

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 27.04.04 «Управление в технических системах»
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Реализация цифрового фильтра на основе сглаживающего штрафного P-сплайна

УДК 519.68: 621.372.54

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	У Даньни		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Кочегурова Е. А.	к.т.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов А. В.	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Скаковская Н. В.	к.ф.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н. А.	–		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Пушкарев М. И.	к.т.н		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов С. В.	к.т.н		

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по направлению 27.04.04 «Управление в технических системах»

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	профессиональные
P1	Применять глубокие естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами.
P2	Уметь обрабатывать, анализировать и обобщать научно–техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с разработкой технических систем управления с использованием аналитических методов и сложных моделей.
P4	Выполнять инновационные инженерные проекты по разработке программно–аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения с использованием современных методов проектирования, систем автоматизированного проектирования, передового опыта разработки конкурентно способных изделий.
P5	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области проектирования аппаратных и программных средств автоматизированных систем с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта. Критически оценивать полученные данные и делать выводы.
P6	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения и эксплуатации программно–аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения.
P7	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной профессиональной среде с пониманием культурных, языковых и социально–экономических различий партнеров
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, активно владеть иностранным языком, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя группы, в том числе междисциплинарной и международной, при решении инновационных инженерных задач.
P10	Демонстрировать личную ответственность и ответственность за работу возглавляемого коллектива, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения инновационной инженерной деятельности. Демонстрировать глубокие знания правовых, социальных, экологических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению, непрерывному самосовершенствованию в инженерной деятельности, способность к педагогической деятельности.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 27.04.04 «Управление в технических системах»
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Уровень образования – Магистратура
 Период выполнения – осенний /весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.05.2019	Основная часть	70
18.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
20.05.2019	Социальная ответственность	10
27.05.2019	Обязательное приложение на иностранном языке	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Кочегурова Е. А.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пушкарев М. И.	к.т.н.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 27.04.04 «Управление в технических системах»
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Пушкарев М.И.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8AM71	У Даньни

Тема работы:

Реализация цифрового фильтра на основе сглаживающего штрафного P -сплайна	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№1160/с от 14.02.2019 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Существующие алгоритмы векторной оптимизации; 2. Рекуррентная форма штрафного P-сплайна; 3. Требования к прогнозированию временных рядов в РМВ
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – синтез рекурсивного цифрового фильтра с использованием штрафного P-сплайна; – получение в аналитическом виде и исследование частотных и временных характеристик сплайн-фильтра для данных, поступающих в режиме реального времени; – оптимизация параметров штрафного P-сплайна с использованием эволюционных алгоритмов; – исследование влияния параметров штрафного P-сплайна на показатели эффективности прогнозирования.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Слайд 1 – Тема ВКР Слайд 2 – Цель и задачи исследования Слайд 3 – Актуальность работы Слайд 4–11 – Описание штрафного P-сплайна Слайд 12 – Показатели эффективности Слайд 13 – Схема генетического алгоритма Слайд 14 – Схема иммунного алгоритма Слайд 15,16 – Результат работы Слайд 17 – Заключение</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Основная часть</p>	<p>Доцент ОИТ ИШИТР, к.т.н. Кочегурова Е.А.</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Доцент ОСГН ШБИП, к.ф.н. Скаковская Н.В.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Ассистент ООД ШБИП, Алексеев Н. А.</p>
<p>Английский язык</p>	<p>Доцент ОИЯ ШБИП, к.п.н. Сидоренко Т.В.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Анализ предметной области</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>26.02.2019</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Кочегурова Е. А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	У Даньни		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8AM71	У Даньни

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.04 Управление в технических системах

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Должностной оклад научного руководителя – 23000 руб.; Должностной оклад инженера – 15000 руб.; Материальные затраты – 5000 руб.; Амортизация компьютерной техники – 3485 руб.; Затраты на заработную плату – 127067 руб.; Затраты на социальные нужды – 38120 руб.; Прочие затраты – 17367 руб.; Накладные расходы – 254134 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизации – 20%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Социальные отчисления – 30% от ФЗП

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Анализ конкурентных технических решений
2. Разработка устава научно-технического проекта	Составление устава научно-технического проекта. Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение затрат на проектирование
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение эксплуатационных затрат; расчет интегрального показателя ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График Ганта;
2. Иерархическая структура работ;
3. Календарный план-график выполнения проекта;
4. Оценка конкурентоспособности технических решений;
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Скаковская Н. В.	к.ф.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	У Даньни		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8AM71	У Даньни

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.04 Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования (вещество, материал, рабочая зона) и области его применения	Реализация цифрового фильтра на основе сглаживающего штрафного Р–сплайна.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	1. Специальные правовые нормы трудового законодательства; 2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Вредные факторы: 1. Отклонения показателей микроклимата; 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 3. Превышение уровня шума; 4. Повышенный уровень электромагнитных излучений; Опасные факторы: 1. Электрический ток 2. Опасность возникновения пожара
3. Экологическая безопасность	Источники выбросов в атмосферу; Образование сточных вод и отходов. Мероприятия по снижению вредного воздействия на ОС
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Вероятные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения и меры по их предупреждению

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н.А.	—		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	У Даньни		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 107 страниц, 27 рисунков, 15 таблиц, 32 источников, 5 приложений.

Проведен синтез рекурсивного цифрового фильтра с использованием штрафного P -сплайна. Аналитически получены и исследованы частотные и временные характеристики сплайн-фильтра для данных, поступающих в режиме реального времени. Исследовано влияние параметров штрафного P -сплайна на показатели эффективности интерпретации входной измерительной информации.

Ключевые слова: штрафной P -сплайн, оптимизация, генетический алгоритм, иммунный алгоритм, статистические оценки, интегральные оценки.

Предметом исследования являются процедуры выбора оптимальных параметров штрафного P -сплайна. Объектами исследования являются генетический и иммунный алгоритм, статистические и интегральные оценки.

Цель работы – разработать, реализовать и исследовать цифровой фильтр на базе штрафного P -сплайна и использовать в задаче краткосрочного прогнозирования в реальном масштабе времени.

Экономическая эффективность и значимость работы, себестоимость исследуемой системы представлена в главе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013, расчеты – в пакете Mathcad 15.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	12
1 Анализ предметной области	13
1.1 Прикладные задачи краткосрочного прогнозирования	13
1.1.1 Основные статистические модели прогнозирования	14
1.1.2 Основные структурные модели прогнозирования	16
1.1.3 Гибридные модели прогнозирования	20
2 Разработка гибридной модели прогнозирования на основе штрафного P -сплайна.....	22
2.1 Режимы штрафного P -сплайна и расчетные схемы	22
2.2 Показатели эффективности качества прогнозирования	24
3 Создание цифрового фильтра на основе штрафного P -сплайна	34
3.1 Описание штрафного P -сплайна в виде разностного уравнения.....	34
3.2 Исследование частотных характеристик сплайн-фильтра ..	35
3.3 Исследование временных характеристик сплайн-фильтра .	37
3.4 Устойчивость сплайн-фильтра	38
4 Оптимизация параметров штрафного P -сплайна.....	41
4.1 Эволюционные методы оптимизации.....	41
4.1.1 Использование генетического алгоритма для оптимизации параметров штрафного P -сплайна	41
4.1.2 Использование иммунного алгоритма для оптимизации параметров штрафного P -сплайна	42
4.2 Оптимизация на основе показателей качества сплайн-фильтра.....	44
4.3 Исследование методов оптимизации.....	51
4.4 Реализация прогноза.....	52
5 Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение.....	57

5.1	Календарный план работ и оценка времени их выполнения	57
5.2	Смета затрат на проект	61
5.2.1	Материальные затраты	61
5.2.2	Амортизация компьютерной техники	61
5.2.3	Затраты на заработную плату	62
5.2.4	Затраты на социальные нужды	63
5.2.5	Прочие затраты	63
5.2.6	Накладные расходы	63
5.2.7	Общая себестоимость разработки	63
5.3	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	64
6	Социальная ответственность при выполнении работы с использованием компьютера	66
6.1	Техногенная безопасность в компьютерном помещении	66
6.1.1	Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	68
6.1.2	Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	76
6.2	Экологическая безопасность	77
6.3	Организационные мероприятия обеспечения безопасности	78
6.3.1	Требования к помещениям для работы с ПЭВМ	78
6.3.2	Общие требования к организации и оборудованию рабочих мест пользователей ПЭВМ	80
6.3.3	Режим труда и отдыха при работе с ПЭВМ	81
6.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	82
	Заключение	85
	The conclusion	86
	Список публикаций студента	87

Список использованных источников	88
Приложение А Программа штрафного P -сплайна	91
Приложение Б Программа генетического алгоритма	92
Приложение В Программа иммунного алгоритма	94
Приложение Г Программа получения интегральных оценок	96
Приложение Е Раздел ВКР выполненный на английском языке.....	99

Введение

Прогнозирование – это одна из важнейших задач, которая используется в прикладных отраслях, включающих финансовые рынки, экономику, науки об окружающей среде, медицину, социологию, политику. Существует много видов прогнозирования, и среди них краткосрочное прогнозирование актуально и используется во множестве прикладных областей.

Одной из основных задач современного краткосрочного прогнозирования является задача уменьшения времени, затрачиваемого на прогнозирование без ухудшения качества прогноза. Для этого, предварительная обработка включает фильтрацию высокочастотной (реже широкополосной) помехи, известную, как задача сглаживания данных.

Одним из подходов к решению задачи краткосрочного прогнозирования является использование аппроксимирующей функции, допускающей реализацию в реальном времени. Таким математическим аппаратом может быть штрафной сглаживающий P -сплайн [1].

Качество прогноза на основе P -сплайна во многом определяется оптимизацией варьируемых параметров. В данной были использованы эволюционные методы.

Цель работы – разработать, реализовать и исследовать цифровой фильтр на базе штрафного P -сплайна и использовать в задаче краткосрочного прогнозирования в реальном масштабе времени.

В связи с поставленной целью намечены следующие задачи:

- Проектирование и реализация цифрового фильтра на основе штрафного P -сплайна;
- Исследование ЦФ методами линейных динамических систем;
- Разработка гибридной модели прогнозирования на основе штрафного P -сплайна и эволюционных алгоритмов оптимизации;
- Анализ применения гибридной модели при прогнозировании ВР.

1 Анализ предметной области

1.1 Прикладные задачи краткосрочного прогнозирования

Временной ряд – это числовая последовательность, полученная из значений статистического показателя в хронологическом порядке. Прогнозирование временного ряда осуществляется на основе анализа временных рядов, аналогии в будущее и отслеживания тенденций. Одной из основных целей анализа временных рядов является прогнозирование будущего на основе существующих исторических данных. Прогнозирование основывается на предположении, что прошлое продолжаться и в будущем. Временные ряды содержат различные компоненты, такие как тренд, сезонность, периодичность и случайность. Прогнозирование временных рядов является актуальной задачей со множеством приложений в самых разнообразных прикладных областях.

По количеству прогнозируемых значений и горизонту прогноза можно разделить на краткосрочное прогнозирование, среднесрочное прогнозирование и долгосрочное прогнозирование. Горизонт краткосрочного прогнозирования включает 1–3 значения вперед [2] и используется во множестве прикладных областей. Как правило, чем короче горизонт прогноза, тем выше качество, т.е. точность прогнозирования, и наоборот.

Краткосрочное прогнозирование актуально для предсказаний чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера; различных природных явлений; для развития возобновляемых источников энергии и предсказания нагрузок в традиционной энергетике; для прогноза спроса и цен, а также в задаче прогнозирования финансовых рынков; при выявлении эпидемических вспышек заболеваемости.

Существует несколько классификаций методов краткосрочного прогнозирования. Согласно одной из них все формализованные методы могут быть разбиты на статистические, структурные (основанные на искусственном интеллекте) и гибридные модели (рисунок 1).

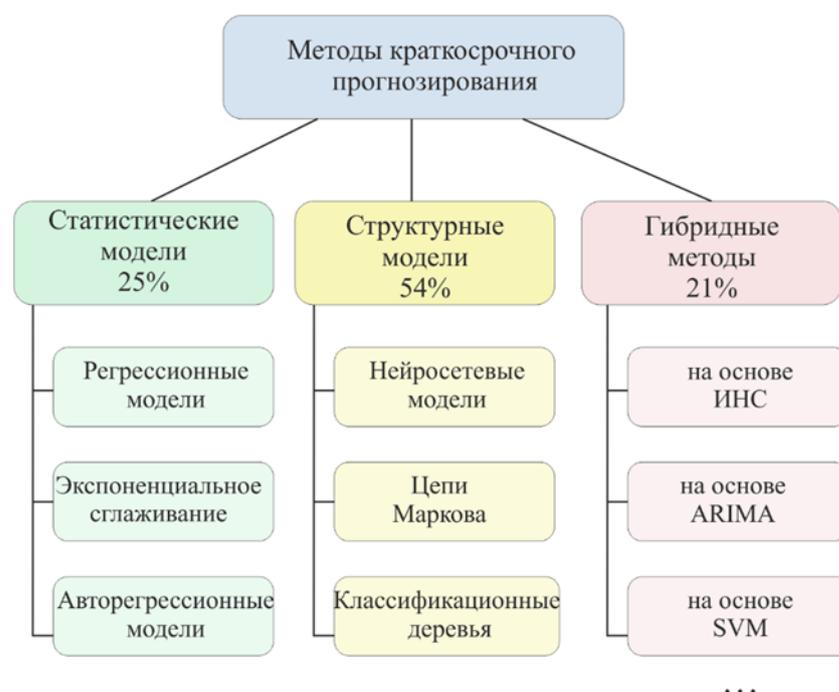


Рисунок 1 – Классификация методов краткосрочного прогнозирования

1.1.1 Основные статистические модели прогнозирования

Статистические методы основаны на информации о распределении данных для получения моделей прогноза. Это делает методы зависимыми от параметров, оптимизация которых значительно влияет на результаты прогнозирования. По математической сложности статистические методы [1] разделены на:

Регрессионные модели. Регрессионные модели основаны на влиянии переменных–регрессоров на выходную переменную. Число независимых переменных может составлять одну или несколько и разделено на одномерное и множественное регрессионное прогнозирование в зависимости от количества независимых переменных. Согласно корреляции между независимыми переменными и зависимыми переменными, регрессия может быть линейной и нелинейной. Эквивалентный подбор регрессионной функции по известному временному ряду обеспечивает высокое качество прогноза. Способом реализации регрессионных моделей является преимущественно метод наименьших квадратов (МНК). Сущность МНК состоит в минимизации суммы квадратических отклонений между наблюдаемыми и расчетными величинами.

Нередко используются рекурсивные модификации МНК, дополненные операцией дисконтирования, т.е. уменьшения ценности более ранней информации.

Достоинства данного класса моделей: простота и удобство при анализе многофакторных моделей; возможность получения единственного результата.

Недостатками регрессионных моделей являются сложность определения вида функциональной зависимости, а также трудоемкость определения параметров модели [3].

Модели экспоненциального сглаживания. Метод экспоненциального сглаживания – это метод прогнозирования для анализа временных рядов, разработанный на основе метода скользящих средних, который рассчитывает значение экспоненциального сглаживания и прогнозирует будущее с использованием этой модели. Основная формула метода экспоненциального сглаживания:

$$S_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1}, \quad (1)$$

где S_t – сглаженное значение времени t ;

α – параметр сглаживания, который варьируется в диапазоне $[0,1]$;

y_t – фактическое значение времени t ;

S_{t-1} – сглаженное значение времени $t-1$.

Значение α выбирается субъективно, и чем больше его значение, тем больше влияние вес данных поступивших позднее на будущие прогнозы.

К достоинствам данных моделей прогнозирования относят простоту и адаптивность. Недостатками данного класса моделей прогнозирования являются отсутствие идентификации при изменении данных и отсутствие гибкости.

Авторегрессионные модели. Авторегрессионные модели основаны на том, что текущее значение прогнозируемой переменной задается функцией от прошлых значений этой же переменной. Наибольшее развитие получила модель ARIMA, включающая этапы авторегрессии, интеграции и оценки скользящего среднего. Модель ARIMA имеет несколько модификаций: ARIMAX – включает в

себя некоторые экзогенные факторы, SARIMA – учет сезонности данных, VARIMA – многовекторные временные ряды.

Достоинствами данного класса моделей являются их простота, прозрачность моделирования.

Недостатки данного класса моделей: данные временного ряда должны быть стационарными или стабильными и линейными. Моделирование нелинейных процессов крайне сложно; количество параметров модели большое; адаптивность моделей низкая.

1.1.2 Основные структурные модели прогнозирования

Структурные модели прогнозирования основаны на методах машинного обучения и не имеют ограничений на характер входных данных. В структурных моделях прогнозирования функциональная зависимость между фактическим и будущими значениями временного ряда, и внешними факторами задана структурно, например, в виде графа. Эти методы надежны при применении и к сложным, и к сильно нелинейным данным. К структурным моделям прогнозирования относятся следующие группы:

Нейронные сети. Существует множество вариантов применения искусственных нейронных сетей (ANN) в краткосрочном прогнозировании. Нейронные сети могут отличаться архитектурой, количеством слоев и нейронов, использованием определенной функции активации или способом обучения. В прогнозировании используются следующие виды ANN:

- сети прямого распространения (feed–forward neural networks);
- рекуррентные нейронные сети (простые RNN, с долгосрочной памятью LSTM, с управляемыми нейронами GRU);
- сверточные нейронные сети [4].

Сети прямого распространения, к которым относятся многослойные и однослойные персептроны. В сетях прямого распространения отсутствуют обратные связи, т.е. входной сигнал последовательно преобразуется в выходной, проходя через некоторое количество слоев, при этом число нейронов на каждом

слой может быть любым. Использование многослойного персептрона очень распространено в задачах прогнозирования. В частности, для моделирования и прогнозирования часто используются сети прямого распространения с двумя слоями (один скрытый слой и один выходной).

Рекуррентные нейронные сети – сети, в которых нейроны могут получать информацию не только от предыдущего слоя, но и от самих себя. Эта важная особенность позволяет моделировать нелинейные динамические системы, однако, простые рекуррентные сети (RNN) имеют существенный недостаток, заключающийся в быстрой потере информации с течением времени. Эта проблема решается в нейронных сетях с долгосрочной памятью (Long/Short Term Memory – LSTM), где используются фильтры (входной, выходной и забывающий) для защиты информации и клетка памяти, куда поступает информация из входного фильтра, а также в сетях с управляемыми рекуррентными нейронами (Gated Recurrent Unit – GRU), которые являются вариацией LSTM с использованием всего двух фильтров – фильтра обновления и фильтра сброса и с отличной реализацией связей (схемы описанных рекуррентных сетей представлены на рисунке 2). При прогнозировании количества солнечной энергии на сутки вперед эмпирические результаты показывают, что LSTM превосходит большое количество альтернативных методов.

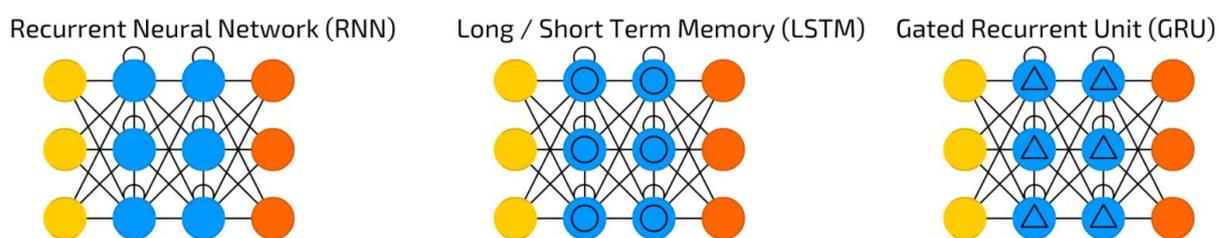


Рисунок 2 – Схемы рекуррентных нейронных сетей

Сверточные и глубокие сверточные нейронные сети используются, в основном, в задаче обработки изображений. Это однонаправленные многослойные сети, чередующие в своей архитектуре сверточные слои и слои подвыборки. Суть операции свертки, заключается в том, что каждая часть

исследуемых данных (обычно, изображения) умножается на матрицу свертки поэлементно, затем полученный результат суммируется и записывается в аналогичную позицию получаемого на выходе изображения. Несмотря на довольно узкую направленность, методы, основанные на сверточных нейронных сетях, используются и в прогнозировании [4]. Более того, в [4] отмечается, что точность и стабильность прогноза, основанного на модели сверточных нейронных сетей, в условиях прогнозирования в реальном времени, выше, чем у прогнозов, основанных на нейронных сетях обратного распространения и анализе временных рядов.

Достоинствами ANN являются робастность; отказоустойчивость; адаптивность; способность полностью аппроксимировать сложные нелинейные зависимости будущих значений от фактических значений процессов [3]; возможность распределенного хранения и обучения.

Недостатками нейросетевых моделей являются отсутствие прозрачности моделирования; высокие требования к непротиворечивости обучающей выборки; сложность выбора архитектуры; сложность выбора алгоритма обучения [3].

Метод опорных векторов(SVM). Метод опорных векторов широко используется в регрессионном анализе и в задачах классификации [5]. В применении к задаче прогноза сложных и нелинейных данных метод SVM требует выбора не простых разделительных плоскостей, а сложных функций ядра. Эти ядра позволяют выполнить отображение входных данных в многомерное пространство признаков. SVM порождает несколько параметров, получаемых при решении нелинейной задачи оптимизации с линейными ограничениями.

Рассмотрим задачу нахождения наилучшего разделения множества векторов на два класса с помощью линейной функции. Пусть заданы исходные данные и обучающая выборка в задачах классификации: $X = \{X_1, \dots, X_N\}$, $y = \{y_1, \dots, y_N\}$. Каждая выборка входных данных содержит несколько объектов, и таким образом, составляется пространство объектов.

Если задано пространство объектов, в котором расположены исходные данные, то существует гиперплоскость в виде границы принятия решения. Граница разделяет обучающие векторы на положительный и отрицательный классы, а расстояние от точки до плоскости любой выборки больше или равно 1:

$$\omega^T X + b = 0$$

$$y_i(\omega^T X_i + b) \geq 1$$

В этом случае задача имеет линейную разделимость, и ω – вектор весовых коэффициентов, b – некоторое число.

Граница решения, которая удовлетворяет данному условию, строит две параллельные гиперплоскости в качестве границ интервалов, чтобы различать выборки.

$$\omega^T X_i + b \geq +1, \rightarrow y_i = +1,$$

$$\omega^T X_i + b \leq -1, \rightarrow y_i = -1$$

Все выборки выше верхней границы интервала принадлежат положительному классу, а выборки ниже нижней границы интервала принадлежат отрицательному классу. Расстояние между гиперплоскостями $d = \frac{2}{\|\omega\|}$ определяется как запас, а положительные и отрицательные выборки на границе интервала являются опорными векторами (рисунок 3).

