

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Керченский государственный морской технологический университет»

ЗИНЧЕНКО ЕЛЕНА ГЕННАДЬЕВНА

Номинация: «Отраслевые технологии»

**«Интеллектуальная система процесса погрузки на судах навалочного типа
для Азово-Черноморского бассейна»**

Научная работа
для участия в конкурсе
на соискание премии
Республики Крым «За научные
Достижения в сфере
Приоритетных направлений
Развития Крыма»
Магистра 2 курса
Факультета Морской

Керчь, 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ ГРУЗА НА СУДАХ ПО ОСАДКАМ В ПОРТАХ КРЫМА	8
1.1 Анализ существующих способов определения массы груза на судах	9
1.2 Алгоритм проведения ДС.....	12
1.3 Входная и выходная информация алгоритма ДС	14
1.4 Практические замечания к проведению ДС	30
1.5 Выводы по разделу 1	32
2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ДРАФТ СЮРВЕЙ.....	33
2.1 Методика построения автоматизированных систем управления технологическими процессами	33
2.2 Структура автоматизированной системы управления технологическим процессом драфт сюрвей	35
2.3 Алгоритмы определения осадки судна с использованием технологий глубокого обучения.....	36
2.4 Алгоритм управления беспилотным летательным аппаратом для автоматизированного проведения снятия замеров осадок судна.....	39
2.5 Выводы по разделу 2.....	43
3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ДРАФТ СЮРВЕЙ.....	44
3.1 Математическая модель БПЛА	44
3.2 Математическая модель замеров осадки судна на базе модели нерегулярного волнения	54
3.3 Синтез линейного фильтра для обработки замеров осадки судна.....	56
3.4 Выводы по разделу 3.....	60

4 ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ДРАФТ СЮРВЕЙ	62
4.1 Техническая реализация подсистемы снятия замеров осадок судна.....	62
4.2 Блок получения замеров осадки судна по видеоизображениям марок углубления с использованием технологий глубокого обучения.....	66
4.3 Разработка комплексной программно-реализованной имитационной модели технологического процесса драфт сюрвей для тестирования разрабатываемой автоматизированной системы управления.....	75
4.4 Выводы по разделу 4.....	79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	80
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	82

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы.

Морской транспорт и все, что связано с ним, имеет необычайно длинную историю развития, которая непрерывно продолжается и сегодня, приобретая все новые и новые особенности и детали, связанные с техническим развитием морского транспорта и технологических циклов, в том числе с интенсивной трансформацией внешней среды.

Современный морской порт – связующее звено для различных видов транспорта. В этой связи портовая деятельность, можно сказать, выступает в роли стратегического аспекта развития экономики государства, являясь основным звеном функционирования транспортной системы. В Крыму особое место занимают порты так как являются стратегическим связующим звеном с материковой частью страны. Урожайность зерновых в Крыму в 2022 году на 30% превысила показатели прошлого года. Урожайность зерновых в Крыму в 2022 году составила 43,1 центнера с гектара.

В Российской Федерации сухогрузы составляют 66% торгового флота, а абсолютное количество судов продолжает увеличиваться. В соответствии с нормативными документами, точность определения массы груза на судах навалочного типа по осадкам методом драфт сюрвей должна быть не ниже 0,5% массы дедвейта, а и стремиться к 0,1%. В реальности, в условиях отсутствия высокоточных средств измерения осадки судна, погрешность измерений может превышать 1% массы дедвейта, что соответствует потере сотен тонн груза, миллионов рублей на каждой грузовой операции и значительно влияет на рентабельность торгового судна.

Для повышения точности драфт сюрвей, исключения влияния человеческого фактора, а также исходя из перспектив создания безэкипажных судов в будущем,

разработка автоматизированной системы управления (АСУ) технологическим процессом (ТП) драфт сюрвей (ДС) представляет собой важную задачу. Применение алгоритмов глубокого обучения и компьютерного зрения для определения осадки судна позволит получить высокую предельную точность измерений, накапливать и анализировать данные. Интеграция высокоточных инклинометров, датчиков в общую систему сделает возможным получение полной информации о состоянии судна в реальном масштабе времени. Переоценка физических и математических основ драфт сюрвей позволит выработать более совершенные алгоритмы обработки информации, снизить финансовые издержки и повысить точность драфт сюрвей.

Степень разработанности проблемы. Исследованиям различных аспектов погрузки навалочных судов посвящено множество научных трудов. При этом, для создания АСУ ТП ДС можно выделить ряд важных направлений:

– изучение проблем процедуры драфт сюрвей и варианты их решения представлены в работах Белоус В.А., Борисова В.Е., Бухтенко М.В., Ермакова С.В., Кондратьева А.И., Максимова А.С., Малышкина А.Г., Маценко С.В., Письменного М.Н., Телегина А.И., Тимченко Т.Н., Филимонова В.Н., Якута И.В., Binguo Jian, Elnoury A., Gaber E.M., Gang Liu, Guangcheng Xu, Kuimin Zhao, Zhaoying Zuo, Yukun Fan и др.;

– исследование нерегулярного морского волнения важно с точки зрения построения математической модели измеряемых процессов, а также разработки и тестирования АСУ ТП ДС. Данное направление отражено в работах Аникина А. А., Бекирова Э. А., Бусько И. В., Васильева А. Н., Гладких Е. А., Душко В. Р., Каркач Д. В., Крашенинникова В. Р., Кушнир В. М., Лукомского Ю. А., Муртазаева Э. Р., Соколова С. С., Чаликова Д. В., Чугунова В. С.;

– цифровая обработка сигналов применяется для перехода от реальных осадок судна, которые представляют собой случайные процессы, к расчетной осадке, для которой приведена судовая документация. В этой области стоит отметить таких ученых как: Бьюси Р.С., Вайнштейн Л. А., Виноградов В. Н., Зубаков В. Д.,

Калман Р.Е., Коберниченко В. Г., Нырков А. П., Товстик П. Е., Товстик Т. М., Фахми Ш.С., Широков И. Б.

Объектом исследования является процесс определения массы груза по осадкам.

Предметом исследования является автоматизированная система управления технологическим процессом драфт сюрвей.

