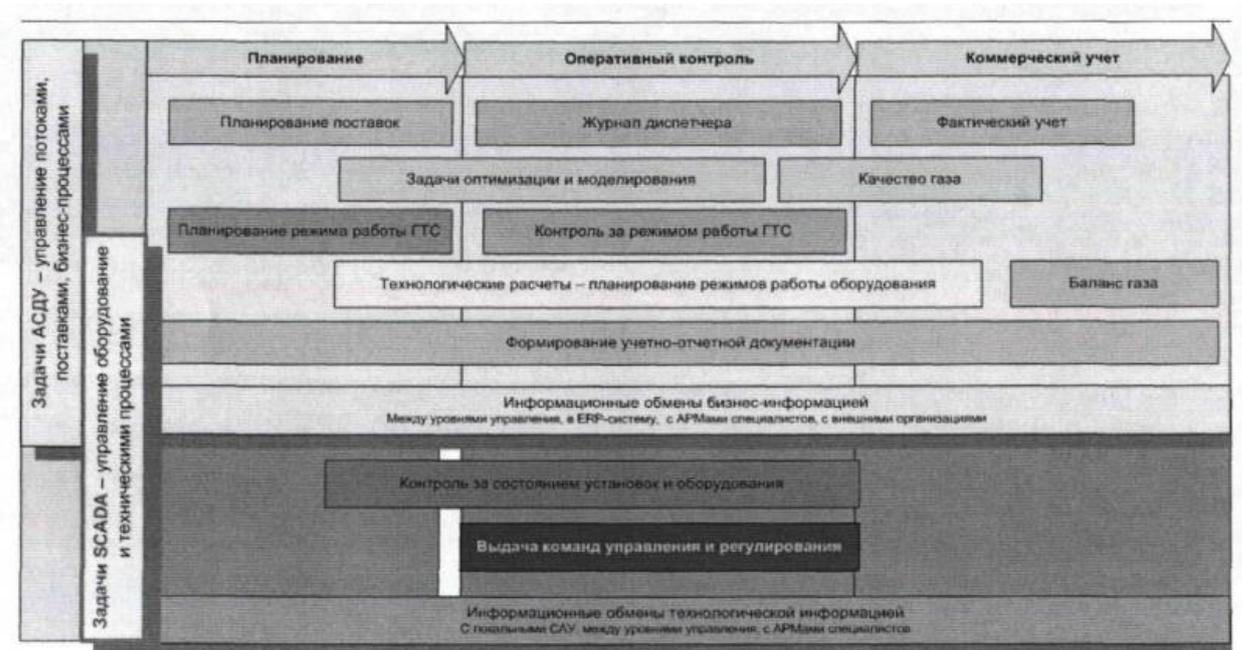


Рисунок 4 – Общее представление диспетчерского управления

Управление производственной деятельностью предприятия – задачи, относящиеся по современной терминологии к классу MES:

- Планирование производственной деятельности в физическом измерении;
- Измерение, сбор, контроль, учет и анализ параметров производственной деятельности (ведение диспетчерских журналов, учет подачи газа, учет расходов газа на собственные нужды, учет потерь, балансирование и др.);
- Оценка эффективности деятельности предприятия (филиала) по выбранным критериям;
- Выдача команд нижестоящим подразделениям в виде производственных заданий (уставок).

На разных уровнях управления задачи отличаются. В центральном производственно-диспетчерском департаменте (ЦПДД) основное внимание уделяется потокам газа, режимы работы оборудования рассматриваются в исключительных случаях. В линейном производственном управлении магистрального газопровода (ЛПУМГ) или операторной цеха, наоборот, 99% внимания уделяется работе оборудования, для потоковых расчетов

проводится учет поставок газа потребителям и начальные замеры для последующих расчетов затрат на собственные технологические нужды.

Изменение «от уровня к уровню» характера задач сказывается на объемах информации, передаваемой на вышестоящий уровень управления. «Снизу-вверх» все больше должны поступать результаты анализа, обработки данных, а не непосредственно измеренные физические величины. На вышестоящих уровнях должны быть предусмотрены возможности доступа к полному объему информации, в том числе реального времени, с нижестоящего уровня управления.

Структура (вариант) системы для комплексной автоматизации диспетчерского управления ГТО представлен на рисунке 5.

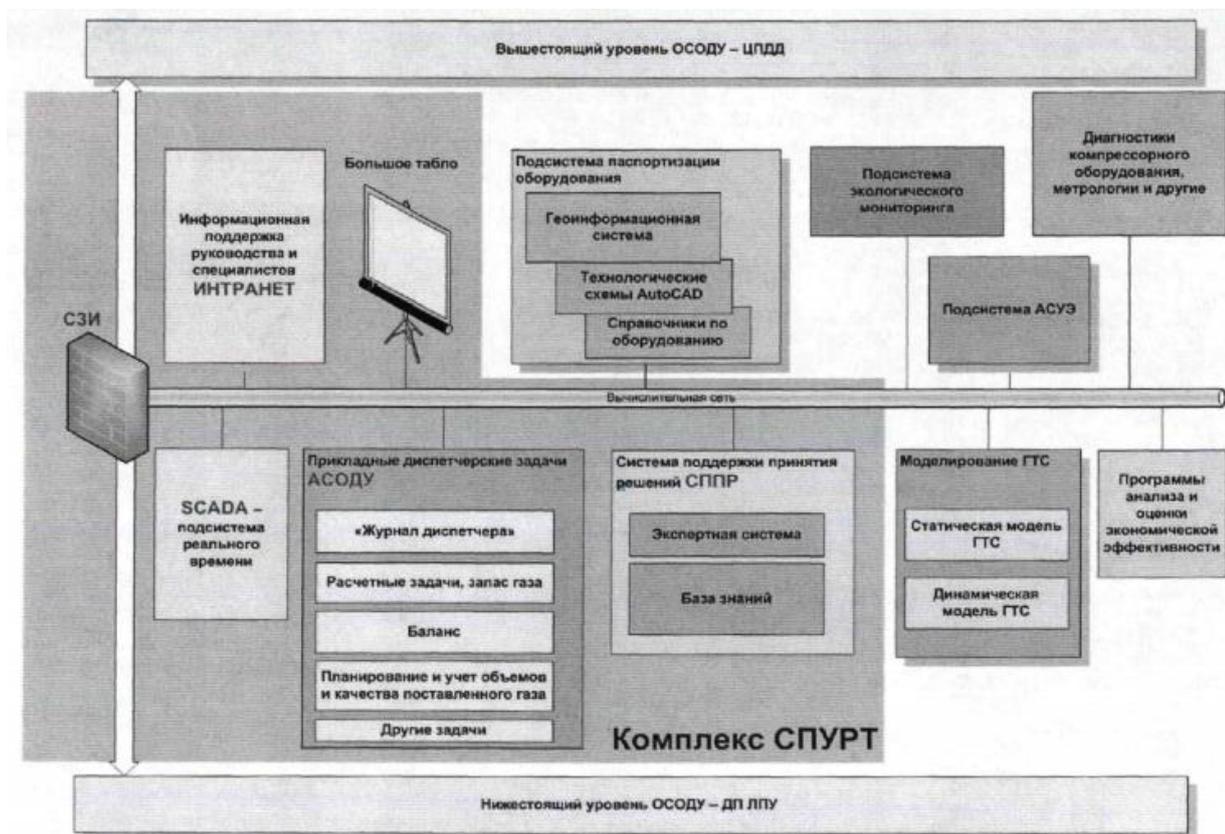


Рисунок 5 – Вариант управления уровня ПДС газотранспортного предприятия

На рисунке отдельно выделена система поддержки принятия решений – важный компонент диспетчеризации.

В разрезе выполняемых бизнес-процессов прикладные задачи диспетчерского управления предлагается разделить на несколько функциональных групп:

- Планирование поставок газа потребителям, выходящего за пределы ГТС (транзитного) газа и расхода газа на собственные и производственно-экономические нужды;
- Ведения «журнала диспетчера» для контроля режимной и суточной информации состояния газотранспортной системы;
- Задачи оптимизации и моделирования, планирование потоков газа, расчет режимов, экспертная система с базой знаний, т.е. составные части СППР;
- Учет и контроль качества газа;
- Выполнение технологических расчетов;
- Формирование и выдачу технологических уставок (заданий диспетчеру) в нижестоящие системы управления;
- Учет месячных фактических показателей поставок газа и расхода газа;
- Ведение оперативного, месячного баланса газа по предприятию, формирование актов передачи газа;
- Планирование, организация и учет ремонтных работ, контроль и оценка влияния работ на пропускную способность ГТС;
- Формирование отчетных форм различной формы;
- Работа с картографической, схемотехнической информацией;
- Информационные обмены, в том числе с соседними предприятиями, ЦПДД;
- Служебные и сервисные задачи.

Важнейшей задачей диспетчерских служб является локализация и ликвидация, а по возможности и предотвращение аварий. При ликвидации аварии во главу угла ставится задача обеспечения безопасности людей.

Другими факторами являются возможная минимизация потерь газа, экологического ущерба, а также потери техники и оборудования. В зависимости от обстоятельств, сохранение бесперебойности поставок при аварии тоже может играть важную роль – например, сохранение газоснабжения жилого фонда или социальных предприятий в холодный период.

Решая задачи контроля и управления, подсистем, реализующие диспетчерское управление оставляют открытыми вопросы анализа режимов работы ГТС и принятия решений в нештатных ситуациях (например, при разрыве трубопровода), оставляя решение этих задач за диспетчером. Учитывая особенности объекта автоматизации, многовариантность режимов работы и значительные потоки данных, принятие решений диспетчером в ограниченные сроки является сложной задачей. Также нельзя исключать «человеческий фактор» - необходимость действовать в сжатых временных рамках при нештатных ситуациях повышает вероятность принятия неоптимальных или даже ошибочных решений.

С целью обеспечения снижения временных затрат и повышения вероятности принятия диспетчером оптимального решения в сложных ситуациях, АСУТП должно быть дополнено системой поддержки принятия решений (СППР). Задачей СППР является помощь диспетчеру в анализе текущего режима работы ГТС и выдача диспетчеру рекомендаций по локализации нештатных ситуаций при максимальном сохранении работоспособности газотранспортной системы. Поставленные задачи решаются СППР за счет первичной автоматической обработки данных, поступающих от локальных систем автоматики, проведения расчетов режимов работы газотранспортной системы (стационарных и нестационарных режимов потоков и запаса газа), а также применения экспертной системы, описывающих возможные ситуации на коллекторе с рекомендациями диспетчеру.

Ядром СППР является реляционная база данных (БД), содержащая нормативно-справочную информацию по объектам и структуре ГТС, фактические данные о режимах работы системы, база знаний.

Как указано выше, одной из основных задач диспетчерских служб уровней ЦПДД и ГТО является оптимизация режима транспорта газа. При оптимизации важно сформулировать критерии, так как таких критериев достаточно много, задача оптимизации является, как правило, многокритериальной.

1.4 Многокритериальность и процедуры принятия решений по управлению ГТС

Когда речь идет о задачах управления и перераспределения потоков транспорта газа, то в большинстве случаев не бывает единственного критерия оценки рациональности принимаемого решения, приходится решать многокритериальную задачу. Многокритериальность обусловлена наличием разнообразных целей и задач для различных режимов функционирования [9]. Например, в штатном режиме функционирования решается задача минимизации энергозатрат на транспортировку при соблюдении плана поставок газа, а в аварийном режиме решается задача минимизации потерь при ограничении на невязки поставок. Эти случаи являются частными вариантами решения оптимизационной задачи с переводом ряда критериев в ограничения. Однако в общем случае критерии могут быть ранжированы по различным принципам и для решения этой задачи можно использовать классические методы многокритериальной оптимизации [10].

В общем случае задача многокритериальной оптимизации формулируется следующим образом:

$y_i = f_i(x) \rightarrow \max, i = 1..n$ – множество критериев;

$x \in Dj, j = 1..m$ – множество ограничений.

Анализ эффективности решения использует отношение Парето:

$$\{\forall x_1, x_2 \in \Omega\} x_1 P x_2 \Leftrightarrow \{\forall i = 1..n\} x_{1i} \geq x_{2i} \cap \exists j_0: x_{1j_0} > x_{2j_0} \quad (9)$$

Или в общем случае:

$$P(\Omega) = \{y \in \Omega \mid \forall y' - (y' P x)\} \quad (10)$$

Множество Парето не дает однозначного решения, а лишь строит эффективную границу, поэтому на практике в основном используются процедуры взвешивания критериев. Чаще всего на их основе производят свертывание (агрегирование критериев) в единый интегральный показатель $W(x)$. Однако и это часто не приводит к требуемому результату. В связи с чем, достаточно эффективным бывает использование различных методов решения многокритериальных задач. К ним стоит отнести метод последовательных уступок, метод идеальной точки и метод выбора по количеству доминирующих вариантов [11].

Когда речь идет об управленческих решениях по выбору режимов функционирования газотранспортной системы, не бывает единственного критерия оценки принятого решения.

Таким образом, руководителю предприятия надо решать следующую многокритериальную задачу:

$$Q(X) = (q_1(X), \dots, q_n(X)) \rightarrow \max \quad X \in D, \quad (11)$$

где $D: h_j(X) \geq 0 \quad j = 1..m$;

$q_i(X) \quad i = 1..n$ – функция (критерий) качества решения X ;

$h_j(X) \geq 0$ – ограничения, устанавливающие допустимую область D возможных изменений решения X .

При большой мощности множества допустимых решений D задачу (11) обычно называют задачей векторной или многокритериальной оптимизации [12]. Если же число альтернативных решений в D невелико (10÷20), то ее называют задачей многоатрибутного принятия решений. В первом случае главное внимание уделяется алгоритмам поиска наиболее предпочтительных решений, во втором – процедурам сохранения альтернатив.

Рассмотрим случай, когда решение X определяется n параметрами (x_1, \dots, x_n) является вектором и область D чаще всего имеет континуальную мощность, т.е. рассматривается задача многокритериальной оптимизации.

Решение $X_{i \max} = \arg \max q_i(X)$ называется локально-оптимальным (предельным, экстремальным, маргинальным) и определяет наилучшее решение только по i -му критерию без учета остальных.

Решение $X \in D$ является эффективным (парето-оптимальным, не доминирующим, неподчиненным), если не существует решения $X \in D$, для которого: $q_i(X) \geq q_i(X^*)$ $i=1..n$ и значение хотя бы одного критерия лучше (больше), нежели у X^* образует множество Парето (область компромиссов) P .

Удовлетворительными решениями X^* являются допустимые решения ($X \in D$), которые по всем критериям не хуже заданных пороговых значений качества. Они не всегда являются эффективными.

Формальным решением задачи является множество Парето P . Для выбора наиболее предпочтительного решения X^{**} необходимо получение и обработка дополнительной информации, которой располагает лицо, принимающее решение (ЛПР).

При использовании адаптивного подхода человеко-машинная процедура решения задач векторной оптимизации представляет собой последовательное уточнение наиболее предпочтительного решения X^{**} (по мнению ЛПР) путем перехода от одной альтернативы $X^{**} \in P$ с учетом информации I_i , получаемой от ЛПР. Схематически процесс поиска решения X^{**} можно представить в следующем виде:

$$X_1^*, Q_1^* \xrightarrow{I_1} X_2^*, Q_2^* \xrightarrow{I_2} \dots \xrightarrow{I_{l-1}} X_l^*, Q_l^* \xrightarrow{I_l} \dots \xrightarrow{I_{N-1}} X_N^*, Q_N^* \quad (12)$$

где $X_N^* = X^{**}$, $Q_l^* = Q^*(X_l^*) = (q_1(X_l^*), \dots, q_l(X_l^*))$ $l = 1..N$.

В процессе реализации (12) происходит параллельно два вида адаптации: ПК к системе предпочтений ЛПР и ЛПР к задаче. Адаптация первого типа (ПК к ЛПР) связана с учетом информации, получаемой от ЛПР. Этот процесс связан с оптимизацией, представляемой ЛПР.

Человеко-машинные процедуры многокритериальной оптимизации можно разделить на две группы: одношаговые и многошаговые [13]. В одношаговых процедурах ЛПР необходимую информацию для осуществления

перехода $X_l^* \xrightarrow{I_l} X_{l+1}^*$ может представить в одном сеансе диалога, в многошаговых процедурах – в нескольких сеансах.

На рисунке 6 представлены блок-схемы этапов осуществления переходов $X_l^* \xrightarrow{I_l} X_{l+1}^*$ в одношаговых и двушаговых процедурах многокритериальной оптимизации. Блоки ψ, ψ_1, ψ_2 готовят информацию о рассматриваемом решении в необходимой форме для ЛПР. Например, $S_l = \psi(X_l^*) = \{X_l^*, q(X_l^*) : i = l..k\}$, т.е. часто для оценки на рассмотрение ЛПР представляются значения параметров полученного решения и соответствующие значения критериев.

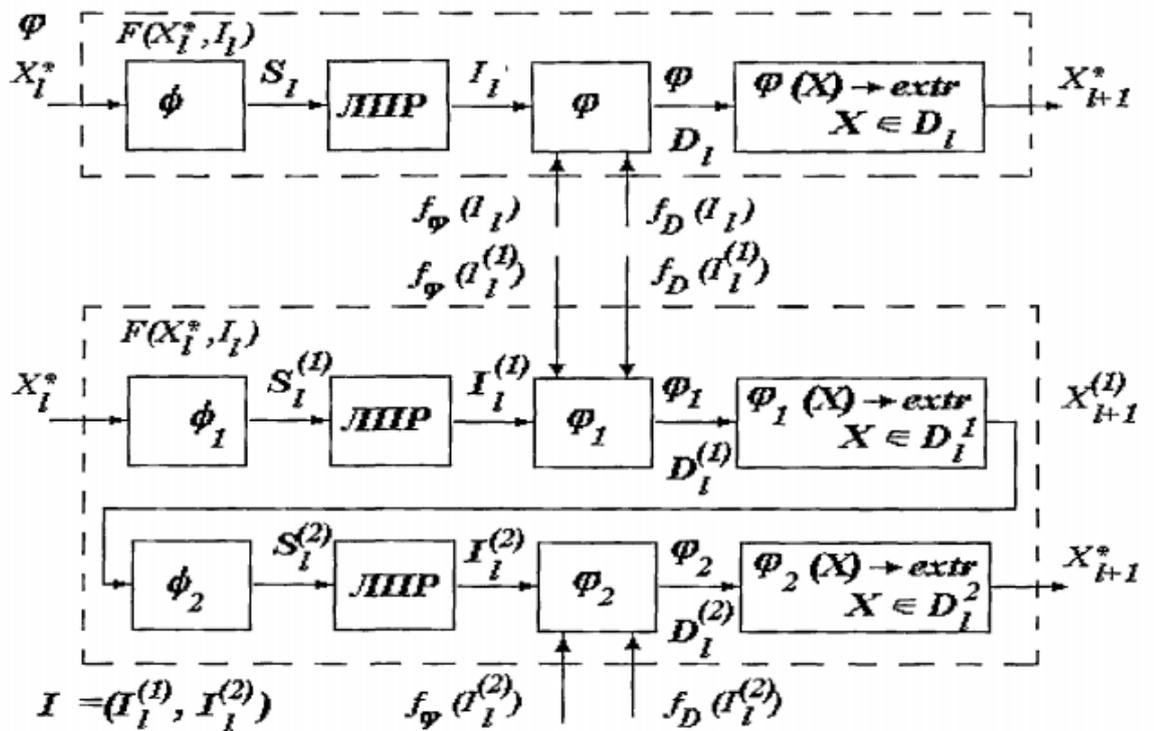


Рисунок 6 – Этапы переходов в одношаговых и двушаговых процедурах

Адаптация ЛПР к задаче происходит в результате многократной реализации процесса преобразования: $Q_i^* \rightarrow Q_i^*, i = 1..N$. В процессе итераций ЛПР осмысливает соотношение между своими потребностями и возможностями их удовлетворения объектам оптимизации. Компромисс, необходимый для решения этой задачи, образуется в результате «проб и ошибок» ЛПР в его попытках улучшить решение на каждом шаге. Осознание

компромисса и его формы образуется в процессе диалога и представляет собой адаптацию ЛПР к задаче.

Правила базы знаний разрабатываются, исходя из понимания режимов работы контролируемого объекта и опыта предыдущих действий в аналогичных или похожих ситуациях. База знаний пополняема и расширяема. В БД сохраняются и результаты обработки данных СППР, что делает их доступными прочим системам. В состав СППР также входит интерактивный редактор правил, который позволяет сопровождать и расширять базу знаний.

1.5 Построение многоуровневых АСУТП

Основными проблемами при разработке и эксплуатации системы управления следует считать: разработку модели системы, адекватной реальному объекту управления, разработку методов и алгоритмов, позволяющих автоматизировать решение задач оперативного диспетчерского управления.

Для преодоления указанных трудностей при разработке сложных систем наряду с соответствующими математическими моделями и методами, нельзя не отметить широко используемые методы общей теории систем, обеспечивающие снижение размерности задачи с использованием декомпозиционного (многоуровневого) подхода [14]. Этот подход является основным при решении задач большой размерности. В рамках этого подхода, исходя из сложной глобальной задачи, за счет ее декомпозиции образуют иерархию задач, которые решаются по очереди. При этом координация (согласование) результатов решения частных подзадач содействует достижению целей более высокого уровня.

Декомпозиция на уровне или подзадачи определяется особенностями системы или задачи, и существующими взаимосвязями. При использовании декомпозиции необходимо обеспечивать согласование задач, т.е. скоординировать их. При этом, как правило, используется иерархическая структура координирующих элементов. Вышестоящие и нижестоящие элементы связывают два вида сигналов:

- Координирующий (сверху вниз) конкретизирует задачи, подлежащие решению на уровне нижестоящих элементов;
- Информационный (снизу вверх) информирует о состоянии нижестоящего уровня.

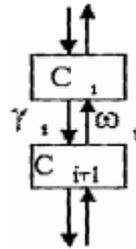


Рисунок 7 – Двухуровневая структура координирующих элементов

Вышестоящий элемент (в связи с приоритетом действий) указывает, как должен вести себя нижестоящий элемент, т.е. определяет выбор координирующей переменной. Способ координации определяется тем, как элемент нижестоящего уровня сообщается с другими элементами своего уровня, а также тем, какие характеристики могут изменяться с целью улучшения глобального результата. В связи с этим различают следующие основные способы координации:

1. Координирование путем прогнозирования взаимодействий – нижестоящие элементы вырабатывают локальные решения в предположении, что реальные связующие сигналы, которые к ним в дальнейшем поступят, будут соответствовать опорным (прогнозируемым) сигналам.

2. Координация путем оценки взаимодействий – вышестоящий элемент задает диапазон значений связанных сигналов. Нижестоящий элемент рассматривает их как возмущения, которые могут принимать любое значение в заданном диапазоне.

3. Координирование путем «развязывания» взаимодействий – элементы нижестоящего уровня трактуют связующий сигнал как дополнительную переменную решения. Они решают свои задачи так, как если бы связующие сигналы можно было выбрать произвольно.

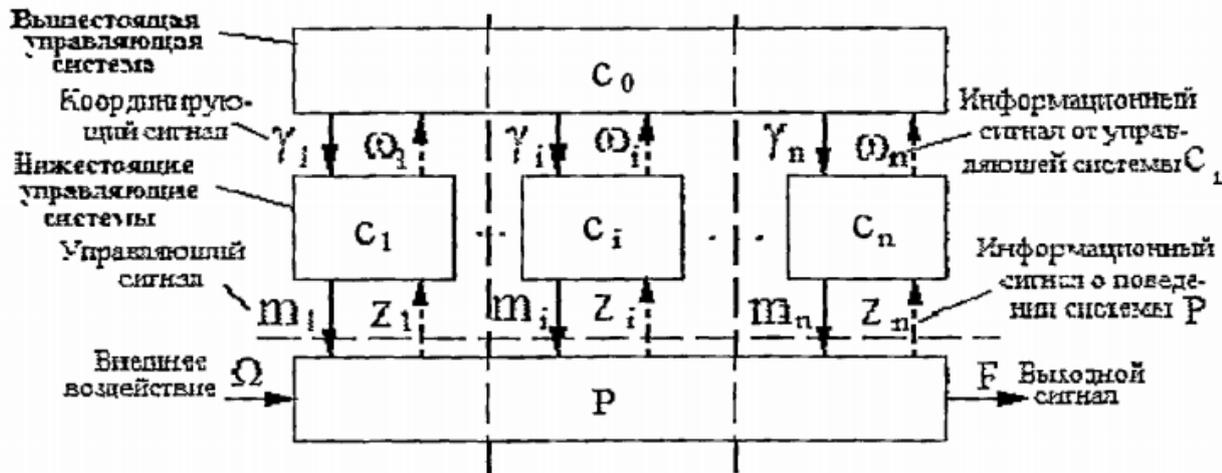


Рисунок 8 – Структура двухуровневой системы управления

Проблему координации в многоуровневых системах с достаточной общностью можно рассматривать на примере двухуровневой системы, потому, что они просты и их можно использовать в качестве моделей при синтезе более сложной системы.

На рисунке 8 обозначено:

$\gamma_i \in G_i$ – множество координирующих сигналов γ ;

$\omega_i \in W_i$ – множество информационных сигналов от управляющей системы c_i ;

$m_i \in M_i$ – множество управляющих сигналов m_i (входы);

$z_i \in Z_i$ – множество информационных сигналов (сигналов обратной связи) о поведении процесса P ;

$\theta \in \Omega$ – множество внешних возмущающих воздействий θ ;

$F \in \Phi$ – множество выходов процесса P ;

$M = M_1 \times \dots \times M_n$ – множество всех управляющих сигналов (декартово произведение множеств $M_i, i=\overline{1, n}$).