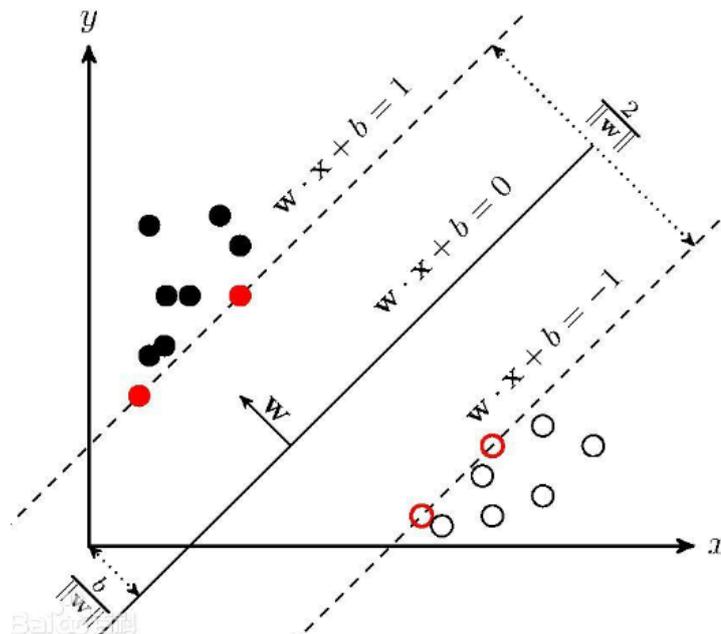


Рисунок 3 – Схема метода опорных векторов

1.1.3 Гибридные модели прогнозирования

Гибридные модели являются на сегодня наиболее перспективными при создании прогнозных моделей для сложных процессов. Появившиеся гибридные модели прогнозирования включают сложные комбинации различных методов. Особенно часто гибридные подходы используются в реальных приложениях. Гибридные методы объединяют в себе сочетания методов из различных групп. Обычно один метод выбран из группы статистических, а другой из структурных методов.

Одна из наиболее эффективных стратегий гибридных методов основана на методах поиска сходства. Алгоритм ближайшего соседа k -NN, хорошо зарекомендовавший себя в задачах классификации и кластеризации [6], эффективен и в составе гибридных методов прогнозирования. Вариации алгоритма k -NN в комбинации с функциями приближения (например, взвешенное или локальное среднее) эффективно использованы рядом авторов для нелинейных и сложных временных рядов [7].

Еще одна комбинация методов прогнозирования объединяет аппроксимационный подход к моделированию и прогнозу ВР и метаэвристическую оптимизацию. Причем, простые аппроксимирующие функции заменяют в данном случае сложные регрессионные соотношения. Наиболее перспективными с позиции описания локального поведения сложных ВР являются кусочно-полиномиальные сплайн-функции. Выбор узлов сплайна для получения его отдельных фрагментов является фактически способом создания паттерна для поиска сходства части ВР в будущем. Кроме того, некоторые виды сплайн-функций допускают реализацию, а соответственно и прогноз, в режиме реального времени (RT).

Один из отличительных подходов к задаче прогнозирования описан в [8] и представляет собой использование аппроксимирующих кусочно-полиномиальных функций, заменяющих регрессионные соотношения при моделировании и анализе процессов.

Штрафные P -сплайны (P -splines) представляют собой сочетание уменьшенного количества узлов аналогично регрессионным сплайнам и штрафами за негладкость сглаживающих сплайнов, которые подавляют нелинейность. Штрафные P -сплайны объединяют свойства регрессионных и сглаживающих сплайнов: уменьшенного количества узлов и контроль гладкости сплайна.

В данной работе в качестве модели прогнозирования была использована комбинация штрафного P -сплайна и эволюционных алгоритмов оптимизации.

2 Разработка гибридной модели прогнозирования на основе штрафного P -сплайна

2.1 Режимы штрафного P -сплайна и расчетные схемы

Штрафный P -сплайн $S(t)$ основан на оптимизации экстремального функционала А.Н. Тихонова [9]:

$$J(S) = \lambda \cdot \int_a^b [S''(t)]^2 dt + \sum_{i=0}^n [S(t_i) - y(t_i)]^2 \quad (2)$$

где λ – сглаживающий параметр.

В (1) первое слагаемое вместе со сглаживающим параметром λ определяет штраф кривизны, второе слагаемое реализует обычный метод наименьших квадратов.

Для реализации режима реального времени функционал (1) был модифицирован. Функционал определен отдельно для группы из h входных отсчетов для каждого i -го звена сплайна. Шаг дискретизации введен для регулирования размерности функционала:

$$J(S) = (1 - \rho)(h\Delta t)^2 \int_{t_0^i}^{t_h^i} [S''(t)]^2 dt + \rho \sum_{j=0}^h [S(t_j^i) - y(t_j^i)]^2, \quad (3)$$

где ρ – весовой множитель, устанавливающий компромисс между сглаживающими и интерполяционными свойствами сплайна $S(t)$, $\rho \in [0, 1]$, и он сужает диапазон выбора и придает сглаживающему параметру физический смысл;

h – число измерений внутри i -го звена сплайна, $h = \frac{t_h^i - t_0^i}{\Delta t}$, в дальнейшем

$h = \text{const}$, для любого i ;

Δt – интервал дискретизации измерений;

t_0^i, t_h^i – начало и конец i -го звена соответственно;

$y(t_j) = f(t_j) + \xi(t_j)$ – измерения, представляющие собой смесь полезного

низкочастотного сигнала $f(t)$ и широкополосной помехи $\xi(t)$.

Для реализации штрафного сплайна для i -го звена в реальном времени:

$$S_i(m) = a_0^i + a_1^i m + a_2^i m^2 + a_3^i m^3, \quad (4)$$

$$-q \leq m \leq h - q,$$

где m – момент вычисления сплайна, т.е. номер отсчета t_j^i внутри i -го звена ($j = \overline{0, h}, m \in \overline{1, h}$);

q – номер отсчета t_j^i внутри i -го звена ($j = \overline{0, h}, q \in \overline{0, h - 1}$), в котором сопряжены непрерывные производные сплайна $S^{(k)}(t_{l_0}^{i-1})_+ = S^{(k)}(t_l^i)_-$, $k = 0, 1$ для дефекта 2 и $k=0$ для дефекта 1.

Неразрывные коэффициенты a_0^i, a_1^i найдены из условия:

$$S^{(k)}(t_{l_0}^{i-1})_+ = S^{(k)}(t_l^i)_- \quad (k=0,1). \quad (5)$$

А разрывные коэффициенты a_2^i, a_3^i из условия:

$$\frac{\partial J(S)}{\partial a_2^i} = 0, \quad \frac{\partial J(S)}{\partial a_3^i} = 0. \quad (6)$$

Формулы для оценки коэффициентов в таком режиме принимают наиболее простой вид. В нашем случае $q = 0$, и для дефекта $d = 2$:

$$a_0^i = a_0^{i-1} + a_1^{i-1} + a_2^{i-1} + a_3^{i-1};$$

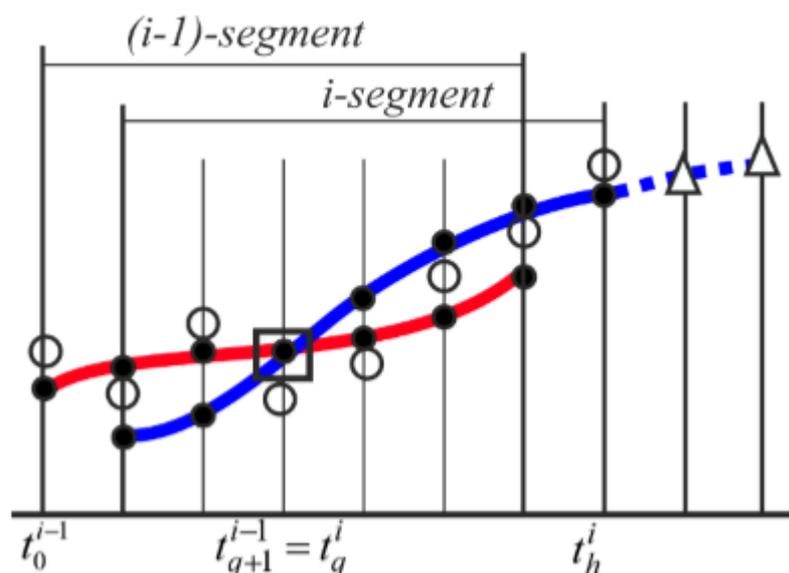
$$a_1^i = a_1^{i-1} + 2a_2^{i-1} + 3a_3^{i-1};$$

$$a_2^i = \frac{\rho(F_1^i C - F_2^i A)}{BC - A^2}; \quad (7)$$

$$a_3^i = \frac{\rho(F_2^i C - F_1^i A)}{BC - A^2},$$

При условии, что $A = 6(1 - \rho)h^4 + \rho H_5$, $B = 4(1 - \rho)h^3 + \rho H_4$,
 $C = 12(1 - \rho)h^5 + \rho H_6$, $H_n = \sum_{k=0}^h k^n$, $F_1^i = \sum_{k=0}^h y(t_k^i)k^2 - a_0^i H_2 - a_1^i H_3$,
 $F_2^i = \sum_{k=0}^h y(t_k^i)k^3 - a_0^i H_3 - a_1^i H_4$.

Соотношение моментов вычисления (m) и сопряжения (q) для i -го звена сплайна порождает несколько вычислительных схем рекуррентного сплайна. Наиболее общим и приспособленным для прогнозирования ВР является текущий режим штрафного P -сплайна, рисунок 4.



○ – отсчеты ВР, ● – вычисленные значения сплайна,

□ – момент сопряжения звеньев сплайна, Δ – значения прогноза

Рисунок 4 – Режим прогнозирования на основе штрафного P -сплайна,

Модель фрагмента временного ряда в виде штрафного P -сплайна позволяет получать значения прогноза для $t > h$ в РТ. На рисунке 4 изображен горизонт прогноза для двух значений $t = h + 1$ и $t = h + 2$.

Фактически, группа h отсчетов i -го звена сплайна определяет фрагмент (сегмент) ВР, объединенный общими динамическими свойствами. Поэтому выбор размера группы отсчетов h является задачей адаптации и значительно повышает качество прогнозирования.

2.2 Показатели эффективности качества прогнозирования

Выбранный в качестве прогнозной модели аппарат P -сплайнов имеет ряд настраиваемых параметров [1]. Основными из них являются: h – число измерений внутри звена сплайна, ρ – сглаживающий множитель.

Множитель ρ нормирован и поэтому $\rho \in [0,1]$ и может задаваться с любой точностью. Значения параметра $h \in [3,20]$. Нижняя граница h определена требованиями сплайна 3 порядка, верхняя – ограничениями реального времени.

Для исследования влияния параметров P -сплайна на качество прогноза были выбраны две тестовые функции:

$$\text{Тест 1: } Y(t) = 10 \sin\left(\frac{2\pi t}{100}\right). \quad (8)$$

$$\text{Тест 2: } Y(t) = \sin\left(\frac{\pi t}{20}\right) e^{0.02t} + 3. \quad (9)$$

Для оценки качества сглаживающих и прогнозирующих свойств сплайна $S(t)$ используется статистический показатель: приведенная среднеквадратическая погрешность, выраженная в процентах $RMSPE$, который имеет формулу:

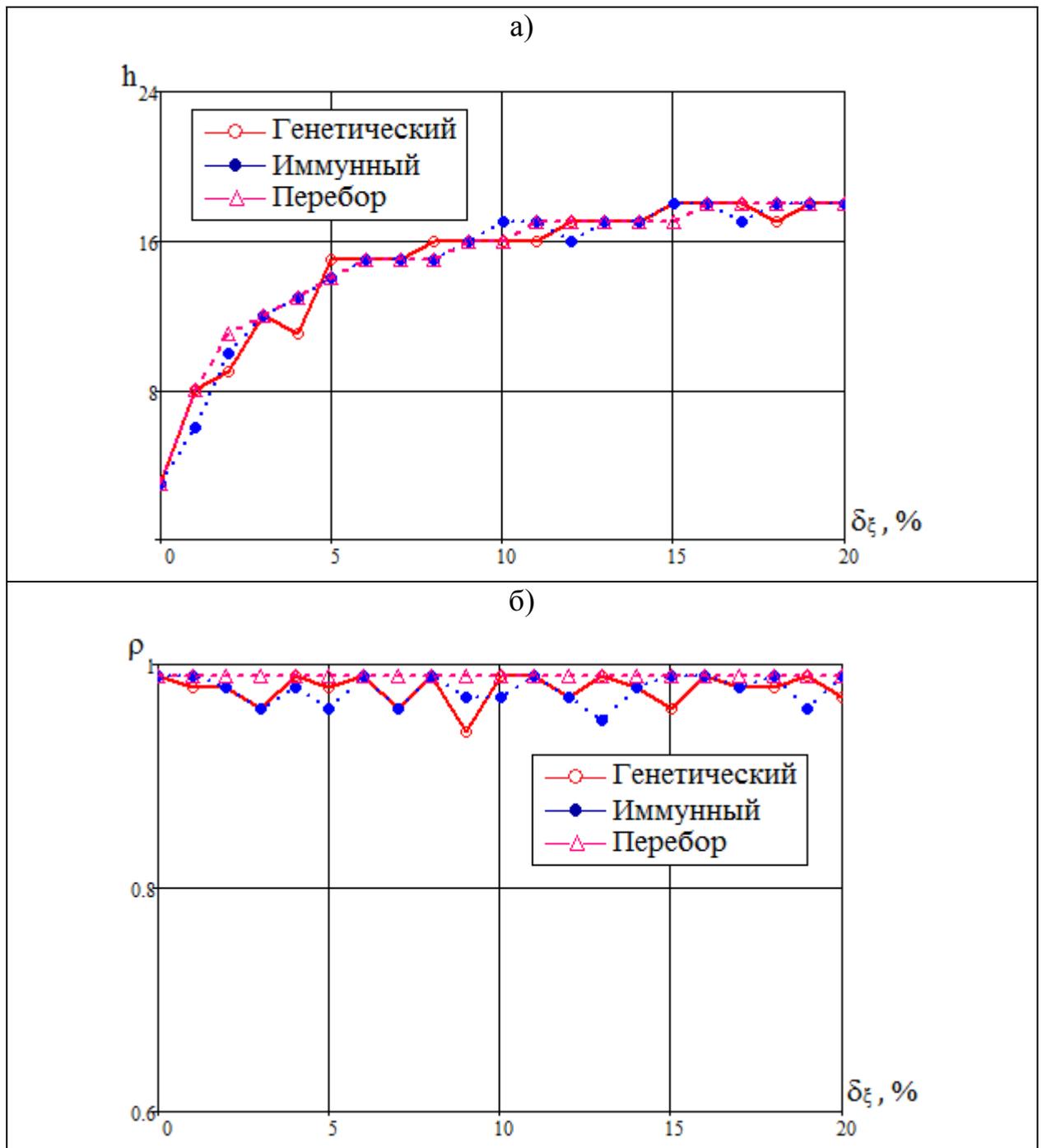
$$MSE = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{j=1}^K \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S(t_i) - y_j(t_i))^2}, \quad (10)$$

$$RMSPE = \frac{MSE}{|y_{max} - y_{min}|} \cdot 100[\%].$$

В (10) $n = 100$ – число измерений; $K = 200$ – число экспериментов.

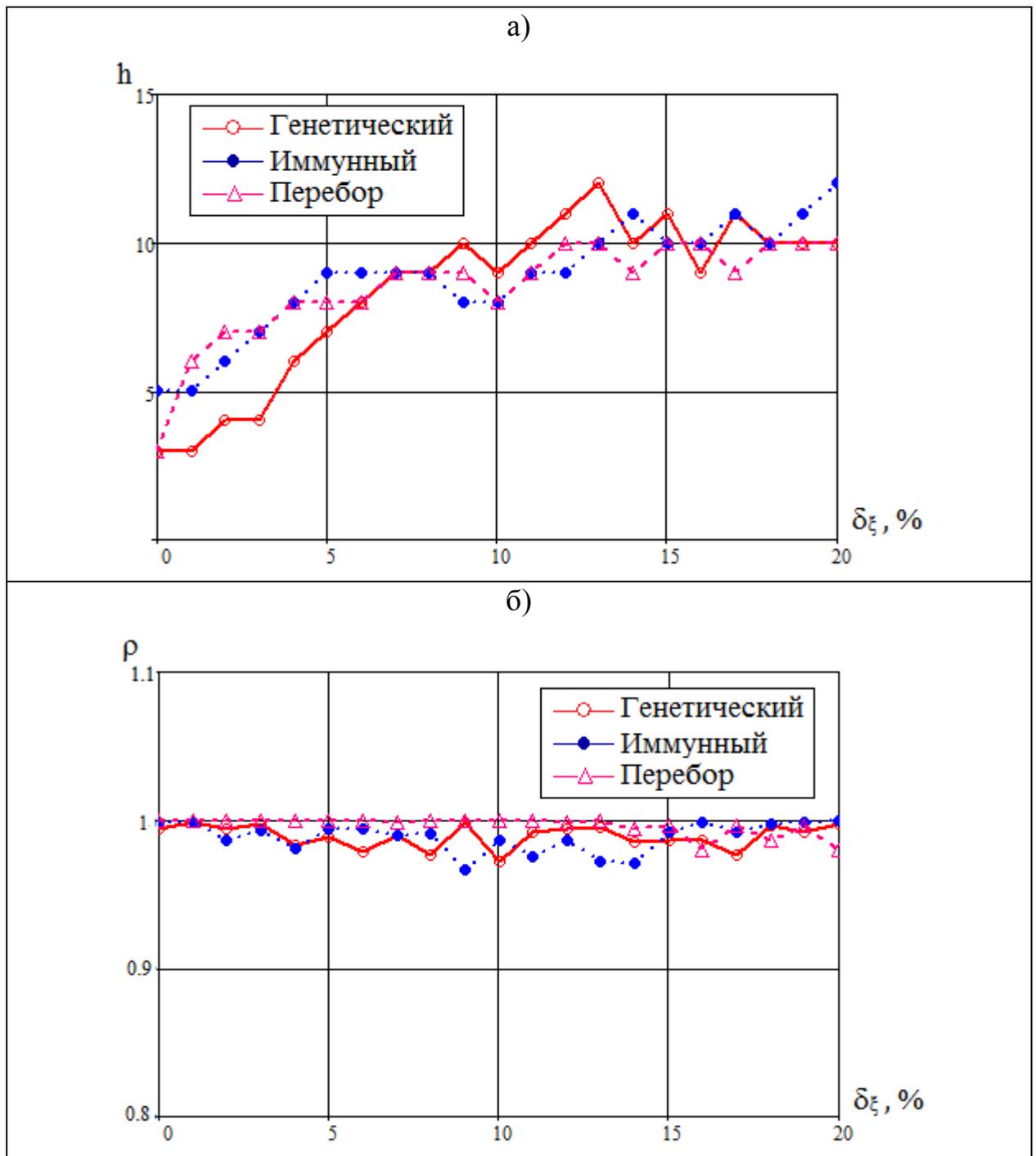
Ниже на рисунках 5 – 8 приведены результаты исследования оптимальных значений настраиваемых параметров ρ , h в зависимости от уровня шума входных данных σ_ξ , на рисунках 9 – 10 приведены результаты исследования оптимальных значений погрешности прогнозирования в зависимости от уровня шума входных данных.

В качестве шума был выбран случайный сигнал $\xi(t)$: $M\{\xi(t)\} = 0$; $M\{\xi^2(t)\} = \sigma_\xi^2$.

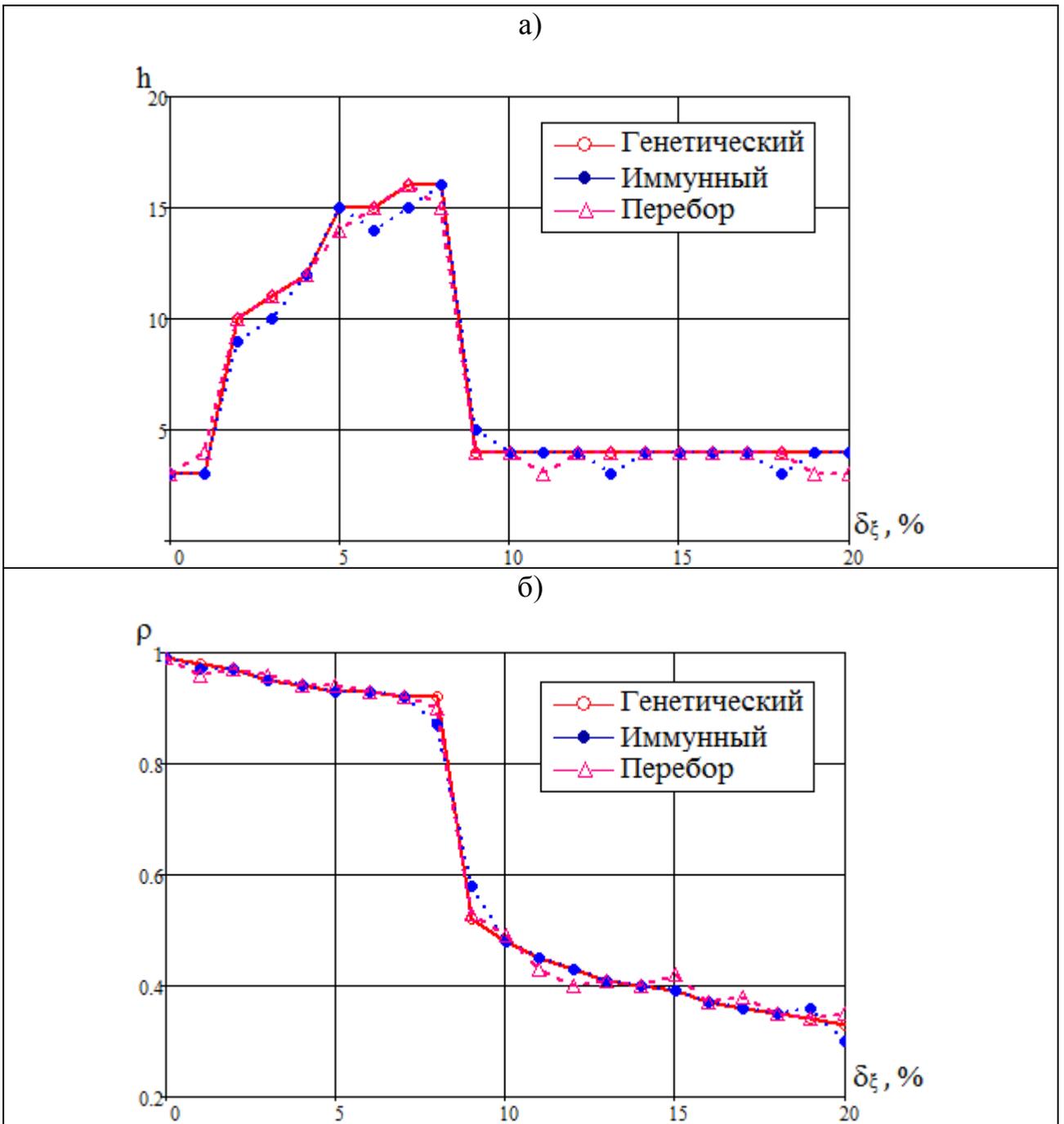


а) влияние уровня шума на параметр h ; б) влияние уровня шума на параметр ρ

Рисунок 5 – Влияние уровня шума δ_{ξ} на параметры для функции (1) ($m=1$)