Методы исследования. Выполненные в магистерской диссертационной работе исследования основаны на использовании методов цифровой обработки изображений, алгоритмах компьютерного зрения, глубокого обучения, цифровой обработки сигналов, математической статистики, теории оптимальной линейной фильтрации и прикладного программирования.

Достоверность результатов магистерского диссертационного исследования обеспечивается успешной апробацией элементов автоматизированной системы, а достигнутые результаты коррелируют и превосходят в точности большинство существующих решений. Обработка данных проходит в соответствии с корреляционной теорией фильтрации и не противоречивостью фундаментальным положениям теории случайных процессов, что подтверждается близостью результатов обработки имитационного моделирования, полученных на ЭВМ и натуральных испытаний. Принятые в работе авторские решения основаны на известных и проверенных методах разработки глубоких нейронных сетей и алгоритмов компьютерного зрения.

Научная новизна диссертационной работы представлена следующими составляющими:

– разработана комплексная математическая модель технологического процесса драфт сюрвей, включающая в себя математические модели замеров осадки судна, нерегулярного морского волнения, качки судна, движения БПЛА для автоматизации проведения замеров, управления БПЛА, локальной системы позиционирования БПЛА, расчетов драфт сюрвея, а также проведен синтез линейного фильтра для обработки замеров осадки;

– разработан комплекс алгоритмов для обеспечения работы автоматизированной системы управления технологическим процессом драфт сюрвей. Так, предложены алгоритмы определения осадки судна с использованием технологий глубокого обучения и компьютерного зрения, алгоритм управления БПЛА для автоматизации получения замеров, алгоритм управления автоматизированной системой управления технологическим процессом драфт сюрвей.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:

– математические модели замеров осадки судна, качки и линейного фильтра могут быть использованы для обработки массивов замеров осадок, полученных с помощью любого устройства и получения данных о посадке судна и водоизмещении;

– алгоритмы обработки видеоизображений на базе глубоких нейронных сетей и компьютерного зрения позволяют получать замеры осадки судна по видеозаписям марок углубления в реальном режиме времени;

– разработанное программное обеспечение и имитационные модели замеров осадки судна позволяют генерировать данные для автоматизированной тренировки моделей глубокого обучения, тем самым снизив необходимость в проведении натуральных испытаний.

1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ ГРУЗА НА СУДАХ ПО ОСАДКАМ В ПОРТАХ КРЫМА

Согласно отчетам конференции ООН по торговле и развитию, 42,8% мирового торгового флота представлены судами навалочного типа. В Российской Федерации сухогрузы составляют 66% торгового флота, а абсолютное количество судов продолжает увеличиваться. При этом, даже краткосрочные нарушения в работе мировой транспортной системы способны привести к глобальным экономическим кризисам. Свидетельством этому могут служить экономический кризис 2008 года и кризис 2020 на фоне пандемии COVID-19.

Автоматизация судов и торговых портов, цифровизация морской отрасли в целом способны привести к снижению влияния социально-политических факторов на мировую систему грузоперевозок, повышению стабильности такой системы и снижению операционных расходов на морском флоте. Учитывая объемы и важность перевозок сыпучих грузов в общемировой системе, автоматизация технологических процессов на судах типа балкер является актуальной задачей.

В соответствии с ГОСТ 12.3.002-2014 технологическим процессом называется «совокупность целенаправленных действий по изменению и определению состояния предметов труда». Совокупность технологических и иных необходимых для производства процессов называется производственным процессом.

Говоря о навалочных судах, грузовая операция представляет собой производственный процесс, частями которого являются составление плана грузовой операции, погрузка судна, балластировка и контроль массы принятого или снятого груза. Для определения массы груза на судах типа балкер существует ряд способов, однако основным из них является способ измерения по осадкам (драфт сюрвей). Он представляет собой процедуру из ряда измерений, их обработки и вычислений, и, в соответствии с определением, является технологическим процессом.

Поскольку погрузка навалочных судов часто проходит на рейде, в удалении от берега, драфт сюрвей остается единственной альтернативой при определении массы груза. В отличие от взвешивания, которое требует наличия в портах погрузки и выгрузки специального оборудования, драфт сюрвей может быть проведен только средствами судна. Время его проведения не превышает нескольких часов, а снижение точности измерений компенсируется низкой стоимостью и доступностью.

1.1 Анализ существующих способов определения массы груза на судах

Среди методов определения массы груза можно выделить две основные группы: взвешиванием и расчетными способами. Выбор способа зависит от типа судна, груза, оснащения портов, условий погрузки и выгрузки, а также временных и финансовых затрат на проведение измерений. На практике в рамках одной грузовой операции принято использовать один и тот же способ определения. Рассмотрим преимущества и недостатки различных способов.

Последние 60 лет в морской отрасли наблюдается устойчивая тенденция к стандартизации. Это относится как к стандартизации тары для перевозки в частности, так и к грузовым операциям в целом. Использование типовой тары позволяет значительно упростить не только размещение груза на борту, но и упростить расчёт массы груза на судах. Так, появилась возможность определять массу груза по:

- стандартной массе отдельных грузовых мест (тара одного типа);
- нестандартной массе отдельных грузовых мест (несколько видов упаковки);
- условной массе отдельных грузовых мест (автомобили, мебель, животные, когда масса грузов одного типа принимается условно равной).

В случаях, когда другие способы определения массы груза недоступны, например при перевозке леса по реке, в условиях, когда суда не заходят в порт, а марки углубления отсутствуют, возможно определение массы груза по обмеру

штабелей. Масса груза определяется примерно исходя из объема груза и его предполагаемой плотности.

Также, альтернативным является способ, основанный на подсчете количества грейферов или ковшей, загруженных на судно. Зная характеристики грейфера, можно с некоторой точностью определить и массу груза. Как правило, этот способ применяется для дополнительного контроля, а также чтоб скорректировать конечную загрузку (например, после проведения взвешивания, оказалось, что необходимо загрузить еще 100 тонн).

По осадке судна. Метод основан на законе Архимеда. Масса груза определяется как по разности водоизмещений и судовых запасов на начало и конец грузовых операций. Применяется на судах, перевозящих насыпной и навалочный груз (кроме зерновых, масса которых определяется взвешиванием). Так как настоящая работа посвящена преимущественно этому методу, подробное его описание можно найти в пункте 1.2.