Тогда процесс P может представляться отображением:

$$P: M \times \Omega \rightarrow F \quad (13)$$

Локальная управляющая система реализует отображение:

$$C_i: G_i \times Z_i \rightarrow M_i \quad (14)$$

И представляет собой систему вход-выход.

Управляющая система C_0 осуществляет отображение:

$$C_0: W \rightarrow G \quad (15)$$

Где $W = W_1 \times \dots \times W_n$ – декартово произведение W_i ;

C_0 не взаимодействует напрямую с P , а C_i – не связаны явно между собой, хотя процесс P может заставить C_i взаимодействовать между собой. Поэтому процесс P можно рассматривать как состоящий из n подпроцессов P_i , каждый из которых управляется подсистемой:

$$P_i: M_i \times U_i \times \Omega \rightarrow F \quad (16)$$

U_i – множество (входных) сигналов u_i , посредством которых подпроцесс u_i связан с другими подпроцессами.

Математическим утверждением, не зависящим от типа решаемых задач и определяющим координируемость подпроцессов, является постулат совместимости. Постулат утверждает, что решаемые на нижнем уровне (локальные) задачи скоординированы относительно решаемой глобальной задачи, всякий раз, когда они скоординированы относительно задачи, решаемой на уровне вышестоящего элемента.

Основными проблемами координации являются следующие:

1. Синтез координирующего элемента.
2. Выбор методов или процедур координации.
3. Пробелы, заключающиеся в модификации задач C_1 , которые были бы скоординированы относительно задачи, решаемой на уровне вышестоящего координирующего элемента D_0 .

$$G \subseteq G', D(\gamma) \subseteq D'(\gamma), \forall \gamma \subset G \quad (17)$$

В настоящее время наибольшее распространение получил метод декомпозиции целевой функции за счет фиксации части входящих в глобальную функцию качества F переменных:

$$F_i(m_i, \theta_i) = (\tilde{m}_1, \dots, \tilde{m}_{i-1}, m_i, \tilde{m}_{i+1}, \dots, \tilde{m}_n, \tilde{\theta}_1, \dots, \tilde{\theta}_{i-1}, \theta_i, \tilde{\theta}_{i+1}, \dots, \tilde{\theta}_n) \quad (18)$$

Где $F_i(m_i, \theta_i)$ – локальная функция качества; m_i, θ_i – пара вход-выход.

Очевидно, что

$$F_i(m_i, \theta_i) = F(m, \theta) \text{ для } \forall (m, \theta) \in M \times \Omega \quad (19)$$

F_1 часто можно упростить за счет исключения из F не влияющих на F_1 показателей. Может потребоваться модификация F_1 , когда необходимо решить задачу координации. При этом задача координации на уровне C_0 может быть представлена как оптимизационная задача.

Найти координирующий сигнал $\bar{\gamma} \in G$, такой, что

$$F_0(P_0(\bar{\gamma})) = \min_{F_0G} F_0(P_0(\gamma)) \quad (20)$$

А выходная функция для этого должна быть задана в виде:

$$P_0(\gamma) = (m(\gamma), P(m(\gamma))) \quad (21)$$

И отражать взаимодействие между всеми управляющими воздействиями.

При реализации любого принципа координации должна быть монотонная зависимость между глобальной функцией качества и функциями качества нижестоящего уровня, а на локальные и глобальные решения накладываются ограничения.

Таким образом, для организации систем управления ГТС необходимо использование математических методов, основанных на принципах общей теории систем и их реализации.

1.6 Нейросетевые модели в задачах идентификации состояния ГТС

Нейросети (НС) состоят из элементов, функциональные возможности, которых аналогичны большинству функциональных возможностей биологического нейрона [15]. Не надо думать, что искусственные нейронные сети представляют собой полное подобие сетей естественных. В большинстве моделей НС осознанно не рассматриваются важные характеристики естественных нейронов. Но даже такая грубая аппроксимация позволяет НС сохранить некоторые удивительные свойства естественного мозга. Они обучаются на основе опыта, используют прецеденты распространяя их на новые случаи. Они способны менять свое поведение в зависимости от состояния внешней среды т.е. НС самонастраиваются и самоорганизуются. Сеть способна делать правильные выводы на основе неполных и неточных

данных в условиях зашумленного сигнала и сохранять свою работоспособность при отказе значительного числа элементов. И что очень важно, НС способна обобщать полученную информацию и выдавать обобщенный образ. Другими словами, НС способна на основе имеющихся данных и знаний генерировать новые знания.

Более мощными являются сети многослойные. В них сигнал после прохождения слоя через аксоны нейронов попадает на синапсы нейронов следующего слоя. Необходимым условием работы многослойной сети является нелинейность активационной функции, так как в случае линейности функции любая многослойная сеть, очевидно, может быть приведена к однослойной, причем матрица весов этой однослойной сети могла быть получена произведением матриц весов слоев. Развитие многослойных сетей долгое время сдерживалось отсутствием методов решения некоторых теоретических проблем, решенных в настоящее время. Если сигнал в нейронной сети после выхода из слоя попадает на его вход, то такая сеть называется НС с обратной связью (ОС). В отличие от обычных сетей состояние НС с ОС зависит не только от входных данных, но и от выходов нейронов, такие сети могут менять свое состояние с течением времени и обладают функцией памяти.

Обучаемость – самая важная способность НС, лежащая в основе ее функционирования. Сеть обучается, для того, чтобы для некоторого множества входов давать желаемое множество выходов, что достигается за счет подстройки весов. Различают обучение с учителем и без учителя. В первом случае для каждого входного вектора существует выходной целевой вектор, веса сети подстраиваются в соответствии с этой обучающей парой. Во втором случае обучающее множество состоит только из входных векторов, обучающий алгоритм подстраивает веса так, чтобы получались согласованные выходные векторы, близким входам должны соответствовать близкие выходы. Процесс обучения выделяет статистические свойства обучающего множества. После обучения веса в НС больше не меняются, и сеть использует

накопленный опыт для решения поставленной перед ней задачи. Большинство методов обучения построено с использованием концепции Хэбба, предполагающей возрастание веса синапса в том случае, если активны оба нейрона (источник и приемник). При этом используемые пути усиливаются, сеть накапливает «привычки».

Как и многие другие НС, сеть встречного распространения работает в двух режимах: нормальном и режиме обучения. При нормальном функционировании слой Кохонена в простейшем виде работает в духе «победитель забирает все», т.е. для данного входного вектора один и только один нейрон выдает 1, все остальные – 0. Единичное значение принимает нейрон с максимальным значением NET. Значение сигнала NET вычисляется обычным образом:

$$NET_j = \sum_i x_i w_{ij} \quad (22)$$

Выходной сигнал слоя Гроссберга

$$NET_j = \sum_i k_i v_{ij} \quad (23)$$

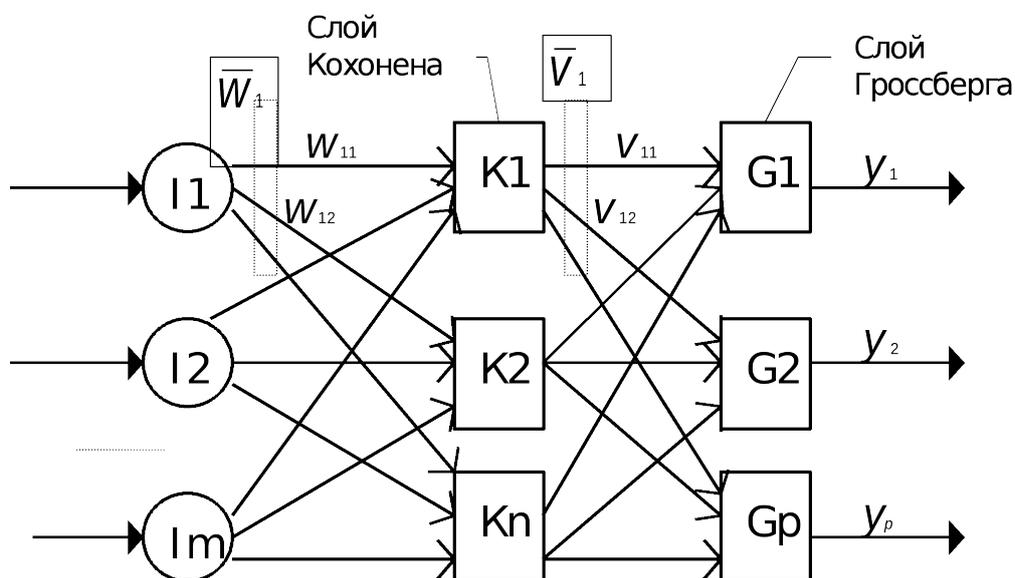


Рисунок 9 – Сеть встречного распространения

Фактически каждый нейрон выдает величину веса, которая связывает его с выигравшим нейроном слоя Кохонена. Слой Кохонена классифицирует входные векторы в группы похожих векторов. Это достигается подстройкой

весов, так как близкие входные вектора активизируют один и тот же нейрон слоя. Обучение слоя Кохонена – это обучение без учителя. В начале желательно провести нормализацию входных векторов, путем деления его компонент на длину вектора:

$$x'_i = \frac{x_i}{\sqrt{(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}} \quad (24)$$

При обучении на вход подается вектор и вычисляется его скалярное произведение с векторами весов, связанных со всеми нейронами Кохонена. Нейрон с максимальным значением произведения объявляется победителем, и его веса модифицируются. NET является мерой сходства между входным вектором и вектором весов, и процесс обучения состоит в выборе нейрона Кохонена, с весовым вектором наиболее близким к входному вектору, и дальнейшее их сближение. Сеть самоорганизуется таким образом, что данный нейрон Кохонена имеет максимальный выход для данного входного вектора.

$$w' = w_c + \alpha(x - w_c) \quad (25)$$

Где w' - новое значение веса, соединяющего входной компонент x с выигравшим нейроном; w_c - значение веса до корректировки; α – скорость обучения, в начале обучения равна около 0,7, затем уменьшается. Всем весам в сети перед началом обучения необходимо придать начальные значения. Общепринятым способом является использование небольших случайных значений, затем веса нормализуют. Рандомизация весов может породить серьезные проблемы, т.к. входные векторы обычно распределяются неравномерно, и часть нейронов останется невостребованной. Существует несколько методов решения данной проблемы. Один из них метод выпуклой комбинации: все веса иницируются величиной $1/\sqrt{n}$, где n – число входов. Каждой компоненте входа x придается значение $\alpha x_i \div \{[1/\sqrt{n}]1 - \alpha\}$, вначале α мала и $x_i \approx 1/\sqrt{n}$, в процесса обучения α растет. Этот метод хорошо работает, но требует дополнительных расчетов. Надо отметить, что метод сети Кохонена обладает полезной и интересной особенностью извлекать

статические свойства входных данных. Это свойство чрезвычайно полезно при построении систем ИИ и, в частности ЭС.

1.7 Программные аспекты создания СППР

При автоматизации ГТС и моделей функционирования его деятельности встают вопросы формализации решающих правил принятия решений. Опыт автоматизации показывает, что процесс создания работоспособной системы правил очень трудоемкий и на практике составленное множество правил никогда не оказывается полным.

Структура системы принятия решения должна отражать природу источников информации. При формировании структуры должны быть учтены последствия выбора компонентов и моделей данных.

Так как основной целью автоматизации является поддержка принятия решений, то основанные принципы разработки могут быть заимствованы из теории и практики разработки экспертных систем [14, 16].

В экспертной системе можно выделить центральную структуру, называемую базой знаний (БЗ), которая содержит описание объектов и свойств, для решения задач которой предназначена данная ЭС, и подсистему вывода для преобразования состояний БЗ. В общем случае – это совокупность правил, позволяющих манипулировать рассуждениями эксперта. Каждое правило состоит из описания результатов его использования и набора условий. Под стратегией управления в ЭС понимают закон выбора и запоминания испытанных последовательностей правил и состояний БЗ. Функционирование ЭС можно описать как процесс поиска, во время которого правила подвергаются анализу с точки зрения выявления некоторой их последовательности, которая позволяет выделить из БЗ информацию о требуемом решении.

Альтернативные решения. Необходим тщательный анализ различных подходов к решению проблемы, а также гарантия, что за время разработки ЭС данный вопрос не потеряет своей актуальности.

Набор тестовых примеров. Должен быть разработан детальный список тестовых примеров решения задач. После получения от экспертов сведений о правилах, которыми они пользуются в каждом случае, эти тесты можно использовать для проверки и уточнения собранных эмпирических правил.

Помощь эксперта. Выбор экспертов является наиболее существенным моментом, так как требуется привлечение к созданию ЭС одного или нескольких специалистов с опытом «ручного» решения задач, способных выделить хороший набор тестовых примеров, участвующих в проекте на всем его протяжении и заинтересованных в получении положительного решения.

Идентификация. На этом этапе уточняются задачи, решаемые с помощью ЭС, специализация и число экспертов, собирается не менее десятка тестовых примеров решения.

Формализация. На этом этапе проектировщики ЭС взаимодействуют с экспертом, который демонстрирует на ряде примеров процесс решения задачи. Проектировщики выделяют информацию, имеющую непосредственное отношение к выработке решения, и фиксируют на полужформальном языке основные этапы рассуждений эксперта.

Моделирование. В ЭС ряд промежуточных задач проектирования (к ним относятся, в первую очередь, контроль полноты информационного описания, осуществить, который ручным способом практически невозможно) не может быть качественно и окончательно реализован без тщательного моделирования.

Разработка систем поддержки принятия решений связана с изучением множества взаимозависимых проблем, касающихся природы, ситуаций принятия решений и обеспечивающих сервисные средства, технологии.

Окружение (внешняя среда) – множество объектов и условий вне границ системы, которые взаимодействуют с системой, но не контролируются ею.

Роль – возможное влияние системы на ее окружение. Определяет, какими средствами система располагает и что является ее целями.

Компоненты системы – идентифицированные элементы внутри системы, обычно представляющие собой функциональные блоки. Для выделения компонентов используются два общих принципа: разделение в соответствии с функционированием и специализация в зависимости от областей окружения. Первый принцип связан с требованием эффективного выполнения частных задач, а второй – с необходимостью образовывать интерфейсы с частными аспектами окружения.

Архитектура – отражает связи между компонентами системы и между компонентами и окружением. Основной принцип организации элементов системы – оптимальный баланс между координацией и автономией. Предпочтительно обеспечивать минимальную взаимозависимость компонентов, которая еще позволяет системе выполнять ее функции как единого целого.

Архитектура системы определяется окружением, в котором функционирует система, и методом, с помощью которого они воздействуют на окружение. Следовательно, рассмотрению компонентов организации системы должно предшествовать изучение внешних аспектов.

Системные ресурсы – элементы, которые используются или потребляются при построении и функционировании системы и, как и окружение, находятся вне границ системы, однако частично контролируются ею.

Распределение системных функций между специфическими программными модулями являются вопросом организации и распределения ресурсов. Определены три основные функции или концептуальные компоненты системы: управление диалогом между пользователем и системой, управление данными и управление моделями.

Компонента управления данными занимает центральное место в СППР, так как все уровни поддержки процесса выработки решения основываются на доступе к данным.

Необходимость управления моделями обусловлена природой задач, для решения которых используется СППР. Как отмечалось ранее, эти задачи лишь частично структурированы и, следовательно, требуют для своего решения манипуляции не только данными, но и описывающими их моделями

Интерфейс пользователя служит для характеристики синтаксических аспектов взаимодействия (специфика устройств ввода/вывода, стиль взаимодействия и т.д.).

Функция управления диалогом применяется для определения базовой семантики взаимодействия и поддержки контекста взаимодействия, который может меняться от строго predetermined системой до «свободно» направляемого пользователем.

Пользователь запросов использует для обеспечения двусторонней трансляции между пользовательским словарем и внутренним словарем моделирования доступа к данным системы.

Управление данными, т.е. возможность сохранять их, производить поиск и манипулировать ими, является фундаментальным по отношению к другим средствам, которые обеспечивают принятое решение. Специфическими средствами, необходимыми для управления данными в системе, являются:

- База данных и ее система управления (СУБД) – для обеспечения механизма доступа к данным;
- Справочник данных – для поддержки определений данных и описания их типов и источников в системе;
- Средство запроса – для интерпретации запросов на данные (от разнообразных компонентов) определения стратегии получения ответов (возможно при обращении к словарю данных), формулирования запросов на специфические данные СУБД и выдачи данных на первоначальный запрос;
- Функция переноса – для установления внешних источников выделения данных, осуществления связи СППР с соседними системами (базами данных, другими СППР, персональными и централизованными).

Наличие механизма явного управления моделями и вообще поддержка деятельности, связанной с моделированием, является специфической чертой СППР, которая отличает их от традиционных систем обработки информации. Возможность вызывать, испытывать в действии, изменять комбинировать и проверять модели – важное средство ядра СППР.

Управление моделями обеспечивается с помощью следующих средств:

- Системы управления базой моделей (СУБМ), используемой для поиска, генерации, преобразования параметров и реструктурирования моделей, включения «справочника модели» с целью поддержки информации о доступных моделях;
- Блока выполнения моделей – предназначенного для управления прогонкой модели осуществления связи между моделями;
- Процессора команд моделирования, необходимого для интерпретации инструкций моделирования, получаемого из блока управления диалогом, и направления выработанных команд в СУБМ или блок выполнения моделей;
- Интерфейса с базой данных, используемого для поиска элементов данных в базе, прогонке моделей и хранения выходной информации модели с целью дальнейшей обработки, рассмотрения или использования ее в качестве входных данных другой модели.

Связи между компонентами, природа связей и факт их наличия в терминах окружения и роль освещаются в литературе слабо. С системной точки зрения ресурсы следует включать в рассмотрение после того, как завершился первый цикл проектирования СППР – выбраны компоненты и осуществлена их «идеальная» организация. Основные вопросы, решаемые на этой стадии: «Как лучше реализовать СППР? Насколько близко можно продвинуться к идеальной системе, какие ресурсы должны быть использованы для успешного построения и эффективной реализации СППР?».

Используемые в СППР ресурсы распадаются на четыре основные категории: аппаратное обеспечение, программное обеспечение, людские ресурсы и данные.

Аппаратное обеспечение включает в себя процессоры, терминал, среду хранения, сети передачи данных и т.д. Ни один из видов этого обеспечения не является уникальным для СППР и используется в подавляющем большинстве систем автоматизированной обработки информации.

Программное обеспечение СППР можно разделить на четыре типа: общецелевые языки программирования, средства СППР, генераторы СППР и обобщенные СППР. Ясно, что все программное обеспечение можно построить на основе общецелевых языков программирования, и любая СППР может быть написана при помощи языка одного типа.

Активизация разработок в области создания СППР объясняется широким распространением персональных компьютеров, приближающих ЛПР к информационным и аналитическим ресурсам, и появлением новой методологии экспертных систем, позволяющих ставить и решать нетрадиционные, но наиболее важные, как в организационных системах, так и в системах, имеющих слабые уровни формализации процессов.

Сформированы практические требования, которым должны удовлетворять разрабатываемые СППР, в их числе: удобный пользовательский интерфейс, наличие специального языка, близкого к естественному; интерактивный режим работы СППР, обеспечивающий быстрый обмен информацией между ЛПР и АСУТП; высокая объясняющая способность СППР, позволяющая пользователю в случае необходимости проверить правильность этапов решения задачи:

- Открытость СППР с точки зрения возможности ее дополнения и перестройки в ходе практической эксплуатации;
- Адаптивность СППР, позволяющая ей обучаться в ходе настройки и практического использования;

- Наличие программных и аппаратных средств анализа качественной информации, оперирования нечеткими понятиями и описаниями

Накопленный опыт эксплуатации СППР свидетельствует, что для разработки эффективных и необходимых в практической деятельности систем требуется соблюдение некоторых условий: задачи должны быть достаточно сложными (т.е. их решение недоступно для неспециалиста и требует больших временных затрат) и практически значимыми; задачи должны быть качественными, для их решения должно быть необходимым применение эвристических методов (в связи с неполнотой данных и знаний, сложностью формализации предметной области).

Включение в СППР математических и статических моделей функционирования ГТС позволит расширить область применения до развития тренажеров. Возможно использование системы в виде деловых игр для обучения персонала, профессиональная деятельность которого связана с принятием решений по выбору стратегии ГТС и т.д.

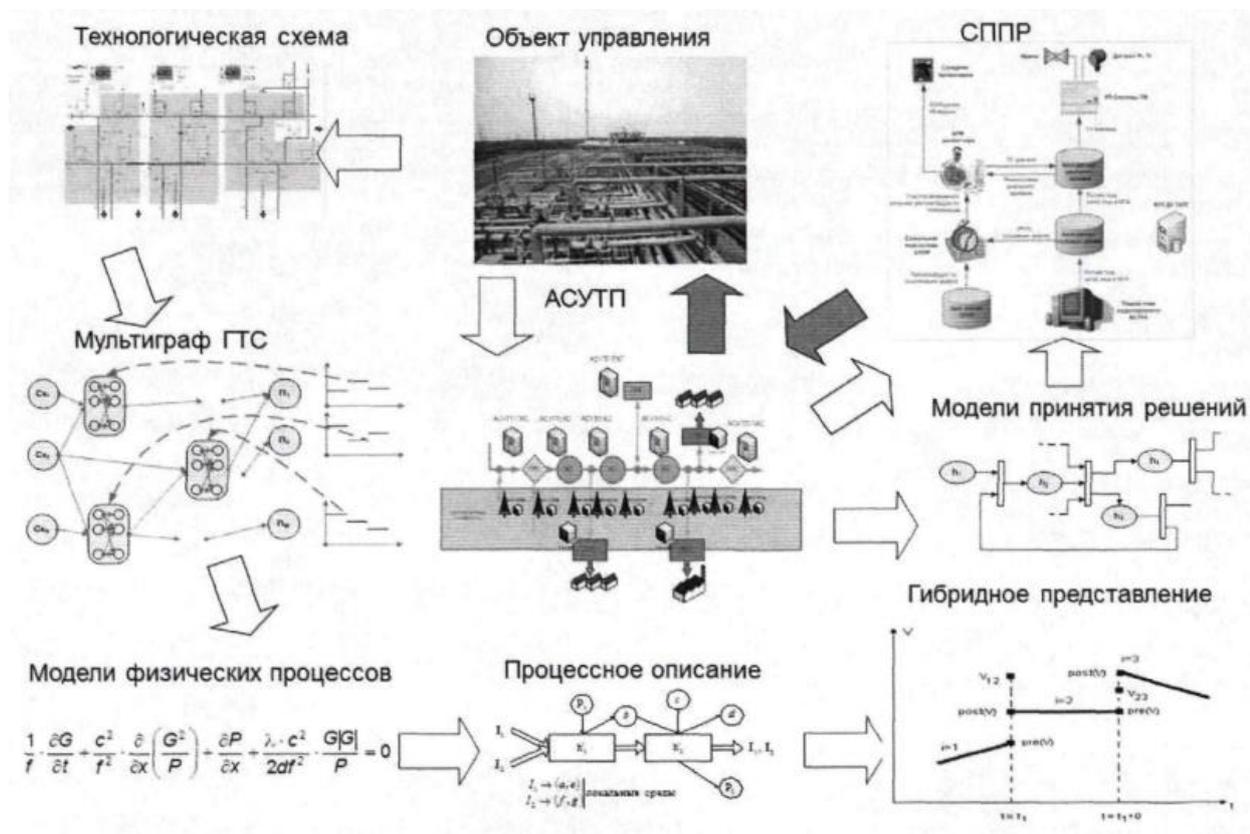


Рисунок 10 – Структура работы

Структура работы соответствует структуре СППР и взаимосвязи ее компонентов представлена на рисунке 10. Имеется ГТС в пределах газотранспортного объединения, неотъемлемой частью которой, является система оперативно-диспетчерского контроля и управления. ГТС формализована в работе в виде мультиграфа. Все компоненты мультиграфа взвешены моделями физических процессов.

Для интеграции, как физических процессов, так и моделей управления в оболочку СППР предлагается использование формализации в виде гибридного автомата, объединяющего как непрерывные так и дискретные процессы.

Важнейшим элементом СППР являются задачи принятия решений основанные на методах темпоральной логики, нейросетей, управляемых сетей и других.

В диссертации рассмотрены теоретические подходы, нашедшие практическую реализацию в конкретных СППР.

Все вышесказанное предназначено для создания многоуровневой СППР с учетом жестких требований к эффективности и надежности АСУТП.

2. Методы и модели СППР в АСУТП ГТС

Идея состоит в том, что модель исследуемой системы становится составляющей локального поведения в одном или нескольких состояниях гибридного автомата, задающего алгоритм управления. Кроме того, возникает необходимость интеграции всех моделей, как анализа так и синтеза АСУТП.

Проведенный анализ показателей качества, используемых при выборе структуры распределенных систем управления, показал, что для задач выбора структуры АСУТП, являющихся по сути многокритериальными, можно выделить в качестве важнейших, критериальных стоимостные и надежность показатели при ограничении на временные и точностные.

2.1 Разработки методов и моделей выбора структуры ТРАСУТП

Постановка задачи выбора структуры ТРАСУТП на начальной стадии создания может быть сформулирована следующим образом [17]: заданы

возможные варианты иерархического построения системы; множество вычислительных и диспетчерских задач, их характеристики и взаимосвязи; множество состояний системы, в которых на заданном уровне отказоустойчивости требуется поддержать работоспособность; возможные виды технических средств, каналов связи и их характеристики; регламентированные стоимостные, надежность и временные показатели; статистические данные о поступлении в систему из внешних источников заявок на решение задач; модели объектов управления, методические указания и другие источники получения значений эффективности решаемых задач. Требуется найти такой вариант структуры ТРАСУТП, который минимизирует целевую функцию, учитывающую стоимость и отказоустойчивость системы, при соблюдении ограничений на ресурсы, время выполнения функций, потери эффективности и ряд других [18].