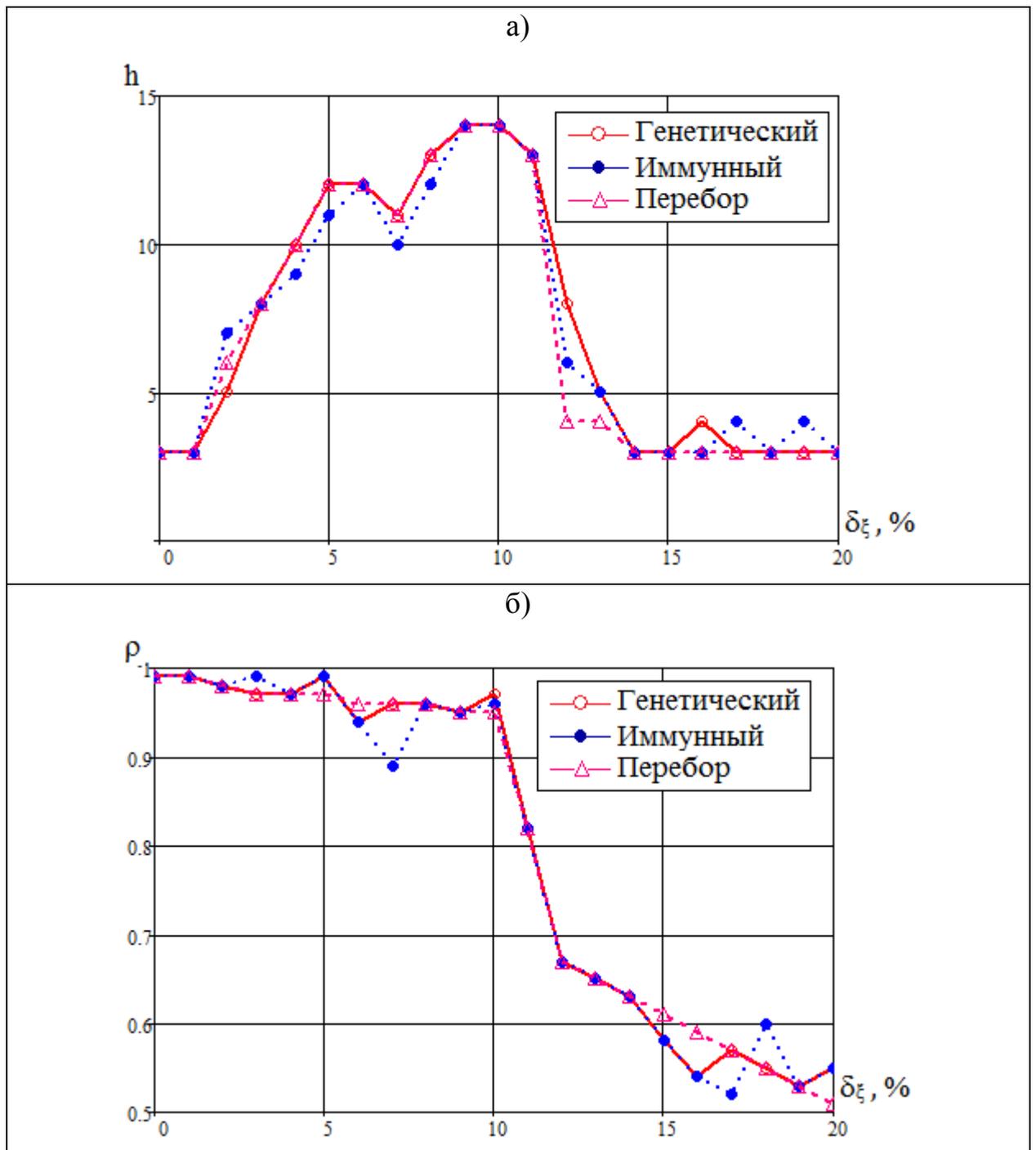


а) влияние уровня шума на параметр h ; б) влияние уровня шума на параметр ρ
 Рисунок 6 – Влияние уровня шума δ_{ξ} на параметры для функции (2) ($m=1$)



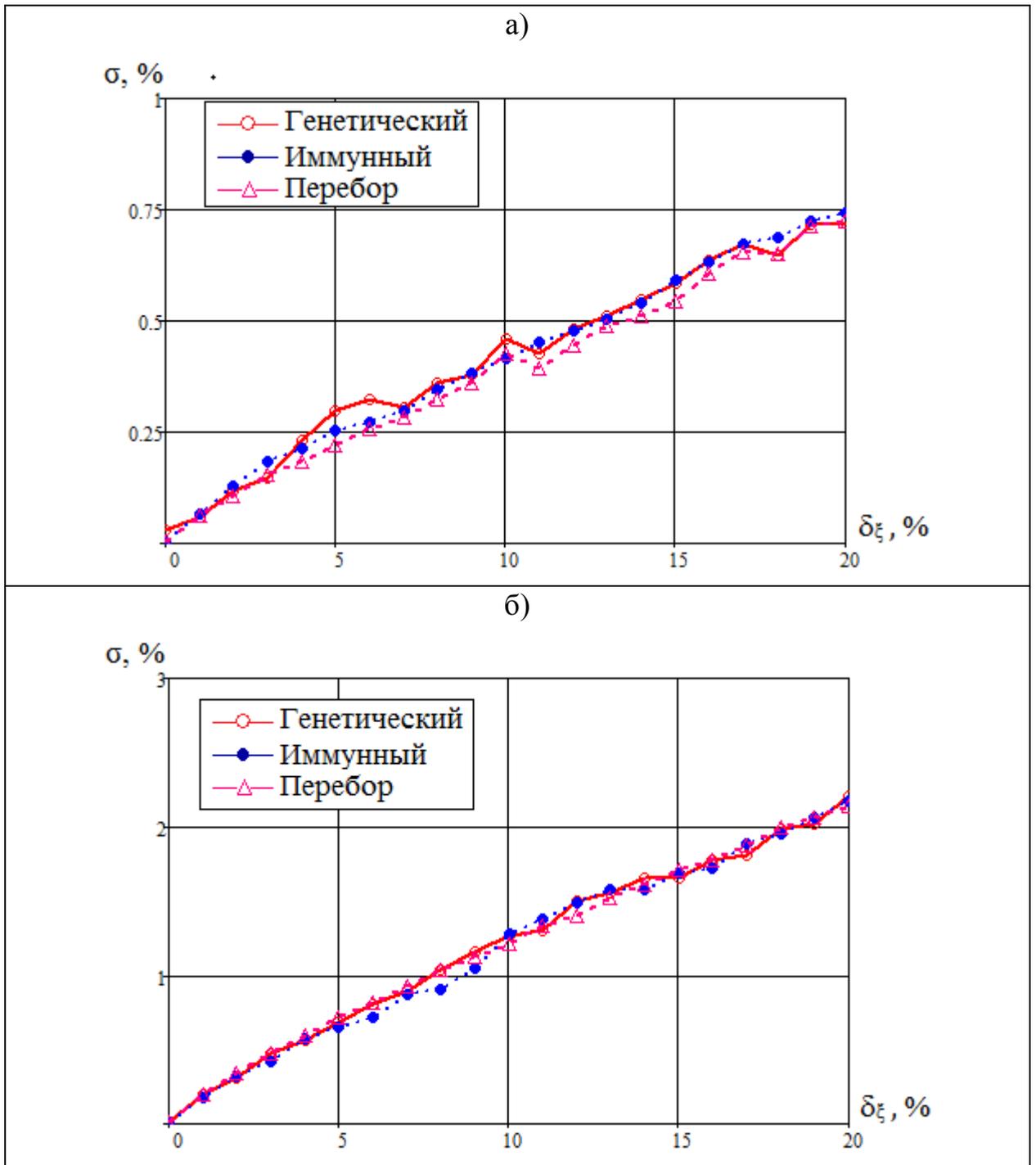
а) влияние уровня шума на параметр h ; б) влияние уровня шума на параметр ρ

Рисунок 7 – Влияние уровня шума δ_{ξ} на параметры для функции (1) ($m = h$)



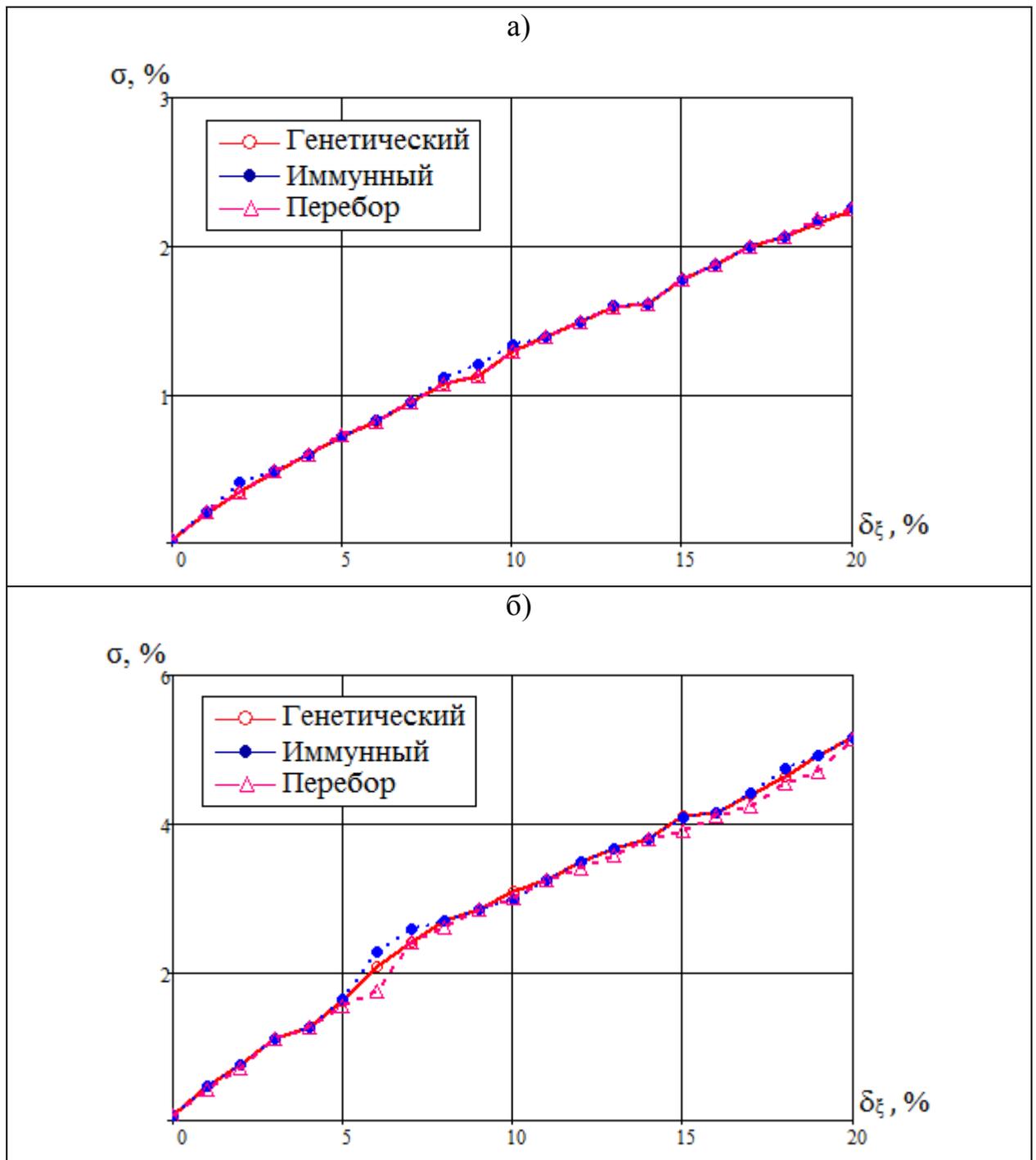
а) влияние уровня шума на параметр h ; б) влияние уровня шума на параметр ρ

Рисунок 8 – Влияние уровня шума δ_ξ на параметры для функции (2) ($m = h$)



а) для функции (1); б) для функции (2)

Рисунок 9 – Влияние уровня шума δ_ξ на погрешность σ ($m=1$)



а) для функции (1); б) для функции (2)

Рисунок 10 – Влияние уровня шума δ_{ξ} на погрешность σ ($m = h$)

Ниже в таблице 1 и 2 приведены численные значения оптимальных параметров. Для каждого значения уровня шума в левом столбике приведены результаты для генетического алгоритма, в правом – для иммунного.

Таблица 1 – Численные значения оптимальных параметров ($m = 1$)

$\delta_{\xi}, \%$	0 %		5 %		10 %		15 %		20 %	
функция (1): $y_1(t) = 10 \cdot \sin(\frac{2\pi \cdot t}{100})$										
h_{opt}	3	4	15	14	16	17	18	18	18	19
ρ_{opt}	0,99	0,99	0,98	0,96	0,99	0,97	0,96	0,98	0,97	0,99
σ_{opt}	0,022	0,029	0,34	0,39	0,56	0,62	0,89	0,83	1,09	1,08
функция (2): $y_2(t) = \sin(\frac{\pi \cdot t}{20}) \cdot e^{0.02t} + 3$										
h_{opt}	3	3	10	11	12	12	14	14	16	15
ρ_{opt}	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,97	0,96	0,98	0,98	0,97
σ_{opt}	0,096	0,096	0,59	0,50	0,78	0,98	1,36	1,12	1,43	1,30

Таблица 2 – Численные значения оптимальных параметров ($m = h$)

$\delta_{\xi}, \%$	0 %		5 %		10 %		15 %		20 %	
функция (1): $y_1(t) = 10 \cdot \sin(\frac{2\pi \cdot t}{100})$										
h_{opt}	3	3	14	15	3	4	4	4	3	4
ρ_{opt}	0,99	0,99	0,94	0,93	0,49	0,48	0,4	0,39	0,35	0,3
σ_{opt}	0,023	0,023	0,71	0,75	1,30	1,29	1,78	1,78	2,25	2,26
функция (2): $y_2(t) = \sin(\frac{\pi \cdot t}{20}) \cdot e^{0.02t} + 3$										
h_{opt}	3	3	12	11	14	14	3	3	3	3
ρ_{opt}	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,96	0,62	0,58	0,52	0,55
σ_{opt}	0,074	0,074	1,51	1,53	2,97	3,08	4,10	4,09	5,17	5,17

Исходя из рисунках 5 – 10 и таблиц 1 – 2 можно увидеть следующие закономерности при увеличении уровня шума входных данных:

- 1) при $m = 1$ и $m = h$ оптимальное значение ρ однозначно уменьшается;
- 2) при $m = 1$ и $m = h$ оптимальное значение h также уменьшается до $h=3$;
- 3) при отсутствии шума сглаживающий сплайн-фильтр стремится к интерполяционному: $\rho = 0,99$ и $h = 3$.

Кроме того, погрешность краткосрочного прогноза, как следует из таблиц 1 – 2, вполне удовлетворительна. Для функции (1) погрешность шума сокращается почти в 10 раз, для второй – в 4 раз.

3 Создание цифрового фильтра на основе штрафного P -сплайна

3.1 Описание штрафного P -сплайна в виде разностного уравнения

Представим P -сплайн как цифровой фильтр (ЦФ), преобразующий входную последовательность измерений в выходное значение сплайна [9] (рисунок 11).

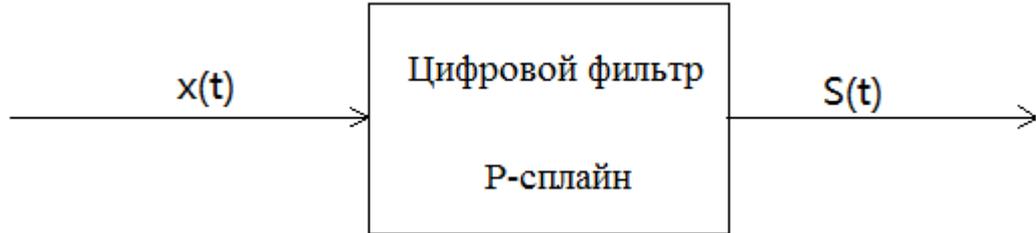


Рисунок 11 – P -сплайна в виде цифрового фильтра

Для получения разностного уравнения сплайна введём обозначение $S_i = S(t_m^i)$, тогда $S_{i-1} = S(t_m^{i-1}) = a_0^i$, $S'_{i-1} = S'(t_m^{i-1}) = a_1^i$. А входящие в (1) суммы измерений $\sum_{k=0}^h y(t_k^i)$ обозначены в данном случае как $\sum_{k=i}^{i+h} y_k$, т. е. $\sum_{k=0}^h y(t_k^i) = \sum_{k=i}^{i+h} y_k$. Решётчатые функции $\{S_i\}$, $\{y_i\}$ $i = 1, 2, 3, \dots$, имеют одинаковый интервал дискретизации, совпадающий с интервалом дискретизации входных данных Δt [10].

Для введённых обозначений перепишем уравнение P -сплайна как разностное уравнение:

$$\alpha_0 S_i - \alpha_1 S_{i-1} - \alpha_2 S'_{i-1} = \alpha_3 \sum_{k=i}^{i+h} y_{k-1} (k-1)^2 + \alpha_4 \sum_{k=i}^{i+h} y_{k-1} (k-1)^3, \quad (11)$$

где $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – постоянные коэффициенты уравнения первого порядка, и могут рассчитать следующим образом:

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= BC - A^2; \quad \alpha_3 = \rho(C - A); \quad \alpha_4 = \rho(B - A); \\ \alpha_1 &= \alpha_0 + \rho(AH_3 - CH_2) + \rho(AH_2 - BH_3); \\ \alpha_2 &= \alpha_0 + \rho(AH_4 - CH_3) + \rho(AH_3 - BH_4). \end{aligned}$$

При условии, что $A = 6(1 - \rho)h^4 + \rho H_5$, $B = 4(1 - \rho)h^3 + \rho H_4$,

$$C = 12(1 - \rho)h^5 + \rho H_6, \quad H_n = \sum_{k=0}^h k^n.$$

Разностное уравнение (11) является уравнением первого порядка с постоянными коэффициентами $\alpha_j, j = \overline{0,4}$. Объединенные в группы h измерений является входными данными ЦФ.

Линейность выражения (11) относительно измерений y_k очевидна, что дает возможность исследовать P -сплайн методами линейных динамических систем. Характерно, что коэффициенты разностного уравнения $\alpha_j, j = \overline{0,4}$ зависят только от длины звена сплайна h и сглаживающего множителя ρ .

Вид разностного уравнения (11) позволяет рассматривать P -сплайн, как линейный рекурсивный ЦФ с постоянными параметрами или ЦФ с бесконечной импульсной характеристикой.

Математический аппарат описания линейных динамических систем включает частотную передаточную функцию (или комплексный коэффициент передачи) [11–15] и импульсную весовую функцию.

3.2 Исследование частотных характеристик сплайн-фильтра

Наиболее ясно природу сглаживающих и интерполирующих свойств сплайн-преобразования выявляют его частотные характеристики.

Для нахождения передаточной (или системной) функции дискретного сплайн-преобразования $W(q) = \frac{S(q)}{Y(q)}$ использовано D – преобразование уравнения (11). Здесь $S(q)$ и $Y(q)$ – D – изображения входного дискретного сигнала y_k и дискретного отклика $S_i = S(t_m^i)$ на выходе сплайн-фильтра.

Частотная передаточная функция сплайн-фильтра по аналогии с непрерывными системами определена из соотношения $\dot{W}(\omega) = W(e^{j\omega\Delta t})$ и для уравнения (11) имеет вид дробно-рациональной функции:

$$\dot{W}(\omega) = \frac{\sum_{k=0}^h e^{(k-1)\omega} \cdot (k^2\alpha_3 + k^3\alpha_4)}{\alpha_0 - \alpha_1 e^{-\omega} - \alpha_2 \omega e^{-\omega}} \quad (12)$$

В (12) и далее $\Delta t = 1$.

Числитель частотной характеристики определен нерекурсивной частью сплайн-фильтра, знаменатель – рекурсивной.

Периодичность функции $e^{j\omega\Delta t}$ приводит к периодичности частотной характеристики $\dot{W}(\omega)$ [16]. Поэтому численное исследование амплитудных и фазовых частотных характеристик сплайн-фильтра проведено в области главных частот $\left[\frac{-\pi}{\Delta t}, \frac{\pi}{\Delta t} \right]$, где частотные характеристики дискретного и непрерывного фильтра совпадают, а также исключается эффект алиасинга.

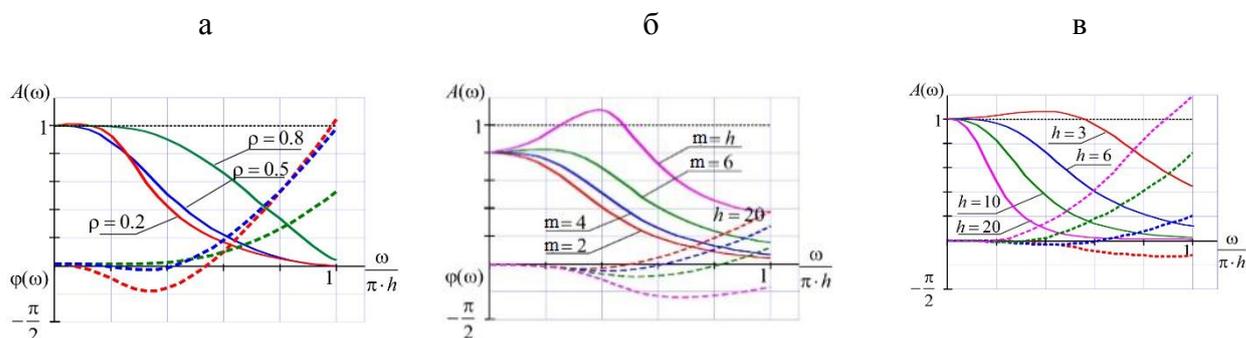
Представим частотную характеристику $\dot{W}(\omega)$ в виде:

$$\dot{W}(\omega) = A(\omega) \cdot e^{-j\varphi(\omega)}, \quad (13)$$

где $A(\omega) = \left| \dot{W}(\omega) \right|$ – амплитудно-частотной характеристики (АЧХ),

$\varphi(\omega) = \arg \left[\dot{W}(\omega) \right]$ – фазо-частотной характеристики (ФЧХ).

Основные параметры сплайны значительно изменяют фильтрующие свойства сплайна (рисунок 12). В области изменения параметров вид АЧХ соответствует АЧХ низкочастотного фильтра, коэффициент передачи которого $\frac{1}{\omega_0} \int_0^{\omega_0} \left| \dot{W}(\omega) \right|^2 d\omega$ растет с увеличением параметров m и ρ ($\rho=1$ соответствует интерполяционному сплайну).



а – при $h=8, m=1$; б – при $h=8, \rho=0.5$; в – при $m=1, \rho=0.5$

Рисунок 12 – АЧХ $\color{red}\rule{0.5em}{0.4pt}$ и ФЧХ $\color{blue}\rule{0.5em}{0.4pt}$ рекуррентного сплайн-фильтра при изменении настроечных параметров

Из рисунка 12 видно, более очевидно влияние длины звена (группы) h на коэффициент передачи и частотные свойства фильтра. Существенное влияние размер группы оказывает на полосу пропускания сигнала, которая закономерно уменьшается при увеличении h , так как полученный сплайн становится более гладким при увеличении момента вычисления возникает и усиливается резонансный пик АЧХ. На характер ФЧХ наибольшее влияние оказывает момент вычисления сплайна m , соответствует ФЧХ системы с запаздыванием. Для идеального фильтра $A(\omega) = 1$, $\varphi(\omega) = 0$ в заданной полосе частот.