Для наливных грузов масса определяется путем умножения высоты налива груза в танках на его плотность. Если береговые резервуары находятся на расстоянии менее двух километров от судна, то вычисления могут производиться по объемам береговых резервуарах с использованием калибровочных таблиц. Если расстояние более двух километров, то возникают значительные потери груза в трубопроводах и измерения проводятся непосредственно на судне.

Обобщенная характеристика методов измерения массы груза на судах приведена в таблице 1.1.

В таблице 1.1. под точностью определения массы груза понимается погрешность в процентах от общей массы груза на судне. Также, отметим, что реальные погрешности могут быть больше указанных в таблице в зависимости от особенностей судна, а также используемого оборудования.

Подводя итог, масса груза на судах типа балкер может быть определена путем взвешивания, по осадкам судна, объемам штабелей и грейферов. Каждый из способов служит для своих целей. Точность двух последних практически невозможно оценить, а потому их применяют в качестве вспомогательных способов

для приблизительной оценки загрузки. Взвешивание существенно повышает время стоянки в порту, требует наличия специального оборудования, но зато обеспечивает лучшую по сравнению с другими способами точность.

Таблица 1.1 – Методы измерения массы груза

Метод	Точность	Время	Замечания
Взвешивание	0,1%	20% - 30% времени грузовой операции	Не все порты оснащены необходимым оборудованием. При взвешивании на конвейерах точность 2,0% и ниже. Стоимость взвешивания может быть выше стоимости потери груза.
По осадкам судна (драфт сюрвей)	0,5%	2 часа	Самый популярный метод измерений на судах навалочного типа. Точность метода зависит от размеров судна, погодных условий и опыта сюрвеера. Может использоваться как вспомогательный.
По стандартной массе отдельных грузовых мест	0,0%	2 часа	При перевозке стандартных грузов с известной массой (мешки, бочки, трубы и т.д.). Масса груза вычисляется по произведению стандартных единиц на их количество.
По нестандартной массе отдельных грузовых мест	0,0%	2 часа	При перевозке различных грузов известной массы (обычно в контейнерах либо при транспортировке негабаритных грузов). Масса груза вычисляется по сумме масс каждого из грузов.
По условной массе отдельных грузовых мест	1,0%	2 часа	Автомобили, мебель, животные, растения. Занимают большой объем при небольшой массе, у животных масса может меняться в процессе перевозки.
По вместимости грейферов и ковшей	2,0%	2 часа	Используется в качестве вспомогательного средства измерения и для приблизительной оценки количества груза и времени окончания грузовых операций.
По уровню налива и плотности груза	0,1%	2 часа	Универсальный метод определения массы груза на танкерах.

1.2 Алгоритм проведения ДС

1.2.1 Порядок проведения ДС

Основным документом, регламентирующим проведение ДС в Российской Федерации, является ГОСТ Р 59145-2020 – «методы расчета веса груза по осадке судна» [17].

К вспомогательным стандартам стоит отнести ГОСТ 8.009 (Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений), ГОСТ 7502 (Рулетки измерительные металлические. Технические условия) и ГОСТ 34100.3 (Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения).

При определении массы груза методом ДС выделяют два основных этапа: начальный и конечный ДС. Иногда проводят также промежуточные сюрвеи, но они нужны для внутреннего контроля хода грузовых операций и оценки времени её окончания.

Для каждого сюрвея производится оценка состояния судна на текущий момент времени по ряду замеров. Начальный ДС проводится до начала грузовых операций, конечный после их полного завершения. Оба сюрвея включают в себя измерение:

- осадок судна как минимум на шести марках углубления (обычно на носу, корме и миделе с каждого борта);
- уровня жидкости в балластных танках и танках пресной воды;
- уровня топлива и масла в соответствующих танках;
- плотности забортной воды, а в некоторых случаях и балластных вод.

В некоторых случаях также стоит учесть массы и положение крупных судовых запасов, оборудования и техники (например наличие на борту бульдозеров, либо большие объемы недавно полученного снабжения), крышек трюма, если они

являются съемными и т.д. Подробнее о средствах измерения и их погрешностях будет сказано в разделе 2.

После окончания замеров балласта, пресной воды и снятия осадок сюрвейер должен приступить к выполнению расчетов в соответствии с процедурой, описанной в разделе 3.

1.2.2 Типовая архитектура программы расчета ДС

Типовая архитектура программы расчета драфт сюрвея представлена на рисунке 1.1. Работа со входными и выходными данными проводится через базы данных с использованием языка программирования SQL. Связующий модуль необходим для обеспечения обмена информацией между другими модулями системы, а также следит за корректностью формата предоставляемых данных.

Вычислительный модуль реализован средствами языка Python, а добавление нового функционала производится путем добавления новых процедур, при этом запрос на выполнение таких процедур приходит со стороны пользовательского интерфейса. В вычислительном модуле расчет драфт сюрвея должен проводиться в соответствии с алгоритмом, описанным в подпункте 1.2.1. Графическая составляющая подразумевает под собой вывод графиков, отчетов о состоянии судна, а также обеспечение удобства навигации. Реализация с помощью языков верстки HTML и CSS, а также ЯП JavaScript для придания интерактивности.

Входная и выходная информация более подробно описана в подпункте 1.3. Отметим, что в программе замеры обычно учитывают в качестве скалярных величин, в то время как в реальности они представляют собой случайные функции времени от волнения, ветра, качки и т.д. Также, представленная архитектура служит лишь примером организации расчета драфт сюрвея, а потому пользовательский интерфейс, вычислительный модуль, выходная и входная информации могут быть изменены в соответствии с нуждами практики.