Математическое описание варианта иерархического построения (ВИП), вариант распределения задач (ВРЗ) и ВТС как композиция элементов территориально распределенной системы управления (ТРСУ) формируется посредством задания отношений связности. Так, ВИП $q_a \in Q, a = \overline{1, A}$, где q множество вариантов иерархии, a – число вариантов, определяется число уровней N^a , числом узлов b_k на каждом уровне k , где:

$k = \overline{1, N^a}, \tilde{i}_k = \overline{q, b_k^a}, \tilde{i}_k$ – номер узла уровня k , группировкой узлов нижестоящего уровня по отношению к вышестоящему. Таким образом, каждый узел системы определяется отношением связности $\gg \tilde{i}_k, k \gg \langle \tilde{j}_n, n \gg$ (где $\tilde{j}_n = \overline{1, b_n^a}, n = \overline{(k+1), N^a}$), обозначающим, что \tilde{i}_k -й узел k -го уровня подчинен \tilde{j}_n -му узлу n -го уровня, т.е. получает из этого узла управляющие сигналы. Верхний уровень, как правило, состоит из одного узла. Обозначим $\ll \tilde{i}_k, k \gg \langle \tilde{j}_n, n \gg \omega_i, \omega_i \in W^a, i = \overline{1, J^W}$, где W^a – множество узлов системы при варианте иерархии q_a, J^W – мощность упорядоченного множества индексов узлов системы, пронумерованных от первого узла нижнего уровня до последнего узла верхнего уровня. Множество задач, решаемых в системе,

зависит от ВИП q_a и обозначается $U^a = \{U_m\}, m = \overline{1, \tilde{M}^a}$, где M^a – общее число задач при варианте q_a [19]. Оно состоит из двух непересекающихся подмножеств: $U^a = \{U_m\}, m = \overline{1, \tilde{M}^a}$ задач, решаемых вычислительной техникой, установленной в узлах управления (\tilde{M}^a – число таких задач) и $U^{*a} = \{U_m\}, m = \overline{\tilde{M}^a + 1, M^a}$, задач, решаемых диспетчерами во взаимодействии с ТРСУ в узлах управления верхних уровней иерархии, т.е. $U^a = \tilde{U}^a \cup U^{*a}$ и $\tilde{U}^a \cap U^{*a} = \emptyset$. При фиксированном распределении задач каждому узлу соответствует набор задач U^a .

В каждом узле устанавливается определенный комплект ВТ из множества допустимых комплектов ВТ узла ω_i . Это множество для каждого конкретного узла является частью множества всех возможных комплектов ВТ.

Аналогично из всего множества возможных реализаций ТМ предварительно выбирается подмножество допустимых ТМ узла ω_i . В возможных для данной иерархической структуры верхних уровнях иерархии может быть выбрано одно из значений диспетчерского ресурса, входящее в множество допустимых значений диспетчерских ресурсов узла ω_i . Элемент $\tilde{d}_{i_s}^i$, компоненты которого есть определенные: комплект ВТ, ТМ и диспетчерский ресурс, определяет l_i -й ВТС узла ω_i .

Из множества $\tilde{D}^i = \{d_{i_s}^i\}$ всех возможных ВТС узла может быть выделено подмножество допустимых ВТС узла ω_i , $l_i = \overline{1, L_i}$.

Подмножество d_s , элементы которого есть допустимые ВТС узлов системы, представляет собой ВТС ТРСУ.

Подмножество d_s образуют некоторое множество ВТС ТРАСУТП

$$\tilde{D} = \{d_s\}, s = \overline{1, \tilde{S}} \quad (26)$$

Однако реально не все сочетания ВТС различных узлов допустимы. Множество допустимых ВТС ТРАСУТП $D \subset \tilde{D}$ состоит из подмножеств, элементы каждого из которых совместимы, $D = \{d_s\}, s = \overline{1, S}$, где $S = \tilde{S}/\bar{S}$, \bar{S} – множество индексов запрещенных сочетаний ВТС различных узлов.

Проделанный анализ наиболее существенных факторов, влияющих на эффективность ТРСУ, показал необходимость учета в первую очередь стоимостных и надежностных показателей. В качестве комплексного критерия потерь эффективности предлагается функционал J_0 [20], учитывающий приведенные к единице времени затраты на решение задач в узлах системы J_1 , затраты на передачу информации J_2 и потери эффективности системы от нерешения задач при отказе аппаратуры узлов J_3 , т.е.:

$$J_0 = J_1 + J_2 + J_3 \quad (27)$$

На основании формализованного описания элементов ТРАСУТП и вводимых ниже параметров и переменных постановка задачи проектирования структуры ТРАСУТП может быть сформулирована в виде задачи математического программирования. Критерий J_0 включает ряд задаваемых и расчетных параметров, характеризующих структуру ТРАСУТП. К задаваемым параметрам относятся:

- γ_s^i – приведенные затраты на восстановление аппаратуры ВТ и ТМ в узле ω_i , входящей в ВТС d_s ;
- $\|\delta_{mf}\|$ - матрица, определяющая взаимосвязь задач U_m и U_f ($U_m \neq U_f$). Значение δ_{mf} определяет среднее количество информации, передаваемой в единицу времени от задачи U_m к задаче U_f .

Ряд параметров системы определяются с помощью расчетных и аналитических моделей. К ним относятся:

- α_{ms}^i – стоимость решения в единицу времени задачи U_m в узле ω_i при ВТС системы d_s ;
- β_s^{ij} – стоимость передачи единицы информации;
- ρ_{mv}^i – потери эффективности системы от нерешения задачи U_m в узле ω_i в состоянии μ_v .

В состоянии μ_v определяется как вектор:

$$\mu_v = (\delta_{v1}^1, \delta_{v2}^1, \delta_{v3}^1, \dots, \delta_{v1}^i, \delta_{v2}^i, \delta_{v3}^i, \dots, \delta_{v1}^{J^W}, \delta_{v2}^{J^W}, \delta_{v3}^{J^W}) \quad (28)$$

Компоненты которого равны нулю при работоспособном состоянии соответственно, комплекта ВТ, ТМ и аппаратуры ЛС узла $\omega_i \in W^a$ равны единице при выходе из строя соответствующего компонента технической структуры узла. Множество состояний, в которых необходимо и можно поддержать работоспособность системы, т.е. состояний с компенсируемыми отказами Ω_s^{acom} , определяется, исходя из требований к функционированию технологического объекта управления $\Omega_s^{acom} = \Omega^a / \bar{\Omega}_s^{acom}$, $\Omega^a = \{\mu_v\}$, где Ω^a – множество всех возможных состояний системы при варианте иерархии q_a , $\bar{\Omega}_s^{acom}$ – множество состояний, отнесенных к отказовым, т.е. состояний с некомпенсируемыми отказами.

Отказ комплекта узла ω_i приводит к невыполнению решаемых в нем задач и потерям эффективности системы, равным:

$$\rho_v^i = \sum_{U_m \in U_v} \rho_{mv}^i \quad (29)$$

Потери ρ_{mv}^i определяются с помощью моделей объектов управления и экспертных оценок [21], причем при отказе компонента (ВТ-комплекта, ТМ или аппаратуры ЛС) технической структуры узла учитываются потери эффективности не только от самой, нерешаемой ω_i задачи U_m , но и от возможного нерешения или неточного (неполного) решения связанных с ней задач других узлов.

Вероятности P_{sv} являются предельными, определяют среднюю долю времени, в течение которого система находится в состоянии μ_v . Значения P_{sv} определяются из уравнений Колмогорова в установившемся режиме при предположениях о пуассоновском характере потоков отказов и восстановлений компонентов ВТС системы и при условии, что вероятность одновременного отказа более чем одного компонент мала [22]. Эти предположения обоснованы тем, что блоки, составляющие рассматриваемую аппаратуру, имеют экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы, а, следовательно, постоянные интенсивности отказов и восстановлений.

Рассматривая один узел системы ω_i при заданной иерархической структуре q_α , фиксированной технической структуре d_{li}^i , а также определенном наборе задачи в узле – U^i , полагая

$$\sum_{U_m \in U} \alpha_m^i = \alpha^i, \sum_{U_m \in U, U_f \in U/U} \delta_{mf} = \delta, \sum_{U_m \in U} \rho_{mv}^i = \rho_v^i, \text{ и т.д.,}$$

Можно следующим образом записать составляющие критерия J_0 (опуская индексы параметров);

- Затраты J_1^i на решение задач в узле равны $J_1^i = \alpha^i$;
- Для определения затрат на передачу информации из данного узла к другим узлам системы необходимо стоимость передачи единицы информации умножить на количество выходной информации задач, решаемых в узле, т.е.

$$J_2^i = \beta^i \delta; \quad (30)$$

- Потери эффективности от нерешения задач в узле выражаются произведением вероятности состояния системы на сумму затрат, требуемых для восстановления технических средств и потерь от нерешения задач, т.е.

$$J_3^i = \sum_{\mu_v \in \Omega^\alpha} P_v \delta_v^i (\gamma_s^i + \rho_v^i) \quad (31)$$

Для обеспечения возможности выбора различных ВТС d_{li}^i узла ω_i и ВТС системы в целом d_s , вариантов иерархии, а также различных вариантов распределения задач между узлами системы, вводятся следующие булевы переменные:

$$y_\alpha = \begin{cases} 1, \text{ если принимается вариант иерархии } q_\alpha \in Q, \alpha = \overline{1, A}, \\ 0 \text{ в противоположном случае,} \end{cases} \quad (32)$$

$$x_{msv}^i = \begin{cases} 1, \text{ если задача } U_m \text{ решается в узле } \omega_i \text{ в состоянии } \mu_v \text{ при ВТС системы } d_s \\ 0 \text{ в противоположном случае,} \end{cases}$$

Обобщая выражения (30)-(31) на все узлы системы и учитывая введенные булевы переменные, составляющие критерия J_0 можно записать в следующем виде:

- Затраты на решение задач ТРСУ:

$$J_1 = \sum_{q_\alpha \in Q} y_\alpha \sum_{\omega_i \in W^\alpha} \sum_{d_v \in D} \sum_{U_m \in U^\alpha} \alpha_{ms}^i \text{sign}\{\sum_{\mu_v \in \Omega^\alpha} x_{msv}^i\} \quad (33)$$

Где: $\text{sign}\{\sum \dots\}$ равно 1, если значения функции, стоящей в скобках, отлично от нуля, и равно 0 в противоположном случае, в силу того, что функция, стоящая в скобках, всегда не отрицательна. В данном случае булева переменная $\text{sign}\{\sum_{\mu_v \in \Omega^\alpha} x_{msv}^i\}$ определяет размещение задачи U_m в узле ω_i , имеющем BTC d_s ;

- Затраты на обмен информацией в ГРСУ:

$$J_2 = \sum_{q_\alpha \in Q} \gamma_\alpha \sum_{d_s \in D} \sum_{\omega_i, \omega_f \in W^\alpha} \sum_{\substack{\omega_i \neq \omega_f \\ U_m \neq U_f}} \sum_{U_m, U_f \in U^\alpha} \beta_s^{ij} \delta_{mf} \quad (34)$$

$$\text{sign} \left\{ \sum_{\mu_v \in \Omega^\alpha} x_{fsv}^i \right\} \cdot \text{sign} \left\{ \sum_{\mu_v \in \Omega^\alpha} x_{msv}^i \right\}$$

Выражение (34) показывает, что затраты на передачу информации из задачи U_m в задачу U_f отличны от нуля, если эти задачи информационно связаны ($\delta_{mf} \neq 0$) и задачи размещены в разных узлах. Если при BTC d_s эти узлы физически не связаны между собой, то β_s^{ij} задается бесконечно большой величиной;

- Потери эффективности от нерешения задач:

$$J_3 = \sum_{q_\alpha \in Q} \gamma_\alpha \sum_{d_s \in D} \sum_{\mu_v \in \Omega^\alpha} \sum_{\omega_i, \omega_f \in W^\alpha} P_{sv} \left[\sum_{\varepsilon=1}^3 \delta_{v\varepsilon}^i \text{sign}\{\sum_{\mu_v \in \Omega^\alpha} \sum_{U_m \in U^\alpha} x_{msv}^i\} \gamma_{s\varepsilon}^i + \sum_{U_m \in U^\alpha} \xi_{msv} \rho_{mv}^i \text{sign}\{\sum_{\mu_v \in \Omega^\alpha} x_{msv}^i\} (1 - x_{msv}^i) (1 - x_{msv}^j) \right] \quad (35)$$

Здесь: ξ_{msv} – нормировочный коэффициент, устранивающий возможность неоднократного учета величины потерь ρ_{mv}^i и равный:

$$\xi_{msv} = \left(\sum_{\omega_i \in W^\alpha} \sum_{\varepsilon=1}^3 \delta_{v\varepsilon}^i \text{sign} \left\{ \sum_{\mu_v \in \Omega^\alpha} x_{msv}^i \right\} + r_{msv} \right) \quad (36)$$

$$r_{msv} = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{\omega_i \in W^\alpha} \sum_{\varepsilon=1}^3 \delta_{v\varepsilon}^i \text{sign} \left\{ \sum_{\mu_v \in \Omega^\alpha} x_{msv}^i \right\} = 0 \\ 0 & \text{в противоположном случае} \end{cases}$$

В слагаемом критерия J_3 ненулевые затраты γ_{SE}^i на восстановление аппаратуры узла возникают, если состояние μ_v характеризуется отказом аппаратуры $d_{l_i}^i$ и она входит в состав ВТС d_s . В J_3 суммируются также потери от нерешения задач, которые размещены в комплекте ВТ узла ω_i , но не решаются там из-за отказа аппаратуры в состоянии μ_v и не решаются в этом состоянии ни в одном другом узле системы.

На выбор структуры ТРСУ накладывается ряд ограничений:

- Ограничения на предельно допустимые значения ресурсов.

Для каждого вида ресурса $e_g \in E$ имеющего для задачи $U_m \in U^\alpha$ в узле ω_i значение $r_{mgs}^i, g = \overline{1, \mathfrak{S}}$ накладываются сверху ограничения R_g^i , где E – множество ресурсов, \mathfrak{S} – максимальное число видов ресурсов, на которые накладываются ограничения. К таким ресурсам можно отнести: объем, постоянной, полупостоянной или внешней памяти комплекта ВТ, быстродействие ВТ или ТМ, их стоимость, пропускную способность каналов и т.д., а также ограничения на диспетчерский ресурс. На часть всех \mathfrak{S} видов ресурсов $\{e_g\} = E$ могут быть наложены ограничения и для системы в целом – R_g ; при этом в общем случае $R_g \neq \sum_{\omega_i \in W} R_g^i$;

- Ограничения на предельно допустимые потери в каждом из заданных состояний системы. Величина суммарных потерь ρ_v в каждом состоянии $\mu_v \in \Omega^{acom}$ определяется как:

$$\rho_v = \sum_{\omega_i \in W^\alpha} \rho_v^i \quad (37)$$

И не должна превышать критического значения $\bar{\rho}_v$;

- Ограничения на минимально допустимую вероятность безотказной работы (ВБР) всей ТРСУ P_s . ВБР системы P_s определяется как произведение ВБР всех узлов, т.е.:

$$P_s = \prod_{\omega_i \in W^\alpha} \left(\sum_{d_{l_i}^i \in D^i} P_{l_i}^i x_{l_i}^i \right) \quad (38)$$

Где $x_{l_i}^i$ равно 1, если выбирается ВТС узла $d_{l_i}^i$ и 0 в противоположном случае, причем в каждом узле выбирается, либо минимальное значение ВБР из

всех рассчитанных для основных функций, либо значение ВБР для важнейшей по оценке ЛПР функции;

- Ограничения на возможные зоны решения задач и $U_m \in U^\alpha$. В зависимости от иерархического уровня, на котором решается задача, она может быть ориентирована на объекты нижних уровней иерархии, чем уровень решения, или на уровень фактического решения. Примером задач из первой группы для АСУТП является задача обработки мгновенных параметров ГПА, решаемая на уровне ПО. Эти же задачи, решаемые, соответственно, на уровнях ГПА и КС, переходят во вторую группу. Каждая задача U_m имеет определенную зону решения – подмножество W_{ms}^α узлов, в которых она может решаться, и, соответственно, \bar{W}_{ms}^α , где не может решаться. Для АСУТП такой зоной W_{ms}^α , например, для задачи расчета параметров ГПА, является вся вертикаль по иерархии или соседние узлы уровня ГПА, имеющие общий с узлом решения ближайший вышестоящий;

- На переменные также накладывается ряд ограничений, связанных с требованиями единственности выбора ВТС системы. В каждом состоянии задача должна решаться только в одном узле. Все переменные должны быть булевы;

- Ограничения на временные характеристики системы. Все множество решаемых в системе задач U^a можно разделить на подмножество U^p регламентированных задач и подмножество U^c задач, момент начала решения которых является случайным. Каждая задача, входящая в U^p характеризуется следующими параметрами: T_m^{HP} – момент времени начала решения задачи; t_{ms} – среднее время решения задачи, а для диспетчерских – из условия, что задача решается одним диспетчером без прерываний; T_m^{KP} – момент времени окончания задачи. Для любой задачи $U_m \in U^p$ выполняется естественное соотношение:

$$t_{ms} \leq T_m^{KP} - T_m^{HP} \quad (39)$$

Время t_{msv}^{pi} зависит от характеристик задач узла ω_i , но для любой регламентированной задачи должно выполняться ограничение на максимальное значение реального времени решения.

Для задач, поступающих на обработку в случайные моменты времени, необходимо потребовать выполнения ограничения на отклик системы: время t_{mfvs}^{ij} прохождения информации от задачи U_m узла ω_i (места возникновения) до задачи U_f узла ω_j (места потребления). В общем случае узлы ω_i и ω_j могут быть как различными, так и одним и тем же узлом. Ограничение на t_{mfvs}^{ij} трудно выразить в явном виде, т.к. оно зависит от распределения задач, загрузки узлов и других факторов. Все эти факторы могут быть сведены к двум переменным: суммарной задержке τ_{1mfv}^{ij} информации при ее обработке задачами; находящимися в узлах, входящих во фрагмент системы между узлами ω_i и ω_j ; а также суммарной задержке информации τ_{2mfv}^{ij} во фрагменте сетей передачи данных (СПД) между узлами ω_i и ω_j (при $\omega_i=\omega_j$ $\tau_{2mfv}^{ij} = 0$).

С учетом введенного критерия J_0 (33)-(35) и рассмотренных ограничений, задача синтеза структуры ТРАСУТП формулируется следующим образом. При заданных множествах: задач U^a , вариантов иерархии Q , вариантов технической структуры узлов D^i , узлов W^a , состояний Ω^a и Ω^{acom} , ресурсов E и E' , а также при заданных характеристиках задач и связей между ними, комплектов ВТ и ТМ решается задача синтеза. Результатом решения задачи является получение структуры, т.е. совокупности иерархического построения q_a , определяемого переменной y_a , распределения задач и технической структуры, определяемых переменной x_{msv}^i , удовлетворяющей ограничениям и минимизирующей значение целевой функции.

Формальная постановка задачи синтеза структуры ТРАСУТП:

$$J_0^{opt} = \min_{y_a, x_{msv}^i} J_0 \quad (40)$$

При ограничениях:

- На ресурсы каждого узла

$$\forall \omega_i \in W^a, d_s \in D, e_g \in E, \sum_{U_m \in U^a} r_{mgs}^i \text{sign}\{\sum_{\mu_v \in \Omega^a} x_{msv}^i\} \leq R_g^i \quad (41)$$

- На ресурсы системы

$$\forall e_g \in E, d_s \in D, \sum_{\omega_i \in W} \sum_{U_m \in U^a} r_{mgs}^i \text{sign}\{\sum_{\mu_v \in \Omega^a} x_{msv}^i\} \leq R_g \quad (42)$$

- На предельно допустимые потери для состояний $\mu_v \in \Omega^{acom}$

$$\sum_{U_m \in U^a} \sum_{d \in D} \sum_{\omega_i, \omega_j \in W^a} \xi_{msv} \rho_{mv}^i \text{sign}\{\sum_{\mu_v \in \Omega^a} x_{msv}^i\} \cdot (1 - x_{msv}^i)(1 - x_{msv}^j) \leq \bar{p}_v \quad (43)$$

- На предельно допустимую ВБР системы

$$\forall d_s \in D, P_s(x_{msv}^i) \geq \bar{P} \quad (44)$$

- На зону решения задачи $U_m \in U^a$

$$\bar{W}_{ms}^a = \{\omega_i | \text{sign}\{\sum_{d_s \in D} x_{msv}^i\} = 0\} \quad (45)$$

- На переменные

$$\sum_{q_a \in Q} y_a = 1 \quad (46)$$

$$\sum_{d_s \in D} \text{sign}\{\sum_{\omega_i \in W^a} \sum_{U_m \in U^a} \sum_{\mu_v \in \Omega^a} x_{msv}^i\} = 1 \quad (47)$$

$$\forall \mu_v \in \Omega^a, d_s \in D, U_m \in U^a, \sum_{\omega_i \in W^a} x_{msv}^i \leq 1 \quad (48)$$

$$y_a, x_{msv}^i \in \{0,1\} \quad (49)$$

- На загрузку узлов

$$\forall \omega_i, \omega_j \in W^a, \mu_v \in \Omega^{acom}, d_s \in D \quad (50)$$

$$0 \leq \sum_{U_m, U_f \in U^a} \lambda_{mf}^{ij} l_{mfs} x_{msv}^i x_{fsv}^j / e_s^{ij} \leq 1 \quad (51)$$

- На регламент решения задач

$$\forall \omega_i, \omega_j \in W^a, \mu_v \in \Omega^{acom}, d_s \in D \quad (52)$$

$$t_{msv}^i \leq T_m^{кр} - T_{mv}^{нpi} \quad (53)$$

- На время прохождения информации

$$\forall U_m \in U^i, U_f \in U^j, \forall \omega_i, \omega_j \in W^a, \mu_v \in \Omega^{acom}, d_s \in D \quad (54)$$

$$t_{mfvs}^{ij}(\tau_{1mfv}^{ij}, \tau_{2mfv}^{ij}, x_{msv}^i) \leq \bar{\tau}_{mf}^{ij} \quad (55)$$

Все ограничения задачи могут быть разделены на аналитические (41)-(49) и алгоритмические (50)-(55). Вторая группа ограничений, определяющая требования к временным характеристикам системы, может быть проверена в основном с помощью моделей. Далее основное внимание при анализе постановки, уделяется факторам снижения размерности задачи.

2.1.1 Выбор варианта иерархического построения

Выбор ВИП системы с учетом создаваемой ТРАСУТП должен быть обязательно проведен уже при проектировании объектов управления, т.к. неоптимальность ВИП может привести к значительным потерям. При решении задачи учитываются и неформализуемые критерии [23]. Формальная постановка задачи выбора ВИП может выглядеть следующим образом. Задаются приближенные, оценочные значения следующих параметров:

$\tilde{\alpha}^i$ – приведенные затраты на обустройство и эксплуатацию узла управления ω_i ;

$\tilde{\beta}^{ij}$ – приведенные затраты на создание и эксплуатацию линий связи между узлами $\omega_i, \omega_j, (\omega_i \neq \omega_j)$;

\tilde{P}_v – вероятность состояния системы, характеризующегося отказом одного или нескольких узлов управления, $\tilde{\mu}_v, \tilde{\Omega}^a$;

$\tilde{\Omega}^a$ – заданное множество состояний при варианте иерархии $q_a \in Q$;

\tilde{R}_g^i – ресурсы вида $\tilde{e}_g \in \tilde{E}$ узла ω_i , где \tilde{E} – множество характеристик ресурсов;

$\tilde{\rho}_{fv}^i$ – потери эффективности от невыполнения функции $U_f \in U^F, f = \overline{1, F}$, где U^f – множество основных функций системы в узле ω_i в состоянии $\tilde{\mu}_v$.

Тогда критерий эффективности \tilde{J} задачи выбора варианта иерархии, с учетом булевой переменной y_a запишется следующим образом:

$$\tilde{J}_0 = \tilde{J}_1 + \tilde{J}_2 + \tilde{J}_3 \quad (56)$$

Где:

$$\tilde{J}_1 = \sum_{q_a \in Q} y_a \sum_{\omega_i \in W^a} \tilde{\alpha}^i \quad (57)$$

$$\tilde{J}_2 = \sum_{q_a \in Q} y_a \sum_{\substack{\omega_i, \omega_j \in W^a \\ \omega_i \neq \omega_j}} \tilde{\beta}^{ij} \quad (58)$$

$$\tilde{J}_3 = \sum_{q_a \in Q} y_a \sum_{\mu_v \in \Omega^\alpha} \sum_{\omega_i \in W^a} \sum_{U_m \in U^\alpha} \tilde{P}_v \delta_v^i \tilde{\rho}_{fv}^i \quad (59)$$

Во всех составляющих \tilde{J}_0 суммирование по ω_i ведется с учетом варианта иерархии q_a .