3.3 Исследование временных характеристик сплайн-фильтра

Аналогом импульсной весовой функции линейных динамических систем для дискретных фильтров является аппаратная функция (АФ), ширина которой находится в прямой зависимости от частотных характеристик фильтра АФ:

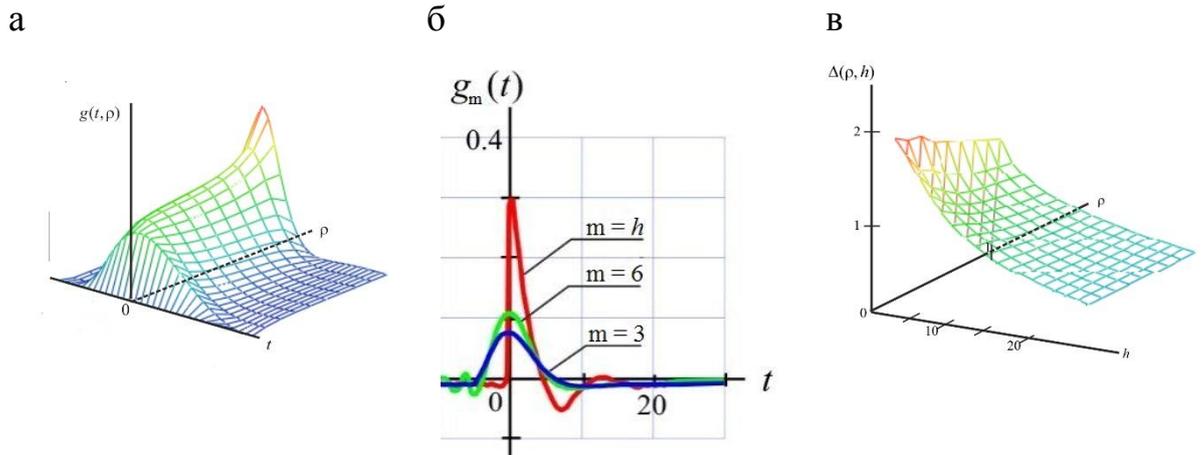
$$g(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{W}(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (14)$$

На рисунке 13 продемонстрированы семейства АФ при изменении параметров ρ , h , и m .

АФ, а точнее ее ширина, определяет системную ошибку восстановления произвольной функции $f(t)$ с помощью цифрового сплайн-фильтра. Для количественной оценки ширины АФ можно воспользоваться соотношением [16]:

$$\Delta = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} |g(t)| dt}{g(0)}$$

изменение которой приведено на рисунке 13–в при изменении параметров ρ и h .



а – при $h=8, m=1$; б – при $h=10, \rho=0.5$; в – при $\rho \in (0,1), h \in [3,20]$

Рисунок 13 – Аппаратная функция рекуррентного сплайн-фильтра при изменении настроечных параметров

Ширина АФ визуально уменьшается с ростом сглаживающего параметра ρ и минимальна для интерполяционного сплайна ($\rho=1$). Характер изменения Δ полностью согласуется с аналогами в частотной области. При увеличении числа отсчетов звена h или при уменьшении сглаживающего параметра ρ полоса пропускания сигнала АЧХ уменьшается, а ширина АФ увеличивается. Сплайн на выходе фильтра в этом случае становится довольно гладким, но значительно удаленным от линии регрессии, что и приводит к росту систематической погрешности. В этом и состоит физическая интерпретация ширины АФ.

Следует отметить, что условие причинности ($g(t)=0$ при $t < 0$) выполняется лишь для $m = h - q$, т. е. когда сплайн вычисляется без запаздывания. В остальных случаях, т.е. для $m < h - q$ функция $g(t)=0$ при $t < h - m$. На рисунке 13–б это видно для $m = 3$ и $m = 6$.

3.4 Устойчивость сплайн-фильтра

Работоспособность ЦФ определяется требованиями к устойчивости [17, 18]. Устойчивость рекурсивного сплайн-фильтра как линейной дискретной

системы была оценена аналитически на основе характеристического уравнения, соответствующего знаменателю уравнения (12) для $m=1$.

$$\alpha_0 - \alpha_1 z^{-1} - \alpha_2 \ln(z) z^{-1} = 0$$

Преобразуем данное уравнение, умножая его на z и используя разложение $\ln(z)$ в степенной ряд, ограничиваясь одним членом разложения:

$$\alpha_0 z - \alpha_1 - \alpha_2 z \cdot 2 \frac{z-1}{z+1} = 0 \text{ или } c_0 z^2 + c_1 z + c_2 = 0$$

При условии, что $c_0 = \alpha_0$, $c_1 = \alpha_0 - \alpha_1 - 2\alpha_2$, $c_2 = 2\alpha_2 - \alpha_0$.

Далее, используя билинейное w -преобразование (Мизеса) $z = \frac{1+\omega}{1-\omega}$,

получим:

$$u_0 w^2 + u_1 w + u_2 = 0$$

При условии, что $u_0 = c_0 - c_1 + c_2$, $u_1 = 2c_0 - 2c_2$, $u_2 = c_0 + c_1 + c_2$.

Замена переменной z позволяет свести условия устойчивости $|z| < 1$ к критерию Гурвица и для уравнения второго порядка имеют вид:

$$\begin{cases} c_0 - c_1 + c_2 > 0; \\ 2c_0 - 2c_2 > 0; \\ c_0 + c_1 + c_2 > 0. \end{cases}$$

А с учетом введенных в (11) обозначений для условия устойчивости сплайн-фильтра:

$$\begin{cases} \alpha_0 + \rho \cdot P2 > 0; \\ \rho \cdot (P1 - 2P2) > 0; \\ -\rho \cdot P1 > 0, \end{cases} \quad (15)$$

При условии, что $P1 = A(H_2 + H_3) - CH_2 - BH_3$,
 $P2 = A(H_3 + H_4) - CH_3 - BH_4$.

Система неравенств (15) определяет условия устойчивости фильтра. Разрешая относительно сглаживающего параметра ρ , были найдены области устойчивости сплайн-фильтра (таблица 3) при изменении параметров q и h .

Таблица 3 – Области устойчивости сплайн-фильтра

$h \backslash q$	0	1	2	3	4	5	6	7
3	0–1	0–0.99	0.99–1					
6	0–1	0–1	0–0.98	0.90–1	0.99–1			
8	0–1	0–1	0–1	0–0.97	0.87–1	0.97–1	н	н
10	0–1	0–1	0–1	0–0.99	0–0.95	0.84–1	0.95–1	н

Основная особенность состоит в сужении области устойчивости от момента сопряжения звеньев сплайна q . При стремлении q к правому концу звена сплайна наблюдается неустойчивость при любом значении параметра ρ . При сопряжении в начале звена сплайн всегда устойчиво и при $m < 1$. В практических приложениях чаще всего и используется сопряжение в начале звена.

4 Оптимизация параметров штрафного P -сплайна

4.1 Эволюционные методы оптимизации

4.1.1 Использование генетического алгоритма для оптимизации параметров штрафного P -сплайна

Генетический алгоритм (ГА) – это вычислительная модель, которая имитирует закон естественного отбора в теории биологической эволюции Дарвина и процесс биологической эволюции генетического механизма, а также метод поиска, который используется для получения оптимальных решений на основе естественных эволюционных процессов [19].

Он предназначен для имитации процесса биологической эволюции, включающей этапы: селекции, скрещивания, комбинации и мутации по закону естественного отбора.

Суть алгоритма:

Сначала создадим начальную популяцию, содержащую 20 особей, с помощью генератора случайных чисел `rnd`. Зададим диапазоны изменения параметров h [3,20], ρ (0,1). В результате получим соответствующую среднеквадратическую ошибку прогноза. Зададим 100 итераций. Полученные ошибки упорядочиваем по убыванию. Присвоим начальным значениям особей значения родителя. Далее проводим процесс скрещивания. Зададим значение параметра разрыв поколений, в данном случае равно 0,8 [19]. Тогда первые 16 наборов параметров будут скрещиваться. Скрещивание делается следующим образом: $(h1, \rho1)$ и $(h2, \rho2) \rightarrow (h1, \rho2)$ и $(h2, \rho1)$, $(h3, \rho3)$ и $(h4, \rho4) \rightarrow (h3, \rho4)$ и $(h4, \rho3)$ и т. д. Остальные пары не изменяются. Далее добавим 5 % особей на мутацию с 50 % вероятностью изменения для каждого параметр. Теперь определим наименьшую ошибку, наилучшие параметры и соответствующий номер итерации. На каждой итерации выбирается набора параметров с наилучшими результатами и запоминается в качестве оптимального решения. Последний шаг – создать новое поколение.

Схема алгоритма приведена на рисунке 14.



Рисунок 14 – Схема генетического алгоритма

4.1.2 Использование иммунного алгоритма для оптимизации параметров штрафного P -сплайна

Иммунный алгоритм – оптимизационная технология, использующая понятия, аппарат и некоторые достижения теоретической иммунологии для решения прикладных задач. Один из иммунных алгоритмов основан на теории клоновой селекции и носит соответствующее название – клональной селекции. Это эволюционный алгоритм, который имитирует процесс обучения иммунной системы человека, а также широко используемый метод для решения неизвестных аллогенных проблем обучения в искусственной иммунной системе. Алгоритм используется в основном для решения задач оптимизации.

Алгоритм клональной селекции используется с тем, чтобы объяснить, как иммунная система “борется” против чужеродных антигенов. Когда бактерии попадают в наше тело, они начинают размножаться и заражают клетки нашего организма своими токсинами. Клетки, которые распознают чужеродные антигены, размножаются бесполом образом, пропорционально степени их

распознавания. Во время размножения клеток отдельные клетки подвергаются мутации, которая позволяет им иметь более высокую аффинность к распознаваемому антигену [20].

В данной задаче имеются следующие биологические аналоги: антиген – целевая функция, антитело – оптимальное решение задачи, аффинность – соответствие решения задачи и целевой функции. Аффинность можно оценить одним из показателей точности, например, среднеквадратическая ошибка оптимизации или интегральная оценка показателей качества переходного процесса, т.е. аффинность возрастает при уменьшении погрешности оптимизации и оценки показателей качества.

Суть алгоритма:

Сначала создадим начальную популяцию, содержащую $N = 40$ антител, с помощью встроенной функции `rnd`. Зададим диапазоны изменения параметров h [3,20], ρ (0,1) и получим соответствующую аффинность прогноза. Далее задаем предел в 100 итераций. Потом упорядочиваем все антитела по возрастанию и сохраняем первые L лучших антител. Дальше случайным образом выбираем N_0 антител по коэффициенту избирательности $\delta = 0,5$, чтобы выполнять мутацию. Тогда $N_0 \times \delta + L = N$. Потом реализуем мутацию с одним из параметров, и получим N_0 новых антител. Совместим L и N_0 антител, и получим антитела следующего поколения.

Схема алгоритма приведена на рисунке 15.



Рисунок 15 – Схема иммунного алгоритма

4.2 Оптимизация на основе показателей качества сплайн-фильтра

Кроме требований к устойчивости, работоспособность ЦФ характеризуется показателями в переходных процессах. Качество ЦФ невысокого порядка, реализованного программно, может быть оценено прямыми методами. В данном случае, как реакция сплайн-преобразования на единичное ступенчатое возмущение.

Основными прямыми показателями качества переходной характеристики $h(t)$ в колебательном переходном процессе (рисунок 16) являются перерегулирование σ , время регулирования t_p .

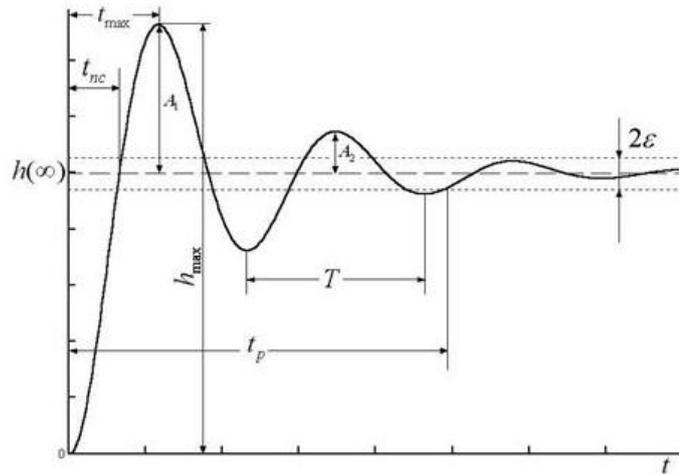


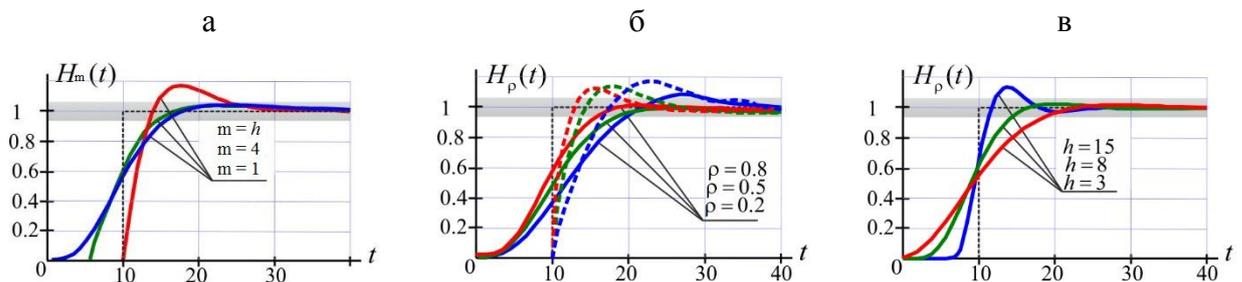
Рисунок 16 – Графическое представление основных показателей качества колебательного процесса

Перерегулированием определяется по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{h_{max} - h(\infty)}{h(\infty)} \cdot 100 \% \quad (16)$$

Время регулирования t_p : время, за которое система приходит в состояние, когда величина переходной функции $h(t)$ попадает в диапазон $\pm 5\%$ от установившегося значения параметра и поддерживается в нем. Время регулирования напрямую характеризует инерционность системы на входной сигнал.

На рисунке 17 приведены кривые переходного процесса (ПП) $H(nT)$ сплайн-фильтра.



а – при $h=10, \rho=0.5$; б – при $h=10$ $\color{red}{\text{---}} m=1, \color{blue}{\text{---}} m=h$; в – при $m=h, \rho=0.5$

Рисунок 17 – Переходная функция рекуррентного сплайн фильтра при изменении параметров

По характеру затухания кривая ПП $H(nT)$ имеет колебательный характер. Причем колебательность появляется и возрастает при уменьшении запаздывания

получения результата $h - m$, т.е. при вычислении значения сплайна в правом конце звена $m \rightarrow h$.

Также особенность сплайн-фильтра состоит в ухудшении и других показателей качества ПП при отсутствии запаздывания. Так при изменении $m \in 1, h$ перерегулирование возрастает в (3–6) раз при любом значении ρ . Повышение гладкости сплайна ($\rho \rightarrow 0$) также ухудшает все показатели качества [9].

В таблице 4 приведены основные показатели качества ПП: перерегулирование σ , время регулирования t_p при изменении основных параметров сплайна h, ρ, m .

Таблица 4 – Основные показатели качества ПП

Параметр сплайн-фильтра	Показатели качества ПП	
	Перерегулирование $\sigma, \%$	Время регулирования $t_p, \Delta t$
$h = 10, m = 1$		
$\rho = 0,2$	5,54408	29
$\rho = 0,5$	2,42179	18
$\rho = 0,8$	2,22641	17
$h = 10, m = h$		
$\rho = 0,2$	18,69437	30
$\rho = 0,5$	17,05828	25
$\rho = 0,8$	14,97393	21
$\rho = 0,5, m = 1$		
$h = 4$	8,35025	20
$h = 8$	2,9287	17
$h = 16$	2,21765	22
$\rho = 0,5, h = 10$		
$m = 1$	2,42179	18
$m = 4$	2,24599	18
$m = h$	17,05828	25

Несколько иной характер поведения кривой ПП наблюдается при изменении длины звена сплайна h . С ростом h перерегулирование – значительно снижается, а время регулирования ПП увеличивается. Наиболее быстродействующим является интерполяционный сплайн ($\rho = 1$). В частности, при $h = 2$ интерполяционный сплайн идеально воспроизводит единичную ступенчатую функцию, т.е. ПП отсутствует.

Для того, чтобы оценить переходный процесс одним числом используются интегральные показатели. Интегральные показатели качества регулирования являются обобщенными показателями качества, которые характеризуют совокупность свойств.

В основе интегральных оценок качества лежит предположение, что качество регулирования тем выше, чем меньше площадь между кривой переходного процесса и заданным значением регулируемой переменной. Интегральные оценки качества являются строгой математической формулировкой понятия качества системы, поэтому их минимизация позволяет определить оптимальные параметры системы управления [21].

В данной работе выбраны следующие формулы:

$$I_1 = \int_0^{t_p} \varepsilon^2(t) dt \leftarrow \min \quad (17)$$

$$I_2 = \int_0^{t_p} |\varepsilon(t)| dt \leftarrow \min \quad (18)$$

$$I_3 = \int_0^{t_p} t \cdot |\varepsilon(t)| dt \leftarrow \min \quad (19)$$

$$I_C = \int_0^{t_p} \left| C \cdot \varepsilon(t) + (1 - C) \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \right|^2 dt \leftarrow \min \quad (20)$$

где $\varepsilon(t)$ – текущая погрешность регулирования;

C – некоторый весовой коэффициент, который характеризует допустимую скорость изменения погрешности регулирования, следовательно, выходной координаты в ПП [21].

Формула (17) и (18) применяются в процессе в монотонной форме и при колебательном характере переходного процесса, характеризующихся сменой знака погрешности регулирования.

Формула (19) была предложена для того, чтобы уменьшить вклад начальной погрешности в интеграл (18) и учесть связанную с этим погрешность [22].

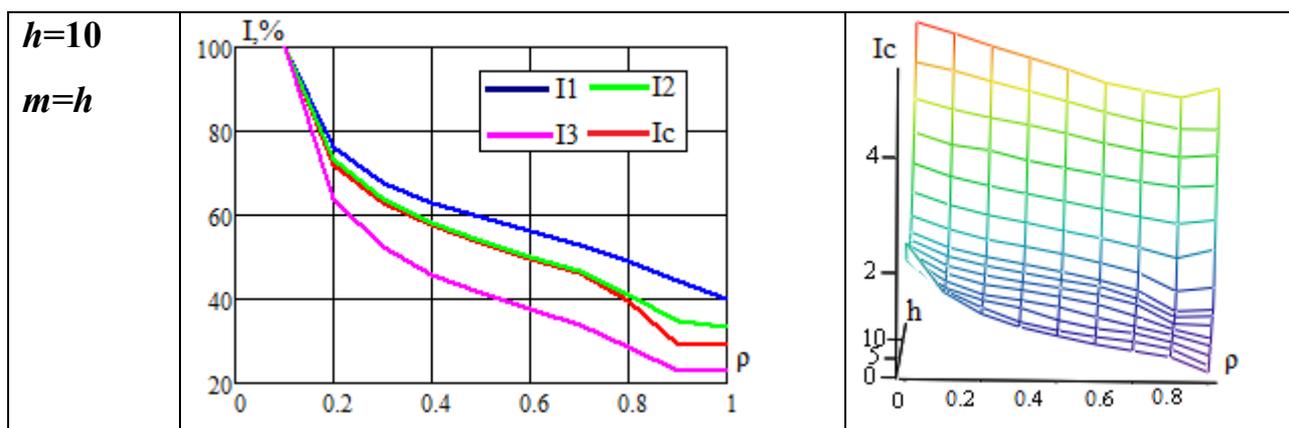
В данной работе предпочтена формула (20). Формула (20) используется в случаях, когда требуется учитывать ограничения энергии управления.

Используя указанные формулы определим влияние перерегулирования σ и времени регулирования t_p на четыре интегральных показателя. Также в таблицах 5 – 6 выявлено влияние параметра h , ρ и m на интегральные показатели.

Таблица 5 – Влияние параметра ρ на интегральные показатели качества

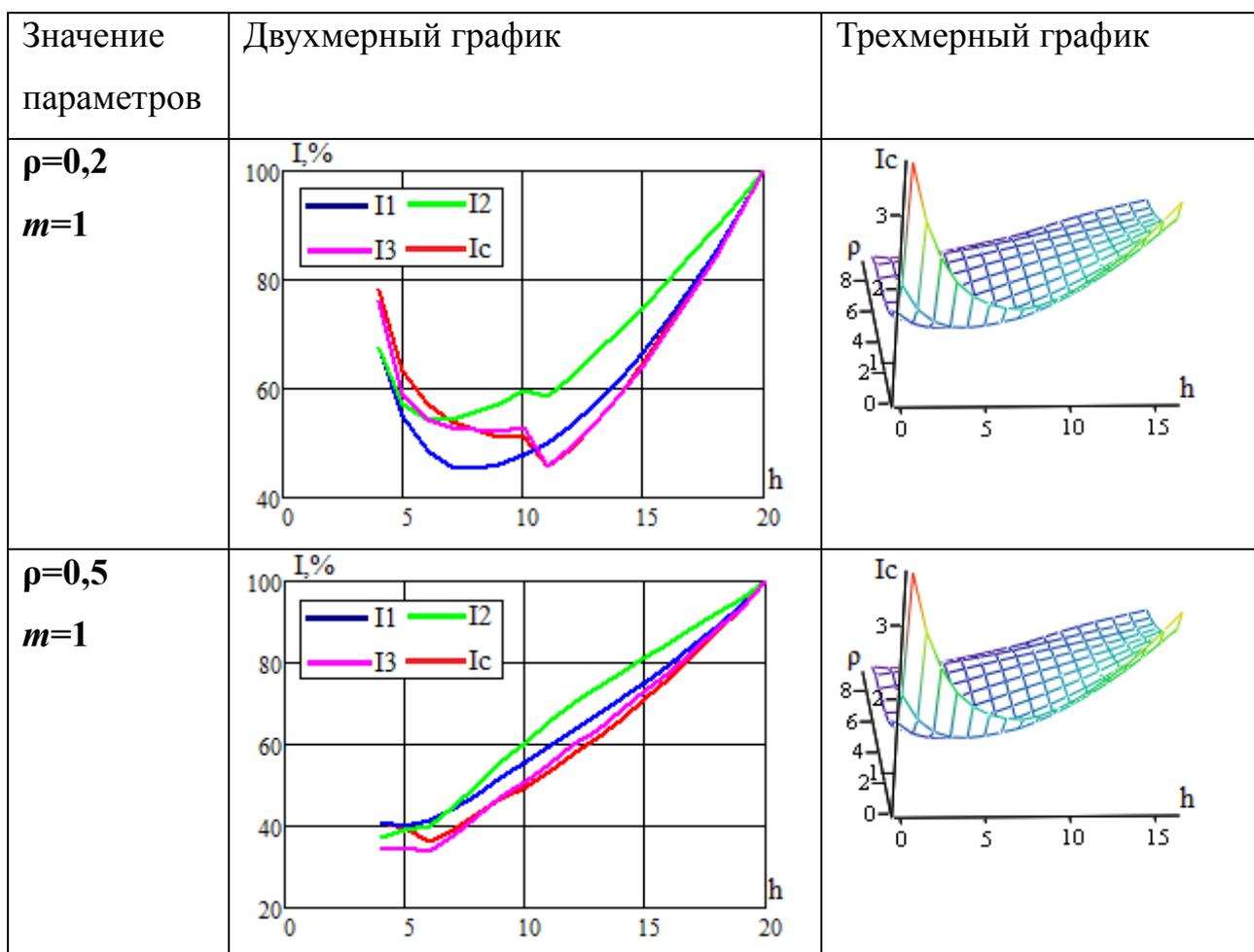
Значение параметров	Двухмерный график	Трехмерный график
$h=10$ $m=1$		
$h=15$ $m=1$		

Продолжение таблицы 5 – Влияние параметра ρ на интегральные показатели качества

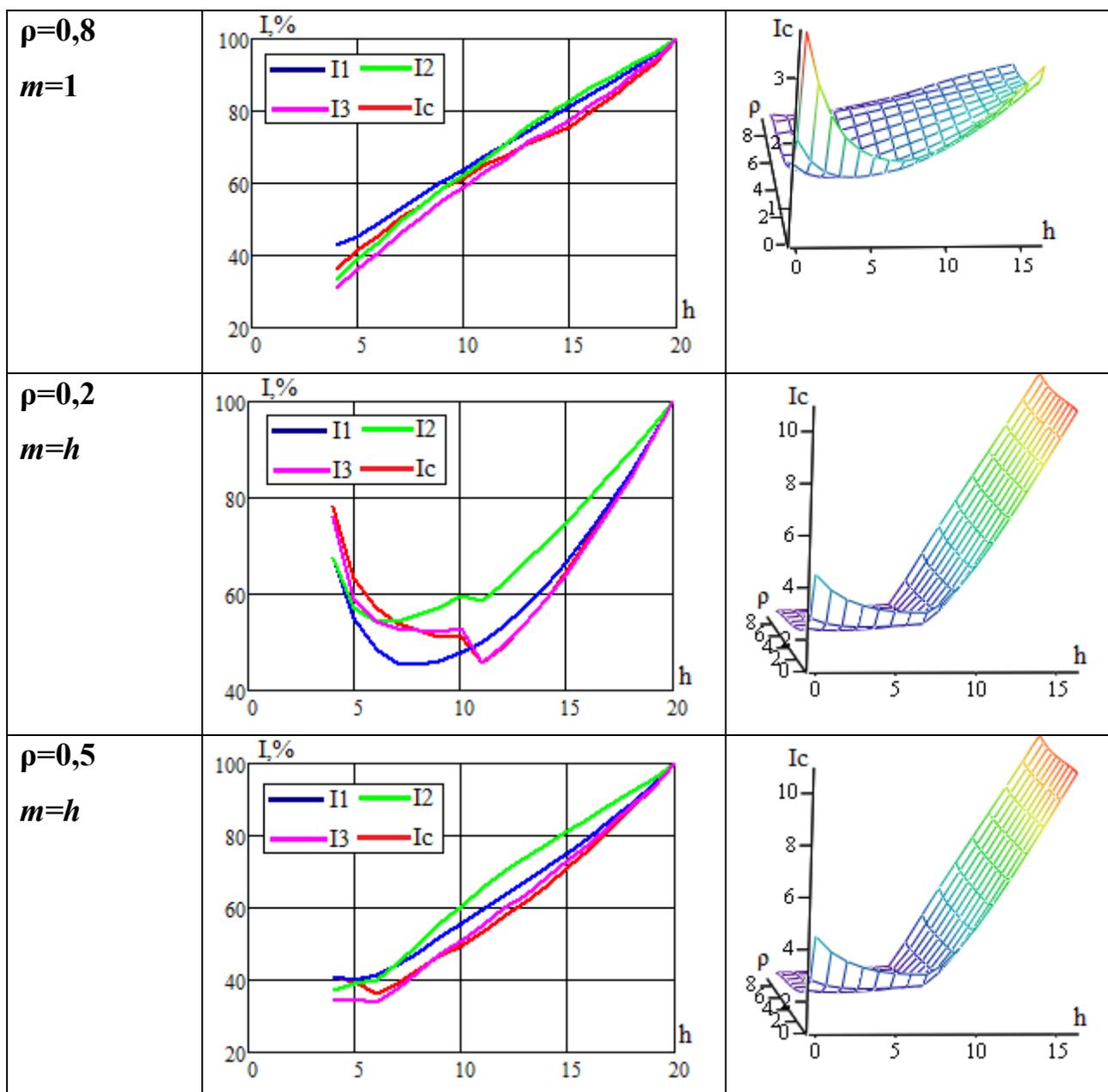


Исходя из таблицы 5, мы можем делать вывод, что при увеличении значения ρ , значение интегральных оценок уменьшается, и не зависит от изменения значения h и m .