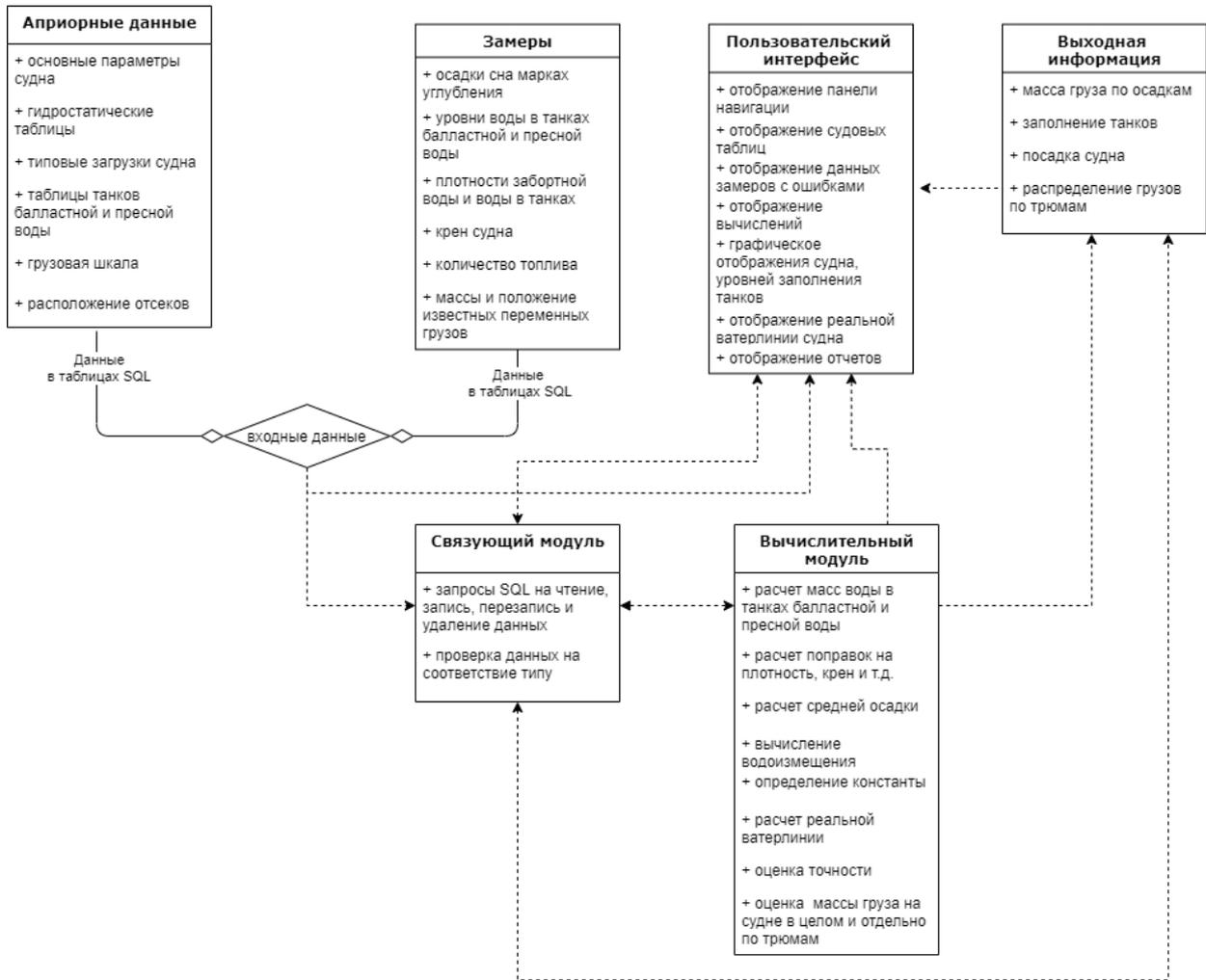


Рисунок 1.1 – Архитектура программы РПДС

1.3 Входная и выходная информация алгоритма ДС

Большая часть этих данных представлена в судовой документации на бумажном носителе [98], а потому при работе со входной информацией необходимо преобразование данных в удобный для работы формат. В соответствии с рисунком 1.1. входную информацию программы РПДС можно вывести в таблицу 1.2. Общие положения о выходной информации представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.2 – Входная информация

№	Наименование	Описание	
		размерность и тип данных	источник

1	Общие параметры судна	м, т, название судна, номер ИМО, длина, ширина, масса судна порожнем, дедвейт, водоизмещения и др.	Судовая документация
2	Гидростатические таблицы	м, м ³ , т. информация об изменении водоизмещения судна в зависимости от осадки судна, крена и дифферента	Судовая документация
3	Расположение судовых отсеков, помещений, устройств и др.	м, включает описание размеров, координат центров тяжести танков балластной, пресной воды, топлива, поправки на отстояние марок углубления от перпендикуляров и миделя и др.	Судовая документация
4	Осадка судна	м, включает замеры аппликат точек пересечения марок углубления и ватерлинии.	Устройства измерения осадки, визуальная информация (ручной или автоматический ввод)
5	Плотность воды	кг/м ³ , забортная и балластная вода	Ареометр, рефрактометр (ручной или автоматический ввод)
6	Уровень жидкости	м, в танках балластной, пресной воды, топлива и масла.	С помощью рулетки и водочувствительной мази, с помощью датчиков уровня воды.
7	Крен	град., левого или правого борта	Судовые кренометры (ручной или автоматический ввод)

Таблица 1.3 – Выходная информация программы

№	Наименование	Размерность и тип данных
1	Масса груза на судне	т, может предоставляться как только на конечный драфт сюрвей, так и рассчитываться при промежуточных
2	Посадка судна	м, град. Включает в себя данные о реальной осадке судна, ватерлинии, крене, прогибе или выгибе
3	Размещение грузов по трюмам	т, примерный расчет массы груза в каждом трюме
4	Отчетность	б/р, включает в себя оформление отчетов по начальному, конечному и промежуточным ДС по установленной форме
5	Заполнение танков	т, получают из гидростатических таблиц

1.3.1 Анализ способов измерения осадки судна

Точность измерения осадки судна влияет на точность определения массы груза в целом. Так, на среднетоннажном судне один сантиметр осадки соответствует нескольким десяткам тонн груза, а на крупнотоннажных судах это значение может достигать и сотен тонн. Учитывая стоимость перевозимых грузов, каждый сантиметр ошибки может стоить потери нескольких десятков тысяч долларов США на каждой погрузке, что делает повышение точности измерения осадки судна одной из приоритетных задач каждой погрузки.