С учетом (57)-(59) можно (56) записать в виде:

$$\tilde{J}_0 = \sum_{q_a \in Q} y_a \sum_{\substack{\omega_i \in W^a \\ \omega_i \neq \omega_j}} (\tilde{\alpha}^i + \tilde{\beta}^{ij} + \sum_{\mu_v \in \Omega^\alpha} \sum_{U_m \in U^\alpha} \tilde{P}_v \delta_v^i \tilde{\rho}_{fv}^i) \quad (60)$$

Постановка задачи синтеза оптимального варианта иерархии формализуется следующим образом:

$$\tilde{J}_0^{opt} = \min_{y_a} \tilde{J}_0 \quad (61)$$

При ограничениях:

$$\forall \tilde{e}_g \tilde{E} \sum_{q_a \in Q} y_a \sum_{\substack{\omega_i, \omega_j \in W^a \\ \omega_i \neq \omega_j}} \tilde{R}_g^i \leq \tilde{R}_g \quad (62)$$

$$\forall \tilde{\mu}_v \tilde{\Omega}^a, \tilde{\mu}_v = \{\delta_v^{ai}\} \sum_{q_a \in Q} y_a \sum_{\omega_i \in W^a} \sum_{U_f \in U^F} \delta_v^{ai} \tilde{\rho}_{fv}^i \leq \tilde{\rho}_v \quad (63)$$

$$\sum_{q_a \in Q} y_a = 1 \quad (64)$$

$$y_a \in \{0,1\} \quad (65)$$

Ограничение (62) отражает требование о недопустимости перерасхода ресурса \tilde{e}_g выше некоторой величины \tilde{R}_g , аналогично (63) связано с максимально возможными потерями $\tilde{\rho}_v$ в каждом из состояний, в которых может находиться система. Вводятся также ограничение на единственность иерархии (64) и булев характер переменной y_a (65). Под узлом понимается не только его комплект ВТ и ТМ, т.е. ВТС ТРАСУТП, но и оборудование диспетчерской службы, службы связи и других подразделений узла управления технологическим процессом. Под отказом понимается такое состояние технических средств узла, при котором становится невозможным эффективное управление процессом и обмен информацией с другими узлами.

Для любого фиксированного варианта структуры $q_a \in Q$ значение \tilde{J}_0 значительно превышает J_0 , при этом составляющие J_0 аддитивно входят в

соответствующие составляющие \tilde{J}_0 , т.к. составляющие J_0 включает затраты, связанные с созданием и деятельностью служб различных уровней управления, а также потери от невыполнения укрупненных функций системы, каждая из которых должна реализовываться комплексом задач.

2.1.2 Распределение задач по уровням иерархии

Эта задача может решаться, если заданы ВИП системы, функциональный граф, т.е. множество решаемых задач и связи между ними, их общие характеристики, а также обобщенные значения вычислительных и диспетчерских ресурсов для каждого узла (в случае однородной системы – для узлов, представляющих уровни иерархии) [24].

Под обобщенным ресурсом задачи понимается ресурс, приведенный к одному интервалу времени.

Тогда для каждой задачи $U_m \in U$ задаются:

V_m – емкость памяти, требуемой для решения (или хранения задачи);

t_m – среднее время решения;

a_m – число копий задачи;

b_m – число реализаций задачи за сутки;

$T^{огр}$ – ограничение по абсолютному времени решения задачи.

$t_m a_m \leq T_m^{огр}$, т.е. все копии одной задачи на данном уровне системы должны быть решены за определенный промежуток времени, связанной с частотой решения (например, для задач, решаемых ежечасно, $T_m^{огр} = 1$).

Исходя из введенных параметров для вычислительных задач, обобщенный ресурс v_m (Кбайт/сутки) рассчитывается по формуле:

$$v_m = V_m \cdot t_m \cdot a_m \cdot b_m / T_m^{огр} \quad (66)$$

Обобщенный вычислительный ресурс, определяемый выражением (66) дает значение емкости памяти, занимаемой под решение всех копий одной задачи в течение определенного времени. Эта характеристика инвариантна уровню иерархии, т.к. произведение значения времени решения задачи на суммарную емкость памяти ряда комплектов ВТ при решении задачи на

нижних уровнях иерархии равно произведению суммарного времени решения всех копий этой задачи на одно значение емкости памяти на верхнем уровне.

Взяв в качестве характеристики диспетчерского ресурса величину t_m , можно определить обобщенный диспетчерский ресурс \tilde{t}_m задачи $U_m \in U^*$ как

$$\tilde{t}_m = t_m \cdot \alpha_m \cdot b_m \quad (67)$$

Обобщенные ресурсы, требуемые для реализации всех решаемых в узлах задач, в первом приближении определяют техническую и организационную структуру узлов.

Обобщенный ресурс v_m должен задаваться для каждой задачи в общем случае в виде вектора, компоненты которого $v_m^{k'}$, $k' = \overline{1, k'}$, есть значения ресурса для одного из k' возможных классов ЭВМ (с учетом быстродействия, разрядности или распределения вычислений между несколькими процессорами).

Рассматриваемая задача решается только для исходного состояния системы $\mu_1 = (0, \dots, 0)$. Резервирование задач, т.е. запись одной задачи в память комплектов ВТ разных узлов, осуществляется директивно. СПД системы не конкретизируются. Критерием выбора варианта распределения задач при таких предположениях может служить минимум информационного обмена по СПД системы J^{BP3} . В терминах (33)-(35), опуская фиксированные индексы a, S, v , постановка задачи записывается в виде:

$$J^{BP3} = \sum_{\substack{\omega_i, \omega_j \in W^a \\ \omega_i \neq \omega_j}} \sum_{U_f \in U} \delta_{mf} x_m^i x_f^j \rightarrow \min \quad (68)$$

При ограничениях на обобщенные ресурсы в узлах и в целом по системе отдельно по вычислительным (\tilde{R}^i, \tilde{R}) и диспетчерским (R^{*i}, R^*) задачам: (45) для μ_1 , (48) для строгого равенства и (49), т.е.

$$\forall \omega_i \in W \sum_{U_m \in \tilde{U}^i} v_m x_m^i \leq \tilde{R}^i \quad (69)$$

$$\forall \omega_i \in W \sum_{U_m \in U^{*i}} \tilde{t}_m x_m^i \leq R^{*i} \quad (70)$$

$$\sum_{\omega_i \in W} \sum_{U_m \in \tilde{U}^i} v_m x_m^i \leq \tilde{R} \quad (71)$$

$$\sum_{\omega_i \in W} \sum_{U_m \in U^{*i}} t_m x_m^i \leq R^* \quad (72)$$

Постановка (68)-(72) требует минимальных исходных данных о ВТС системы, что существенно в начале процедуры проектирования структуры. Полученное распределение диспетчерских задач практически определяет выбор диспетчерского ресурса в узлах.

Если значения правых частей ограничений (69)-(72) брать достаточно большими, т.е. удовлетворяющими любому распределению задач, то минимизация (68) приводит к абсолютно лучшему значению критерия, которое будет отлично от нуля в связи с наличием в системе задач, «жестко» закрепленных за одним узлом. Распределения задач по критерию (68) с релаксированными, но для различных ВИП ТРСУ, оставленных для дальнейшего рассмотрения после решения задачи (61)-(65), дают основу для уточнения выбора ВИП.

2.1.3 Синтез варианта технической структуры

При заданных ВИП и ВРЗ и наборах допустимых ВТС узлов может быть поставлена задача синтеза ВТС системы по критерию минимума стоимости решения в начальном состоянии задач в узлах обмена информацией между узлами [25]. Введя параметры:

$\alpha_{l_i}^i$ – приведенная к единице времени стоимость решения всех задач $U_m \in U^i$ в узле ω_i при ВТС $d_{l_i}^i$;

$\beta_{l_i l_j}^{ij}$ – стоимость передачи единицы информации из узла ω_i при ВТС $d_{l_i}^i$ в узел ω_j , имеющий ВТС $d_{l_j}^j$;

$\delta^{ij} = \sum_{U_m \in U^i, U^j} \delta^{mf}$ – суммарный объем информации, передаваемой в единицу времени из узла ω_i в узел ω_j , а также переменные $x_{l_i}^i$ и $x_{l_j}^j$, равные 1, если в узле ω_i (ω_j) выбран ВТС $d_{l_i}^i \in D^i$ ($d_{l_j}^j \in D^j$) и 0 в противоположном случае, постановку задачи можно сформулировать так:

$$J_{opt}^{BTC} = \min_{\substack{x_{l_i}^i, x_{l_j}^j \\ d_{l_i}^i \in D^i \\ d_{l_j}^j \in D^j}} \sum_{\omega_i, \omega_j \in W} \sum_{\omega_i \neq \omega_j} (\alpha_{l_i}^i + \beta_{l_i l_j}^{ij} \delta^{ij} x_{l_j}^j) x_{l_i}^i \quad (73)$$

При ограничениях:

- На ресурсы узлов и системы в целом

$$\forall \omega_i \in W, e_g \in E \sum_{d_{l_i}^i \in D^i} r_{l_i q}^i x_{l_i}^i \leq R_q^i \quad (74)$$

$$\forall l_q \in E \sum_{\omega_i \in W} \sum_{d_{l_i}^i \in D^i} r_{l_i q}^i x_{l_i}^i \leq R_q \quad (75)$$

- На значение вероятности безотказном работы узлов, которое не должно превышать \bar{P}^i и для системы в целом \bar{P} - (на определенное число часов работы) при ВТС узлов $d_{l_i}^i$,

$$\forall \omega_i \in W \sum_{d_{l_i}^i \in D^i} P_{l_i}^i x_{l_i}^i \leq \bar{P}^i \quad (76)$$

$$\prod_{\omega_i \in W} (\sum_{d_{l_i}^i \in D^i} P_{l_i}^i x_{l_i}^i) \leq \bar{P} \quad (77)$$

- На единственность ВТС в узле

$$\forall \omega_i \in W \sum_{d_{l_i}^i \in D^i} x_{l_i}^i = 1 \quad (78)$$

- На булевой характер переменной

$$x_{l_i}^i \in \{0,1\} \quad (79)$$

- На временные характеристики $\forall d_{l_i}^i \in D^i, \omega_i \in W$

$$\mathcal{A} \leq x_{l_i}^i \sum_{U_m \in U^i} \lambda_m t_{ml_i} \leq 1 \quad (80)$$

$$\forall d_{l_j}^j \in D^j, \omega_j \in W \quad 0 \leq x_{l_i}^i x_{l_j}^j \sum_{\substack{U_m \in U^i \\ U_f \in U^j}} \lambda_{mf}^{ij} t_{mf}^{ij} / e_{l_i l_j}^{ij} \leq 1 \quad (81)$$

$$\forall U_m \in U^i \quad t_{ml_i}^i x_{l_i}^i \leq \bar{t}_m^i \quad (82)$$

- На совместимость компонентов вектора ВТС системы

$$\forall d_{l_i}^i \in D^i \quad d_s = \{d_{l_i}^i\} \in D, i = \overline{1, J^W} \quad (83)$$

Ограничение на совместимость компонентов вектора ВТС системы может быть выражено в аналитическом виде, если ввести параметр

$$C_{l_i l_j}^{ij} = \begin{cases} \sum_{\omega_i \in W} L_i + 1, & \text{если ВТС } d_{l_i}^i \text{ узла } \omega_i \text{ несовместим с ВТС } d_{l_j}^j \text{ узла } \omega_j \\ 1 & \text{в противоположном случае} \end{cases} \quad (84)$$

Тогда ограничение записывается так:

$$\forall \omega_i \in W, d_{l_i}^i \in D \quad x_{l_i}^i \sum_{\omega_i \in W} \sum_{d_{l_j}^j \in D_j} C_{l_i l_j}^{ij} \leq \sum_{\omega_j \in W} L_j \quad (85)$$

В связи с единственностью ВТС в узле ограничения (74),(76),(80) могут быть учтены при подготовке исходных данных. Результатом решения задачи должен быть вектор d_s , дающий минимум функционалу (73) и определяющий наилучший ВТС системы.

2.1.4 Резервирование задач в ТРАСУТП

Одним из основных методов построения отказоустойчивых ТРАСУТП является реконфигурация структуры системы при отказах компонентов ВТС с целью перераспределения решаемых системой задач между работоспособными узлами [26].

В начальном состоянии $\mu_1 = (0, \dots, 0)$ каждому узлу ω_i сопоставлено подмножество задач U^i . Задачи $U_m \in U^i$ будем называть собственными задачами узла ω_i . При отказах технических средств каких-либо узлов, переходе системы вследствие этого в состояние μ_v , где $\mu_v \neq \mu_1$, и перераспределении в ней задач, система может утрачивать способность решать какие-либо задачи из своего начального множества.

Назовем оптимальным резервированием задач (РЗ) в ТРАСУТП наилучшее по критерию статическое распределение задач между узлами системы, выполненное с целью обеспечения ее отказоустойчивости.

Задача оптимального резервирования ставится следующим образом: для заданного исходного множества задач, множества состояний, фиксированных иерархической и технической структурах системы найти такой состав решаемых в каждом состоянии $\mu_v \in \Omega^{com}$ задачи места их решения, которые обеспечивают минимум показателя качества при выполнении ряда ограничений. Критерием РЗ (J^{P3}) служит глобальный критерий (27) вида (31)-(33) с фиксированными d_s и q_a .

Постановка задачи РЗ состоит в минимизации функционала J^{P3}

$$J_{opt}^{P3} = \min_{x_{mv}^i} J^{P3} \quad (86)$$

В ряде практических случаев начальное распределение задач может быть задано, что снижает размерность решаемой задачи, не отражается на виде (86) и ограничений, но меняет значения α_m^i, β^{ij} , т.к. в этом случае учитываются только затраты на запись и эксплуатацию задач, перераспределяемых из отказавшего в другие узлы системы.

Перечень постановок частных задач выбора структуры ТРАСУТП, вытекающих из (37)-(50), можно продолжить, но поставленные задачи являются основными при поэтапном определении структуры.

2.2 Задача управления потоками в ГТС

Для решения задач динамического распределения потоков при транспортировке газа в диссертационной работе предлагается использовать теорию управляемых сетей [27].

Управление в газотранспортной системе представляет изменение топологии сети за счет выбора переключений кранов, перемычек и др., а также изменение давления на линейных участках за счет выбора режимов работы, направленных на подбор давления без учета собственных расходов и моделирования самой работы КС.

При управлении режимами транспорта газа одной из задач является обеспечение за счет выбора конфигураций сети максимального перемещения потока, проходящего через сеть за заданное число тактов управления N .

2.2.1 Формализованное представление управляемой сети

Управляемая сеть – это совокупность базовой сети и конечного множества ее частичных подсетей [28]. Частичная подсеть получается с помощью исключения нескольких дуг из базовой сети. Конфигурация управляемой сети – это одна частичная подсеть базовой сети. Пусть поток проходит через управляемую сеть. Тогда им можно управлять за счет выбора конфигураций сети. Для определения правила выбора конфигурации сети введем вектор управления:

$$u = [u_1 \dots u_M]^T, u \in U = U_1 \times U_2 \times U_M \quad (87)$$

Где $u_i \in U_i = \{0, 1, \dots, u_i^+\}, u_i^+ \in Z_+, i = \overline{1, M}, Z_+$ - множество положительных целых чисел.

Для каждой дуги базовой управляемой сети зададим конечное множество значений, которые может принимать связанная с данной дугой компонента вектора управления и при которых дуга не исключается из базовой сети. Максимальное число возможных конфигураций базовой сети не превосходит мощности множества значений вектора управления

$$|U| = \prod_{i=1}^M (u_i^+ + 1) \quad (88)$$

Приведем формальное описание управляемой сети. Структуру графа базовой сети описываем с помощью матрицы смежности базовой сети

$$A = [a_{ij}], a_{ij} \in \{0, 1\}, i, j = \overline{1, L} \quad (89)$$

Где L – количество узлов базовой сети

Для описания связи компонент вектора управления $u = [u_1 \dots u_M]^T$ с дугами базовой сети используем матрицу управлений

$$C = [c_{ij}], c_{ij} \in \{0, 1, 2, \dots, M\}, i, j = \overline{1, L} \quad (90)$$

Где c_{ij} – либо номер компоненты вектора управления, которая связана с дугой базовой сети, выходящей из узла i в узел j , либо 0, если между узлами i и j в базовой сети отсутствует дуга, поэтому $c_{ij} = 0$, если $a_{ij} = 0, i, j = \overline{1, L}$.

Для описания связи между множеством значений, которые принимает компонента вектора управления, и наличием соответствующей дуги в базовой сети используем матрицу разрешенных фаз:

$$F = [F_{ij}], F_{ij} \subseteq U_{c_{ij}}, i, j = \overline{1, L} \quad (91)$$

Где F_{ij} – элемент матрицы F разрешенных фаз представляет собой множество значений, которые может принимать компонент $U_{c_{ij}}$ вектора управления $u = [u_1 \dots u_M]^T$, при которых дуга, выходящая из узла i в узел j базовой сети, не исключается из графа базовой сети, поэтому $F_{ij} = \emptyset$, если $a_{ij} = 0, i, j = \overline{1, L}$.

Матрицы A, C и F позволяют формально описать конфигурацию частичной подсети базовой управляемой сети в зависимости от значения вектора управления $u = [u_1 \dots u_M]^T$. Структура графа частичной подсети описывается матрицей смежности конфигурации управляемой сети:

$$A(u) = [a_{ij}(u)], i, j = \overline{1, L} \quad (92)$$

Где

$$a_{ij}(u) = \begin{cases} 1, & \text{если } u_{cij} \in F_{ij} \\ 0, & \text{если } u_{cij} \notin F_{ij} \end{cases}, i, j = \overline{1, L} \quad (93)$$

Ограничения, оказываемые управляемой сетью на поток, задаем матрицей пропускных способностей:

$$B = [b_{ij}], b_{ij} \in R_+^1, i, j = \overline{1, L} \quad (94)$$

Где b_{ij} – значение пропускной способности дуги, выходящей из узла i в узел j , поэтому $b_{ij} = 0$, если $a_{ij} = 0, i, j = \overline{1, L}, R_+^1$ – множество действительных неотрицательных чисел.

Для описания распределения потока из узла по различным направлениям, заданным выходящими из данного узла дугами, используем матрицу распределений:

$$D = [d_{ij}], d_{ij} \in R_+^1, i, j = \overline{1, L} \quad (95)$$

Где d_{ij} – значение пропускной способности дуги, выходящей из узла i в узел j , поэтому $d_{ij} = 0$, если $a_{ij} = 0, i, j = \overline{1, L}$.

Так как компоненты матрицы распределений указывают на доли потока, то они должны удовлетворять условию полного распределения:

$$\sum_{j=1}^L d_{ij} = 1, \text{ если } \sum_{j=1}^L a_{ij} \neq 0, i = \overline{1, L} \quad (96)$$

Для описания изменения матриц в соответствии с выбранной конфигурацией будем использовать операцию произведения Адамара. Изменения данных матрицы описывается следующими соотношениями:

$$B(u) = A(u) \odot B \quad (97)$$

$$D(u) = A(u) \odot D \quad (98)$$

Где $B(u)$ – матрица пропускных способностей конфигурации $A(u)$, $D(u)$ – матрица распределений конфигурации $A(u)$. Свойство (96) для матрицы распределений конфигурации может не выполняться.

Для описания величины потока используем вектор потока:

$$x = [x_1 \dots x_L]^T, x_i \in R_+^1, i = \overline{1, L}, x \in R_+^L \quad (99)$$

Где x_i – значение потока в i -м узле, $i = \overline{1, L}$.

Вектор потока изменяет свое значение в соответствии с выбранной конфигурацией $A(u)$, которая выбирается с помощью вектора управления $u = [u_1 \dots u_M]^T$.

Управляемая сеть воздействует на поток следующим образом. В каждый такт управления $k = \overline{0, N}$ выбирается вектор управления $u(k) = [u_1(k) \dots u_M(k)]^T$, который определяет конфигурацию сети $A(u(k))$. В зависимости от выбранной конфигурации сети, от свойств управляемой сети и от значения вектора потока на предыдущем такте $x(k-1)$, изменяется значение вектора потока $x(k)$.

2.2.2 Пример расчета вектора управления потоками

Пусть управляемая сеть имеет базовый граф, представленный на рисунке 11.

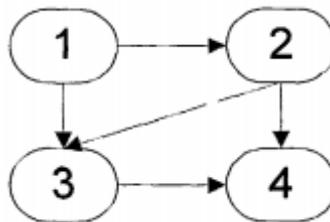


Рисунок 11 – Базовый граф управляемой сети

Управляемая сеть имеет четыре узла, $L=4$, из которых узел 1 является источником, а узел 4 – стоком. Пусть для изменения конфигурации сети используется вектор управления размерностью $M=2$: $u = [u_1 \ u_2]^T$, $u_1 \in U_1 = \{0,1\}$, $u_2 \in U_2 = \{0,1,2\}$. Матрица смежности, матрица управлений и матрица разрешенных фаз базового графа данной сети имеют следующий вид:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} \emptyset & \{0\} & \{0\} & 0 \\ \emptyset & \emptyset & \{0,1\} & \{1\} \\ \emptyset & \emptyset & \emptyset & \{0,2\} \\ \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset \end{bmatrix}$$

Данная управляемая сеть имеет шесть различных конфигураций, которые представлены на рисунке 12.

Пусть дуги графа базовой сети имеют ограниченную пропускную способность. При этом матрица пропускных способностей и матрица распределений имеют вид:

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 12 & 15 & 0 \\ 0 & 0 & 10 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 12 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 & 0,44 & 0,56 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Рассмотрим девять тактов управления, $k = \overline{1,9}$. На каждом такте выберем произвольно значение вектора управления $u = [u_1 \ u_2]^T$. Результаты моделирования представлены в таблице 1.

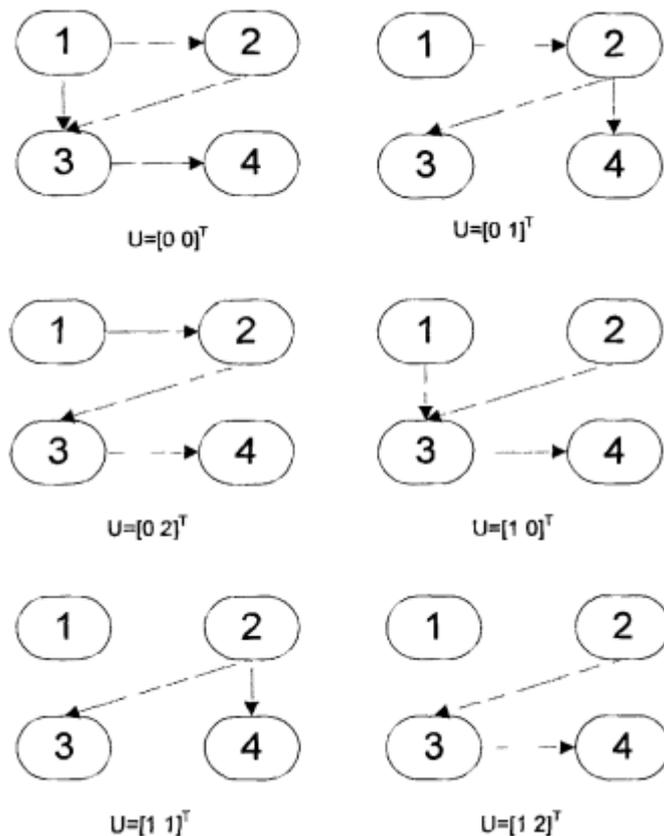


Рисунок 12 – Множество конфигураций управляемой сети

Таблица 1 – Результаты моделирования

k	$[u_1 \ u_2]^T$	$[x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T$
0	-	$[1000 \ 0 \ 0 \ 0]^T$
1	$[0 \ 0]^T$	$[973 \ 12 \ 15 \ 0]^T$
2	$[0 \ 1]^T$	$[961 \ 12 \ 21 \ 6]^T$
3	$[0 \ 1]^T$	$[949 \ 12 \ 27 \ 12]^T$
4	$[1 \ 1]^T$	$[949 \ 0 \ 33 \ 18]^T$
5	$[1 \ 2]^T$	$[949 \ 0 \ 21 \ 30]^T$
6	$[1 \ 2]^T$	$[949 \ 0 \ 9 \ 42]^T$
7	$[0 \ 2]^T$	$[937 \ 12 \ 0 \ 51]^T$
8	$[1 \ 0]^T$	$[922 \ 6 \ 21 \ 51]^T$
9	$[1 \ 1]^T$	$[922 \ 0 \ 24 \ 54]^T$

В таблице на нулевом такте, $k=0$, в третьем столбце приведено начальное значение вектора потока, $x(0) = [1000 \ 0 \ 0 \ 0]^T$. В данном случае для такта $k=2$ при управлении $u(2) = [0 \ 1]^T$, согласно таблице имеем $x(1) = [973 \ 12 \ 15 \ 0]^T$, что в результате дает следующее значение вектора потока:

$$x(2) = x \left(1 \frac{1}{2}\right) + \begin{bmatrix} \min\{0,0\} \\ \min\{428,12,12\} \\ \min\{6,10\} \\ \min\{6,10\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 961 \\ 0 \\ 15 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 12 \\ 6 \\ 6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 961 \\ 12 \\ 21 \\ 6 \end{bmatrix}$$

2.3 Нейросетевые модели в СППР

Для решения задачи классификации и идентификации состояний ГТС в диссертации используется аппарат нейронных сетей [16]. Предлагается использование сети встречного распространения, которая работает в 2-х режимах: нормальном и режиме обучения. Для реализации механизмов нейронных сетей рассмотрим процесс обучения слоя Гроссберга, для которого входами являются выходы слоя Кохонена. Выходы слоя Гроссберга вычисляются как при нормальном функционировании сети. Далее каждый вес корректируется, только в том случае если он соединен с выигравшим нейроном Кохонена, и выход которого отличен от нуля (единственный):

$$v_{ij} = v_{ijc} + \beta(y_j - v_{ijc})k_i \quad (106)$$

Где $\beta \cong 0.1$ и уменьшается в процесса обучения.

Веса слоя Гроссберга будут сходиться к средним величинам от желаемых выходов. Тогда как веса слоя Кохонена будут сходиться на средних значениях входов. О сети встречного распространения (СВР) лучше всего сказал создатель сети Роберт Хельт – Нильсон: «СВР проста, дает хорошую статистическую модель входных данных, хотя и уступает по мощи обратному распространению.».

Имеются два вида нейронов – возбуждающие узлы, которые стремятся вызвать возбуждение постсинаптического узла, и тормозящие узлы.