Таблица 6 – Влияние параметра h на интегральные показатели качества



Продолжение таблицы 6 – Влияние параметра h на интегральные показатели качества



Для получения минимальных значений интегральных оценок в соответствии с таблицей 6, можно сделать выводы:

- 1) при небольших значениях ρ , параметр h находится в диапазоне от 6 до 12;
- 2) при увеличении ρ , значение параметра h также увеличивается до 20, при этом значение интегральных показателей также растут.

Кроме того, по таблицам 5 и 6 нетрудно заметить, что все четыре интегральные оценки обладает одинаковой тенденцией.

4.3 Исследование методов оптимизации

Интегральные показатели качества сплайн-фильтра, исследованные в разделе 4.2, позволили оценить влияние параметров на качество переходного процесса при отсутствии шума входных данных.

Используя эволюционные алгоритмы (генетический и иммунный) можно сопоставить оптимальные настройки параметров сплайн-фильтра также при отсутствии помех на входе фильтра.

В таблице 7 приведены численные значения оптимальных параметров.

Таблица 7 – Оптимальные параметры, полученные с помощью эволюционных методов

	Генетический алгоритм				Иммунный алгоритм			
	I_1	I_2	I_3	I_c	I_1	I_2	I_3	I_c
$m = 1$	4	3	4	3	4	3	3	4
	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97
	0,574	1,045	11,926	0,333	0,574	1,128	11,719	0,415
$m = h$	3	3	3	4	4	4	3	3
	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98
	1,017	1,194	13,473	0,369	1,025	1,238	12,245	0,398

Из таблицы 7 видно, что генетический и иммунный алгоритмы могут быть использованы для настройки оптимальных значений параметров P -сплайна. При этом влияние шума подтверждает логику выбора параметров сплайна для заданных функций. Кроме того, оптимальные параметры статистической оценки $RMSPE$ полностью совпадают с интегральными показателями при отсутствии шума, таблица 8.

Отметим, что время работы иммунного алгоритм значительно выше, чем генетического, в среднем в 1,5–1,75 раз. Поэтому его выбор очевиден.

Таблица 8 – Сравнительные результаты оптимальных параметров с помощью разных критериев

	<i>RMSPE</i> с шума 0 %	<i>Ic</i>
$m = 1$	3 0,99	4 0,99
$m = h$	3 0,99	3 0,99

Результат влияния параметров на статистические показателей и интегральных показателей оказался одинаковой. И когда отсутствие шума, оптимальные параметры статистической оценки также совпадают с оптимальными параметрами интегральных показателей. Это означает, что статистические показатели имеет возможность описать цифровой сплайн-фильтр. Следовательно, рекомендуем выбрать статистический показатель как критерий определения качества штрафного *P*-сплайна.

4.4 Реализация прогноза

Для анализа качества краткосрочного прогнозирования на основе гибридной модели были использованы две тестовые функции в разделе 2.2.

На рисунке 18 представлен полезный сигнал функции $Y(t) = 10 \sin\left(\frac{2\pi t}{100}\right)$ (в данном случае без шума) и полученные значения прогноза штрафного *P*-сплайна при входных параметрах $h = 3$, $\rho = 0,99$ и $m = h+1$. В суммированном окне показано последнее значение прогноза. Погрешность прогноза *RSMPE* равно 0,343 %.

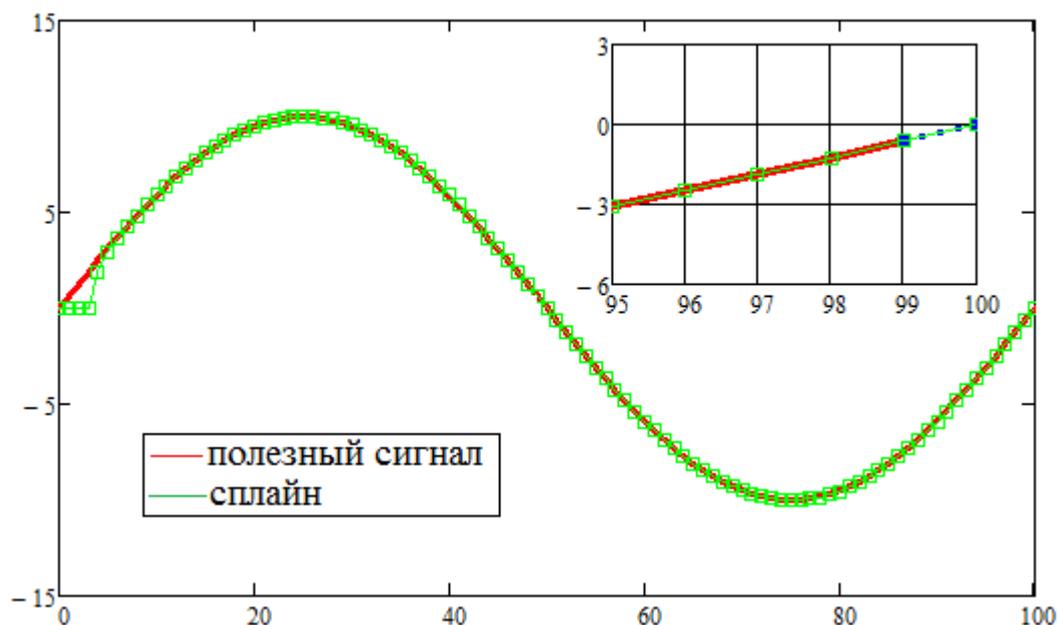


Рисунок 18 – Результат прогнозирования для функции 1 без шума

На рисунке 19 представлен график с значением $m = h+3$. В суммированном окне 3 последних значения прогноза. Погрешность прогноза *RSMPE* равно 1,613 %.

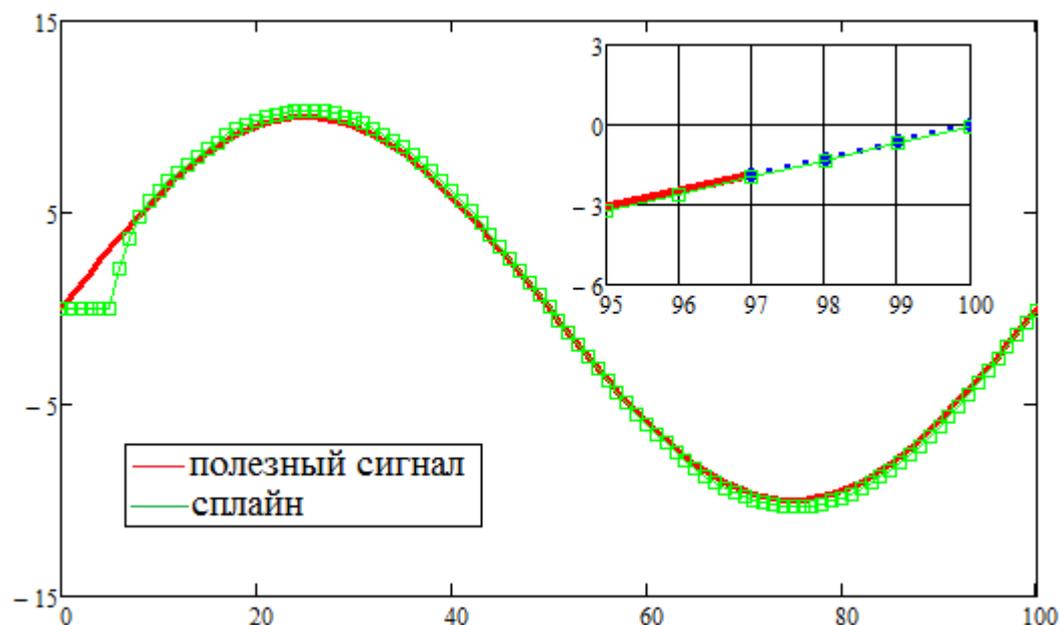


Рисунок 19 – Результат прогнозирования для функции 1 без шума

Аналогичный результаты для функции $Y(t) = \sin\left(\frac{\pi t}{20}\right) e^{0.02t} + 3$ приведены на рисунках 20 и 21. И входные параметры $h = 3$, $\rho = 0,99$, $m = h+1$, $m = h+3$. Полученные значения *RSMPE* равны 0,386 % и 2,196 % соответственно.

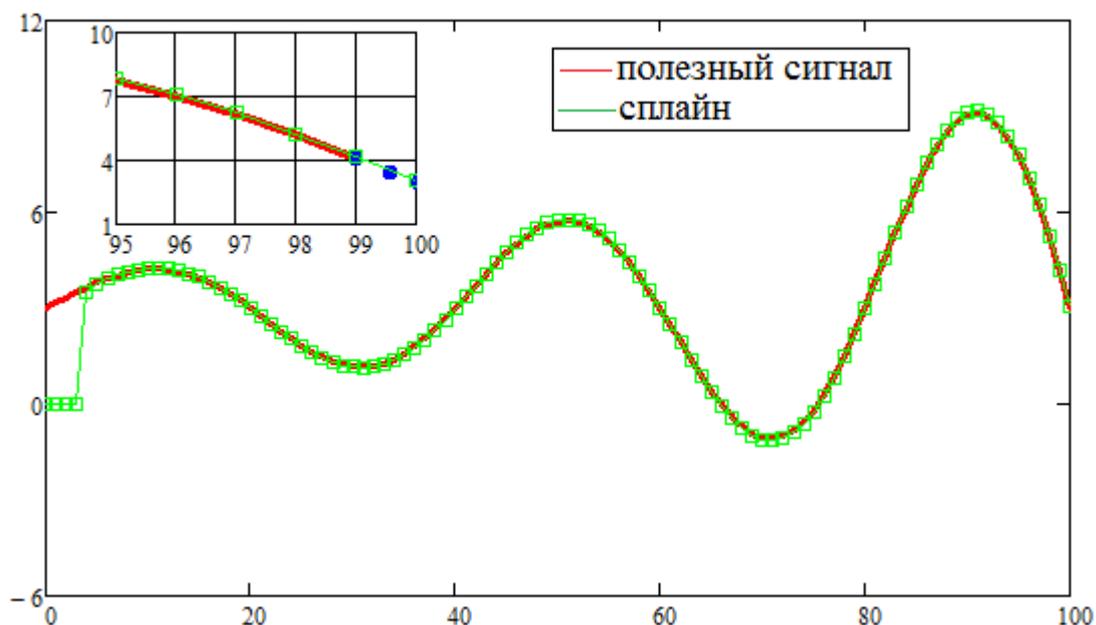


Рисунок 20 – Результат прогнозирования для функции 2 без шума

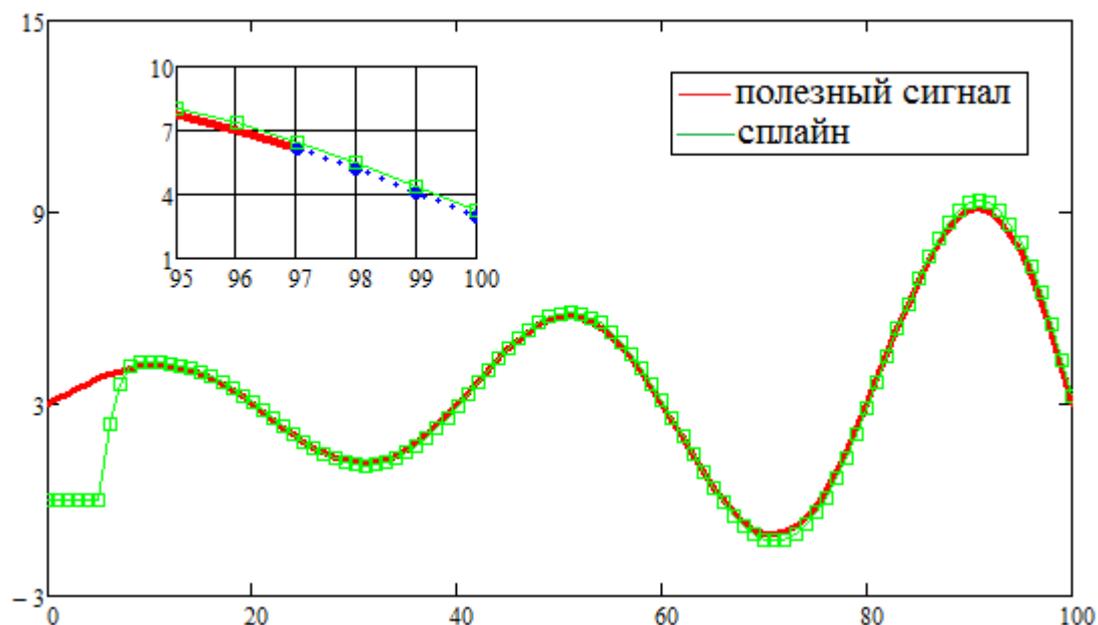


Рисунок 21 – Результат прогнозирования для функции 2 без шума

На рисунке 22 представлен полезный сигнал функции 1, искаженный случайной помехой ее сигнал (шум равен 10 % от максимального значения функции) и полученные значения прогноза на базе штрафного P-сплайна при входных параметрах $h = 3$, $\rho = 0,49$ и $m = h+1$. И последнее одно значение – значения прогноза. Полученное значение $RSMPE$ равно 1,758 %.

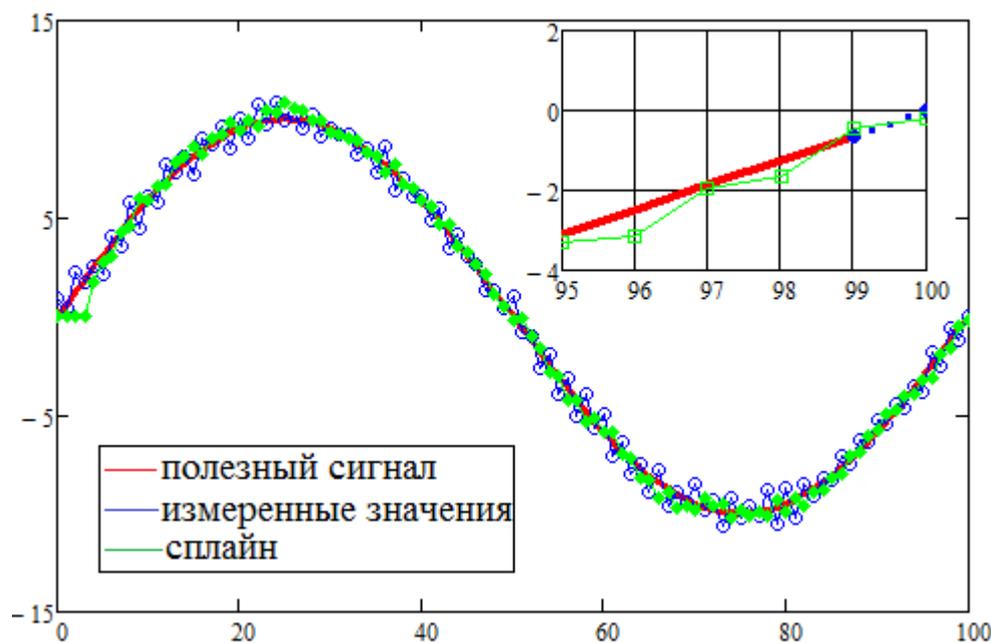


Рисунок 22 – Результат прогнозирования для функции 1 с шумом 10 %

Аналогичный график построен для функции 2 приведен на рисунке 23. И входные параметры $h = 13$, $\rho = 0,96$, и $m = h+1$. Полученное значение $RSMPE$ равно 3,731 %.

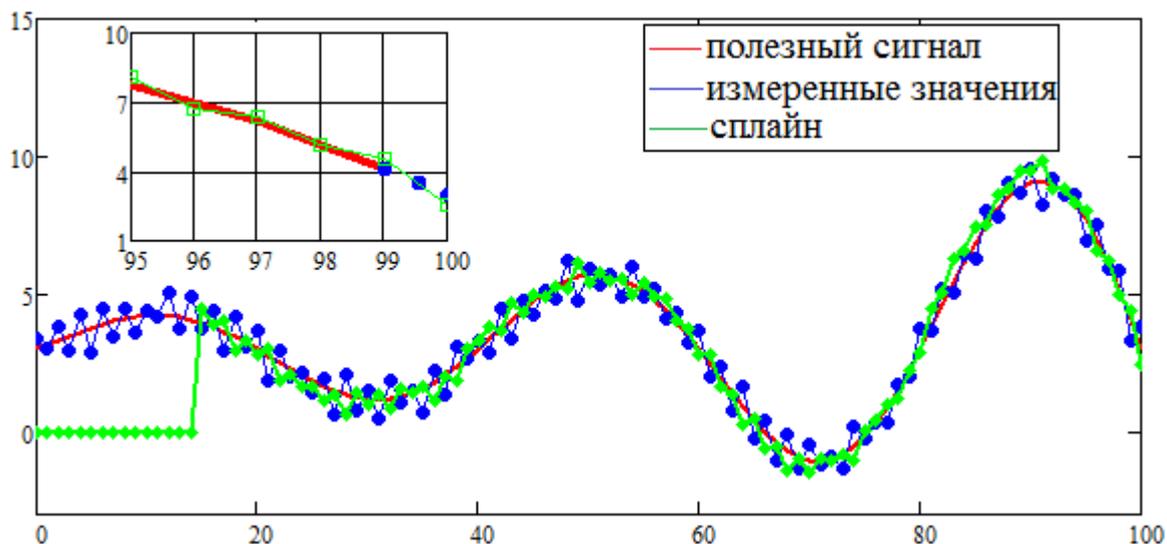


Рисунок 23 – Результат прогнозирования для функции 2 с шумом 10 %

При применении штрафного P -сплайна непосредственно к задаче прогнозирования на основе пользовательских данных были использованы наборы данных цены закрытия акций китайской компании «Tencent» в срок с 02.01.2019 до 31.05.2019.

На рисунке 24 приведен график значений цены закрытия акций китайской компании «Tencent» и соответствующего полученного сплайна при оптимальных параметрах $h = 3$, $\rho = 0,99$, и $m = h + 1$. Полученное значение $RSMPE$ равно 5,198 %.

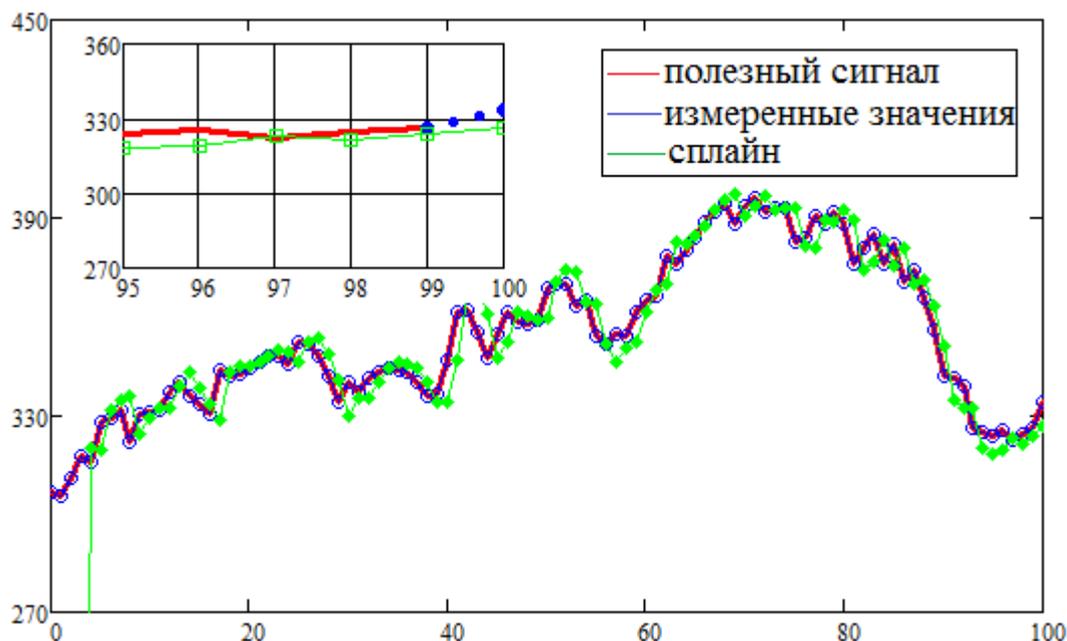


Рисунок 24 – Результат прогнозирования сплайна

Исходя из рисунков 18 – 24 можно сделать выводы:

- 1) применение гибридной модели позволяет осуществлять краткосрочное прогнозирование;
- 2) гибридная модель дает возможность выполнить краткосрочное прогнозирование при небольшом объеме данных для обучения 3 – 20 значений;
- 3) Оценка качества прогнозирования финансовых временных рядов на примере акций компании «Tencent» показала погрешность (4 – 6) %, что является вполне допустимым для процессов реального времени.