Определение осадки судна возможно расчетным путем (по известному водоизмещению) и путем непосредственного измерения. В контексте ДС осадка – всегда величина измеряемая. При этом стоит различать понятия измеряемой осадки, которое получают путем замера вертикального расстояния от ватерлинии в заданной точке до основной плоскости, и расчетной осадки, которая характеризует среднюю глубину погружения судна и используется в качестве входных данных ДС. Переход от измеряемых осадок к расчетной производится по формулам, приведенным в подразделе 3.3.

Можно выделить восемь основных способов получения измеряемых осадок судна:

- визуально (датчик – человеческий глаз) [23];
- по гидростатическому давлению (датчик – гидростат);
- с помощью аппаратуры ГЛОНАСС/GPS [61];
- при помощи ультразвуковых датчиков;
- визуально, по замедленному видео (датчик – камера + глаза) [60];
- визуально при помощи мерительной трубки с демпферами;
- при помощи алгоритмов компьютерного зрения [118];
- при помощи алгоритмов глубокого обучения.

Как правило, марки углублений вырезают из листовой стали и приваривают или накернивают (набивают углубления) на корпус судна. Они выделяются на фоне корпуса особой окраской и поэтому хорошо видны. Различают две основных системы марок углубления – английскую (в футах) и метрическую (в метрах). Примеры марок углубления каждой из систем представлены на рисунке 1.2.

Поскольку большинство известных способов опираются на визуальную информацию, качество исполнения марок углубления существенно влияет на точность измерений.

Для начала рассмотрим способы, основанные на непосредственном замере высоты надводного борта или осадки. Так, наиболее точным среди известных способов является предложенный компанией SGS, основанный на использовании ультразвуковых датчиков. Заявленная точность метода достигает одного миллиметра, при этом он позволяет накапливать и обрабатывать информацию. Очевидным недостатком является невозможность использования метода при волнении из-за высокого рассеивания сигнала. Также, замеры производятся в непосредственной близости от борта судна, что потенциально может вызвать дополнительные помехи при некорректном использовании (рисунок 1.3).

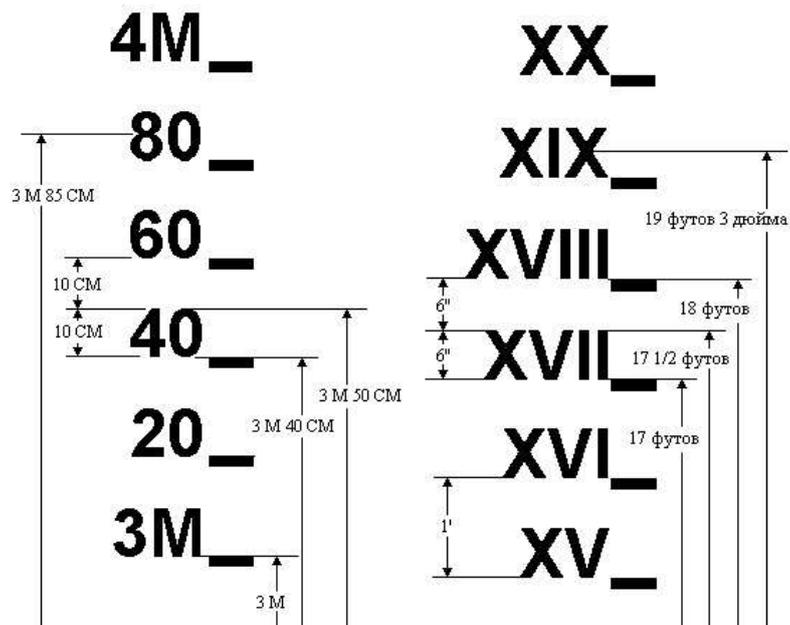


Рисунок 1.2 – Метрическая и Английская марки углубления



Рисунок 1.3 – Устройство определения осадки с помощью ультразвука (DST)

Датчики гидростатического давления (рисунок 1.4) изначально обладают довольно низкой точностью (10 см и больше), их размещение требует существенных изменений в архитектуре судна, однако будет не справедливо не упомянуть о возможности сохранения больших массивов данных, что в дальнейшем позволит их обрабатывать и уточнять. Сам способ довольно перспективен, однако на настоящем этапе развития его применение нецелесообразно.

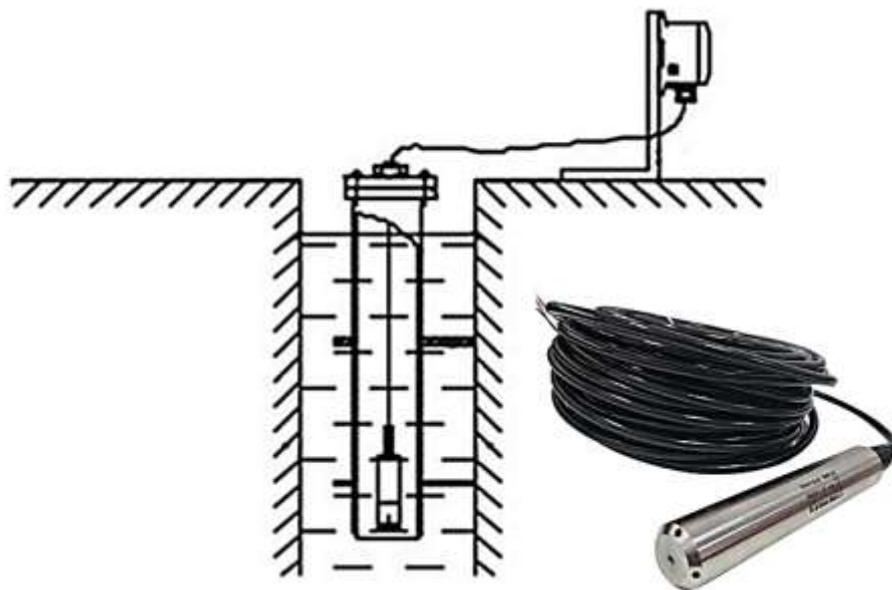


Рисунок 1.4 – Чтение осадки с помощью гидростатических датчиков

В случае с использованием аппаратуры GPS/ГЛОНАСС [61] (рисунок 1.5) одна антенна располагается в известной позиции на судне, другая на плавучем буйе вывешивается за борт. Осадку судна находят исходя из разности высот между антеннами. Заявленная точность составляет 2 см при измерении на тихой воде. Естественно, в условиях даже небольшого волнения ошибка возрастет многократно за счет сильной качки антенны, находящейся на водной поверхности, если измерения в таких условиях вообще окажутся возможными.