Возбуждение нейрона определяется отношением его возбужденных входов к тормозящим. Суммарный возбуждающий вход нейронов в предшествующем слое. Аналогично, суммарный тормозящий вход I является взвешенной суммой входов от всех тормозящих входов.

$$E = \sum_t a_i u_i \quad (107)$$

$$I = \sum_j b_j v_j \quad (108)$$

Где a_i – вес i -го возбужденного синапса; u_i – выход i -го возбуждающего нейрона; b_j – вес j -го тормозящего нейрона; v_j – выход j -го тормозящего нейрона.

Тогда общий выход нейрона

$$NET = [(1 + E)/(1 + I)] - 1 \quad (109)$$

$$F = \begin{cases} OUT = NET, & NET \geq 0 \\ OUT = 0, & NET < 0 \end{cases} \quad (110)$$

После преобразований

$$OUT = [(p - q)/2q] \left\{ 1 + th \left[\left(\frac{\log(pq)}{2} \right) \right] \right\} \quad (111)$$

$p, q - \text{const.}$

В когнитроне слой состоит из возбуждающих и тормозящих узлов. Как показано на рисунке 30, нейрон слоя 2 имеет область связи для которой он имеет синаптическое соединение с набором выходов нейронов в слое 1. Аналогично в первом слое имеется тормозящий нейрон, имеющий ту же область связи. Синаптические веса тормозящих узлов не меняются в процессе

обучения, их веса заранее устанавливаются, таким образом, что сумма весов в любом из тормозящих узлов =1. В соответствии с этим выход тормозящего узла INHIB является взвешенной суммой его входов, которые в данном случае представляют собой среднее, арифметическое выходов возбуждающих нейронов, к которым он подсоединен.

$$INHIB = \sum_i c_i OUT_i; \sum c_i = 1 \quad (112)$$

где c_i – возбуждающий вес i .

Рассмотрим процедуру обучения. Веса возбуждающих нейронов изменяются только тогда, когда нейрон возбужден сильнее, чем любой другой в области конкуренции

$$\delta a_i = q c_j u_j \quad (113)$$

где c_j – тормозящий вес связи нейрона j в слое 1 с тормозящим нейроном i ;

u_j – выход нейрона j в слое 1;

a_i – возбуждающий вес i ;

q – нормирующий коэффициент обучения.

Изменение тормозящих весов нейрона i в слое 2 определяется

$$\delta b_i = q [\sum a_j u_j] / (2INHIB) \quad (114)$$

Когда возбужденных нейронов в области конкуренции нет, то для изменения весов используются другие выражения. Во всех случаях, когда победителя в области конкуренции нет, изменения весов ищут так:

$$\delta a_i = q' c_j u_j; \delta b_i = q' INHIB; q' < q \quad (115)$$

В процессе обучения веса каждого узла в слое 2 настраиваются таким образом, которые часто предъявляются в процессе обучения. При предъявлении сходного образа этот узел вырабатывает большой выход и подавляет конкурентов.

На рисунке 13 показано, что каждый нейрон слоя 2 получает латеральное торможение от нейронов расположенного в его области конкуренции.

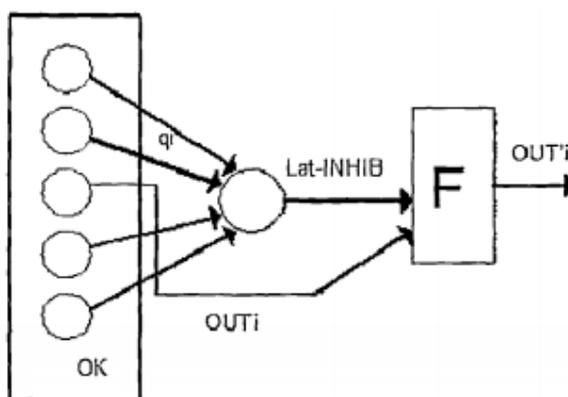


Рисунок 13 – Ускоренное торможение

Тормозящий нейрон суммирует входы от всех нейронов в области конкуренции, и вырабатывает сигнал торможения целевого нейрона. Этот метод эффективный, но достаточно медленный. Для ускорения используется латеральное торможение. Дополнительный латеральный нейрон вырабатывает сигнал:

$$Lat_{INHIB} = \sum q_i OUT_i; \sum q_i = 1 \quad (116)$$

До этого слоя в когнитроне рассматривались в 1 мерном виде. На самом деле слой представляет собой плоскость. При переходе от слоя к слою происходит процесс абстрагирования.

Задачей комплексных узлов является уменьшение зависимости реакции системы от позиции образа во входном поле. Для чего каждый комплексный узел получает на вход выходы набора простых узлов своего слоя. Эти простые узлы покрывают область простой плоскости, которую называют рецептивной областью комплексного узла. Возбуждение любого узла из этой области достаточно для возбуждения комплексного узла. Таким образом, каждый следующий слой комплексных узлов реагирует на более широкую область.

Простые узлы идентичны случаю когнитрона. Выход тормозящего узла

$$v = \sqrt{(\sum_i (b_i u_i)^2)} \quad (117)$$

где i – область над всеми комплексными узлами с которыми связан тормозящий узел;

b_i – вес i -й синаптической связи от комплексного узла к тормозящему узлу.

u_i – выход i -го комплексного узла.

Следует отметить, что b_i выбирают монотонно уменьшающимся с увеличением расстояния от центра и сумма этих весов равна единице.

Только простые узлы имеют настраиваемые веса, соединенные с комплексными узлами в предыдущем слое. Входы тормозящих узлов не обучаются они настраиваются таким образом, что бы узел реагировал на среднюю величину выхода всех узлов, к которым он подключен. Единственный тормозящий синапс от тормозящего узла к простому узлу обучается, как и другие синапсы.

В заключение следует отметить, что при создании ЭС распознавания и анализа изображений может быть использовано соединение НС различного типа. Например, НС встречного распространения может быть использована как фильтр производящий первичную очистку изображения от помех. Неокогнитрон производит самораспознавание. НС обратного распространения может служить универсальным средством анализа, помимо логических средств ЭС. Карта Кохонена является робастным классификатором и может быть использована при работе с БЗ в СППР.

2.4 Формализованное представление процесса диспетчерского управления.

Значительное число нештатных ситуаций незнакомо для аварийной автоматики, которая в этих случаях либо останавливает оборудование, либо не реагирует на изменения режима, в результате чего может произойти аварийное разрушение оборудования. В этих случаях АСУТП должна перейти на интерактивный режим управления, т.е. введение в контур управления диспетчера. В этом режиме в некоторых случаях диспетчеру очевидна причина разладки оборудования или отклонения от нормы процесса, а также последовательность управляющих действий. Однако значительно чаще встречается ситуация, когда в силу ряда причин: отсутствия дополнительной,

а часто и просто необходимой информации, наличия большого числа взаимосвязанных параметров и невозможность их быстрой систематизации, многовариантность причин и управляющих воздействий – диспетчер не может оперативно принять не только оптимальное, но даже и рациональное решение

2.4.1 Формализованная постановка задачи принятия решения по обнаружению неисправностей

Автоматизированный технологический комплекс может быть разбит на подсистемы, образующие некоторое упорядоченное множество $N=\{n\}$, и в период эксплуатации пребывает в одном из состояний $s_i \in S$, где S – множество всех возможных исправных и неисправных состояний. Все множество S есть объединение трех подмножеств: S_1 – исправных и работоспособных состояний; S_2 – неисправных и неработоспособных (аварийных) состояний, в которых для АСУТП в лице защитной автоматики или диспетчера нет альтернатив при диагностике неисправности и принятия решения; S_3 – неисправных, но работоспособных состояний. Каждое $s_i \in S$ представляет собой вектор $s_i = (s_i^1, \dots, s_i^n, \dots, s_i^N)$, компонент которого равен нулю, если в этом состоянии подсистема АТК n находится в исправном состоянии, и единице – в неисправном. В состояниях, входящих в подмножество S_3 путем изменения структуры АТК или режима его работы возможна реализация управляющих воздействий, в той или иной степени компенсирующих отказы подсистем с точки зрения эффективности работы АТК [29].

Вероятность P_i каждого состояния $s_i \in S$ определяется из системы уравнений Колмогорова в установившемся режиме.

Каждому неисправному состоянию одной из подсистем s_i^n для $s_i \in S_3$ соответствуют первичные (настоящие) и вторичные (будущие) потери эффективности. Например, если в газотурбинной установке (ГТУ) имеется неисправность: засорение одной из форсунок камеры сгорания, то первичная потеря эффективности – падения КПД ГТУ, вызывающее повышение количества сжигаемого топлива при той же мощности, а вторичная – обрыв

одной из лопаток турбины со всеми вытекающими последствиями, образующими цепочку событий, например, разрушение роторной и статорной частей ГТУ, останов ГТУ, недопоставка газа, затраты на ремонт, что в итоге, вызывает ущерб потребителя, на один или несколько порядков превышающий первичные потери. Следовательно, каждой n -й подсистеме ТООУ может быть поставлен в соответствие вектор $(p_1^n, \dots, p_i^n, \dots, p_j^n)$, где p_i^n – приведенные к единице времени потери эффективности технологического процесса при отказе в состоянии s_i подсистемы. Для компенсации возможных потерь в каждом из $s_i \in S_3$ может быть использовано одно из нескольких управляющих воздействий $\{K_i\}, k_i = \overline{1, K_i}$, где k_i – число альтернатив по управлению состояний. Реализация каждого из управлений связана с соответствующими приведенными затратами, но уменьшает потери на p_{ki} .

Тогда, введя булеву переменную x_{ki} , равную 1, если в состоянии $s_i \in S_3$ принят вариант управления k_i и 0 в противоположном случае, можно сформулировать задачу принятия решений на длительный период оперативного контроля за ГТС как минимизацию комплексного критерия потерь эффективности F от нештатных ситуаций на технологическом объекте, т.е.

$$F = \min_{x_{k_i}} \sum_{s_i \in S_3} p_i \sum_{k_i \in K_i} [(c_{k_i} - p_{k_i})x_{k_i} + \sum_{n \in N} p_i^n S_i^n] \quad (118)$$

При ограничениях:

- На потери эффективности технологического процесса

$$\forall s_i \in S_3 \sum_{k_i \in K_i} [(\sum_{n \in N} p_i^n S_i^n) - p_{k_i} x_{k_i}] \leq \bar{p}_i \quad (119)$$

- На стоимость управления

$$\forall s_i \in S_3 \sum_{k_i \in K_i} c_{k_i} x_{k_i} \leq \bar{c}_i \quad (120)$$

- На единственность выбора управляющего решения

$$\forall s_i \in S_3 \sum_{k_i \in K_i} x_{k_i} = 1 \quad (121)$$

- На булевой характер переменной

$$x_{k_i} \in \{0,1\} \quad (122)$$

Постановка задачи (118)-(122), которая может быть дополнена и другими разумными ограничениями, дает общую априорную оценку эффективности совокупности всех решений за достаточно длительный срок эксплуатации. Эта постановка представляет собой задачу линейного программирования с булевыми переменными чрезвычайно большой размерности. Решение этой задачи (в силу ее NP – сложности) вряд ли возможно без применения декомпозиционной схемы. В сущности, оценка по критерию F складывается из оценок принятых решений в ходе ликвидации нештатных ситуаций. С точки зрения диспетчера в определенный момент времени имеется нештатная ситуация, в которой надо однозначно определить, к какому подмножеств $S(S_1, S_2, S_3)$ относится s_i , дать прогноз развития событий и найти наилучшее управляющее решение.

Для каждого s_i из $S_m \subset S$ возможных в данной ситуации m Диагнозов, имеющих свою вероятность p_i , имеется набор управляющих решений x_{k_i} . В свою очередь, применение для любого $s_i \in S_m$ какого-либо из x_{k_i} , $k_i \in K_i$, приведет к тому, что неисправность, вызвавшая первичные потери, будет развиваться по одному из $l_j \in L_{k_i}$ неисправностей L_{k_i} путей. Эти пути определяются с помощью решения задачи прогноза развития событий. Каждый l_j взвешен как вероятностью развития неисправностей по $P_{j k_i}$ так и величиной, на которую уменьшаются потери эффективности ТООУ $p_{j k_i}$.

Тогда критерий минимума потерь эффективности АТК при возникновении нештатной ситуации m , отражающей одно из состояний $s_i \in S_m$, может быть записан следующим образом:

$$F_m = \min_{x_{k_i}} \sum_{s_i \in S_m} p_i \left\{ p_i + \sum_{k_i \in K_i} x_{k_i} \left(c_{k_i} - \sum_{l_j \in L_{k_i}} P_{j k_i} p_{j k_i} \right) \right\} \quad (123)$$

Где и при ограничениях, аналогичных (119)-(122), а также при условии, что первичные потери эффективности технологического процесса не должны превышать потерь, при аварии, учитывая, что критерий отражает эффективность процесса оперативного принятия решения, то целесообразно ввести и ограничение на время поиска управляющего решения:

$$\forall s_i \in S_m \quad t(x_{k_i}) \geq \bar{t}_i \quad (124)$$

2.4.2 Процедура поиска рационального решения для конкретной аварийной ситуации

Реализовать постановленные задачи можно с помощью системы поддержки принятия решений. Типичная СППР имеет следующие компоненты: базу знаний, базу данных, интерфейс пользователя и др [30].



Рисунок 14 – Процедура поиска

Общая процедура поиска рационального решения для конкретной нештатной ситуации может быть описана в виде алгоритма, состоящего из следующих укрупненных этапов:

1. Определение нештатной ситуации;
2. Проверка достоверности информации. Если информация не достоверна, то выдаются рекомендации к восстановлению информации, устранению неисправностей в каналах измерения с последующей оценкой достоверности;
3. Первичный прогноз развития ситуации, анализ ее стабильности;

4. Определение допустимого времени принятия решения;
5. Заполнение базы данных текущей информацией;
6. Постановка диагноза;
7. Оценка качества поставленного диагноза. Если диагноз поставлен, то переход к этапу 13, если нет – переход к этапу 8;
8. Определение, осталось ли время на дополнительный анализ ситуации. Если да – переход к этапу 10, если нет к этапу 9;
9. При отсутствии достаточного времени для продолжения поиска диагноза могут быть следующие исходы: выработка управляющего решения без постановки диагноза; передача полученных результатов на вышестоящий уровень принятия решения; принятие промежуточного решения с целью предотвращения возможного наихудшего развития ситуации. Два последних исхода – это попытка получить выигрыш во времени для проведения дополнительного анализа;
10. Если можно продолжить нахождение точного диагноза, то сбор дополнительной информации, в т.ч. с соседних объектов и других уровней управления, временная задержка с целью формирования временных рядов параметров, проигрывание ситуации на имитационных моделях технологического процесса;
11. Постановка диагноза с учетом полученных на предыдущем этапе дополнительных данных;
12. Если на предыдущем этапе не получен точный диагноз, а время на принятие решения исчерпано или нет возможностей получить более точную и полную информацию, то принятие управляющего решения по имеющемуся диагнозу, в противном случае – переход к этапу 13;
13. Прогноз развития событий (если он информационно обеспечен) – построение дерева исходов;
14. Выбор управляющего решения по критерию с учетом введенных ограничений.

Основу рассмотренной схемы составляют этапы 6, 11-14. Именно от них зависит эффективность принимаемых решений.

В результате получены формальные методы описания взаимодействия группы пользователей для решения коалиционных задач принятия решений на основе БД таблиц истинности, полученных на основе темпоральной логики, для которых определены формальные способы их решения.

2.5 Механизмы представления моделей знаний для динамической среды управления ГТС

Разработанная модель гибридного автомата вместе с указанными инструментальными средствами является частью СППР. Она может давать диспетчеру достаточную информацию для принятия решений. Она может являться также базой для формирования правил вывода в экспертной системе, построенной на основе темпоральной логики [31].

В настоящее время существует множество немонотонных логик. Логика умолчаний – это логические системы, в которых немонотонность обусловлена необщезначимостью правил вывода, присущих области применения. Основой экспертной системы является база знаний, состоящая из эвристических правил выбора действий как в штатных, так и в нештатных ситуациях.

2.5.1 Разработка базы данных и базы знаний

Реляционная база данных является ядром СППР. Она предназначена для хранения данных реального времени, нормативно-справочной информации, базы знаний в формате, необходимом для работы СППР. Приложения БД СППР управляют информационными обменами как внутри системы, так и вне ее [32].

В БД созданы следующие модели данных:

- Модели Подсистемы глубокого архива (данные реального времени, нормативно-справочная информация);
- Модель данных, обслуживающая информационные обмены с моделью ГТС;

- Модель данных ЦПДД, обслуживающая информационные обмены с ЦПДД;
- Модель данных СППР, предназначенная для хранения информации об участках ГТС.

Информация об участке логически привязана к данным реального времени, поступающим от ТМ, и к наборам правил локализации аварий (база знаний).

«База знаний» представляет собой заранее разработанные рекомендации по локализации разрывов для различных участков ГТС. Разбиение ГТС на участки диктуется количеством КП СТМ. Для СППР участком считается отрезок трубопровода между двумя телемеханизированными кранами, которые позволяют отсечь его для локализации аварии. Рекомендации для каждого участка содержат:

- Указания о переключениях запорной арматуры, необходимых для отсечения аварийного участка;
- Указания по информированию должностных лиц, поставщиков и потребителей газа, привлечению дополнительных специалистов и бригад для анализа ситуаций;
- Указания о дальнейшем наблюдении за параметрами, по которым можно будет оценить результативность принятых мер.

Все правила записываются в виде, соответствующем импликациям, в которых посылки представлены конъюнкциями нескольких предикатов, а заключения правил – дизъюнкциями. При этом каждому предикату или его отрицанию соответствует слот во фреймовом представлении эвристических правил. Фреймы базы эвристик разделяются на три группы соответственно функциональному назначению правил:

- Фреймы, содержащие описание способов приемов и правил управления, устанавливающих взаимосвязи между различными управляющими воздействиями, состоянием ГТС и целями управления, в эту

же группу включаются правила, позволяющие выбирать управления по характерным признакам ситуаций в ГТС;

- Фреймы, содержащие описание правил анализа ситуаций в ГТС и технического состояния отдельных элементов по параметрам режима течения газа, представленным в базе фактов и по здравому смыслу;

- Фреймы, описывающие входную и выходную информацию алгоритмических процедур, имеющих в составе семиотической системы управления; условия, при которых целесообразно применять алгоритмические процедуры, и ссылки на них.

В начальный момент эксплуатации семиотической системы управления, база эвристик заполняется правилами, общими для всех ГТС, и описанием процедур, разработанных до запуска системы в эксплуатацию. В ходе работы СППР база эвристик может быть пополнена правилами, характерными для конкретной ГТС, и ее конкретных элементов, а также описаниями новых алгоритмов и программ, включаемых в СППР.

База целей содержит представленные в виде фреймов критерии управления ГТС представленных в таблице 4. Структура фреймов в базе целей аналогична структуре фреймов, рассмотренных в базе эвристик, но в отличие от них не содержит слотов, относящихся к посылке правила. Все критерии разделены по объектам, для управления которыми они используются (глобальные и локальные критерии), и по времени их действия (критерии общезначимые, т.е. такие, которые могут использоваться в любой ситуации, временные критерии, выведенные в результате анализа конкретной станции). Изменяя параметры достоверности (веса) критериев в конкретных ситуациях, эксперт или ЛПР может выделять наиболее важные и второстепенные цели управления, определять критерии для конкретных объектов. Кроме того, ЛПР предоставляется возможность исключать критерии управления и добавлять новые по мере накопления опыта работы и при изменении условий работы ГТС в процессе эволюции объекта.

База вычислительных ресурсов включает фреймы, описывающие разработанные и включенные в СППР программные средства, с помощью которых в СППР используются процедуральные знания о ГТС. Процедуральные знания в основном представляют собой математические модели ГТС и отдельных технологических элементов. Поэтому фреймы, хранящиеся в базе вычислительных ресурсов, включают группы слотов, описывающих наименование процедуры; условия применения используемой в ней модели; входную информацию, необходимую для выполнения процедуры; выходную информацию, получаемую в результате решения; вычислительные процедуры; ограничения на время выполнения. Вызов процедуры осуществляется по наименованию при необходимости получения одного из выходных параметров по наименованию при необходимости получения одного из выходных параметра и при наличии необходимых входных данных и условий для применения. После выполнения процедуры используется вся информация и условия для применения. После выполнения процедуры используется вся выходная информация, которая заполняет слоты во фреймах – прототипе, описывающую соответствующую процедуру. Часть информации, полученной в результате выполнения процедуры, может восстанавливать данные отсутствующие в БД.

База данных содержит фреймы, описывающие конкретную ситуацию и ее особенности, полученные по данным из БД в блоке анализа ситуаций S. Это, в основном, факты возникновения аварийной ситуации и нештатной ситуации в элементах, изменение режимов работы ГТС, нестандартные операции, такие как включения, отключения КЦ ниток, проведение очистных работ. Здесь же хранится обобщенное описание технологической ситуации в сложных элементах, а также факты, получаемые СППР от ЛПР.

Таблица 2 – Примеры эвристических правил и критериев управления

№	Объект	Антеcedент	Сукцидент
1	На выходе КС	Правила выбора потребления газа обеспечено и максимально давление	Управляющие воздействий необходимо заполнить ПХГ и новые нитки
2	КС или КЦ	Изменился режим работы	На соседних КС режим изменится через 1,5+2,0 ч.
3	На КС	Число ниток более 2-х и отключена группа ГПА или КЦ	Изменится режим работы КС на 2-3 КС выше и ниже по течению газа
4	На участке трубопровода	Большой коэффициент гидравлического сопротивления	Пропускает поршень по МГ на этом ПУ
5	На КЦ	Выходное давление максимально, а степень сжатия низкая в течение времени t час	КУ следует включать на проход

Таблица 3 – Эвристические правила диагностики технического состояния элементов

№	Объект	Антеcedент	Сукцидент
1	На ЛУ	Температура газа ниже критической	Возможно выпадение гидратов
2	На участке трубопровода	Выпадают гидраты	Увеличивается коэффициент гидравлического сопротивления и
3	Воздух на КС	Увеличивается температура	Уменьшается пропускная способность
4	На участке трубопровода	Увеличивается перепад давления и уменьшается давление на входе	Уменьшается располагаемая мощность ГПА, возможно разрыв нитки

Таблица 4 – Эвристические правила выбора алгоритмических процедур

№	Объект	Антецедент	Сукцидент
1	ГТС	Необходимо выбрать схему соединения КС	Выполнить процедуру «Оптимизация стационарного режима работы МГ»
2	ГТС	Необходимо оценить расходы газа по ниткам	Выполнить процедуру «Расчет стационарного режима»
3	ГТС	За 3-4 часа режим транспорта газа близок к стационарному	Выполнить процедуру «Идентификация коэффициентов гидравлического сопротивления и теплопередачи»
4	ГТС	Необходим прогноз давления и расхода газа	Выполнить процедуру «Расчет нестационарного режима транспорта газа»

Структура фреймов в базе фактов отражает структуру информации, которую желательно иметь о каждом данном. Эта информация включает наименование данного и адрес его расположения, значение слота, описываемого фреймом, достоверность факта, в которой может быть учтен источник формирования данного. Т.е. в базе фактов хранится разрозненное описание ситуаций, на основе которого может формироваться и описание ситуаций на отдельных объектах и ГТС в целом.

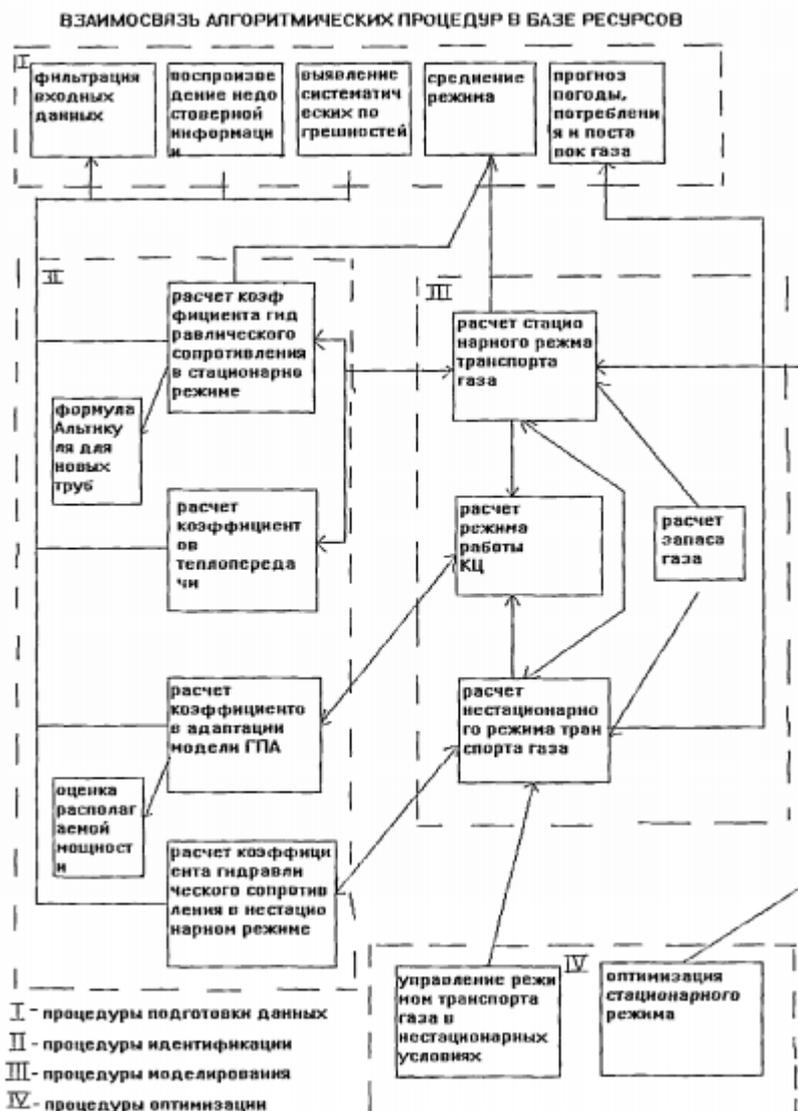


Рисунок 15 – Ресурсы и процедуры

Вывод

В диссертационной работе был проведен системный анализ: методов и моделей управления ГТС, специфики непрерывных технологических процессов транспорта газа, диспетчерского управления, - который показал необходимость использования средств интеллектуальной поддержки процессов управления транспортом газа. Кроме того, был проведен анализ методов многокритериальной оптимизации и процедур принятия решений по управлению ГТС. Когда речь идет о задачах управления и перераспределения потоков транспорта газа, то в большинстве случаев не бывает единственного критерия оценки рациональности принимаемого решения, и придется решать многокритериальную задачу, которая обусловлена наличием разнообразных

целей и задач для различных режимов функционирования. Были разработаны методы и модели синтеза. Идея состоит в том, что модель исследуемой системы становится составляющей локального поведения в одном или нескольких состояниях гибридного автомата, задающего алгоритм управления. Кроме того, возникает необходимость интеграции всех моделей, как анализа, так и синтеза АСУТП. Для реализации механизмов нейронных сетей в задачах идентификации состояния ГТС предлагается использовать процесс обучения слоя Гроссберга, а для анализа параметров можно использовать НС с ОС.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ61	Петров Павел Владимирович

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Автоматизация технологических процессов и производств

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

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> 	<p>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах</p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> 2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i> 3. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования</i> 	<p>Оценочная карта конкурентных технических решений</p> <p>Иерархическая структура работ Календарный план-график реализации проекта</p> <p>Определение ресурсоэффективности проекта</p>
--	---

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценочная карта конкурентных технических решений</i> 2. <i>Иерархическая структура работ</i> 3. <i>Календарный план проекта</i> 4. <i>Бюджет проекта</i> 5. <i>Определение ресурсоэффективности проекта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В.	к.ЭКОН.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Петров П.В.		