5 Финансовый менеджмент, ресурсо–эффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется главным образом коммерческой ценностью разработки, а не только ее ресурсоэффективностью и высокотехнологичными свойствами, которые в начале разработки продукта бывает достаточно трудно оценить. Высокая коммерческая ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Эти моменты важно учитывать разработчикам, которые должны представлять высокие перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью работы является проведение таких научных исследований, тема которых актуальна на сегодняшний день и отвечает современным требованиям в области ресурсосбережения и ресурсоэффективности.

5.1 Календарный план работ и оценка времени их выполнения

Для выполнения исследований по данной работе создана рабочая группа, состоящая из руководителя и студента. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Был составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, а также распределение исполнителей по данным

видам работ приведен в таблице 9. В таблице 10 представлен календарный план выполнения работ.

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Продолжительность, дни
Разработка и выдача технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, инженер	1
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	10
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер	1
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер	1
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка разностного уравнения P -сплайна	Инженер	2
	6	Исследование частотной и временной характеристики цифрового P -сплайна	Инженер	6
	7	Исследование влияния показателей качества переходного процесса на варьируемых параметров P -сплайна	Инженер	12
	8	Получение оптимальных параметров P -сплайна на основе генетического и иммунного методов	Инженер	10
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер	4
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка пакета Mathcad и Matlab в компьютера для выполнения проекта	Инженер	2
	11	Разработка правил безопасности при использовании компьютера	Руководитель, инженер	2
Изготовление и испытание макета	12	Конструирование и изготовление макета	Инженер	5
	13	Лабораторные испытания макета	Инженер	5
Оформление комплекта документации по ВКР	14	Составление пояснительной записки	Инженер	30
	15	Проверка пояснительной записки	Руководитель, инженер	2

Таблица 10 – Календарный план–график проведения ВКР

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} кал.дн.	Продолжительность выполнения работ										
				Январь		Февраль					Март			
				28	29	8	9	10	13	23	10	22	28	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, инженер	1	■										
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	10		■									
3	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер	1			■								
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер	1				■							
5	Разработка разностного уравнения P -сплайна	Инженер	3					■						
6	Исследование частотной и временной характеристики цифрового P -сплайна	Инженер	10							■				
7	Исследование влияния показателей качества переходного процесса на варьируемых параметрах P -сплайна	Инженер	15									■		
8	Получение оптимальных параметров P -сплайна на основе генетического и иммунного методов	Инженер	12										■	
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер	6										■	

Продолжение таблицы 10 – Календарный план–график проведения ВКР

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} кал.дн.	Продолжительность выполнения работ							
				Март		Апрель			Май		
				28	1	2	7	12	12	14	
10	Разработка пакета Mathcad и Matlab в компьютера для выполнения проекта	Инженер	4								
11	Разработка правил безопасности при использовании компьютера	Руководитель, инженер	1								
12	Конструирование и изготовление макета	Инженер	5								
13	Лабораторные испытания макета	Инженер	5								
14	Составление пояснительной записки	Инженер	30								
15	Проверка пояснительной записки	Руководитель, инженер	2								

Научный руководитель –

Инженер

Таким образом, был оценен объем необходимых работ, составлен календарный план их проведения и распределены обязанности участников проекта: участниками являются 2 человека – научный руководитель и инженер. Научный руководитель участвует в работе в течении 12 дней, инженер – 106 дней.

5.2 Смета затрат на проект

Затраты на выполнения проекта ($K_{пр}$) складываются из следующих составляющих:

$$K_{пр} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о.}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}},$$

где $K_{\text{мат}}$ – материальные затраты на выполнение проекта;

$K_{\text{ам}}$ – амортизация компьютерной техники;

$K_{\text{з/пл}}$ – затраты на заработную плату;

$K_{\text{с.о.}}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{\text{пр}}$ – прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$ – накладные расходы.

5.2.1 Материальные затраты

Материальные затраты принимаем в размере 5000 рублей на канцелярские товары.

$$K_{\text{мат}} = 5000 \text{ руб.}$$

5.2.2 Амортизация компьютерной техники

Рассчитаем амортизацию компьютерной техники $K_{\text{ам}}$:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}},$$

где $T_{\text{исп.кт}}$ – время использования компьютерной техники;

$T_{\text{кал}}$ – календарное время (365 дней);

$C_{\text{кт}}$ – цена компьютерной техники;

$T_{\text{сл}}$ – срок службы компьютерной техники (5 лет).

Затраты и время работы компьютерной техники сведены в таблице 11.

Таблица 11 – Стоимость и время работы компьютерного оборудования

Объект	Стоимость, руб.	Время использования, дней.
Компьютер	60000	106

Тогда амортизация составит

$$K_{\text{ам.компьютера}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}} = \frac{106}{365} \cdot 60000 \cdot \frac{1}{5} = 3485 \text{ руб};$$

$$K_{\text{ам}} = K_{\text{ам.компьютера}} = 3485 \text{ руб.}$$

5.2.3 Затраты на заработную плату

В настоящую статью расходов включается основная заработная плата научных и инженерно–технических работников. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере (20 – 30) % от тарифа или оклада.

Зарботная плата рассчитывается для инженера и научного руководителя:

$$K_{з/пл} = ЗП_{\text{инж}} + ЗП_{\text{нр}}$$

где $ЗП_{\text{инж}}$ – заработная плата инженера;

$ЗП_{\text{нр}}$ – заработная плата научного руководителя.

Зарботная плата за месяц:

$$ЗП_{\text{мес}} = ЗП_0 \cdot k_1 \cdot k_2,$$

где $ЗП_0$ – месячный оклад научного руководителя, руб;

$ЗП_1$ – месячный оклад инженера, руб;

k_1 – коэффициент, учитывающий отпуск (10 %);

k_2 – районный коэффициент (30 %).

Зарботная плата инженера (10 разряд):

$$ЗП_{\text{инж}} = ЗП_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 15000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 21450 \text{ руб},$$

Зарботная плата научного руководителя (15 разряд):

$$ЗП_{\text{нр}} = ЗП_1 \cdot k_1 \cdot k_2 = 23000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 32890 \text{ руб.}$$

Рассчитаем заработную плату за количество отработанных дней по факту:

$$ЗП_{\text{инж.фак}} = \frac{ЗП_{\text{инж}}}{21} \cdot n = \frac{21450}{21} \cdot 106 = 108272 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{\text{нр.фак}} = \frac{ЗП_{\text{нр}}}{21} \cdot n = \frac{32890}{21} \cdot 12 = 18795 \text{ руб.}$$

где n – фактическое число дней работы в проекте.

В итоге затраты на оплату труда руководителя ВКР и инженера составят:

$$K_{\text{з/пл}} = ЗП_{\text{инж.фак}} + ЗП_{\text{нр.фак}} = 108272 + 18795 = 127067 \text{ руб.}$$

5.2.4 Затраты на социальные нужды

Затраты на социальные отчисления составляют 30 % от $K_{\text{з/пл}}$ и равны:

$$K_{\text{с.о.}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 0,3 = 127067 \cdot 0,3 = 38120 \text{ руб.}$$

5.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаем в размере 10 % от суммы материальных и амортизационных затрат, затрат на заработную плату, а также затрат на социальные отчисления:

$$\begin{aligned} K_{\text{пр}} &= \left(K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о.}} \right) \cdot 0,1 \\ &= (5000 + 3485 + 127067 + 38120) \cdot 0,1 = 17367 \text{ руб.} \end{aligned}$$

5.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы принимаем в размере 200 % от затрат на заработную плату $K_{\text{з/пл}}$:

$$K_{\text{накл}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 2 = 127067 \cdot 2 = 254134 \text{ руб.}$$

5.2.7 Общая себестоимость разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Макет демонстрационной модели

принципов КТ». Составим итоговую смету затрат на выполнения проекта в таблице 12.

Таблица 12 – Смета затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	5000
Амортизационные затраты	3485
Затраты на заработную плату	127067
Социальные отчисления	38120
Прочие затраты	17367
Накладные расходы	254134
Итого:	445173

5.3 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. 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 как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (21)$$

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

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

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно– исследовательского проекта (в том числе 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).

В результате выполнения данного раздела проведен анализ конкурентоспособности технических решений, и оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ, которые выявили его сильные и слабые стороны.

Произведено планирование проекта и построен график Ганта; по итогам был установлен предполагаемый срок выполнения проекта – 106 дня.

Бюджет затрат на реализацию проекта составил 445173 рублей.

На основании полученных результатов выявлено, что реализация данного проекта является экономически целесообразной.

6 Социальная ответственность при выполнении работы с использованием компьютера

Социальная ответственность или корпоративная социальная ответственность (как морально–этический принцип) – ответственность перед людьми и данными им обещаниями, когда организация учитывает интересы коллектива и общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на заказчиков, поставщиков, работников, акционеров (IS CSR 26000:2011 [23]).

Данная выпускная квалификационная работа представлена научно–исследовательской работой, во время выполнения которой осуществлялась обработка результатов анализов, построение карт и набор текста на персональном компьютере, Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером. поэтому в разделе «Производственная безопасность при проведении исследований» рассматривается «Производственная безопасность при работе на персональных компьютерах».

Цель данного раздела: проанализировать опасные и вредные факторы при данном виде производственной деятельности и решить вопросы обеспечения защиты от них на основе требований действующих нормативно–технических документов.

Работа проводилась в отделении Автоматизации и робототехники на инженерной школе информационных технологий и робототехники Национального Исследовательского Томского Политехнического Университета. Для выполнения выпускной квалификационной работы на тему «Реализация цифрового фильтра на основе сглаживающего штрафного *P*–сплайна» проводилось исследование на компьютере.

6.1 Техногенная безопасность в компьютерном помещении

Работы на электронно–вычислительных машинах проводятся в помещении, соответствующем требованиям Санитарных правил и норм (СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [24]).

Рабочее место расположено в аудитории на первом этаже здания, имеет естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место с ПЭВМ составляет не менее 6 м^2 , а объем – не менее 20 м^3 . В рабочей аудитории расположены два персональных компьютера. Помещение оборудовано системами отопления, эффективной приточно–вытяжной вентиляцией. Система отопления обеспечивает постоянное и равномерное нагревание воздуха в помещении в холодный период года. Система вентиляции обеспечивает постоянный приток свежего воздуха. Минимальный расход воздуха составляет $(50 - 60) \text{ м}^3/\text{ч}$ на одного работающего, воздухообмен за 1 час двух–трёхкратный (СНиП 2.04.05–91). Для выявления факторов опасности при работе на компьютере производится анализ классификации факторов опасности по ГОСТ 12.0.003–74 [25] (таблица 13).

Таблица 13 – Основные элементы производственного процесса камеральных работ, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственно	Факторы (ГОСТ 12.0.003–74 ССБТ) [25]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Постоянная сидячая работа в помещении за компьютером. Обработка информации на персональном компьютере (обработка набора данных; написание анализа)	1. Отклонение показателей микроклимата в помещении; 2. Недостаточная освещённость рабочей зоны; 3. Превышение уровней шума; 4. Превышение уровней электромагнитных излучений.	Электробезопасность	1. ГОСТ 12.1.005–88 [26] 2. СанПиН 2.2.4.548–96 [27] 3. СНиП 23–05–95 [28] 4. ГОСТ 12.1.019–79 [29] 5. ГОСТ 12.1.038–82 [30] 6. ГОСТ 12.1.004–91 [31] 7. ГОСТ 12.1.003–83 [32]

6.1.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Отклонение показателей микроклимата в помещении. Микроклиматические параметры – это сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Эти параметры в значительной степени влияют на функциональную деятельность человека, его самочувствие, здоровье, а также и на надёжность работы вычислительной техники. С целью создания нормальных условий для персонала установлены нормы производственного микроклимата. В производственных помещениях, в которых работа на ПЭВМ является основной, согласно СанПиН 2.2.4.548–96 [27] должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата.

Занесём показатели температуры, влажности и скорости воздуха в таблицу 14.

Таблица 14 – Оптимальные нормы микроклимата для помещений с ВДТ и ПЭВМ (СанПиН 2.2.4.548–96 [27])

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение
1	2	3	4	5	6	7	8
Холодный	Ia	24	22	45	40–60	0.1	0.1
Тёплый	Ia	25	23–25				

Так как в помещении работают инженеры–программисты, то категория тяжести выполняемых работ – Ia.

Анализ характеристик микроклимата будем производить согласно ГОСТ 12.1.005–88 [26].

Согласно замерам, все показатели соответствуют нормам. Для поддержания в помещении нужных значений температуры, влажности и скорости движения воздуха используются отопление и кондиционер.

Недостаточная освещённость рабочей зоны. В помещении, где находится рабочее место, есть естественное и искусственное освещение. Естественное освещение осуществляется через свет проёмы, ориентированные на восток и запад. Естественное освещение нормируется по «коэффициенту естественной освещённости» (KEO) или (e) естественного освещения. Коэффициент естественной освещённости равен:

$$KEO = \frac{E}{E_0} \cdot 100\%, \quad (22)$$

где E – освещённость (измеренная) на рабочем месте, лк;

E_0 – освещённость на улице (при среднем состоянии облачности), лк.

Обеспечивается коэффициент естественного освещения (KEO) не ниже 1,5 %.

Искусственное освещение подразделяется на общее и местное. При общем освещении светильники устанавливаются в верхней части помещения параллельно стене с оконными проёмами, что позволяет их включать и отключать последовательно в зависимости от изменения естественного освещения. Выполнение таких работ, как, например, обработка документов, требует дополнительного местного освещения, концентрирующего световой поток непосредственно на орудия и предметы труда. Освещённость на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должен быть (300 – 500) лк. В зоне рабочего места освещённость должна составлять (300 – 500) лк, яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, $< 200 \text{ кд/м}^2$, коэффициент пульсации $< 5 \%$ СНиП 23–05–95 [28].

Одним из методов для расчёта искусственного освещения является метод светового потока, который используется для определения общего равномерного освещения на горизонтальной поверхности. Световой поток от лампы накаливания или группы разрядных ламп, образующих светильник, рассчитывают по формуле:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{100 \cdot E_n \cdot S \cdot K \cdot Z}{n \cdot \eta} \quad (23)$$

где $\Phi_{\text{л}}$ – световой поток лампы или группы ламп, лм;

N – число светильников в помещении, шт;

E_n – нормированная минимальная освещенность, лк.

S – площадь освещаемого помещения, м²;

Z – коэффициент минимальной освещенности, равный отношению $E_{сп}/E_{тпн}$, значение которого для ламп накаливания составляет 1,15, а для люминесцентных ламп – 1,1;

K – коэффициент запаса, составляющий для ламп накаливания 1,3 – 1,6 и для разрядных ламп – 1,4 – 1,8;

η – коэффициент использования светового потока ламп. Световой поток группы ламп 2150 лк.

Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего. Все эти причины могут привести к несчастному случаю или профзаболеваниям, поэтому столь важен правильный расчёт освещённости.

Расчёт освещённости помещения. Одним из методов для расчёта искусственного освещения является метод светового потока. Он используется для определения общего равномерного освещения на горизонтальной поверхности.

Рассчитаем искусственную освещённость в рабочем кабинете и сравним её с нормами освещённости на рабочем месте согласно СНиП 23–05–95 «Нормы освещённости на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении» [28].

Данное помещение имеет следующие размеры: длина $A = 4,1$ м, ширина $B = 3$ м, высота $H = 2,5$ м. Высота рабочей поверхности $h_{рп} = 0,9$ м. В кабинете используется система общего равномерного освещения. Светильники размещены в два ряда. В каждом ряду установлено 2 светильника типа ШОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в

ряду составляют 50 см. Изобразим схему помещения и размещения на нём светильников (рисунок 25). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 8$. В светильниках установлены люминесцентные лампы белой цветности (ЛБ) мощностью 40 Вт, работающие от сети напряжением 220 В, и обеспечивающие световой поток $\Phi = 2800$ лм.

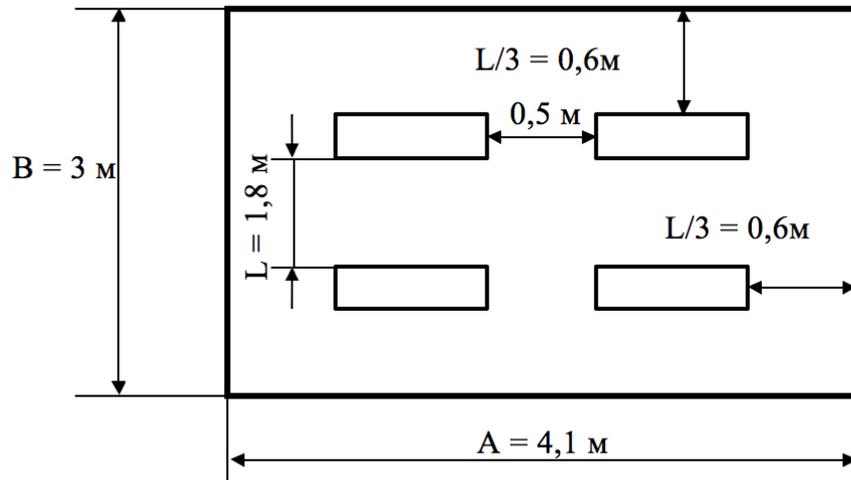


Рисунок 25 – Схема размещения светильников в помещении

Коэффициент отражения стен (оклеены светлыми обоями) $R_c = 50 \%$, потолка (свеж побеленный) $R_n = 70 \%$. Коэффициент запаса $k = 1,5$ для помещений с малым выделением пыли, коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп принимается равным $Z = 1,1$.

Высота светильника в среднем $h = 1,3$ м.

$$h = 1,3 \text{ м}; L = 1,8 \text{ м}; L/3 = 0,6 \text{ м.}$$

Освещённость в помещении определяется по формуле:

$$E = \frac{\Phi \cdot N \cdot \eta}{S \cdot K_s \cdot Z} \quad (24)$$

где Φ – световой поток одной лампы, лм;

S – площадь освещаемого помещения, м^2 ;

K_s – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли;

Z – коэффициент неравномерности освещения;

N – число ламп в помещении;

η – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения i , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью h и коэффициентов отражения стен c и потолка n .

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} \quad (25)$$
$$i = \frac{12,3}{1,3 \cdot (4,1 + 3)} = 1,33$$

Коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,44$.

Определяем освещённость в помещении:

$$E = \frac{2800 \cdot 8 \cdot 0,44}{12,3 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 485,6$$

Согласно СНиП 23–05–95 «Нормы освещённости на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении» [28] зрительная работа в данном кабинете относится к классу наивысшей точности, так как наименьший размер объекта различения на экране компьютера менее 0,15 мм (точка). Разряд зрительной работы – I, подразряд – г (контраст объекта с фоном средний, большой; фон – светлый, средний). Для данных параметров устанавливается норма освещённости – (300 – 400) лк при системе общего освещения.

Из полученных нами результатов можно сделать вывод, что данный рабочий кабинет с учётом выполняемой в нём зрительной работы, соответствует нормам освещённости, устанавливаемыми СНиП 23–05–95 [28].

Для обеспечения нормируемых значений освещённости в помещениях использования ПЭВМ следует проводить чистку стёкол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену

перегоревших ламп. Для защиты от избыточной яркости окон могут быть применены занавеси, шторы.

Монотонный режим работы. Известно, что работоспособность не является величиной постоянной, она изменяется. Основной причиной изменения работоспособности является сама работа. Обычно работоспособность снижается при более или менее длительном её выполнении. Снижение работоспособности под влиянием выполненной работы принято считать утомлением. При этом имеется немало данных, свидетельствующих о том, что помимо самой рабочей нагрузки в реальной трудовой деятельности на работоспособность определённым образом влияют и неблагоприятные условия труда, в том числе такие, которые вытекают из характера самой выполняемой работы. Так, широко известно влияние на работоспособность фактора монотонности.

Применяющиеся показатели можно разделить на «объективные» и «субъективные». К объективным показателям работоспособности обычно относят: а) изменения количественных и качественных показателей труда, б) изменения функционального состояния нервной системы. К субъективным показателям относят ощущения усталости, вялости, болезненные ощущения. Эти субъективные переживания свидетельствуют о тех психических состояниях, которые развиваются при снижении работоспособности. Психическое состояние при утомлении обозначается обычно термином «усталость». Кроме этого состояния в процессе трудовой деятельности могут иметь место и другие психические состояния, связанные с особой заинтересованностью в результатах работы или, наоборот, безразличием к ним, состояние тревожности и др. Все эти состояния накладывают свой отпечаток и на соответствующие субъективные показатели.

Неблагоприятное влияние монотонности на работоспособность проявляется, естественно, во всех показателях работоспособности. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что при монотонной работе наблюдается более раннее появление и объективных, и субъективных признаков снижения работоспособности.

Различие в динамике работоспособности при немонотонной и монотонной работе дало основание ряду исследователей прийти к выводу о том, что при монотонной работе развивается особое специфическое состояние, получившее название монотонное, отличное от состояния собственно утомления, со своими особыми физиологическими механизмами.

Согласно мнению большинства исследователей, торможение, развивающееся в ЦНС при утомлении, является результатом перегрузки соответствующих мозговых систем и играет защитную, охранительную роль, предупреждая их чрезмерное истощение.

Для того, чтобы избежать утомляемости необходимо делать каждые 2 часа 15 минутные перерывы, а также желательно стараться более 4 часов не заниматься одной и той же работой, необходимо менять занятие и обстановку.

Превышение уровней шума. Сильный шум вызывает трудности в распознавании цветовых сигналов, снижает быстроту восприятия цвета, остроту зрения, зрительную адаптацию, нарушает восприятие визуальной информации, снижает способность быстро и точно выполнять координированные движения, уменьшает на (5 – 12) % производительность труда. Длительное воздействие шума с уровнем звукового давления 90 дБ снижает производительность труда на (30 – 60) %. Согласно ГОСТ 12.1.003–83 [32] с изм. 1999 г. эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 дБА.

Оборудование, производящее вибрацию в рабочем помещении отсутствует, поэтому эту характеристику рассматривать не будем. Наибольший уровень звука у работающего кондиционера, он составляет 40 дБА.

В рабочем помещении по замерам уровень звука составляет (25–40) дБА, в зависимости от того, работает или нет кондиционер. Соответственно уровень звука находится в номе. Для дальнейшего его снижения можно предложить следующие мероприятия:

- применить звукопоглощающее покрытие стен;
- экранировка рабочего места;
- установка менее шумного кондиционера.

Превышение уровней электромагнитных излучений. Источниками электромагнитного излучения являются электрические сигналы цепей при работе компьютера. Нарушения в организме человека при воздействии электромагнитных полей незначительных напряжений носят обратимый характер. При воздействии полей, имеющих напряжённость выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения со стороны нервной и сердечно-сосудистой систем, органов пищеварения и некоторых биологических показателей крови.

Наиболее мощным источником электромагнитных полей в помещении являются катушки отклоняющих систем, находящихся около цокольных частей электронно-лучевых трубок мониторов.