Рисунок 1.5 – Чтение осадки с помощью антенн GLONASS/GPS

Также существует большое количество самодельных приспособлений, которые тем или иным способом измеряют либо высоту надводного борта, либо осадку. Однако они не обладают возможностью автоматически сохранять информацию и обеспечить достаточную точность, а потому их применение в целях разработки автоматизированной системы ДС нецелесообразно.

Перейдем к визуальным способам измерения осадки. Наиболее простым и повсеместно распространенным является оценка осадки человек по марке углубления. Точность измерений зависит от опыта грузового офицера и обычно нахо-

дится в пределах ± 5 см. При этом, записи о самом процессе измерений нигде не производятся и результаты воспринимаются на веру.

Аналогичная ситуация возникает при использовании мерительной трубки с демпферами (рисунок 1.6), которая позволяет несколько сгладить волнение морской поверхности. При использовании способа существует риск того, что трубка отойдет от борта под воздействием волнения, крена, и наблюдатель будет производить замеры под углом.



Рисунок 1.6 – Определение осадки с помощью мерительной трубки

Несколько улучшенной вариацией прямых визуальных наблюдений является использование камеры для проигрывания видеозаписи марки углубления в различных скоростных режимах [60]. Это позволяет оценить осадку в более спокойной обстановке и может служить источником доказательств при возникновении споров. Способ, однако, не реализует алгоритмы обработки информации, а потому его точность также зависит только от опыта человека.

В то же время использование камеры для записи видео марок углубления является перспективной идеей. Так, обрабатывая видео с помощью современных алгоритмов компьютерного зрения и машинного обучения, можно получать точку

пересечения ватерлинии и марки углубления на каждом кадре. Например, при длине видео в одну минуту и 30 кадрах в секунду это потенциально дает массив из 1800 значений осадки. Такой массив можно обработать и сделать аргументированные выводы касательно реального погружения судна в воду. Изображение при этом рассматривается как матрица чисел, распределенных по определенному закону. Поиск закономерностей в распределении относительных яркостей позволяет определить наиболее плотные либо разреженные участки и выделить границы объектов, а относительное положение таких скоплений может служить идентификатором того или иного объекта. К алгоритмам компьютерного зрения относятся бинаризация, определение границ с помощью детекторов Кенни, Собеля, поиск связных областей и другие. Пример работы одного из таких алгоритмов показан на рисунке 1.7, а работы [34], [Ошибка! Источник ссылки не найден.], [112], [118], [119], [122] посвящены использованию компьютерного зрения при проведении драфт сюрвея.



Рисунок 1.7 – Определение осадки с помощью компьютерного зрения

Потенциальная точность определения осадки с помощью компьютерного зрения равна предельной разрешающей способности камеры. Однако на практике для успешной обработки данных необходим контроль со стороны квалифицированного специалиста по компьютерному зрению для настройки параметров под конкретные условия освещения и съемки. При этом время, необходимое на обра-

ботку, может существенно вырасти по сравнению с традиционным ДС. Все это делает использование компьютерного зрения на практике затруднительным, а потому вместо классических алгоритмов компьютерного зрения можно использовать популярные в последнее время нейронные сети, которые позволяют решать те же задачи, однако в полуавтоматическом режиме.

На сегодняшний день о применении нейронных сетей в целях драфт сюрвея написано всего несколько статей [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], [119], а потому доработка, улучшение и внедрение таких алгоритмов все еще актуальны.

Вне зависимости от способа получения массива замеров точность конечного значения осадки может быть повышена с помощью алгоритмов линейной фильтрации, что позитивно скажется на точности ДС в целом. Общая характеристика способов определения осадки судна сведена в таблицу 1.4. Напомним, что рекомендуемая погрешность определения массы груза составляет 0,5%, а каждый сантиметр ошибки при определении осадки приводит к потере десятков тонн груза. Погрешности измерения массы груза, приведенные в таблице рассчитаны для судна Universal Bangkok и носят исключительно иллюстративный характер.

Таблица 1.4 – Сравнение способов определения осадки

Способ	Точность	Погрешность измерения массы груза	Ограничения
Визуальный	5 см	0,87%	Опыт офицера
Измерительная трубка с демпферами	3 см	0,52%	Опыт офицера, неприменим при волнении
По гидростатическому давлению	7,5см	1,30%	Сложность в установке
С помощью антенн GLONASS / GPS	2 см	0,34%	Неприменим при волнении
С помощью ультразвуковых датчиков	0,1 см	0,02%	Неприменим при волнении
Компьютерное зрение	0,5 см	0,09%	Необходима тщательная настройка алгоритмов, неустойчивость к шумам на изображении
Глубокое обучение	0,3 см	0,05%	Процесс обучения модели требует тщательной подготовки

Как видно из таблицы, в тихую погоду наиболее эффективным является ультразвуковой способ измерения осадки. При плохих погодных условиях рекомендуется использовать алгоритмы глубокого обучения.

1.3.2 Анализ ошибок измерения массы жидких запасов

Еще одним фактором, в значительной мере влияющим на точность проведения драфт сюрвея, является точность определения массы переменных запасов на судне. Особую роль при этом играет определение массы жидких запасов. Такие грузы перевозятся в отдельных танках, различных по назначению. К ним относятся балластные танки, танки пресной воды, танки сточных вод, топливные и масляные танки, льялы и т.д.

В соответствии с международными правилами, любое судно должно иметь на борту гидростатические таблицы, в которых содержится вся необходимая информация о судовых танках. Так, достоверно известны их размерения, геометрические характеристики, приведены таблицы соответствия уровня жидкости в танках и объема жидкости, центры тяжести. Благодаря этому массу жидкости в танке можно определить исходя из уровня жидкости и её плотности.

Поскольку необходимость измерения плотности жидкости также возникает при проведении замеров плотности забортной воды, рассмотрим этот вопрос в первую очередь. Анализ существующих способов определения плотности жидкости приведен в [27], а также сведен в таблицу 1.5.