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение.

Экономическое обоснование разрабатываемых программных продуктов, функционирующих на базе электронно-вычислительных машин (ЭВМ), осуществляется на основе оценки эффективности мероприятий, направленных на изучение влияния экономических факторов на структуру технического обеспечения информационных систем. В данном разделе на основе собранной информации попытаемся выработать подход к обоснованию целесообразности выполнения проекта, а также произведем выбор методов оценки эффективности наших проектных решений.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Целью написания данной дипломной работы является повышение эффективности управления технологическими процессами магистрального транспорта газа за счет разработки системы поддержки принятия решений. Это значительно снизит потери при аварийных ситуациях или позволит избежать их совсем.

3.1 Потенциальные потребители СППР и область применения

Использование собственной разработки обладает значительными преимуществами по сравнению с аналогичными программами. Прежде всего, по стоимости и времени внедрения. Кроме того, готовая система поддержки

принятия решения, должна приводить к появлению ряда положительных эффектов для использующего ее предприятия.

Основным эффектом от внедрения разрабатываемой информационной системы будет экономический. Он вызван:

- повышением качества принимаемых решений вследствие внедрения ИС;
- экономией затрат труда диспетчера;
- уменьшением количества ошибок вследствие уменьшения человеческого фактора.

Кроме экономического эффекта, можно говорить о социальном эффекте который будет проявляться в улучшении условий труда диспетчера.

Помимо этого, данная система может использоваться в качестве тренажера для обучения специалистов и подготовки их к неординарным ситуациям и быстрому реагированию на различного рода проблемы.

Целевым рынком данной разработки будут являться газодобывающие и газотранспортные предприятия. Кроме того, разработанная система имеет потенциал для расширения возможностей и адаптации к другим сферам деятельности, что позволяет заявить о дальнейшем возможном росте в другие направления и расширении круга потенциальных потребителей.

3.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 5 – SWOT - анализ

	Сильные стороны С1. Является гибкой и адаптируется к изменениям, как организации, так и ее окружения	Слабые стороны Сл1. Слабоизученная сфера Сл2. Необходимость в предварительном обучении нейросети
--	---	--

	<p>C2. Улучшает процесс принятия решений</p> <p>C3. Поддерживает разные стили и методы решения задач</p>	
<p>Возможности</p> <p>V1. Снижение потерь или предотвращения нештатных ситуаций</p> <p>V2. Оптимизация процессов транспорта при штатном режиме</p>	<p>1. Повышение эффективности транспортировки газа</p> <p>2. Увеличение количество поставок газа</p> <p>3. Своевременный ремонт оборудования</p>	<p>1. Время на обучение не сыграет важной роли, благодаря улучшению газотранспортной системы</p> <p>2. Использование системы для оптимизации позволит лучше изучить данную сферу науки</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Возможность ошибки в обучении (может привести к потерям)</p> <p>У2. Появление лучших аналогов системы</p>	<p>1. Ошибки в обучении приведут к потерям, но их можно исправить, благодаря гибкости системы</p> <p>2. Появление лучших аналогов только заставит развивать имеющуюся систему</p>	<p>1. Возможность ошибки во время обучения позволит лучше изучить возможности системы</p> <p>2. Из-за слаборазвитой сферы возможность появления лучших аналогов в ближайшее время маловероятно</p>

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества разрабатываемой системы преобладают над его недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

3.3 Диаграммы Исикавы

Диаграмма Исикавы – это метод анализа разветвленности (детализации) процесса. Суть метода заключается в нахождении причинно-следственной связи, являющейся ключом к решению возникающей проблемы.

Диаграмма позволяет в простой и доступной форме систематизировать все потенциальные причины рассматриваемых проблем, выделить самые существенные и провести поуровневый поиск первопричины.

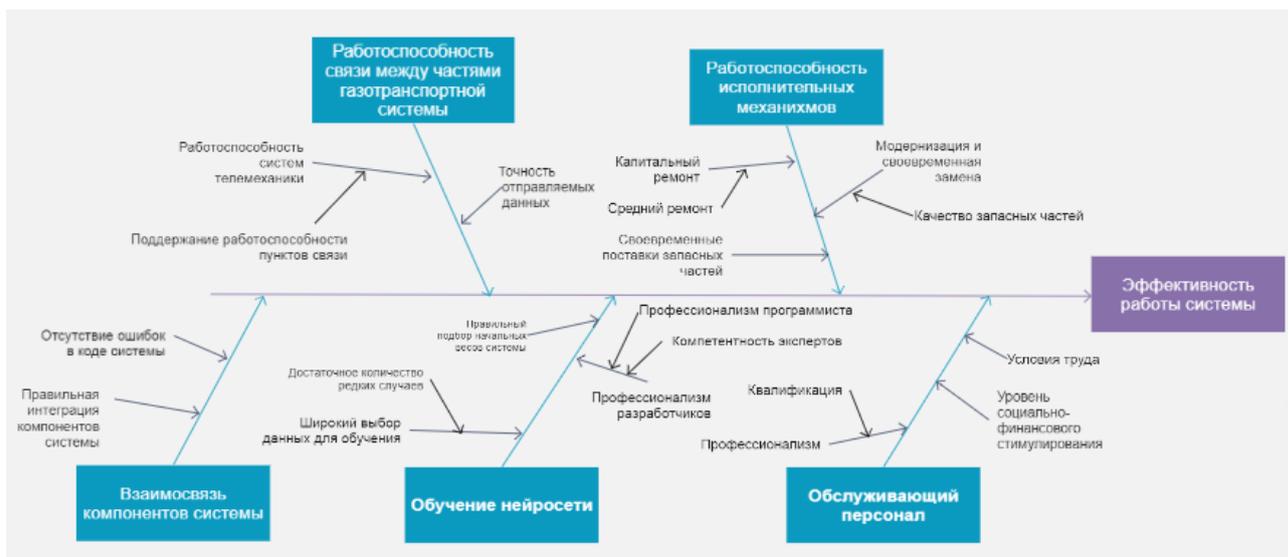


Рисунок 16 – Диаграмма Исикавы

Как видно из диаграммы, эффективность работы информационной системы поддержки принятия решений зависит от ряда факторов, но если с причинами, расположенными на диаграмме выше следствия, может разобраться заказчик, то нижние причины необходимо решить во время разработки системы. Причину «Обслуживающий персонал» также может решить сама система после ее полного обучения, так как эту систему легко можно переделать в тренажер для оперативного персонала, что также повысит эффективность работы на производстве за счет компетентности сотрудников.

3.4 Оценка коммерческого потенциала

На рынке информационных технологий имеется широкий выбор программных продуктов для решения актуальных проблем управления сложными структурными комплексами. В данной дипломной работе была разработана информационная система поддержки принятия решений (СППР) для упрощения оперативного управления диспетчера в нестандартных ситуациях, что сокращает время на принятия важных решений по локализации аварий и сокращению расходов.

Произведем расчет стоимости разработки информационной системы. Для создания нового прикладного программного обеспечения трудоемкость оценивают на основе трудоемкости разработки аналогичного ПО с учетом отличительных особенностей данного проекта, отражаемых введением

поправочных коэффициентов. В качестве программы-аналога выбрана компьютерная система «Оценка персонала».

Трудоемкость программирования рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_{PROG} = \frac{Q_a n_{сл}}{n_{кв}}$$

Определим коэффициент квалификации программиста ($n_{кв}$), который отражает степень его подготовленности к выполнению порученной ему работы, в зависимости от стажа работы: для работающих до 2-х лет – 0,8.

Если оценить сложность разработки программы-аналога (Q_a) в 350 человеко-часов, коэффициент сложности ($n_{сл}$) новой программы принять равным 1,2, то время разработки информационной системы составит 525 человеко-часов.

Затраты труда на программирование определяют время выполнения проекта, которое разделяются на следующие временные интервалы: время на разработку алгоритма, на непосредственное написание программы, на проведение тестирования и внесение исправлений и на написание сопроводительной документации:

$$Q_{PROG} = t_1 + t_2 + t_3$$

где t_1 – время на разработку алгоритма;

t_2 – время на написание программы;

t_3 – время на написание сопроводительной документации.

Трудозатраты на автоматизацию задачи определим, используя коэффициент затрат на алгоритмизацию (n_A), равный отношению трудоемкости разработки алгоритма по отношению к трудоемкости его реализации при программировании, откуда:

$$t_1 = n_A \cdot t_2$$

Его значение лежит в интервале от 0,1 до 0,5. Обычно его выбирают равным $n_A=0,3$.

Затраты труда на проведение тестирования, внесение исправлений и подготовки сопроводительной документации определяются суммой затрат труда на выполнение каждой работы этапа тестирования:

$$t_3 = t_T + t_{И} + t_{Д}$$

где t_T – затраты труда на проведение тестирования;

$t_{И}$ – затраты труда на внесение исправлений;

$t_{Д}$ – затраты труда на написание документации.

Значение t_3 можно определить введя соответствующие коэффициенты к значениям затрат труда на непосредственно программирование:

$$t_3 = t_2(n_T)$$

Коэффициент затрат на проведение тестирования отражает отношение затрат труда на тестирование программы по отношению к затратам труда на ее разработку и может достигать значения 50%. Обычно его выбирают на уровне $n_T=0,3$.

Коэффициент коррекции программы при ее разработке отражает увеличение объема работ при внесении изменений в алгоритм или текст программы по результатам уточнения постановки и описания задачи, изменения состава и структуры входной и выводимой информации, а также в процессе улучшения качества программы без изменения ее алгоритмов. Коэффициент коррекции программы выбирают на уровне $n_{И}=0,3$.

Коэффициент затрат на написание документации отражает отношение затрат труда на создание сопроводительной документации по отношению к затратам труда на разработку программы может составить до 75%.

Коэффициент затрат на написание сопроводительной документации как для небольших программ составим $n_{Д}=0,35$.

Объединив полученные значения коэффициентов затрат, получим:

$$t_3 = t_2(n_T + n_{И} + n_{Д})$$

Отсюда имеем:

$$Q_{PROG} = t_2(n_A + 1 + n_T + n_{И} + n_{Д})$$

Затраты труда на написание программы составят:

$$t_2 = \frac{Q_{PROG}}{n_A + 1 + n_T + n_{И} + n_D} = \frac{525}{0,3 + 1 + 0,3 + 0,3 + 0,35} = 233 \text{ ч.}$$

Программирование и отладка алгоритма составит 233 часа или 29 дней.

Затраты на разработку алгоритма:

$$t_1 = 0,3 \cdot 233 = 69,9 \text{ ч.}$$

Время на разработку алгоритма составит 69,9 часов или 9 дней.

$$t_3 = 233 \cdot (0,3 + 0,3 + 0,35) = 221,3 \text{ ч.}$$

Время на проведение тестирования и внесение исправлений составит 221 часов или 27 дней.

Затраты труда на внедрение ПО зависят от времени на осуществление опытной эксплуатации, которое согласовывается с заказчиком.

Общее значение трудозатрат для выполнения проекта:

$$Q_p = Q_{PROG} + t_i$$

где t_i – затраты труда на выполнение i -го этапа проекта.

$$Q_p = 525 + 233 = 758 \text{ ч. (95 дней)}$$

Средняя численность исполнителей при реализации проекта разработки и внедрения ПО определяется следующим соотношением:

$$N = \frac{Q_p}{F}$$

где Q_p – затраты труда на выполнение проекта;

F – фонд рабочего времени.

Величина фонда рабочего времени определяется:

$$F = T \cdot F_M$$

где T – время выполнения проекта в месяцах

F_M – фонд времени в текущем месяце, который рассчитывается из учета общего числа дней в году, числа выходных и праздничных дней.

$$F_M = \frac{t_p(D_P - D_B - D_{П})}{12}$$

где t_p – продолжительность рабочего дня;

D_P – общее число дней в году;

D_B – число выходных дней в году;

D_{Π} – число праздничных дней в году.

Подставив свои данные получим:

$$F_M = \frac{8 \cdot (365 - 118)}{12} = 165$$

Фонд рабочего времени в месяце равен 165 часам.

$$F = 3 \cdot 165 = 495$$

Величина фонда рабочего времени составляет 495 часов.

$$N = \frac{758}{498} = 1,52 \approx 2$$

Отсюда следует, что для реализации проекта требуется два человека: руководитель и программист.

Для иллюстрации последовательности проводимых работ проекта применяют ленточный график (календарно-сетевой график, диаграмму Ганта). На которой по оси X показывают календарные дни (по рабочим неделям) от начала проекта до его завершения. По оси Y – выполняемые этапы работ. Данный график показан на рисунке 17.

Таблица 6 – комплекс работ по разработке проекта

Этап	Содержание работ	Начало	Длительность	Окончание
1	Исследование и обоснование стадии создания	11.06.2018	10	21.06.2018
2	Анализ предметной области	22.06.2018	5	27.06.2018
3	Разработка и утверждение технического задания	28.06.2018	7	05.07.2018
4	Проектирование	06.06.2018	18	24.06.2018

5	Программная реализация	25.06.2018	46	09.08.2018
6	Оформление проекта	10.08.2018	9	19.08.2018

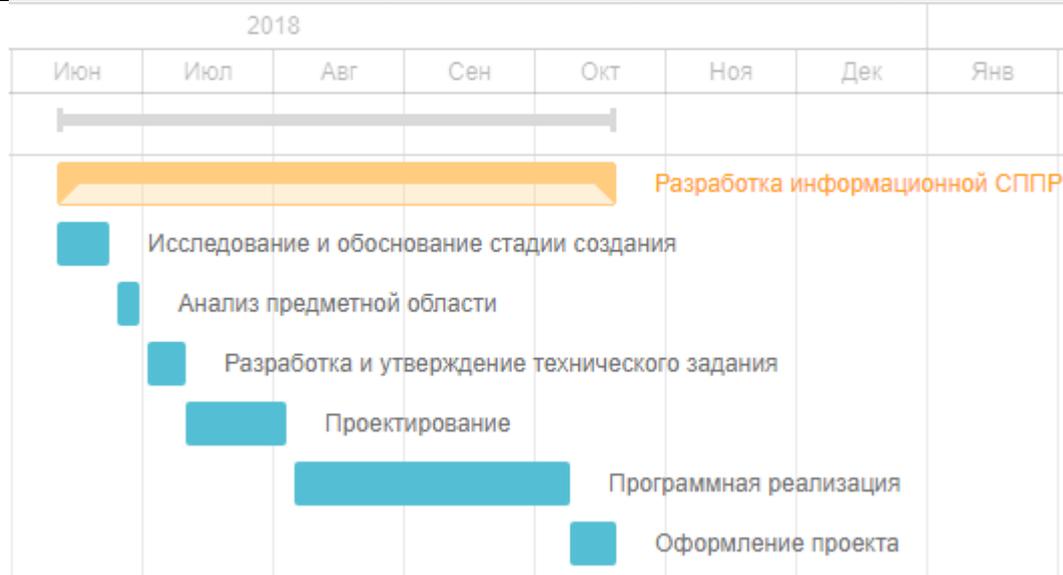


Рисунок 17 – Диаграмма Грантта

3.5 Анализ структуры затрат проекта

Затраты на выполнение проекта состоят из затрат на заработную плату исполнителям, затрат на закупку или аренду оборудования, затрат на организацию рабочих мест, и затрат на накладные расходы:

$$C = C_{зп} + C_{эл} + C_{об} + C_{внеб} + C_{накл}$$

где $C_{зп}$ – заработная плата исполнителей;

$C_{эл}$ – затраты на электроэнергию;

$C_{об}$ – затраты на обеспечение необходимым оборудованием;

$C_{внеб}$ – затраты на отчисления во внебюджетный фонд;

$C_{накл}$ – накладные расходы.

3.5.1 Зарботная плата исполнителей

Затраты на выплату исполнителям заработной платы определяется следующим соотношением:

$$C_{зп} = C_{з.осн} + C_{з.доп} + C_{з.отч}$$

где $C_{з.осн}$ – основная заработная плата;

$C_{з.доп}$ – дополнительная заработная плата;

$C_{з.отч}$ – отчисление с заработной платы.

Расчет основной заработной платы при дневной оплате труда исполнителей проводится на основе данных по окладам и графику занятости исполнителей:

$$C_{з.осн} = O_{дн} \cdot T_{зан}$$

где $O_{дн}$ – дневной оклад исполнителя;

$T_{зан}$ – число дней, отработанных исполнителем проекта.

При 8-и часовом рабочем дне оклад рассчитывается:

$$O_{дн} = \frac{O_{мес} \cdot 8}{F_M}$$

где $O_{мес}$ – месячный оклад;

F_M – месячный фонд рабочего времени.

В таблице 7 можно увидеть расчет заработной платы с перечнем исполнителей и их месячных и дневных окладов, а также времени участия в проекте и рассчитанной основной заработной платой с учетом районного коэффициента для каждого исполнителя.

Таблица 7 – Затраты на основную заработную плату

№	Должность	Оклад, руб	Дневной оклад, руб	Трудовые затраты, ч.-дн.	Заработная плата, руб	Заработная плата с р.к., руб
1	Программист	5500,00	265,00	101	26765,00	34794,5
2	Руководитель	6500,00	313,00	21	6573,00	8544,90

Расходы на дополнительную заработную плату учитывают все выплаты непосредственно исполнителям за время, не проработанное, но предусмотренное законодательством, в том числе: оплата очередных отпусков, компенсация за недоиспользованный отпуск и др. Величина этих выплат составляет 20% от размера основной заработной платы:

$$C_{з.доп} = 0,2 \cdot C_{з.осн}$$

Дополнительная заработная плата программиста составит 6958,90 руб., а руководителя 1708,98 руб.

Отчисления с заработной платы составляют 30%:

$$C_{з.отч} = 0,3 \cdot (C_{з.осн} + C_{з.доп})$$

Отчисления с заработной платы программиста составят 12526,02 руб., а руководителя 3076,16 руб.

Общую сумму расходов по заработной плате с учетом районного коэффициента можно увидеть в таблице 8.

Таблица 8 – Общая сумма расходов по заработной плате

№	Должность	Оклад, руб	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб	Отчисления с заработной платы, руб
1	Программист	550	34794,5	6958,9	12526,02
2	Руководитель	6500	8544,9	1708,98	3076,16
Итого			43339,4	8667,88	15602,18

3.5.2 Затраты на электроэнергию

К данному пункту относится стоимость потребляемой электроэнергии компьютером за время разработки программы.

Стоимость электроэнергии, потребляемой за год, определяется по формуле:

$$C_{эл} = P_{ЭВМ} \cdot T_{ЭВМ} \cdot Z_{эл}$$

где $P_{ЭВМ}$ – суммарная мощность ЭВМ, кВт;

$T_{ЭВМ}$ – время работы компьютера, часов;

$Z_{эл}$ – стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, руб.

Рабочий день равен 8 часам, следовательно, стоимость электроэнергии за период работы компьютера во время создания программы будет вычисляться по формуле:

$$C_{эл} = P_{ЭВМ} \cdot T_{пер} \cdot 8 \cdot Z_{эл}$$

где $T_{пер}$ – время эксплуатации компьютера при создании программы, дней.

Предположим, что ЭВМ имеет $P_{ЭВМ}=0,24$ кВт, а стоимость 1 кВт/ч электроэнергии $Z_{эл}=5,8$ руб. Тогда расчетное значение затрат на электроэнергию равно:

$$C_{эл} = 0,24 \cdot 46 \cdot 8 \cdot 5,8 = 512,256 \text{ руб}$$

3.5.3 Накладные расходы

Накладные расходы, связанные с выполнением проекта, вычисляются, ориентируясь на расходы по основной заработной плате. Обычно они составляют 20% расходов на основную заработную плату:

$$C_{накл} = 0,2 \cdot C_{з.осн}$$

Накладные расходы составят 6958,9 руб.

3.5.4 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Расходы по заработной плате	67609,46
2. Отчисления во внебюджетный фонд	15602,18
3. Затраты на электроэнергию	512,256
4. Накладные расходы	6958,9
Бюджет затрат исследования	90682,796

Общие затраты на разработку СППР сведем в таблицу 10.

Таблица 10 – Расчет затрат на разработку СППР

Статьи затрат	Затраты на проект, руб	Удельный вес, %
Расходы по заработной плате	67609,46	74,5
Отчисления во внебюджетный фонд	15602,18	17,2
Затраты на электроэнергию	512,256	0,6
Накладные расходы	6958,9	7,7
ИТОГО	90682,796	100

3.6 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель).

Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 18.



Рисунок 18 – Организационная структура научного проекта

3.7 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 11.

Таблица 11– Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соцответств	Консультант по языковому разделу	Студент
Разработка технического задания	О				
Составление и утверждение технического задания	О				
Выбор направления исследований	О				И
Подбор и изучение материалов по теме	С				И
Календарное планирование работ	О				И
Ознакомление с видами РАО					И
Ознакомление со способами обращения с РАО					И

Изучение программы MERCURAD					И
Выполнение расчётов и анализ полученных данных					И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Обобщение и оценка результатов	С				И
Составление пояснительной записки	С				И
Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	С				И
Подготовка к защите	О				И

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- ответственный (О)– лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);
- согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

3.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 7). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{90682,796}{125815,00} = 0,72$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{фин1}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{125815,00}{125815,00} = 1; I_{фин2}^{a2} = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{max}} = \frac{112570,00}{125815,00} = 0,89$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен ниже.

Таблица 12–Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1.Повышение роста производительности труда пользователя	0,25	5	3	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4	3
3. Надёжность	0,15	5	2	2
4. Экономичность	0,15	5	4	4
5. Повышение безопасности эксплуатации газотранспортных объектов	0,30	5	5	5
ИТОГО	1	5	3,4	3,2

$$I_{\text{тп}} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,30 = 5;$$

$$\text{Аналог 1} = 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,30 = 3,75;$$

$$\text{Аналог 2} = 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,30 = 3,6.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финаi}}^{ai}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p}; I_{\text{финаi}}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{\text{финаi}}^{ai}};$$

В результате:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p} = \frac{5}{0,72} = 6,94, I_{\text{фин1}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\text{фин1}}^{a1}} = \frac{3,75}{1} = 3,75, I_{\text{фин2}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\text{фин2}}^{a2}} = \frac{3,6}{0,89} = 4$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финаi}}^{ai}}$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 13.

Таблица 13– Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,89	0,72
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,75	3,6	5
3	Интегральный показатель эффективности	3,75	4	7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,85	1,735	1

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ61	Петров Павел Владимирович

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные к разделу «Социальная безопасность»:

Научная и методическая литература по данной теме, публикации

Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Обучение нейросетей

Описание методов и моделей обучение нейросетей

2. Проблемы при обучении нейросетей

Описание возможных проблем и вариантов их решения

3. Интерфейс

Описание элементов интерфейса, пример экрана при срабатывании сигнальной системы

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ИШХБМТ	Невский Егор Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Петров П.В.		

4. Социальная ответственность

4.1 Введение

Основным элементом системы поддержки принятия решений (СППР) являются нейронные сети (НС), обеспечивающие эффективный анализ данных, прогнозирование характеристик газотранспортной системы (ГТС), формирования образов для помощи диспетчеру и согласование решений задач распознавания и извлечения, и сохранения знаний, оценки образов и принятия решений. Необходимость НС обуславливается тем, что СППР не должна быть запрограммирована жестко, данная система должна иметь возможность дальнейшего развития, адаптации к новым условиям и ситуациям.

НС являются естественным способом поиска общего решения через объединение множества частных решений, полученных по группам биометрических данных. Основной проблемой применения искусственных нейронных сетей является их обучение или проблема поиска значений нейровесов нейронов и коэффициентов смещения.