Нормы напряжённости электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг монитора по электрической составляющей, соответствующие [24], приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Нормы напряжённости поля

Наименование параметров	Допустимые значения
Напряжённость электромагнитного поля на расстоянии 50 см. Вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более: – в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц – в диапазоне частот (2—400) кГц	25 В/м 2,5 В/м
Плотность магнитного потока должна быть не более: – в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц – в диапазоне частот (2—400) кГц	250 нТл 25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать	500 В

Для выполнения норм предельно допустимой напряжённости электромагнитного поля расстояние от глаз до монитора должно быть (60 – 70) см, но не менее 50 см. Увеличение расстояния в 2 раза приводит к кратному уменьшению плотности мощности на низких частотах на оператора.

Последние достижения науки в области производства мониторов позволяют значительно снизить уровень излучения. Использование современных ЭЛТ–мониторов и ЖК–мониторов гарантирует минимальные значения напряжённости электромагнитных полей вблизи экранов (менее 10 В/м в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц и менее 1 В/м в диапазоне частот (2 – 400) кГц).

6.1.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Анализ вредных факторов проводим по составленной для нашей работы таблице 13.

Электрический ток. Электрические установки, к которым относится практически все оборудование ЭВМ, представляют для человека большую потенциальную опасность, так как в процессе эксплуатации или проведении профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под напряжением. Специфическая опасность электроустановок – токоведущие проводники, корпуса стоек ЭВМ и прочего оборудования, оказавшегося под напряжением в результате повреждения изоляции, не подают каких–либо сигналов, которые предупреждают человека об опасности. Реакция человека на электрический ток возникает лишь при протекании последнего через тело человека. Электрический ток представляет собой скрытый тип опасности, т.к. его трудно определить в токе и нетоковедущих частях оборудования, которые являются хорошими проводниками электричества. Смертельно опасным для жизни человека считают ток, величина которого превышает 0,05 А, ток менее 0,05 А – безопасен (до 1000 В).

Для предотвращения электротравматизма большое значение имеет правильная организация работ, т.е. соблюдение Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ и ПТБ потребителей) и Правил устройства электроустановок (ПУЭ). Для предотвращения электротравм

следует соблюдать требования, предъявляемые к обеспечению электробезопасности работающих на ПЭВМ:

- все узлы одного персонального компьютера и подключённое к нему периферийное оборудование должно питаться от одной фазы электросети;
- корпуса системного блока и внешних устройств должны быть заземлены радиально с одной общей точкой;
- для отключения компьютерного оборудования должен использоваться отдельный пункт с автоматами и общим рубильником;
- все соединения ПЭВМ и внешнего оборудования должны проводиться при отключённом электропитании.

Основными мероприятиями, направленными на ликвидацию причин травматизма, относятся: систематический контроль за состоянием изоляции электропроводов, кабелей и т.д.

Разработка инструкций по техническому обслуживанию и эксплуатации средств вычислительной техники и контроль за их соблюдением;

- соблюдение правил противопожарной безопасности;
- своевременное и качественное выполнение работ по проведению планово–профилактических работ и предупредительных ремонтов.

6.2 Экологическая безопасность

Под охраной окружающей среды понимают совокупность международных, государственных и региональных правовых актов, инструкций и стандартов, доводящих общие юридические требования до каждого конкретного загрязнителя и обеспечивающих его заинтересованность в выполнении этих требований, конкретных природоохранных мероприятий по претворению в жизнь этих требований.

Охрана окружающей природной среды складывается из:

- правовой охраны, формулирующей научные экологические принципы в виде юридических законов, обязательных для исполнения;

- материального стимулирования природоохранной деятельности, стремящегося сделать её экономически выгодной для предприятий;
- инженерной охраны, разрабатывающей природоохранную и ресурсосберегающую технологию и технику.

Основными принципами охраны окружающей среды являются:

- приоритет обеспечения благоприятных экологических условий для жизни, труда и отдыха населения;
- научно обоснованное сочетание экологических и экономических интересов общества;
- учёт законов природы и возможностей самовосстановления и самоочищения её ресурсов.

Деятельность человека причиняет ущерб окружающей среде, а потому перед обществом стоит задача сделать это воздействие наименее пагубным.

В процессе трудовой деятельности в вычислительных центрах, также, как и обычной жизнедеятельности, человек является источником твёрдых бытовых отходов. Эти отходы, как пищевые, так и промышленные, сильно загрязняют окружающую среду.

Как правило, в качестве промышленных отходов выступают бумага, диски, строительные отходы, коробки и т.п. Этот мусор с другими отходами вывозится на территории, выделенные под складирование бытовых отходов.

Другие факторы, влияющие на окружающую природную среду, в процессе создания НИР отсутствуют.

6.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

6.3.1 Требования к помещениям для работы с ПЭВМ

Негативное воздействие на человека ПЭВМ заключается в том, что к концу рабочего дня операторы ощущают головную боль, резь в глазах, тянущие боли в мышцах шеи, рук, спины, зуд кожи лица. Со временем это приводит к мигрени, частичной потери зрения, сколиозу, кожным воспалениям и т.д. У

людей, просиживающих у ПЭВМ от 2 до 6 часов в день, резко возрастают шансы заработать болезнь верхних дыхательных путей, получить неожиданный инфаркт или инсульт. Результаты показали, что наиболее «рисковыми» пользователями ПЭВМ являются дети и беременные женщины СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [24].

Санитарно–гигиенические требования к помещениям для эксплуатации ПЭВМ согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [24] следующие: рабочие места с ПЭВМ требуется располагать во всех помещениях, кроме подвальных, с окнами, выходящими на север и северо–восток. В зависимости от ориентации окон рекомендуется следующая окраска стен и пола помещения:

- окна ориентированы на юг – стены зеленовато–голубого или светло–голубого цвета, пол – зелёный;
- окна ориентированы на север–стены светло–оранжевого или оранжево–жёлтого цвета, пол–красновато–оранжевый;
- окна ориентированы на восток и запад – стены жёлто–зелёного цвета, пол зелёный или красновато–оранжевый.

Пол помещения должен быть ровный, антистатический. Отделка помещения полимерными материалами производится только с разрешения Госсанэпиднадзора. В образовательных помещениях запрещается применять полимерные материалы (ДСП, слоистый пластик, синтетические ковровые покрытия и т. д.), выделяющие в воздух вредные химические вещества. В помещении должны быть медицинская аптечка и углекислый огнетушитель. Расстояние между боковыми поверхностями мониторов – не менее 1,2 м. Оконные проёмы должны иметь регулирующие устройства (жалюзи, занавески). Компьютер нужно установить так, чтобы на экран не падал прямой свет (иначе экран будет отсвечивать, что является вредным для экрана). Оптимальное положение на работе – боком к окну, желательно левым.

6.3.2 Общие требования к организации и оборудованию рабочих мест пользователей ПЭВМ

Конструкция рабочего стола обеспечивает оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования (рисунок 26). Высота рабочей поверхности стола составляет 725 мм. Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм. Конструкция рабочего стола поддерживает рациональную рабочую позу при работе с ПЭВМ, позволяет изменить позу с целью снижения статистического направления мышц шейно–плечевой области и спины для предупреждения утомления. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
 - поверхность сиденья с закруглённым передним краем;
 - регулировку высоты поверхности сиденья в пределах (400 – 550) мм и углам наклона вперёд до 15 ° и назад до 5 °;
 - высоту опорной поверхности спинки (30 ± 20) мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости – 400 мм;
 - угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах ± 30 °;
 - стационарные или съёмные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной – (45 – 70) мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах (230 ± 30) мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах (350 – 500) мм.

Рабочее место пользователя ПЭВМ следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности

подставки до 20 °. Поверхность подставки должна быть рифлёной и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.



Рисунок 26 – Основные требования к организации рабочего места.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии (100 – 300) мм от края, обращённого к пользователю, или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделённой от основной столешницы. К работе с ПЭВМ допускаются лица, прошедшие предварительный и периодический медицинский осмотр, проверку знаний на третью группу допуска по электробезопасности, изучившие инструкцию и расписавшиеся в «Журнале инструктажа по правилам охраны труда на рабочем месте». Для обеспечения оптимальной работоспособности, сохранения здоровья пользователей ЭВМ на протяжении смены устанавливается следующий регламент работ: для преподавателей, сотрудников, студентов (старших курсов) непосредственная работа не более двух часов с обязательным перерывом не менее 20 минут, общая продолжительность работы – не более 4-х часов в день.

6.3.3 Режим труда и отдыха при работе с ПЭВМ

Согласно СанПиНу, режимы труда и отдыха при работе с ВДТ и ПЭВМ зависит от вида и категории трудовой деятельности. При этом виды трудовой деятельности делят на три группы (А, Б и В). К группе А относят работы по

считыванию информации с экрана ВДТ с предварительным запросом; Б – работа по вводу информации; В – творческая работа в режиме диалога с ЭВМ. Для указанных видов трудовой деятельности устанавливаются три категории (I, II и III) тяжести и напряжённости работы с ВДТ и ПЭВМ. Например, для группы А категории I–III определяются по суммарному числу считываемых знаков за рабочую смену, но не более 60000 знаков за смену (СанПиН 2.2.4. 548–96 [27]). Для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья профессиональных пользователей должны устанавливаться. После каждого часа работы за компьютером следует делать перерыв на (5 – 10) минут. Глаза начинают уставать уже через час после непрерывной работы с компьютером. Снимать утомление глаз можно даже во время работы в течение нескольких секунд поворачивая ими по часовой стрелке и обратно. Это следует чередовать с лёгкими гимнастическими упражнениями для всего тела. Ежедневная работа высокой интенсивности и с неверно–эмоциональным напряжением по 12 и более часов не допускается.

Обучение и инструктаж персонала, разработка инструкций по охране труда должны соответствовать требованиям. В инструкции должны быть отражены безопасные приёмы, порядок допуска к работе, перечислены опасные и вредные производственные факторы. К самостоятельной работе с ВДТ и ПЭВМ допускаются сотрудники, изучившие порядок их эксплуатации, прошедшие первичный инструктаж на рабочем месте и аттестацию по электробезопасности с присвоением второй квалификационной группы.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожар в организации представляют собой большую опасность, так как сопряжён с большими материальными потерями. Пожар может начаться при взаимодействии горючих веществ, окисления и источников зажигания.

Пожар может возникнуть из–за:

– неисправности электропроводки, розеток и выключателей, которые могут привести к короткому замыканию или пробое изоляции;

- использования повреждённых электроприборов;
- использования в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- попадания молнии в здание;
- неаккуратного обращения с огнём и несоблюдения мер пожарной безопасности.

Согласно классификации производств по пожарной опасности (ППБ–03), в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества помещения делятся на категории А, Б, В, Г, Д.

Данное помещение относится к категории В, поскольку горючие вещества и материалы находятся в твёрдом состоянии без выделения пыли.

Для тушения пожара имеются пожарные стволы, внутренние пожарные водопроводы, огнетушители и сухой песок.

Вода используется для тушения пожаров в помещениях программистов только в случае опасности повреждения или полного выхода из строя дорогостоящего оборудования. При этом, по возможности, необходимо защитить компьютеры от попадания влаги.

Для тушения пожаров на начальных стадиях широко применяются огнетушители. Поэтому в отделах с ПЭВМ применяются главным образом углекислотные огнетушители, достоинством которых является высокая эффективность тушения пожара и сохранность электронного оборудования. Благодаря диэлектрическим свойствам углекислого газа можно использовать эти огнетушители даже в том случае, когда не удаётся обесточить электроустановку сразу.

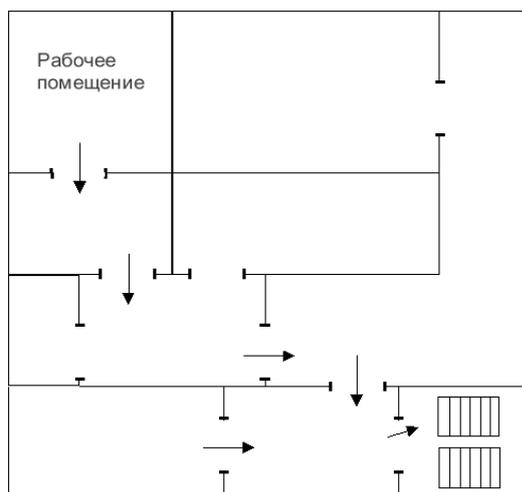


Рисунок 27 – План эвакуации

Для предотвращения возникновения пожара с работниками здания проводятся специальные семинары, на которых происходит знакомство с основами противопожарной безопасности и обучение работе с первичными средствами пожаротушения.

При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами и самостоятельно погасить начинающийся пожар. Иначе, если пожар потушить не представляется возможным, то по возможности, необходимо обесточить помещение, вызвать пожарную команду, а также согласно плану эвакуации (рисунок 27) вывести людей на улицу.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был разработан, исследован и реализован цифровой фильтр на базе штрафного P -сплайна. Гибридная модель прогнозирования позволила объединить сплайн-фильтр и эволюционные алгоритмы оптимизации. Использование гибридной модели позволяет одновременно решать задачу сглаживания входной информации и осуществлять краткосрочное прогнозирование процесса. Оптимизация параметров на основе генетических алгоритмов позволила повысить эффективность прогнозирования временных рядов в реальном масштабе времени. Оценка качества прогнозирования финансовых временных рядов на примере акций китайской компании «Tencent» показала погрешность (4 – 6) %, что является вполне допустимым для процессов реального времени.

The conclusion

As a result of presented graduation thesis a digital filter based on the penalty P – spline was developed, investigated and implemented. The hybrid prediction model allowed combining the spline filter and evolution optimization algorithms. Using a hybrid model allows to simultaneously solve the problem of smoothing the input information and implement a short–term forecasting process. The optimization of parameters based on genetic algorithms made it possible to increase the efficiency of time series forecasting in real time. The evaluation of the quality of forecasting financial time series on the example of Tencent showed an error of (4 – 6) %, which is quite acceptable for real–time processes.

Список публикаций студента

1. У Даньни. Сравнительный анализ методов оптимизации параметров P -сплайна в задаче прогнозирования / Даньни У, Е.Ю. Репина // Молодежь и современные информационные технологии – 2018. – С. 271–272.
2. Кочегурова Е. А. Реализация рекурсивного цифрового фильтра на основе штрафного P -сплайна / Е.А. Кочегурова, Даньни У // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 6. – С. 1083–1092. – DOI: 10.18287/2412–6179–2018–42–6–1083–1092.
3. Репина Е. Ю. К вопросу оптимизации параметров сглаживающего сплайна / Е. Ю. Репина, Даньни У, Р. П. Затеев // Молодежь и современные информационные технологии – 2018. – С. 116–117.

Список использованных источников

1. Е. А. Кочегурова, А. И. Кочегуров, Н. Е. Рожкова. Частотный анализ рекуррентных вариационных P -сплайнов // Автометрия. – 2017. – Т. 53. – № 6. – С. 67–76.
2. Р. Г. Лайонс. Понимание цифровой обработки сигналов (Прентис Холл). –2011.
3. И.ЧУЧУЕВА. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия//Диссертация. Глава 1. – 2012.
4. Видманн, Э. Шрёгер и Б. Месс. Разработка цифровых фильтров для электрофизиологических данных – практический подход, журнал нейробиологических методов, –2015. Vol. 250: С. 34–46.
5. С. К. Саха, Р. Кара, Д. Мандала и С. П. Гоша, Оптимальная конструкция БИХ–фильтра с использованием алгоритма гравитационного поиска с вейвлет–мутацией, журнал Университета Кинга Сауда – Компьютерные и информационные науки, –2015. С. 25–39.
6. С. Пакулет, В. Савох. О симметрии КИХ–фильтра с линейной фазой, Цифровая обработка сигналов. –2018. Vol. 81: С. 57–60.
7. Ю. Ван, Ф. Дин, и Л. Сю. Некоторые новые результаты разработки БИХ–фильтра с цветным шумом для обработки сигналов, Цифровая обработка сигналов. –2018. Vol. 72: С. 44–58.
8. Е. А. Кочегурова, Е. С. Горохова. Текущее оценивание производной нестационарного процесса на основе рекуррентного сглаживающего сплайна: Автометрия 2016. 52(3), P.280–285. / Е. А. Кочегурова– Томск, 2016.
9. Е. А. Кочегурова, Е. В. Шебеко. Использование вариационного сглаживающего сплайна в задаче краткосрочного прогнозирования. // Изв. ТПУ. –2006. 309, №7. С. 36–39.
10. Хуторцев В. В., Федоренко О. С. Использование метода сплайн–функций при синтезе цифровых алгоритмов фильтрации с группированием наблюдений // Радиотехника. 2010. № 2. С. 4–15.

11. Mihajlovic Z., Goluban A., Zagar M. Frequency domain analysis of B-spline interpolation // IEEE International Symposium on Industrial Electronics. 1999. 1. P.193–198.
12. Guo W., Dai M., Ombao H. C., Von Sachs R. Smoothing spline ANOVA for time-dependent spectral analysis // Journal of the American Statistical Association. 2003. 98(463). P.643–652.
13. Kukushkin Y. A., Maistrov A. I., Bogomolov A. V. Rhythmocardiogram approximation methods for calculation of spectral parameters of cardiac rhythm variability // Biomedical Engineeri. 2010. 44(3). P. 92–103.
14. Просочкин А.С. Исследование спектра полиномиальных сплайнов // Цифровая обработка сигналов. 2008. № 4. С. 41–43.
15. Злочевский М. С. Об использовании априорной информации при восстановлении зависимости по эмпирическим медико–биологическим сигналам // Автоматика и телемеханика. 1987. Вып. 5. С. 179–182.
16. Воскобойников Ю.Е., Колкер А.Б. Аппроксимация изолиний изображений сглаживающими сплайнами // Автометрия. 2003. Т. 39. № 4. С. 3–12.
17. Оппенгейм А. Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. 2–е издание. М.: Техносфера, 2007. 856 с.
18. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – 3–е изд. СПб.: БХВ–Петербург, 2013. 756 с.
19. Генетический алгоритм [Электронный ресурс] / Профессиональный информационно – аналитический ресурс. – URL: http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Генетический_алгоритм
20. FU Qing-ping. Multi-modal function optimization based on improved immune algorithm // Application Research of computers– 2011. – Т. 28. – № 10. – С. 3678–3680.
21. В. П. Казанцев. Теория автоматического управления//Учебное пособие. – Пермь: ПГТУ. –2004.

22. Р. Дорф. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ. Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.
23. IS CSR 26000:2011 Социальная ответственность организации.
24. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 Гигиенические требования к персональным электронно–вычислительным машинам и организации работы.
25. ГОСТ 12.0.003–74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
26. ГОСТ 12.1.005–88 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно–гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01. 89).
27. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
28. СНиП 23–05–95. Естественное и искусственное освещение.
29. ГОСТ 12.1.019–79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
30. ГОСТ 12.1.038–82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
31. ГОСТ 12.1.004–91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
32. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования (01. 07. 92).

Приложение А

(обязательное)

Программа штрафного P -сплайна

$$H(n, h) := \sum_{i=0}^h i^n$$

```

RSS(h, ro, n, q, m, f, y, yd, H) := (i0 ← 0 i ← 1 ī ← 1)
(a0_0 ← y_0 a1_0 ← 0 a2_0 ← 0 a3_0 ← 0)
A ← 6(1 - ro)h^4 + ro·H(5, h)
B ← 4(1 - ro)h^3 + ro·H(4, h)
C ← 12(1 - ro)h^5 + ro·H(6, h)
for ī ∈ i0 + h..n
  a0_i ← a0_{i-1} + a1_{i-1}·(1) + a2_{i-1}·(1)^2 + a3_{i-1}·(1)^3
  a1_i ← a1_{i-1} + 2·a2_{i-1}·(1) + 3·a3_{i-1}·(1)^2
  F1_i ← ∑_{j=i0}^{ī} [f_j·(j - i0)^2] - a0_i·H(2, h) - a1_i·H(3, h)
  F2_i ← ∑_{j=i0}^{ī} [f_j·(j - i0)^3] - a0_i·H(3, h) - a1_i·H(4, h)
  a2_i ← (ro·(F1_i·C - F2_i·A)) / (C·B - A^2)
  a3_i ← (ro·(F2_i·B - F1_i·A)) / (C·B - A^2)
  S_{m+i0} ← a0_i + a1_i·(m) + a2_i·(m)^2 + a3_i·(m)^3
  Sd_{m+i0} ← a1_i + 2·a2_i·m + 3·a3_i·m^2
  Sdd_{m+i0} ← 6·a3_i·m + 2·a2_i
  d_{m+i0} ← S_{m+i0} - y_{m+i0}
  dd_{m+i0} ← Sd_{m+i0} - yd_{m+i0}
  (i ← i + 1 i0 ← i0 + 1)
  (k% ← 100 / (max(y) - min(y)) kd% ← 100 / (max(yd) - min(yd)))
  sig ← √(1 / (n - 2·trunc(h)) · ∑_{i=h}^{n-h+m} (d_i)^2) · k%
  sigd ← √(1 / (n - 2·h) · ∑_{i=h}^{n-h} (dd_i)^2) · kd%
  (S d sig Sd dd sigd)

```

Приложение Б

(обязательное)

Программа генетического алгоритма

```
F1(h0,Ro) := M ← 0
             bestf1 ← 100
             sum ← 0
             midfit ← 0
             ite ← 1
             prob ← 0.8
             for j ∈ 0..p - 1
                 hj ← 4 + md(h0)
                 hj ← trunc(hj)
                 mj ← 1
                 roj ← 0.1 + md(Ro)
                 roj ← round(roj,2)
                 Mj ← Mass(hj,mj,roj)
             while ite < 100
                 for j ∈ 0..p - 1
                     mmj,0 ← hj
                     mmj,1 ← (roj)
                     mmj,2 ← Mj
                     sum ← sum + mmj,2
                 for j ∈ 0..p - 1
                     childj,0 ← hj
                     childj,1 ← (roj)
                     fitnessj ←  $\frac{mm_{j,2}}{sum} \cdot 100$ 
                     mmj,3 ← fitnessj
                     Order ← csort(mm,3)
                     h1 ← Order<0>
                     ro1 ← Order<1>
                 for i ∈ 0,2..p · prob
                     first ← md(100)
                     L ← md(100)
```

```

childi,0 ← h1i+1
childi+1,0 ← h1i
childi,1 ← ro1i+1
childi+1,1 ← ro1i
if L < 5
  childi,1 ← 0.1 + md(Ro) if first < 50
  childi,0 ← 4 + md(h0) otherwise
  childi,0 ← trunc(childi,0)
  childi,1 ← round(childi,1,2)
for i ∈ 0..p - 1
  if Mass(childi,0,1,childi,1) < bestf1
    bestf1 ← Mass(childi,0,1,childi,1)
    nn0 ← childi,0
    nn1 ← 1
    nn2 ← childi,1
    nn3 ← bestf1
for i ∈ 0..p - 1
  hi ← childi,0
  roi ← childi,1
ite ← ite + 1
nn

```

Приложение В

(обязательное)