Таблица 1.5 – Способы определения плотности жидкости

Наименование способа	Абсолютная точность, кг/м ³	Стоимость, руб.
Ареометрический	0,5-1,0	300-1.500
Пикнометрический	0,1-0,5	1.500-15.000
Гидростатический	0,05-0,15	50.000-500.000
Вибрационный	0,01-0,1	100.000-500.000
Ультразвуковой	0,005-0,1	100.000-800.000
Радиоактивный	0,01-0,02	100.000-250.000

Несмотря на разнообразие подходов, ввиду низкой стоимости и простоты использования на практике для решения этой задачи преимущественно применяется ареометр. Для сравнения, погрешность определения плотности в $0,5 \text{ кг/м}^3$ соответствует погрешности драфт сюрвея $0,05\%$, что составляет десятую часть допустимого значения. Учитывая это, внедрение более дорогих и точных приборов может быть оправдано, однако это потребует дополнительных компетенций от грузового офицера, а также увеличения времени проведения замеров за счет необходимости создания ряда специфических условий. При выборе средства измерения плотности рекомендуется выбирать между вибрационным и ультразвуковым плотномерами.

Следующим важным моментом является определение уровня жидкости в танке. Для этой цели на всех судовых танках устанавливаются измерительные трубы диаметром не менее 32 мм. Они расположены над самым низким местом танка и практически вплотную доводятся до днища. Верхний конец трубы выводится на палубу. Как правило он закрывается винтовой пробкой и имеет маркировку согласно номеру танка.

Измерение уровня жидкости традиционно проводится вручную, с помощью специальной измерительной рулетки с металлическим лотом на конце. Перед погружением на рулетку наносят водочувствительную пасту, которая при контакте с водой окрашивается в характерный цвет и облегчает чтение замеров. Точность измерений уровня жидкости, полученных таким способом, достигает $0,5 \text{ см}$ ($0,05\text{--}0,5\%$ от общей высоты танка в зависимости от его характеристик). Даже такая точность измерений обеспечивает погрешность от измерения массы жидких запасов в пределах от $0,01\%$ до $0,05\%$ от общей массы судна, что является хорошим результатом.

В попытках автоматизировать процесс замеров уровня жидкости в танках, на судах внедряются различные автоматизированные системы. К таким относятся:

- система замеров радарным способом;
- система замеров электропневматическим способом;
- система замеров гидростатическим способом.

Замеры каждой из систем поступают в цифровом виде в общую программу обработки данных, где в дальнейшем подвергаются математической обработке. Повсеместное внедрение таких систем на судах навалочного типа, однако, осложнено агрессивными условиями морской среды и высокой стоимостью установки при точности, сопоставимой с ручными замерами (до 0,5 см).

1.3.3 Анализ влияния изгиба судна на результаты ДС

В ГОСТ Р 59145-2020 «Методы расчета веса груза по осадке судна» указано, что величина изгиба судна служит для оценки точности проведения драфт сюрвея. При этом, количественных характеристик касательно предельных значений изгиба для проведения ДС не предоставлено. Также считается, что расчет средней из средних осадок по формуле (3.54) компенсирует влияние изгиба на точность при «небольших» значениях. Другой информации о поправках к водоизмещению в ГОСТ нет. Однако в соответствии с Кодексом драфт сюрвея [44], такие поправки должны быть учтены. На практике считается, что формула (3.54) может быть использована лишь при изгибе менее 3 см на 100 м длины судна. В противном случае следует использовать алгоритм, предложенный в Кодексе.

Ось ординат направлена вертикально вверх. Обе шкалы в метрах, тогда замеры осадок представляют собой точки, X-координата которых соответствует положению марки углубления, Y-координата – значению осадки (рисунок 1.9).

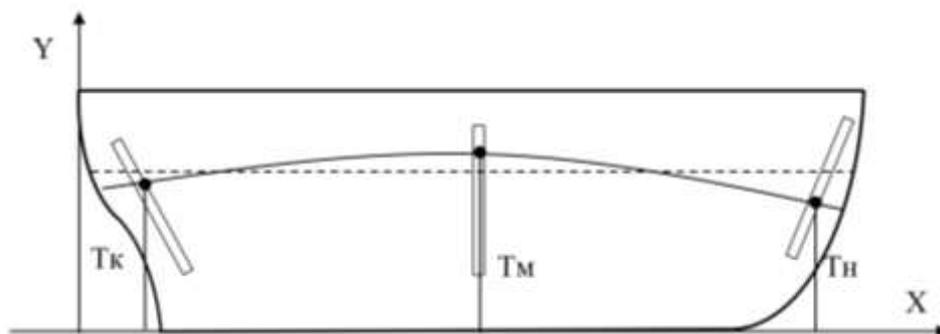


Рисунок 1.9 – Вид реальной проекции реальной ватерлинии (сплошная линия) и теоретической (пунктирная линия)

Реальная форма ватерлинии может иметь сложную форму. Однако с точки зрения практики форму ватерлинии удобно аппроксимировать полиномом. Так, при наличии трёх замеров через три точки можно однозначным образом провести параболу, при наличии четырех или пяти замеров – построить полиномы третьей и четвертой степени. Реальное судно редко будет иметь больше двух точек перегиба, а потому на практике можно ограничиться полиномами второй и третьей степени даже при наличии большого числа замеров осадки вдоль всего корпуса.

Судовая документация, которая является единственным источником информации о размерениях судна, рассчитана из предположения, что ватерлиния судна представляет собой плоскость, параллельную основной плоскости судна и находящуюся от неё на расстоянии, равном средней осадке судна. Так как в реальности ватерлиния представляет собой кривую поверхность, расстояние от каждой точки которой до основной плоскости различно, её необходимо заменить эквивалентной плоскостью. Сделать это можно исходя из равенства объемов подводной части корпуса судна при реальной и эквивалентной ватерлиниях.

Так, проаппроксимировав реальную ватерлинию с помощью какой-либо функции, мы можем определить распределение осадок вдоль корпуса судна. Судно имеет сложную геометрическую форму, которая хорошо описывается различными коэффициентами полноты. Например, на многих судах имеется масштаб Бонжана - совокупность кривых, каждая из которых определяет погруженную площадь шпангоута в зависимости от его углубления.