В теории НС термин «обучение» был определен Дж. Менделем и Р. Маклареном как процесс, в котором параметры сети настраиваются посредством воздействий, оказываемых средой, в которой находится эта сеть. Способ настройки определяется типом обучения.

На практике передаточные функции нейронов в многослойной сети фиксированы, поэтому настройка параметров сети сводится к итеративному процессу корректировки синаптических весов, состоящему из следующих этапов.

1. В нейронную сеть поступают обучающие данные.
2. Сеть на их основе формирует выходные сигналы.
3. Происходит оценка выходных сигналов.

4. По результатам оценки перенастраиваются синаптические веса нейронной сети, после чего сеть формирует выходные сигналы иным образом.

Обучение прекращается, когда, оценив выходные сигналы сети после очередной итерации, можно сказать, что сеть решает поставленную перед ней прикладную задачу максимально приближенно к наилучшему решению. Таким образом в процессе обучения нейронная сеть автоматически приобретает новые знания, однако следует учитывать, что из обученной сети невозможно извлечь правила ее работы, поэтому обученная сеть представляет собой «черный ящик» и ее тестирование производится в соответствии с этим.

Процесс обучения нейронной сети схематично изображен на рисунке 19.



Рисунок 19 – Процесс обучения нейронной сети

Описанный процесс реализуется в различных алгоритмах обучения, подходящих под ту или иную архитектуру нейронной сети.

1. Парадигмы, применяемые для обучения многослойных нейронных сетей

Процесс обучения нейронной сети определяется двумя характеристиками:

- 1) Способом настройки синаптических весов нейронов;
- 2) Способом связи обучаемой нейронной сети с внешним миром.

Первая характеристика определяет алгоритм, вторая – парадигму обучения.

Принято выделять три парадигмы обучения: обучение с учителем, без учителя (самообучение) и смешанную. В первом случае нейронная сеть настраивается по заданной обучающей выборке и результат работы сети сравнивается с известными правильными выходными данными. Во втором случае известны только входные данные, на основе которых сеть учится давать наилучшие значения выходных сигналов. Смешанная парадигма предполагает, что часть синаптических весов настраивается по заданной обучающей выборке, а другая – в соответствии с правилами обучения без учителя.

Далее будут подробнее рассмотрены парадигмы обучения с учителем и без учителя.

4.2 Обучение с учителем

Обучение с учителем основано на том, что имеются знания об окружающей среде, представленные в виде готовых пар вход-выход, где выход представляет собой желаемый результат, к которому должна стремиться обучаемая сеть. Разность между желаемым сигналом и текущим откликом нейронной сети называют сигналом ошибки. При таком обучении возникает замкнутая система с обратной связью, которая не включает в себя окружающую среду. В процессе обучения сеть получает только те данные об окружающей среде, которые были отобраны учителем.



Рисунок 20 – Процесс обучения с учителем

Учитель формирует обучающее множество – совокупность пар векторов $\{x_k, d_k\}$ при $k=1 \dots K$,

где $\{x_k\} = \{x_1, \dots, x_K\}$ – вектор входных сигналов;

$\{d_k\} = \{d_1, \dots, d_K\}$ – вектор желаемых (правильных с точки зрения учителя) выходных сигналов;

K – количество обучающих примеров.

При подаче одного из векторов x_k на вход обучаемой сети на выходе получится некоторый вектор y_k . Тогда ошибкой на данной итерации можно считать:

$$E = \|d_k - y_k\|$$

Обучение считается завершенным, если все примеры были обработаны заданное количество раз либо если величина ошибки после очередной итерации стала достаточно мала.

Самой известной и часто употребляемой при решении практических задач реализацией этой парадигмы обучения стал алгоритм обратного распространения ошибки.

Алгоритм обратного распространения ошибки – это итерационный градиентный алгоритм обучения, который используется с целью минимизации среднеквадратичного отклонения текущих от желаемых выходов многослойных нейронных сетей с прямым распространением сигнала. Этот

алгоритм был предложен Д. Румельхертом в 1986 году. Идея алгоритма заключается в том, что в многослойных сетях в отличие от однослойных оптимальные выходные значения всех слоев, кроме последнего, неизвестны, поэтому необходимо распространить сигнал ошибки от выхода обучаемой сети к ее входам в направлении, обратном прямому распространению сигналов обычном режиме работы.

Функция ошибки определяется согласно методу наименьших квадратов:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^P (y_i - d_i)^2$$

где y_i – реальный сигнал на j -м выходе нейронной сети;

d_i – желаемый (идеальный) сигнал на j -м выходе.

Суммирование ведется по всем нейронам выходного слоя и по всем обрабатываемым сетью образам. Минимизация функции E ведется методом градиентного спуска, что означает подстройку весовых коэффициентов следующим образом:

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = \eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \quad (1)$$

где w_{ij} – синаптический вес, соединяющий i -й нейрон слоя $n-1$ с j -м нейроном слоя n ; η – коэффициент скорости обучения, $0 < \eta < 1$.

Второй множитель в (1) раскладывается следующим образом:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{\partial y_j}{\partial s_j} \cdot \frac{\partial s_j}{\partial w_{ij}} \quad (2)$$

здесь s_j – выход нейрона j ; s_j – взвешенная сумма его входных сигналов, то есть аргумент активационной функции.

Третий множитель в (2) $\frac{\partial s_j}{\partial w_{ij}}$ равен выходу нейрона предыдущего слоя $y_i^{(n-1)}$.

Первый множитель в (2) раскладывается следующим образом:

$$\frac{\partial E}{\partial y_j} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{\partial y_k}{\partial s_k} \cdot \frac{\partial s_k}{\partial y_k} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{\partial y_k}{\partial s_k} \cdot w_{jk}^{(n+1)}$$

где суммирование по k выполняется среди нейронов слоя n+1. Если ввести новую переменную:

$$\delta_j^{(n)} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{\partial y_j}{\partial s_j}$$

то может быть получена рекурсивная формула для расчетов величин $\delta_j^{(n)}$ слоя n из величин $\delta_k^{(n+1)}$ более старшего слоя n+1:

$$\delta_j^{(n)} = \left[\sum_k \delta_k^{(n+1)} \cdot w_{jk}^{(n+1)} \right] \cdot \frac{dy_j}{ds_j} \quad (3)$$

Выражение (3), сформулированное для выходного слоя обучаемой сети, примет вид:

$$\delta_1^{(T)} = (y_1^N - d_1) \cdot \frac{dy_j}{ds_j} \quad (4)$$

После описанных преобразований можно записать (1) в раскрытом виде:

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = -\eta \cdot \delta_j^{(n)} \cdot y_i^{(n-1)} \quad (5)$$

Итак, обучение многослойной нейронной сети по алгоритму обратного распространения ошибки происходит следующим образом.

1. На входы сети подается один из входных векторов обучающей выборки. В результате его обработки сетью получается действительный выходной вектор.
2. По формуле (4) рассчитывается $\delta^{(N)}$ для выходного слоя.
3. По формуле (5) рассчитывается изменение весов выходного слоя $\Delta w^{(n)}$.
4. По формулам (3) и (5) производится расчет $\delta^{(n)}$ и $\Delta w^{(n)}$ для остальных слоев сети $n=N-1, \dots, 1$.
5. Корректируются все веса в обучаемой нейронной сети.
6. На вход обучаемой сети подается входной вектор того же обучающего примера, получается действительный выходной вектор и вычисляется величина ошибки.

7. Если величина ошибки превышает некоторый заданный порог, то снова выполняются шаги 2-6.

Следует заметить, что такой алгоритм обучения налагает следующее ограничение на нейронную сеть, которое следует учитывать при создании сети: производная активационной функция должна быть определена на всей оси абсцисс. Это ограничение следует из (2), где множитель $\frac{\partial y_j}{\partial s_j}$ является производной функции активации по ее аргументу. В связи с этим функция единичного скачка и прочие активационные функции с неоднородностями не подходят для рассматриваемых НС. В них применяются такие гладкие функции, как гиперболический тангенс или классический сигмоид с экспонентой.

4.3 Обучение без учителя

Обучение без учителя предполагает взаимодействие обучаемой сети непосредственно со средой. В этой системе нет того, кто формирует желаемый выход сети на каждом шаге процесса обучения.

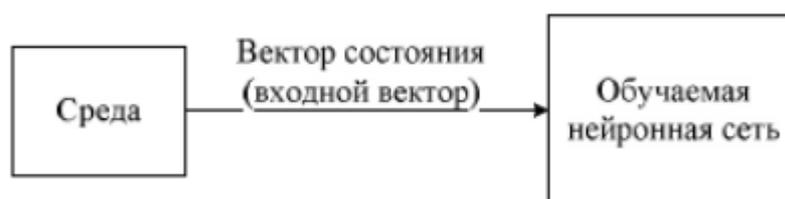


Рисунок 21 – Обучение без учителя

Существуют различные алгоритмы, реализующие эту парадигму обучения: обучение с подкреплением, алгоритм Кохонена и другие. Каждый из этих алгоритмов определяет принцип и порядок изменения синаптических коэффициентов на каждой итерации, а также условие окончания обучения. На первом шаге обучения происходит инициализация сети: всем синаптическим весам присваиваются небольшие случайные значения. Далее на каждой итерации происходит корректировка весов нейронной сети на небольшие значения, закрепляются только те изменения, которые привели к улучшению результата работы сети.

4.4 Проблемы НС и варианты их решение

4.4.1 Проблема ценности данных и предварительной подготовки

В области машинного обучения, около 80% времени уходит на подготовку данных. Это означает, что для любой системы машинного обучения, потребуется подготовка и маркировка обучающей выборки, на которой алгоритмы смогут обучаться. При этом, нужно учитывать, что для многих реальных задач, сам процесс получения и подготовки данных — может обходиться весьма дорого.

Отчасти, здесь может помочь использование **предварительного обучения**. Основная идея предварительного обучения заключается в том, что, в начале, нейронная сеть (или другой алгоритм машинного обучения) тренируется на дешёвом и большом наборе данных из схожей или той же области применения или даже на зашумлённых данных.

Разумеется, эти данные не позволят напрямую решить исходную проблему, но эти данные дадут нейронной сети хотя бы приблизительное представление о том, как выглядит ваша проблема. После этого, разумеется, нужен второй этап обучения нейронной сети, когда она будет обучаться уже на подготовленном наборе данных (зачастую, гораздо меньшем и дорогостоящем), который и демонстрирует нейронной сети ту самую проблему, которую вы на самом деле пытаетесь решить. Затем — настраивают выход сети на нужное количество классов и проводят переобучение сети на целевых данных задачи.

Источники данных для предварительного обучения бывают 4 типов:

1. **Предобученные модели** — так называемый Зоопарк Моделей
2. **Открытые наборы данных** - множество самых разных наборов данных доступны в интернете. Поэтому, прежде чем тратить свой время на сбор данных самостоятельно — лучше предварительно поискать готовые наборы данных, которые могут помочь решить проблему, над которой вы работаете.

3. **Сбор данных с сайтов** - можно реализовать свой парсер сайта (или сайтов), который автоматически соберёт с них нужные данные, что позволит вам создать свой новый набор данных.
4. **Слабо размеченные данные.** Для предварительного обучения модели, можно использовать, так называемые, слабо размеченные данные. Под этим понимаются данные, метки которых не всегда правильные (90% меток могут быть правильными, а 10% — ошибочными). Преимущество состоит в том, что такие данные могут быть получены автоматическим способом — без участия человека в разметке.

4.4.2 Неравномерность распределения классов в реальных задачах

После того, как мы получили данные для предварительной и для точной настройки, мы столкнёмся с ещё одной проблемой, в которой состоит различие между научным и реальным миром.

В существующих академических наборах данных, эти данные, зачастую, хорошо сбалансированы. Это означает, что, например, для задачи классификации, подобрано одинаково много образцов для каждого класса.

В реальных же задачах — данные, чаще всего, будут не сбалансированы.

Решения проблемы неравномерного распределения классов:

1. **Получить больше данных.** Попытаться собрать больше данных из редких классов. Делать это нужно с осторожностью, так как увеличив количество редких классов в своём обучающем наборе, мы получим модель, которая может чаще предсказывать редкие классы.
2. **Изменить классы.** Если не получается получить больше данных о редких классах, то можно попробовать переосмыслить классификацию данных. Например, объединить редкие классы в более общую сущность.
3. **Отбор данных.** Если нет возможностей получить больше данных или изменить классы — значит, нужно работать с исходными данными. Чтобы обучить модель работе на редких классах, можно изменить способ, которым алгоритм получает примеры для обучения. Возможны следующие варианты:

Игнорирование — выборочно игнорировать более часто встречающиеся классы (самый простой метод). Это позволяет выровнять количество образцов из каждого класса.

Передискретизация — образцы редкого класса показываются алгоритму с более высокой частотой.

Субдискретизация — образцы более частых классов показываются алгоритму реже.

Оба этих метода приводят к одному и тому же результату. Преимущество этих методов по сравнению с предыдущим заключается в том, что никакие образцы не игнорируются.

Отрицательный отбор — целенаправленный отбор самых сложных образцов данных. Нужно регулярно оценивать модель во время обучения и выбирать образцы, которые были неправильно классифицированы моделью. Это позволяет выбрать образцы, которые требуется чаще демонстрировать алгоритму для обучения.

4. Взвешивание потерь. Во время обучения модели, можно увеличить вес функции потерь для образцов из редких классов, чтобы научить модель уделять им больше внимания.

4.4.3 Интерпретация модели

До возникновения глубоких нейронных сетей, о большинстве моделей можно было относительно легко рассуждать.

Линейные модели — линейные классификаторы или регрессоры — обеспечивают прямую связь между параметрами и прогнозом. Это делает относительно простым рассуждение о механизме принятия решения.

Деревья принятия решений (Decision trees) — можно отследить путь принятия решения по ветвям дерева, чтобы понять, как было принято решение.

Как правило, верхние узлы охватывают самые важные параметры. Разумеется, всё становится сложнее, когда речь идет о случайных лесах принятия решений (Random forest).

К сожалению, понять как принимает решение нейронная сеть — гораздо сложнее. Они нелинейны и могут иметь миллионы параметров.

Разумеется, это становится очень важной проблемой в реальных приложениях, поскольку решения на базе глубоких нейронных сетей очень быстро проникают в самые разные области нашей жизни: автономный транспорт, медицинская диагностика, принятие финансовых решений и многое другое. Большинство из этих применений напрямую приводят к результатам, которые существенно влияют на нашу жизнь. Поэтому, неправильные решения могут нанести существенный ущерб людям (это может быть финансовый ущерб, а может быть и угроза жизни, в случае медицинских ошибок или ошибок при управлении автономным транспортным средством).

Кроме непреднамеренных ошибок, возможны ситуации целенаправленных атак по дискредитации систем распознавания. Исследователями уже продемонстрированы возможности по целенаправленному добавлению зашумлённых данных к нормальному изображению, которое приводит к ошибкам работы классификатора на основе глубокой нейронной сети.

Кроме того, возможно сгенерировать полностью искусственное изображение, на котором будет получаться уверенное предсказание модели.

В реальных задачах, мы всё же хотим достичь понимания — почему наша система ведёт себя не так, как должна. Применительно к глубоким нейронным сетям, для этого используются различные методы визуализации.

1. Частичное перекрытие (Partial occlusion) — часть изображения скрывается и проверяется как изменяется отклик классификатора.

2. Карта полезности (Saliency map) — вычисляются производные входного изображения относительно предсказаний класса.

4.5 Интерфейс

Интерфейс пользователя предоставляет широкий набор функций:

- Текущая информация предоставляется оперативному персоналу в виде графических мнемосхем с отображением в текстовом и символьном виде значений параметров технологического процесса и состояния оборудования, а также в виде трендов (графиков изменения параметров во времени) и текстовых сообщений о зарегистрированных событиях.

- Отображение графических мнемосхем КП со значениями ТИ и мнемоникой ТС;

- Отображение списка тревог и событий;

- Отображение общей функциональной схемы МПК с возможностью обращения к схеме любой крановой площадки межпромыслового коллектора;

- Географическая карта месторождения с нанесенной схемой МПК, с возможностью детализации любого участка, с обозначением рек, озер, дорог, узлов подключения газовых промыслов;

- Отображение графиков изменения давления по всей трассе межпромыслового коллектора, по каждой нитке;

- Работа с уставками на датчики ТИ и паспортными данными кранов.

В случае возникновения аварийной ситуации (разрыва газопровода) срабатывает сигнальная система СППР, и на экран АРМ диспетчера в виде автоматически всплывающего окна выводится информация о предполагаемом разрыве и рекомендации по действиям диспетчера в сложившейся ситуации, сопровождаемые звуковым сигналом. Пример соответствующего экрана приведен на рисунке 22.

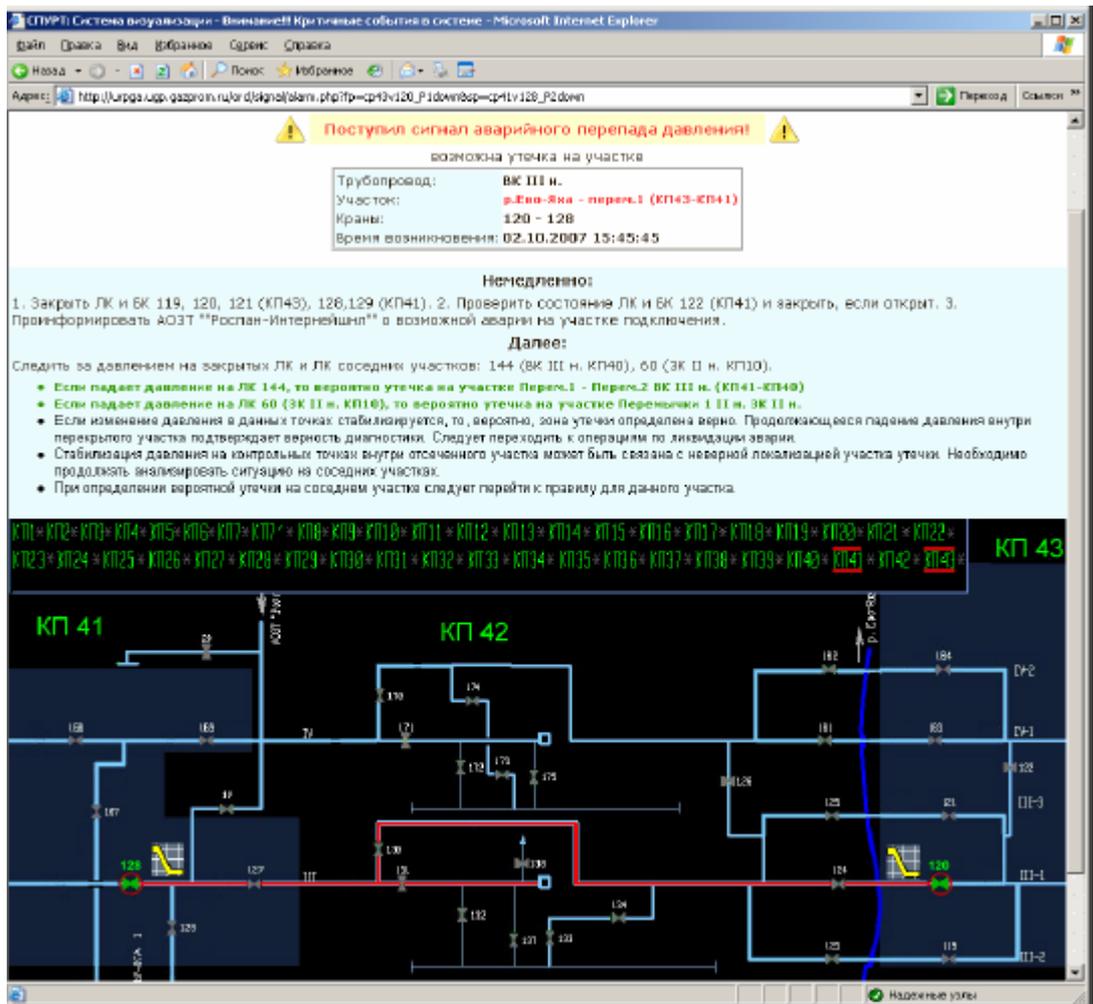


Рисунок 22 – Мнемосхема при срабатывании сигнальной подсистемы

Список литературы

1. Принципиальные схемы обустройства нефтегазовых объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL https://www.intuit.ru/studies/courses/3475/717/lecture/21333?page=2&keyword_content=%D0%B1%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F
2. Андреев Е.Б., Попадько М.А. Программные средства систем управления технологическими процессами в нефтяной и газовой промышленности: Учеб. Пособие – М.:РГУ нефти и газа им. Губкина, 2004.
3. Бернер Л.И., Гармаш В.Б. Современное состояние и тенденции развития автоматизации магистрального транспорта газа // М.: ЦНИИТЭ и приборостроения, 1986-ТС-3 №2.
4. Бернер Л.И. Проектирование структуры территориально-распределенных систем управления с повышенной отказоустойчивостью // Проблемы создания и производства высоконадежных систем и комплексов для промышленных АСУ на базе малых и микроЭВМ – Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара – М., 1998
5. Г.Ю. Чернышова Методические материалы по изучению дисциплины «Информационные системы управления бизнесом» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 080500.62 «Бизнес-информатика» . – Саратов, 2014. – 28 с.
6. Гармаш В.Б., Собкин Б.Л. Автоматизированное проектирование структуры УВС на основе комплексного критерия эффективности // Приборы и системы управления. №II. – 1983
7. Сафронов, В. Л. Лекции и учебные пособия по системному анализу / В. Сафронов // Системный анализ и проектирование [Электронный ресурс]. – 2006–2012. – Режим доступа: <http://victorsafronov.narod.ru/systemsanalysis/lectures/zhivickaya/28.html>.
8. Макаров Н.М., Виноградская Т.М., Рубчинский А.А. и др. Теория выбора и принятия решений. – М.: Наука, 1982

9. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях предпочтения и замещения. – М.: Радио и связь, 1991. – 560 с.
10. Бурков В.Н., Панова Л.Н., Шнейдерман М.В. Получение и анализ экспертной информации. – М.: Изд-во Института проблем управления, 1981.
11. Белов Е.Г. Об одной многокритериальной задаче распределения заданий. – Маршрутно-распределительные задачи: Уральский государственный технический университет. - Екатеринбург, 1995. – с. 4-9.
12. Растринин Л.А., Эйдук Я.Ю. Адаптивные методы многокритериальной оптимизации. – Автоматика и телемеханика, 1985. - №1. – с. 5-26
13. Будихин А.В., Николаев А.Б., Юрчик П.Ф. Методы построения современных систем обработки данных и знаний // Учебное пособие, МАДИ, 1997.
14. Григорьев Л.И. Нейросетевые технологии статической обработки информации. – М.: ИРЦ «Газпром», 1999.
15. Богданов Н.К. Аспектно-ориентированные методы в управлении информационными потоками БД ДП АСУТП // Автоматизация в промышленности, 2003. - №9. – с. 18-22.
16. Дмитриев В.Ф., Халтурин В.П. Организация взаимодействия диспетчера газотранспортного предприятия с АСУ // Приборы и системы управления, №9, 1987
17. Лазаревич С.В. Мостовой А.В. Многоуровневая интегрированная автоматизированная система диспетчерского управления газотранспортного предприятия // Промышленные АСУ и контроллеры. М. Изд-во «Научтехлитиздат», 1999, №3.
18. Турута Е.Н. Сравнительный анализ методов повышения устойчивости распределенных систем управления // Управление процессами и ресурсами в распределительных системах – М.: Наука, 1998
19. Дэвис Д., Барбер Д., Прайс У. и др. Вычислительные сети и сетевые протоколы. – М.: Мир, 2002. – 562 с.

20. Бернер Л.И. Потери эффективности АСУТП транспорта газа от невыполнения функции оптимального режима // Транспорт и подземное хранение газа – ЭИ ВНИИЭ Газпрома, 1996. №8.
21. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1998 – 384 с.
22. Антропов М.В., Левин М.Ш. Формирование допустимых вариантов иерархической системы управления на стадии проектирования // Проблемы и методы принятия решений в организационных системах управления – М.: ВНИИМИ, 2005
23. Идин М.А. Павлов А.Н. Идеология построения АСУТП транспорта газа по магистральным газопроводам // Новые исследования и разработки в области АСУ в нефтяной и газовой промышленности. – Киев: Киевский институт автоматики им. XXV съезда КПСС, 2004.
24. Турута Е.Н, Повышение отказоустойчивости распределенных систем управления с помощью резервирования функций // Логическое управление с использованием ЭВМ – Тезисы докладов XI Всесоюзного симпозиума. – М.: МГИ, 1998.
25. Балавин М.А., Назаров О.В., Продовиков С.П. Оптимальное резервирование задач в распределенных иерархических системах управления. – Сетевые протоколы и управление в распределительных вычислительных системах. – М.: Наука, 2006.
26. Дивеев А.И. Теория управляемых сетей и приложений – М.: Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН. 2007 г. – 207 с.
27. Беляков В.Г., Митрофанов Ю.И., Ярославцев А.Ф. Пакет прикладных программ для математического моделирования сетевых систем // XI Всесоюзная школа-семинар по вычислительным сетям: Тез. Докл. – М.: ВИНТИ, 1996. – Ч.Ш. – с. 145-150
28. Этапы жизненного цикла базы данных // Студопедия [Электронный ресурс] // URL: http://studopedia.ru/6_52021_etapizhiznennogotsiklabazidannih.html.

29. Золотов И.О., Лосенков А.С., Фирсов Ю.В. Численное исследование нестационарных процессов при утечке газа из газопровода. Диагностика аварийных ситуаций. – М.: Наука, 2008.

30. Зельдин Ю.М., Ланчаков Г.А., Никаноров В.В. Система поддержки принятия решений в составе системы телемеханики межпромышленного коллектора // Газовая промышленность, №2, 2007.