Программа иммунного алгоритма

```
II(h0,Ro) := bestI1 ← 100
N ← 40
m ← 1
sum ← 0
δ ← 0.5
F ← md(100)
ite ← 1
for j ∈ 0..N - 1
  hj ← 4 + md(h0)
  hj ← trunc(hj)
  mj ← hj
  roj ← 0.1 + md(Ro)
  roj ← round(roj,2)
  Mj ← Mass(hj,mj,roj)
while ite < 100
  for j ∈ 0..N - 1
    mmj,0 ← hj
    mmj,1 ← (roj)
    mmj,2 ← Mj
    Order ← csort(mm,2)
  for i ∈ 0..(1 - δ)·N - 1
    Li,0 ← (Order<0>)i
    Li,1 ← (Order<1>)i
    Li,2 ← (Order<2>)i
  for i ∈ (1 - δ)·N..N - 1
    Bi,0 ← (mm<0>)i
    Bi,1 ← (mm<1>)i
    Bi,2 ← (mm<2>)i
    sum ← sum + Bi,2
    PROi ←  $\frac{B_{i,2}}{\text{sum}} \cdot 100$ 
    Bi,3 ← PROi
```

```

for i ∈ (1 - δ)·N..N - 1
  if Bi,3 > 0.035
    if F > 50
      Ci,0 ← 4 + md(h0)
      Ci,0 ← trunc(Ci,0)
      Ci,1 ← Bi,1
    otherwise
      Ci,0 ← Bi,0
      Ci,1 ← 0.1 + md(Ro)
      Ci,1 ← round(Ci,1, 2)
      Ci,2 ← Mass(Ci,0, Ci,0, Ci,1)
  for i ∈ 0..(1 - δ)·N - 1
    Ai,0 ← Li,0
    Ai,1 ← Li,1
    Ai,2 ← Li,2
  for i ∈ (1 - δ)·N..N - 1
    Ai,0 ← Ci,0
    Ai,1 ← Ci,1
    Ai,2 ← Ci,2
  for i ∈ 0..N - 1
    if Mass(Ai,0, Ai,0, Ai,1) < bestl1
      bestl1 ← Mass(Ai,0, Ai,0, Ai,1)
      nn0 ← Ai,0
      nn1 ← Ai,0
      nn2 ← Ai,1
      nn3 ← bestl1
  for i ∈ 0..N - 1
    hi ← Ai,0
    roi ← Ai,1
ite ← ite + 1
nn

```

Приложение Г

(обязательное)

Программа получения интегральных оценок

```

PerProc(h,ro,n,q,m,y,H) := (i0 ← 0 i ← 1 ii ← 1)
  ( T ← 1 fz0 ← 0 f2 ←  $\frac{n}{2}$  f1 ← 1 T1 ← 20 z ← 1 )
  ( a0 ← y0 a1 ← 0 a2 ← 0 a3 ← 0 )
  c ← 0.5
  A ← 6(1 - ro) h3 · (h - 2 · q) + ro · H(5,h)
  B ← 4(1 - ro) h3 + ro · H(4,h)
  C ← 12(1 - ro) h3 · (h2 - 3 · h · q + 3 · q3) + ro · H(6,h)
  A0 ← B · C - A2
  A1 ← ro · m2 · (A · H(3,h) - C · H(2,h)) + ro · m3 · (A · H(2,h) - B · H(3,h)) + A0
  A2 ← ro · m2 · (A · H(4,h) - C · H(3,h)) + ro · m3 · (A · H(3,h) - B · H(4,h)) + A0 · m
  [A3 ← ro · (C · m2 - A · m3) A4 ← ro · (B · m3 - A · m2)]
  for f ∈ f1, f1 + f1..f2
    w ←  $\frac{2 \cdot \pi \cdot f}{n}$ 
    B3 ←  $\sum_{j=0}^h [\cos[(j-1) \cdot w \cdot T] \cdot (j^2 \cdot A3 + j^3 \cdot A4)]$ 
    B4 ←  $\sum_{j=0}^h [\sin[(j-1) \cdot w \cdot T] \cdot (j^2 \cdot A3 + j^3 \cdot A4)]$ 
    B1 ← A0 · cos[(m-1) · w · T] - A1 · cos(w · T) - A2 · w · T · sin(w · T)
    B2 ← -A0 · sin[(m-1) · w · T] - A1 · sin(w · T) + A2 · w · T · cos(w · T)
    ( M1_f ←  $\frac{B2 \cdot B3 + B1 \cdot B4}{B1^2 + B2^2}$  K1_f ←  $\frac{B1 \cdot B3 - B2 \cdot B4}{B1^2 + B2^2}$  )
    [ am_f ←  $\sqrt{(K1_f)^2 + (M1_f)^2}$  fz0_f ←  $\text{atan}\left(\frac{M1_f}{K1_f}\right) \cdot \frac{180}{\pi}$  ]
    fz_f ← if(K1_f > 0, fz0_f, if(M1_f > 0, 180 - |fz0_f|, 180 + fz0_f))
    fz_f ← (fz)_f + 360 if |fz_f - fz_{f-1}| > 180
  for t ∈ 0..T1
    m1 ←  $\sum_{f=0}^{f2} \left( M1_f \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f}{n} \cdot t\right) \right)$ 
    k1 ←  $\sum_{f=0}^{f2} \left( K1_f \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f}{n} \cdot t\right) \right)$ 
    g2_t ←  $\frac{k1 - m1}{f2}$ 
    g1_{T1-t} ←  $\frac{k1 + m1}{f2}$ 

```

```

for t ∈ 0..h - m
  gt ← g1h-m-t
for t ∈ h - m..h - m + T1
  gt ← g2t-h+m
for t ∈ 0..T1
  | g3t ← g1t
  | g3T1+t ← g2t
for ii ∈ i0 + h..n
  | a0i ← a0i-1 + a1i-1 · (1) + a2i-1 · (1)2 + a3i-1 · (1)3
  | a1i ← a1i-1 + 2 · a2i-1 · (1) + 3 · a3i-1 · (1)2
  | F1i ← ∑j=i0ii [yj · (j - i0)2] - a0i · H(2,h) - a1i · H(3,h)
  | F2i ← ∑j=i0ii [yj · (j - i0)3] - a0i · H(3,h) - a1i · H(4,h)
  | a2i ←  $\frac{ro \cdot (F1_i \cdot C - F2_i \cdot A)}{C \cdot B - A^2}$ 
  | a3i ←  $\frac{ro \cdot (F2_i \cdot B - F1_i \cdot A)}{C \cdot B - A^2}$ 
  | Sm+i0 ← a0i + a1i(m) + a2i · (m)2 + a3i · (m)3
  | dm+i0 ← Sm+i0 - 1
  | SSm+i0 ← Sm+i0
  | (i ← i + 1 i0 ← i0 + 1)
am1 ← max(SS)
for i ∈ h..n - h
  im1 ← i if SSi = am1
(SSim1 ← SSim1 am3 ← 1 fl ← 0)
for i ∈ im1 + 1..n - h
  | fl ← 1 if SSi > 1 ∧ SSi-1 < 1
  | if SSi > am3 ∧ fl = 1
  | | im3 ← i
  | | am3 ← SSi
for i ∈ h..n - h
  | if Si > 0.95 ∧ Si < 1.05 ∧ flag = 0
  | | treg ← i
  | | flag ← 1
  | if (Si > 1.05 ∨ Si < 0.95) ∧ flag = 1
  | | treg ← i + 1000
  | | flag ← 0

```

$$\begin{aligned}
& n \leftarrow \text{treg} \\
& \text{for } i \in 0..v \\
& \quad \left[\begin{array}{l} f1_i \leftarrow (S_i)^2 \\ f2_i \leftarrow |S_i| \\ f3_i \leftarrow i \cdot |S_i| \\ f4_i \leftarrow |c \cdot S_i + (1-c) \cdot (g3_i)^2| \end{array} \right. \\
& \text{for } i \in v..\text{treg} \\
& \quad \left[\begin{array}{l} f1_i \leftarrow (S_i - 1)^2 \\ f2_i \leftarrow |S_i - 1| \\ f3_i \leftarrow i \cdot |S_i - 1| \\ f4_i \leftarrow |c \cdot (S_i - 1) + (1-c) \cdot (g3_i)^2| \end{array} \right. \\
& I1 \leftarrow \frac{\text{treg}}{2 \cdot n} \cdot \left[f1_0 + f1_n + 2 \cdot \left(\sum_{i=1}^{n-1} f1_i \right) \right] \\
& I2 \leftarrow \frac{\text{treg}}{2 \cdot n} \cdot \left[f2_0 + f2_n + 2 \cdot \left(\sum_{i=1}^{n-1} f2_i \right) \right] \\
& I3 \leftarrow \frac{\text{treg}}{2 \cdot n} \cdot \left[f3_0 + f3_n + 2 \cdot \left(\sum_{i=1}^{n-1} f3_i \right) \right] \\
& Ic \leftarrow \frac{\text{treg} - v}{2 \cdot (n - v)} \cdot \left[f4_v + f4_n + 2 \cdot \left(\sum_{i=v+1}^{n-1} f4_i \right) \right] \\
& \left[g3 \quad S \quad (am1 - 1) \cdot 100 \quad \text{treg} \quad \frac{am1}{am3} \quad \frac{am1 - am3}{am1} \quad I1 \quad I2 \quad I3 \quad Ic \right]
\end{aligned}$$

Приложение Е

(обязательное)

Раздел ВКР выполненный на английском языке

Раздел 1 Анализ предметной области

Section 1 Analysis of the subject area

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM71	У Даньни		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Кочегурова Е. А.	К.Т.Н.		

Консультант – лингвист:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Т. В.	К.П.Н.		

1. Analysis of the subject area

1.1 Applied problems of short-term forecasting

A time series is a series of data points derived from the values of a statistical indicator in time order. Time series forecasting is carried out by compiling and analyzing time series, to draw an analogy or extension based on the development process, direction and trends reflected in the time series, to predict the level that can be reached in the next period. One of the main goals of time series analysis is to predict the future values based on previously observed values. It is based on the assumption that everything in the past will continue in the future. Time series contain various components, such as trend, seasonality, frequency and randomness. Time series forecasting is an urgent task with a variety of applications in a wide variety of applied areas.

Depending on the number of predicted values (forecast horizon) allocate short-term, medium-term and long-term forecasting. The horizon of short-term forecasting includes 1–3 values ahead [1] and is used in many applied areas. The shorter the forecast horizon, the higher the quality of forecasting, and vice versa, the lower the accuracy of the forecast result.

Short-term forecasting is relevant for the prediction of emergencies of technogenic and natural character; various natural phenomena; for the development of renewable energy sources and the prediction of loads in traditional energy; to forecast demand and prices, as well as in econometrics; in identifying outbreaks of disease.

There are several classifications of short-term forecasting methods. All formalized methods can be broken down into statistical, structural (based on artificial intelligence) and hybrid models (see Figure 1).

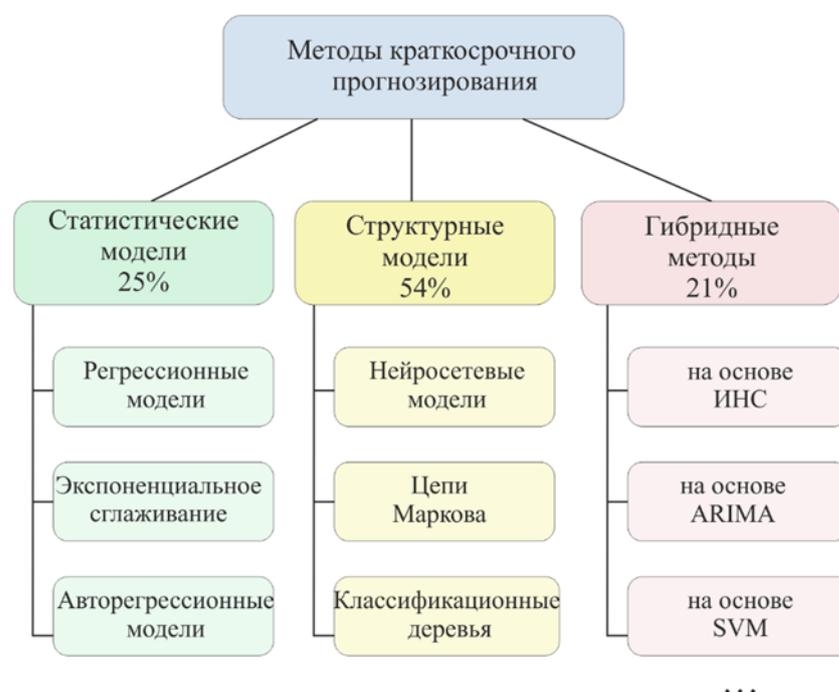


Figure 1 – Classification of short-term forecasting methods

1.1.1 Basic statistical forecasting models

Statistical methods are based on information about the distribution of data to obtain forecast models. This makes the methods dependent on the parameters, the optimization of which significantly affects the forecast results. By mathematical complexity, statistical methods are divided into:

Regression models. Regression models are based on the influence of variable – regressors on the output variable. The number of independent variables can be one or more and depending on the number, it can be divided into one-way regression forecasting and multiple regression forecasting. At the same time, according to the correlation between independent variables and dependent variables, it can be divided into a linear regression and a non-linear regression method. The main method of regression models implementation is the method of least squares. The essence of the least squares is to minimize the sum of quadratic deviations between the observed and calculated values.

The advantages of this class of models are simplicity, flexibility, uniformity of their analysis and design. When using linear regression models, the prediction result can be obtained faster than using other models.

The main disadvantage of regression models is the low adaptability of the model and the lack of ability to model non-linear processes.

Exponential smoothing models. The exponential smoothing method is a forecasting method for analyzing time series, developed based on the moving average method, which calculates the value of exponential smoothing and predicts the future values using a specific time series forecasting model. The principle is that the value of the exponential smoothing of any period is the weighted average of the actual observation value of the current period and the smoothing value of the index of the previous period.

The basic formula of the exponential smoothing method is:

$$S_t = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1}$$

where S_t is the smoothed value in time t ; α is a smoothing parameter that varies in the range $[0, 1]$; y_t is the actual value of time t ; S_{t-1} – smoothed value of time $t-1$.

The value of α is chosen subjectively, and the larger its value is, the greater the impact is the weight of the data received later on future forecasts.

The advantages of these forecasting models include the simplicity and uniformity of analysis and design. The disadvantage of this class of prediction models is the lack of flexibility.

Autoregressive models. Autoregressive models are based on the fact, that the current value of the predicted variable is determined by a function of the past values of the same variable. In particular, the time series of one variable is used as a series of dependent variables, and the time series of several periods in the past are used as a series of independent variables to analyze the correlation between a number of dependent variables and another or several independent series of variables, create a regression equation for prediction. The most developed was the ARIMA model, which includes the stages of autoregression, integration, and estimation of the moving average. The ARIMA model has several modifications: ARIMAX – includes some exogenous factors, SARIMA – taking into account the seasonality of data, VARIMA – multi-vector time series.

The advantages of this class of models are their simplicity, the transparency of

modeling and the uniformity of analysis and design. This class of models is one of the most popular models.

The disadvantages of this class of models: time series data must be stationary or stable after differentiation; in essence, only linear relations are capable, and modeling of nonlinear processes cannot be; the number of model parameters is large; low adaptability of models.

1.1.2 Basic structural forecasting models

Structural prediction models are based on machine learning methods and have no restrictions on the nature of the input data. In structural forecasting models, the functional relationship between future and actual values of the time series, as well as external factors, is set structurally, for example, in the form of a graph. These methods are reliable when applied to both complex and highly nonlinear data. Structural forecasting models include the following groups:

Neural networks. Currently, the most popular among structural models is the model based on artificial neural networks (ANN). There are many options for the use of artificial neural networks in short-term forecasting. Neural networks may differ in architecture, the number of layers and neurons, the use of a specific activation function, or the method of learning. The following ANN types are used in forecasting:

- direct distribution networks (feed – forward neural networks);
- recurrent neural networks (simple RNN, with long-term memory LSTM, with GRU controlled neurons);
- convolutional neural networks.

Direct distribution networks, which include multi-layer and single-layer perceptrons. There are no feedbacks in direct distribution networks, i.e. the input signal is sequentially converted to the output, passing through a certain number of layers, and the number of neurons on each layer can be any. The use of multilayer perceptron is very common in forecasting problems. In particular, direct propagation networks with two layers (one hidden layer and one output) are often used for modeling and forecasting.

Recurrent neural networks are networks in which neurons can receive information not only from the previous layer, but also from themselves. This important feature allows you to simulate nonlinear dynamic systems, however, simple recurrent networks (RNN) have a significant drawback, which is the rapid loss of information over time. This problem is solved in neural networks with long-term memory (Long / Short Term Memory – LSTM), where filters (input, output and forgetting) are used to protect information and a memory cell, where information comes from the input filter. Also, it can be in networks with controlled recurrent neurons (Gated Recurrent Unit – GRU), which are a variation of LSTM using only two filters — an update filter and a reset filter and with an excellent connection implementation (the schemes of the described recurrent networks are presented in Figure 2). As noted in [14], when predicting the amount of solar energy per day ahead, empirical results show that LSTM exceeds a large number of alternative methods.

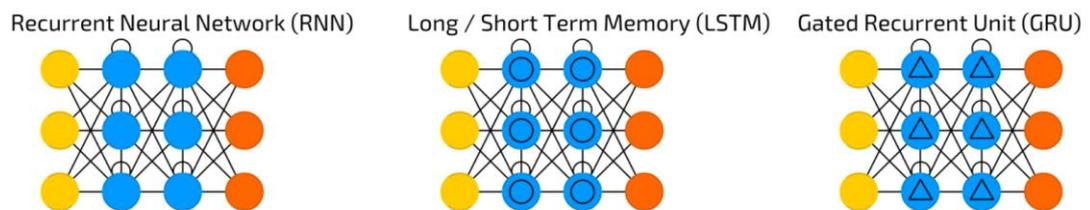


Figure 2 – Recurrent Neural Networks

Convolutional neural networks and deep convolutional neural networks are mainly used in image processing. These are unidirectional multilayered networks alternating in their architecture convolutional layers and subsampling layers. The essence of the convolution operation is that each part of the studied data (usually an image) is multiplied by a convolution matrix element by element, then the result is summed up and recorded in a similar position of the image obtained at the output. Despite a rather narrow focus, methods based on convolutional neural networks are also used in prediction. Moreover, it is noted that the accuracy and stability of the forecast based on the model of convolutional neural networks, in terms of real-time forecasting, is higher than that of forecasts based on neural networks of back propagation and time series analysis.

The advantages of neural network models is the ability to establish non–linear dependencies between future and actual process values, adaptability, scalability and uniformity of their analysis and design.

However, the disadvantages of ANN are the lack of modeling transparency; the complexity of the choice of architecture, high requirements for the consistency of the training sample; the complexity of the choice of learning algorithm.

Support Vector Machine (SVM). The support vector method is widely used in regression analysis and classification problems. As applied to the task of predicting complex and non–linear data, the SVM method requires the choice not of simple separation planes, but of complex core functions. These kernels allow the mapping of input data into a multidimensional feature space. SVM generates several parameters obtained by solving a nonlinear optimization problem with linear constraints.

Consider the problem of finding the best separation of a set of vectors into two classes using a linear decision function. The initial data and the training sample are given in the classification problems: $X = \{X_1, \dots, X_N\}$, $y = \{y_1, \dots, y_N\}$, each input data sample contains several objects, and thus, the space is composed objects.

If the object space in which the source data is located, there is a hyperplane in the form of a decision boundary, the training vectors are divided into a positive class and a negative class, and the distance from a point to the plane of any sample is greater than or equal to 1:

$$\omega^T X + b = 0$$

$$y_i(\omega^T X_i + b) \geq 1$$

then this problem has linear separability, and ω is a vector of weight coefficients, b is a number.

The solution boundary that satisfies this condition builds two parallel hyperplanes as interval boundaries to distinguish the samples.

$$\omega^T X_i + b \geq +1, \rightarrow y_i = +1,$$

$$\omega^T X_i + b \leq -1, \rightarrow y_i = -1$$

All samples above the upper limit of the interval belong to the positive class, and samples below the lower limit of the interval belong to the negative class. The

distance between the hyperplanes $d = \frac{2}{\|\omega\|}$ is defined as a margin, and positive and negative samples at the boundary of the interval are reference vectors (see Fig. 3).

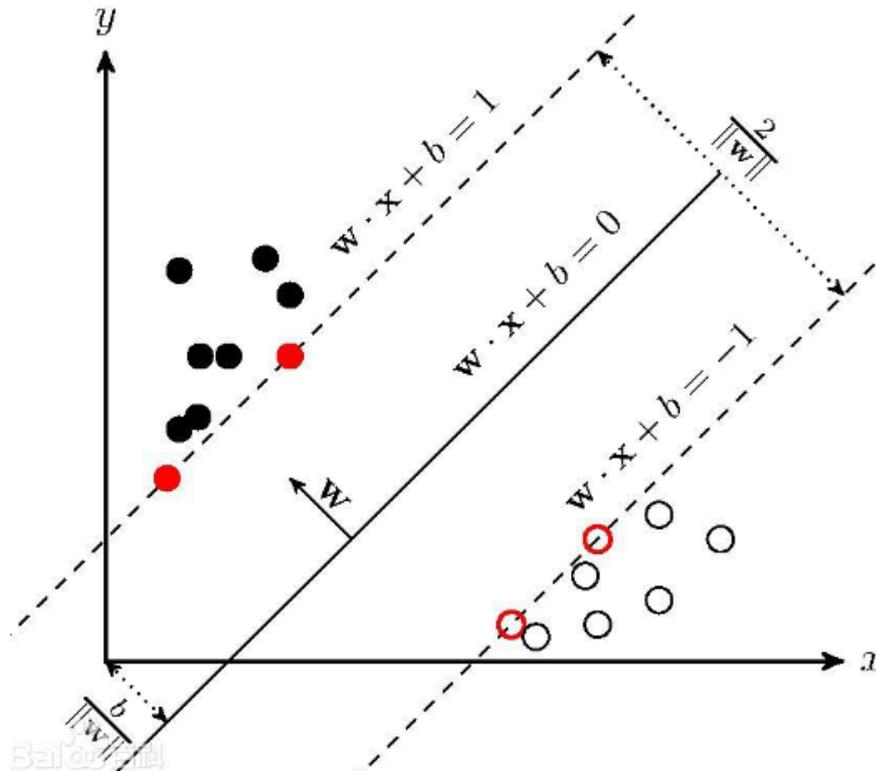


Figure 3 – Diagram of the support vector machine

1.1.3 Hybrid Prediction Models

Classical forecasting methods are usually designed to work with linear and stationary BP. However, most of the natural material processes of real physical systems are non-linear and non-stationary. Therefore, further there is a tendency of a critical attitude towards the statistical formulation of the problem of identifying BP models, especially in the case when there is no possibility of obtaining representative samples for building mathematical models, statistical characteristics of processes and checking their adequacy. Hybrid prediction models have recently begun to emerge, synthesized by fairly complex combinations of methods. Hybrid methods combine a combination of methods from different groups. Usually, one method is selected from the statistical group, and the other from structural methods.

One of the most effective strategies for hybrid methods is based on similarity search methods. The nearest neighbor algorithm kNN, which has proven itself well in

the problems of classification and clustering, is also effective in hybrid prediction methods. A number of authors for nonlinear and complex time series effectively uses variations of the kNN algorithm in combination with approximation functions (for example, weighted or local average).

Another combination of forecasting methods combines an approximation approach to modeling and predicting BP and meta-heuristic optimization. Moreover, simple approximating functions replace in this case complex regression relations. From the standpoint of describing the local behavior of complex BPs, the most promising are piecewise – polynomial spline functions. The choice of spline nodes to obtain its individual fragments is actually a way to create a pattern for finding the similarity of a part of BP in the future. In addition, some types of spline functions allow the implementation, and therefore the forecast, in real time (RT).

One of the distinctive approaches to the prediction problem is described in [16] and is the use of approximating piecewise – polynomial functions that replace the regression relations in modeling and analyzing processes.

Penalty P – splines are a combination of a reduced number of nodes, similar to regression splines and penalties for the non-smoothness of smoothing splines that suppress nonlinearity. Penalty P – splines combine the properties of regression and smoothing splines: a reduced number of nodes and control of the smoothness of the spline.

In this work, we used a combination of the methods of the penalty P – spline and the genetic method, a combination of the methods of the penalty P – spline and the immune method.