31. Гармаш В.Б. Современное состояние и тенденции развития автоматизации магистрального транспорта газа. Мю: ЦНИИТЭ и приборостроения, 1996-ТС-3 №2.

32. Богданов Н.К. Системы реального времени. Курс лекций. – М.: МАДИ 2003, 159 с.

Приложение А

Development of information decision support system during the process of gas transportation

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ61	Петров Павел Владимирович		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Шепетовский Денис Владимирович			

System analysis management methods and models of gas transportation system.

The main elements of the gas transportation system (GTS) of the gas transportation enterprise are presented in Figure 1.

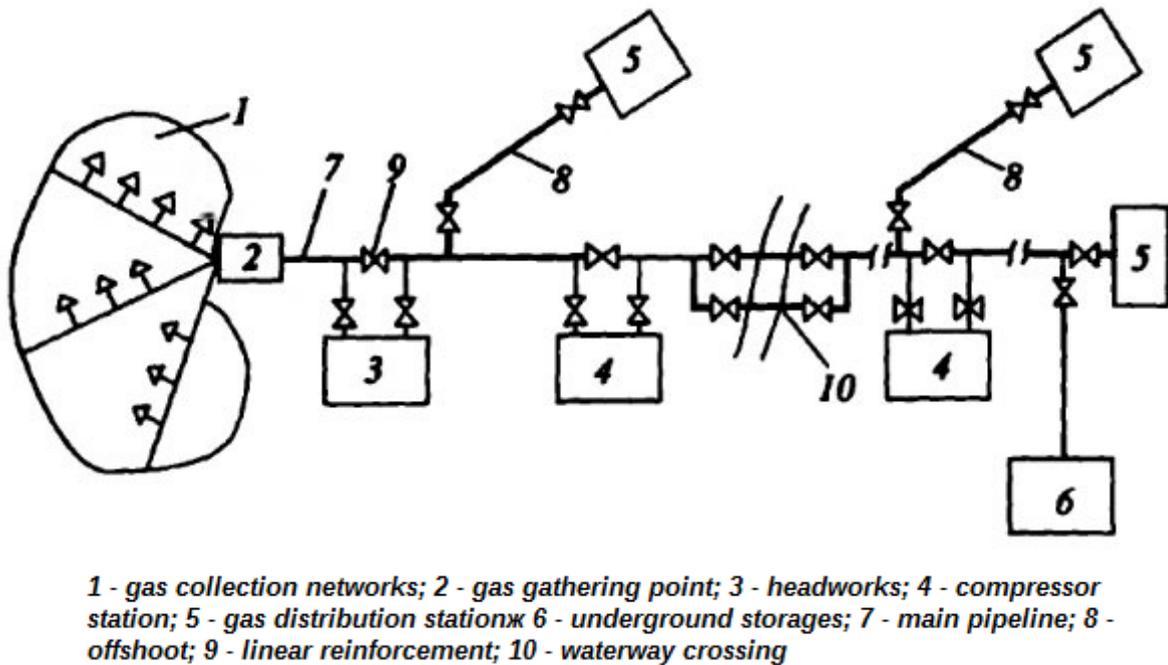


Figure 1 - The main elements of GTS

Gas transportation is the delivery of gas from fields and gas processing plants to power plants, industrial enterprises, residential sector and for export.

Gas from the fields comes through the gas gathering point along the production reservoir to the gas treatment unit, where gas is dehydrated, cleaned of mechanical impurities, carbon dioxide and hydrogen sulphide. Then the gas goes to the main compressor station and to the main gas pipeline (MGP).

The main gas pipeline facilities include the following main facilities:

- Head facilities;
- Compressor stations (CS);
- Gas distribution stations (GDS);
- Underground gas storages (UGS);
- Linear constructions;

MGP depending on the working pressure are divided:

I class - from 2.5 to 10 MPa inclusive;

Class II - from 1,2 to 2,5 MPa inclusive.

The produced gas is prepared for transportation at the main facilities. The gas pressure is large enough in the first period of field development, so there is no need to use a head compressor station. This station is built at the later stages of the development of gas fields.

Compressor stations (CS) are designed for pumping gas from deposits or underground storage facilities to the consumer. In addition, the CS performs gas purification from liquid and solid impurities, as well as its dehydration.

Gas-pumping units (GPU) are designed to compress natural gas, sufficient to ensure its transportation with specified technological parameters.

Gas distribution stations (GDS) are built at the end of each MGP or a diversion from it. High-pressure gas can not be directly supplied to consumers. On the GDS, the gas pressure is reduced to the required level, purification from mechanical particles and condensate, odorization and flow measurement are performed.

The line facilities include the MGP, linear shut-off devices, gas pipeline cleaning units, obstacle crossings, anti-corrosion protection stations, technological communication lines, off-road lines and line maintenance facilities.

Linear constructions of gas pipelines differ from similar constructions of oil pipelines in that linear ball valves are used instead of linear valves, the distance between which should not be more than 30 km. Besides, condensate collectors are built to collect the condensate. Most of the gas pipelines have a diameter of 720 to 1420 mm. Pipes and fittings are designed for operating pressure up to 10 MPa.

When parallel laying two or more MGPs in one technological corridor, they are connected by jumpers with a stop valve. The jumpers are located at a distance of at least 40 km from each other, as well as before and after compressor stations.

Underground gas storages (UGS) serve to compensate for uneven gas consumption. The using of underground structures for gas storage can significantly reduce investment in storage facilities.

During the transportation of gas, it is necessary to block the area or redirect gas flows. Blocking the area can be useful for localizing accidents on the pipeline or for repair work. Blocking the area occurs due to the closure of the valves at neighboring blocks valves, after which the gas is released into the atmosphere through the flare. Redirection of gas flows is used for multi-line gas pipelines to regulate flows in complex pipeline schemes.

The results of the analysis of the traditional management of technological objects revealed the following properties:

- Uniqueness is the distinguishing features of the structure of the GTS. They involve conditions of work of technological equipment: the environment (humidity, dust, etc.), restrictions related to the type of equipment;
- Informalizability of the description of some situations - there are such situations, the development of which cannot be predicted, which indicates the impossibility to compile mathematical models of all organizational and technical measures.
- Evolution is not only an improvement in management methods and means, but also a change in the structure of the gas transportation system, the connections of its elements, and the composition of the pumped gas over time. These changes occur with the commissioning of new equipment, gas pipelines, the emergence of new suppliers and consumers of gas. In addition, the changes are also due to aging equipment, corrosive effects, depletion of deposits, etc;
- Functional situationality - the selection of control actions, which depend on the specific situation. During the long-term operation of the hydraulic structures in various situations, special properties of the system may appear that affect the control capabilities of the system.
- Rationality of management decisions - rational management, leading to the improvement of a number of criteria at a certain point in time. The problem of choosing this solution lies in the complexity of comparing modes, control options, and also predicting the consequences of control actions;
- Multicriteria of functioning - the need to consider various qualitative criteria for making management decisions. The problem is the inconsistency of the criteria, for example, such criteria are the criteria of maximum pressure at the output of the compressor and the maximum performance of the CS. Often the choice of the control criterion depends on the controller's intuition;
- Static noninterpretability is the accordance of the identical changes of parameters in different situations. In addition, an important parameter is the change in parameters in time, it often need a long-term observation of changes in parameters for the analysis of the situation;
- Large inertia of the object is a long time delay in response to control actions, which forces to do pre-emptive actions, for which it is necessary to predict the state of gas pipelines, possible abnormal situations, etc;
- Non-stationarity of the system is changing the parameters and states of the GTS elements, as well as various conditions affecting the system in time;
- Inaccuracy of information is uncontrolled disturbances, instrument errors, equipment failures, random interference, etc. The problem is limiting the transmission speed, which prevents frequent responses to incorrect data;

It is necessary to take into account the properties of the system listed above during creating systems of operational dispatch control. These properties lead us to the fact that the system must have elements of artificial intelligence to adapt to the changing structure of the object, the conditions of functioning, as well as it must have stability to incompleteness of information and to be able to be supplemented with new data and rules.

Neural network models in problems of GTS state identification

Neural networks (NN) consist of elements, functional capabilities of which are similar to most of the functional capabilities of a biological neuron. Do not think that artificial neural networks are a complete resemblance to natural networks. Most of the NN models deliberately do not consider important characteristics of natural neurons. However, even such a crude approximation allows NN to retain some amazing properties of the natural brain. They learn from experience, use precedents to extend them to new cases. They are able to change their behavior depending on the state of the environment, it means that NN self-adjust and self-organize. The network is able to draw correct conclusions based on incomplete and inaccurate data under noisy signal conditions and to maintain its operability when a significant number of elements fail. It is very important, the NN is able to generalize the information received and issue a generalized image. In other words, the NN is able, on the basis of available data and knowledge, to generate new knowledge.

Multilayer networks are more powerful. The signal after passing through the layer through the axons of neurons falls on the synapses of the neurons of the next layer in them. A necessary condition for the operation of a multilayer network is the nonlinearity of the activation function, since in the case of linearity of a function, any multilayer network can obviously be reduced to a single-layer network, and the matrix of weights of this single-layer network could be obtained by multiplying the matrices of the weights of the layers. The development of multilayered networks has for a long time been hampered by the lack of methods for solving certain theoretical problems that have been solved now. If the signal in the neural network after leaving the layer falls on its input, then such a network is called a closed-loop (CL). Unlike conventional networks, the state of the NN with CL depends not only on the input data, but also on the outputs of neurons, such networks can change their state over time and have a memory function.

Training is the most important ability of the NN, which underlies its functioning. The network is trained in order to give a desired set of outputs for a number of inputs, which is achieved by adjusting the weights. There are supervised and unsupervised training. In the first case, there is an output target vector for each input vector, the network weights are adjusted in accordance with this training pair. In the second case, the training set consists only of input vectors, the learning algorithm adjusts

the weights so that the matched output vectors are obtained, close inputs must correspond to nearby outputs. The learning process identifies the statistical properties of the learning set. After training, weights in the NN don't change anymore, and the network uses the accumulated experience to accomplish the task assigned to it. Most training methods are constructed using the concept of Hebb, suggesting an increase in the weight of the synapse if both neurons are active (source and receiver). At the same time, the paths used are amplified, the network accumulates "habits".

Like many other NN, the counter-propagation network operates in two modes: normal and training mode. Under normal functioning, the Kohonen layer in its simplest form works in the spirit of "the winner takes all", i.e. for a given input vector, one and only one neuron outputs is 1, all others - 0. The single value is taken by the neuron with the maximum value of NET. The value of the NET signal is calculated in the usual way:

$$NET_j = \sum_i x_i w_{ij}$$

Output signal of the Grossberg layer

$$NET_j = \sum_i k_i v_{ij}$$

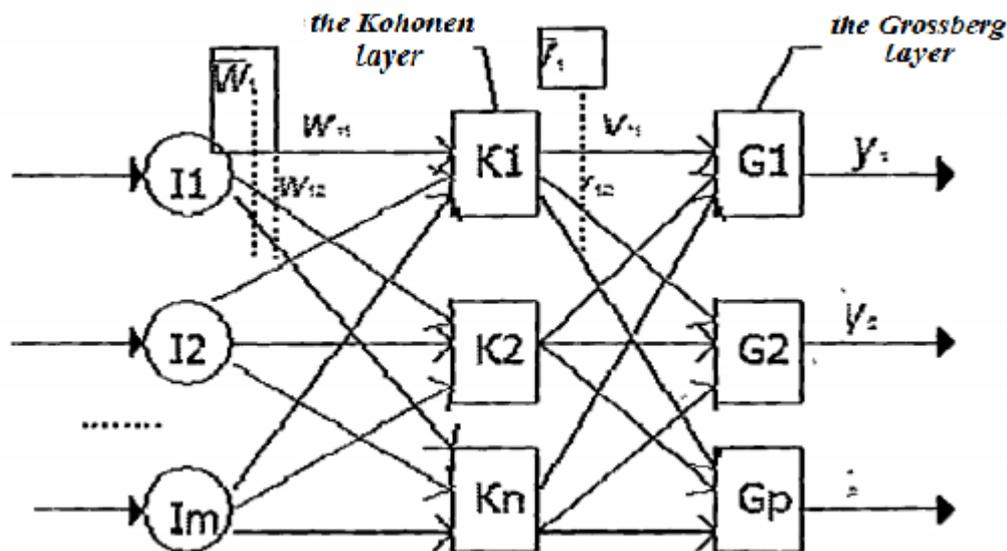


Figure 2 - The counter-propagation network

Virtually every neuron produces a weight value that connects it to the winning neuron of the Kohonen layer. The Kohonen layer classifies the input vectors into groups of similar vectors. This is achieved by adjusting the weights, since close input vectors activate the same layer neuron. Learning the Kohonen layer is teaching

without a teacher. In the beginning, it is desirable to normalize the input vectors by dividing its components by the length of the vector:

$$x'_i = \frac{x_i}{\sqrt{(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}}$$

The vector is given to input when learning and its scalar product is calculated with vectors of weights associated with all Kohonen neurons. The neuron with the maximum value of the product is declared the winner, and its weights are modified. NET is a measure of the similarity between the input vector and the weight vector, and the learning process consists in selecting the Kohonen neuron, with the weight vector closest to the input vector, and further convergence. The network self-organizes in such a way that this Kohonen neuron has the maximum output for a given input vector.

$$w' = w_- + \alpha(x - w_c)$$

Where w' is the new value of the weight connecting the input component x with the winning neuron; w_- is the weight value before the adjustment; α - the speed of training, at the beginning of training is about 0.7, then decreases. All weights in the network must be given initial values before starting the training. A common way is to use small random values, then the weights are normalized. Randomization of weights can cause serious problems, because input vectors are usually distributed unevenly, and some of the neurons will remain unclaimed. There are several methods for solving this problem. One of them is the convex combination method: all weights are initiated by the value $1/\sqrt{n}$, where n is the number of inputs. Each component of the input x is given the value $\alpha x_i \div \{[1/\sqrt{n}]1 - \alpha\}$, at first α is small and $x_i \approx 1/\sqrt{n}$, in the learning process α increases. This method works well, but requires additional calculations. It should be noted that the Kohonen network method has a useful and interesting feature to extract static properties of input data. This property is extremely useful in the construction of AI systems and, in particular, ES.

The programmatic aspects of creating decision support systems

When automating the GTS and the models for the functioning of its activities, there are the questions of formalizing the decisive rules for decision-making. The experience of automation shows that the process of creating a workable system of rules is very time-consuming and in practice a set of rules is never complete.

The structure of the decision-making system must reflect the nature of the sources of information. The consequences of selecting components and data models should be taken into account when forming a structure.

Since the main purpose of automation is to support decision-making, the principles of development can be borrowed from the theory and practice of developing expert systems.

In the expert system (ES), it is possible to identify a central structure called the knowledge base (KB), which contains a description of the objects and properties, solution of tasks for which this ES is designed, and the output subsystem for transforming the states of the BS. In the general case, it is a set of rules that allow to manipulate the expert's reasoning. Each rule consists of a description of the results of its use and a set of conditions. The management strategy in ES is understood as the law of choice and memorization of tested sequences of rules and states of KB. The functioning of the ES can be described as a search process, during which the rules are analyzed in terms of identifying some of their sequences, which allows you to extract information about the required solution from the KB.

Alternative solutions. A careful analysis of various approaches to the solution of the problem is necessary, as well as a guarantee that this issue will not lose its relevance during the development of the ES.

A set of test cases. A detailed list of test cases for solving problems must be developed. After receiving from the experts information about the rules that they use in each case, these tests can be used to verify and refine the collected rule of thumb.

Expert's help. The choice of experts is the most significant point, since it requires the involvement of one or more specialists with the experience of "manually" solving problems that can identify a good set of test cases participating in the project throughout its entire scope and interested in obtaining a positive solution.

Identification. At this stage, the tasks are specified to be solved with the help of ES, at least ten test cases of the solution are collected.

Formalization. At this stage, the ES designers interact with an expert who shows the problem solving process on a number of examples. Designers identify information that is directly relevant to the development of the solution, and fixes in the semiformal language the main stages of the expert's reasoning.

Modeling. A number of intermediate design tasks in the ES, (these include, first and foremost, control of the completeness of the information description, to implement, which is almost impossible by manual means) cannot be qualitatively and finally realized without careful modeling.

In recent years, there has been a trend towards the introduction of ES in medical diagnostics, financial activities, creation of optimal configurations of computing systems and other areas. Great attention was paid in these systems to the quality of the human-machine interface and to the connection with traditional programming languages.

The development of decision support systems is connected with the study of a multitude of interdependent problems related to nature, decision-making situations and providing service tools and technologies.

Environment (external environment) - a set of objects and conditions outside the boundaries of the system that interact with the system, but not controlled by it.

Role - the possible impact of the system on its environment. Determined by what means the system has and what its purposes are.

System components are identified elements within the system, usually representing functional blocks. Two general principles are used to distinguish components: separation in accordance with the functioning and specialization depending on the areas of the environment. The first principle is related to the requirement to effectively perform particular tasks, and the second is related to the need to form interfaces with private aspects of the environment.

Architecture reflects the connection between the components of the system and between components and the environment. The basic principle of organizing the elements of the system is the optimal balance between coordination and autonomy. It is preferable to ensure the minimum interdependence of components, which still allows the system to perform its functions as a single entity.

System resources are elements that are used or consumed in the construction and functioning of the system and, like the environment, are outside the boundaries of the system, but are partially controlled by it.

The architecture of the system is determined by the environment in which the system operates, and the method by which they affect the environment. Consequently, consideration of the components of the organization of the system should be preceded by the study of external aspects.

The distribution of system functions between specific program modules is a matter of organization and allocation of resources. Three main functions or conceptual components of the system are defined: management of the dialogue between the user and the system, data management and model management.

The data management component is central to the decision support system (DSS), since all levels of support for the decision-making process are based on data access.

The need to manage models is determined by the nature of the tasks for which DSS is used. As noted earlier, these tasks are only partially structured therefore they require for their decision the manipulation not only of the data, but also of the models describing them.

The user interface serves to characterize the syntactic aspects of the interaction (the specifics of the input / output devices, the style of interaction, etc.).

The dialog control function is used to determine the basic interaction semantics and to support the interaction context, which can vary from strictly predetermined by the system to "freely" directed by the user.

The query user uses to provide two-way translation between the user dictionary and the internal data access modeling dictionary.

Data management, i.e. the ability to save them, search for and manipulate them, is fundamental to other tools that provide the solution. The specific tools necessary to manage data in the system are:

- Database and its management system (DBMS) - to provide a mechanism for accessing data;
- Data directory - to support data definitions and descriptions of their types and sources in the system;
- Query tool - to interpret data requests (from various components) to determine the response strategy (possible when accessing the data dictionary), formulate queries for specific DBMS data, and issue data to the initial request;
- Transfer function - to establish external data extraction sources, to perform DSS communication with neighboring systems (databases, other DSS, personal and centralized).

The presence of a mechanism for explicit model management and, in general, support for activities related to modeling is a specific feature of the DSS, which distinguishes them from traditional information processing systems. The ability to call, test in action, change the combine and verify models is an important tool of the DSS core.

Model management is provided by the following means:

The system database management of models (DBMM) used to search, generate, transform parameters and restructure models, include a "model directory" to support information on available models;

Model execution block - a model for executing the run-through of the implementation of communication between models;

The simulation command processor required to interpret the simulation instructions obtained from the dialog control block and the direction of the generated commands in the DBMM or the model execution block;

Interface with the database used to search for data items in the database, run models and store the output information of the model for the purpose of further processing, reviewing or using it as inputs to another model.

The links between the components, the nature of the connections and the fact of their presence in terms of the environment and the role are illuminating in the literature. From a systemic point of view, resources should be included in the review after the first cycle of the DSS design is completed - the components are selected and their "ideal" organization is implemented. The main issues to be addressed at this stage are: "How can DSS be implemented better? How close can you go to the ideal system, what resources should be used to successfully build and effectively implement the DSS?".

The resources used in DSS fall into four main categories: hardware, software, human resources and data.

The hardware includes processors, a terminal, a storage medium, data networks, and so on. None of the types of this security is unique for DSS and is used in the vast majority of automated information processing systems.

The DSS software can be divided into four types: general-purpose programming languages, DSS facilities, DSS generators and generalized DSSs. It is clear that all software can be built on the basis of general-purpose programming languages, and any DSS can be written using a language of the same type.

The intensification of developments in the field of DSS creation is explained by the widespread use of personal computers that approach decision-makers (DM) to information and analytical resources and the emergence of a new methodology of expert systems that allow setting and solving unconventional, but most important, both in organizational systems and systems with weak levels formalization of processes.

Practical requirements have been created that should be met by the developed DSS, including: convenient user interface, the presence of a special language close to natural; interactive mode of DSS, providing a fast exchange of information between decision-makers and automated process control systems; high explanatory ability DSS, allowing the user, if necessary, to check the correctness of the stages of solving the task:

- Openness of DSS in terms of the possibility of its complementing and restructuring in the course of practical operation;
- Adaptability of the DSS, which allows it to be trained during tuning and practical use;
- Availability of software and hardware for analyzing qualitative information, operating with fuzzy concepts and descriptions.

The accumulated experience of DSS operation demonstrates that for the development of effective and necessary in the practical operation of systems, certain

conditions must be met: the tasks must be quite complex (that is, their solution is not available for the layman and requires a lot of time) and practically meaningful; tasks must be of high quality, for their solution, it is necessary to apply heuristic methods (due to the incompleteness of data and knowledge, the complexity of formalization of the subject area).

The inclusion in the DSS of mathematical and static models of the functioning of the GTS will allow expanding the scope of application to the development of simulators. It is possible to use the system in the form of business games for personnel training, whose professional activity is connected with making decisions on the selection of the GTS strategy, etc.

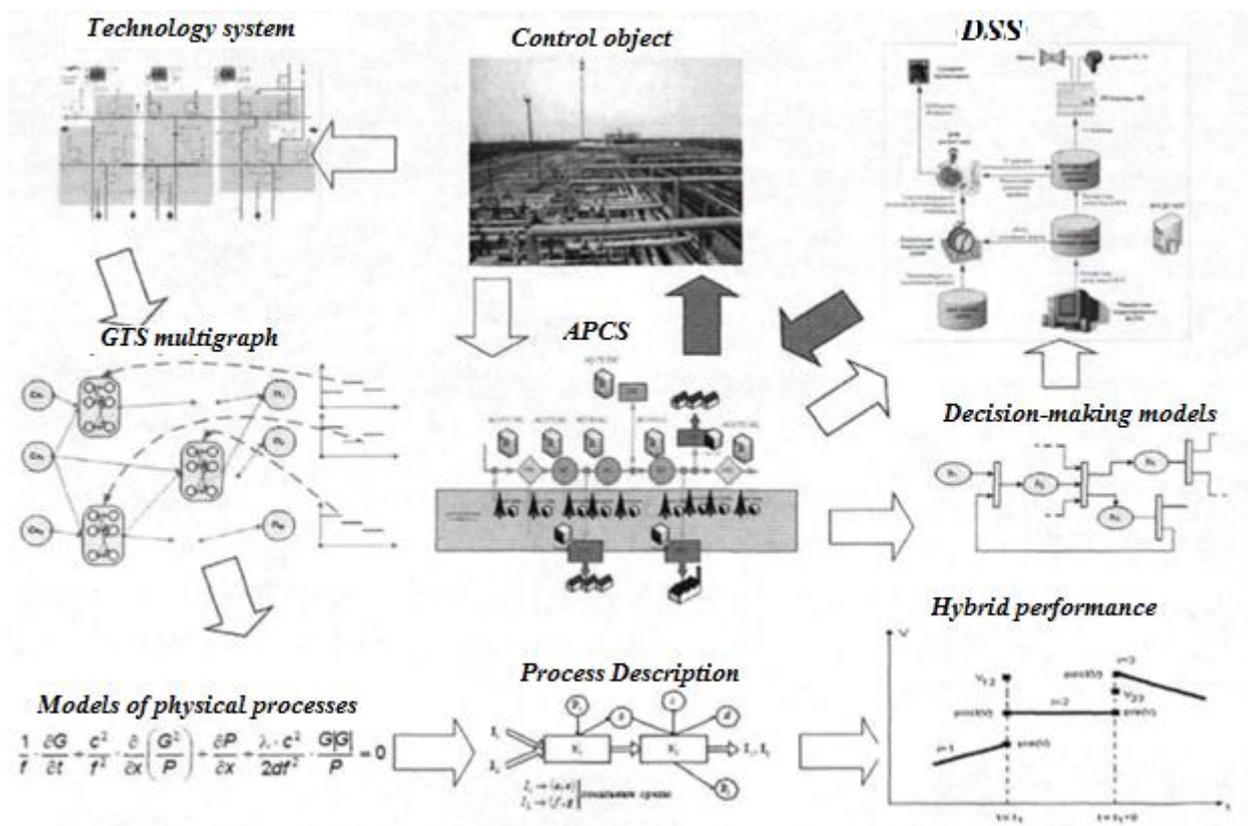


Figure 3 – Structure of work

The structure of the work corresponds to the structure of the DSS and the interconnection of its components is shown in Figure 3. There is a GTS within the gas transportation association, an integral part of which is the system of operational dispatch control and management. The GTS is formalized in work in the form of a multigraph. All components of the multigraph are weighted by models of physical processes.

To integrate both physical processes and control models into the DSS shell, it is proposed to use formalization in the form of a hybrid automaton that combines both continuous and discrete processes.

The most important element of DSS is the decision-making tasks based on the methods of temporal logic, neural networks, managed networks and others.

The thesis considers theoretical approaches that have found practical implementation in concrete DSS.

All of the above is intended to create a multi-level DSS taking into account severe requirements to the efficiency and reliability of the automated process control system.