Разобьем судно на n отрезков с длинами Δx_i (i – номер отрезка, $i=1 \dots n$) (рисунки 1.10). Осадка на i -м отрезке будет равняться T_i - среднему арифметическому между значениями на концах отрезка. Площадь диаметральной плоскости судна можно вычислить по сумме площадей каждого из отрезков:

$$S_{\text{дн}} = \sum_{i=0}^n T_i \cdot \Delta x_i \quad (1.1)$$

Каждый из участков можно поставить в соответствие некоей теоретической шпации с шириной Δx_i , высотой T_i и коэффициентом полноты p_i , который можно

получить из масштаба Бонжана. Реальный объем подводной части корпуса судна будет равен:

$$V_{\text{реальный}} = \sum_{i=0}^n T_i \cdot \Delta x_i \cdot p_i \quad (1.2)$$

Как было сказано ранее, эквивалентную осадку можно найти исходя из равенства объемов водоизмещений. Так, поскольку эквивалентная осадка постоянна по всей длине судна, теоретический объем равен:

$$V_{\text{теоретический}} = T_0 \cdot \sum_{i=0}^n \Delta x_i \cdot p_i \quad (1.3)$$

Тогда искомую осадку можно выразить как:

$$T_0 = \frac{\sum_{i=0}^n T_i \cdot \Delta x_i \cdot p_i}{\sum_{i=0}^n \Delta x_i \cdot p_i} \quad (1.4)$$

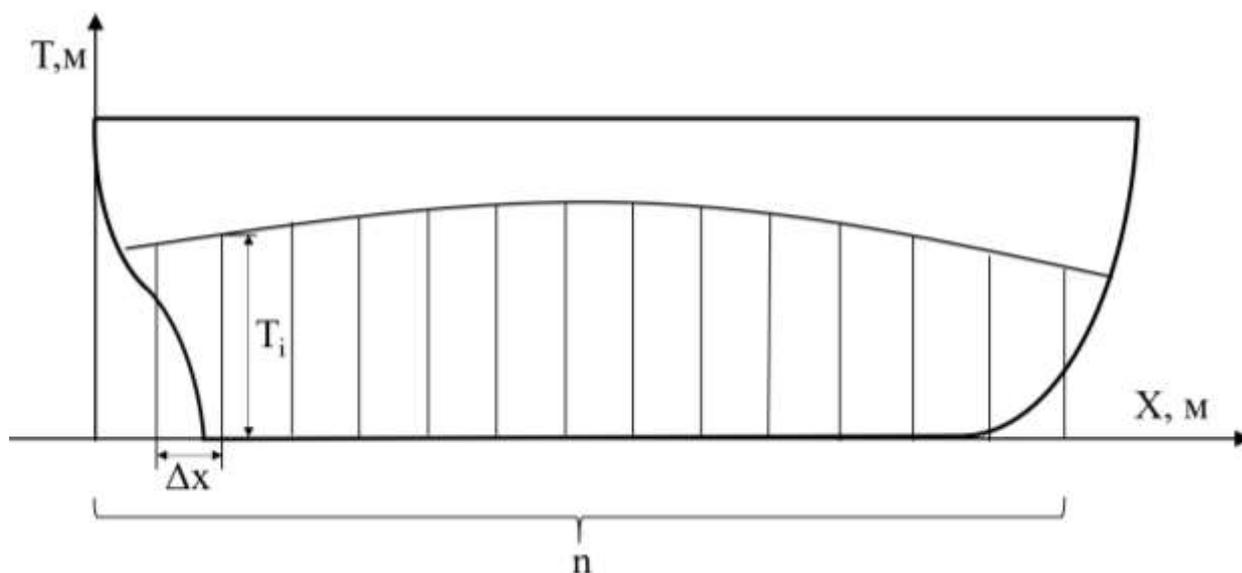


Рисунок 1.10 – Расчет подводного объема корпуса судна

Заметим, что при больших значениях изгиба величина отклонения может достигать нескольких процентов от общей массы груза на судне. Особенно часто такие ошибки проявляются на речных судах. Оценка погрешности на изгиб будет тем точнее, чем большее количество осадок мы сможем снять вдоль корпуса судна и чем выше будет точность каждого единичного замера. Также, при небольших

значениях изгиба результаты вычислений по формулам (3.54) и (1.4) очень близки.

1.3.4 Оценка неопределенности результатов ДС

В соответствии с [44], драфт сюрвей считается успешным, если погрешность определения массы груза на борту судна составила 0,5% и меньше. При этом, в [17] указано, что сюрвейер должен стремиться к точности в 0,1%. Отметим, что данные значения являются рекомендательными и до сих пор не разработаны способы оценки реальной точности измерений. Точность драфт сюрвея зависит от результатов замеров осадки, количества балласта, питьевой воды, судовых запасов, плотности забортной воды.

В соответствии с ГОСТ 8.009, ГОСТ 34100.3, сюрвейер обязан проводить оценку неопределенности результатов ДС в следующем порядке:

1. Суммарная неопределенность начального ДС U_{C_1} , т, определяется по формуле:

$$U_{C_1} = \sqrt{\sum_{i=1}^n U_{Z_i}^2}, \quad (1.5)$$

где U_{Z_i} – стандартная неопределенность составляющих ДС, т.

2. Суммарная неопределенность конечного ДС U_{C_2} , т, определяется по формуле:

$$U_{C_2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n U_{Z_i}^2}, \quad (1.6)$$

3. Суммарная неопределенность драфт сюрвея в целом U_C , т, может быть рассчитана по формуле:

$$U_C = \sqrt{U_{C_1}^2 + U_{C_2}^2}, \quad (1.7)$$

Каждое измерение при этом имеет свою погрешность, результат которой влияет на конечное значение водоизмещения. Более подробно точность средств измерения будет описана в главе 2, здесь же приведем лишь приблизительную оценку, с учетом результатов исследований [25], [26].

Погрешность при измерении плотности воды составляет половину деления шкалы ареометра, то есть $0,5 \text{ кг/м}^3$. С учетом этой погрешности, поправка на плотность забортной воды определяется по формуле:

$$\Delta D_{\rho} = D \frac{\rho_{расч} \pm 0,5 - \rho_{изм}}{\rho_{изм}} = D \frac{\rho_{расч} - \rho_{изм}}{\rho_{изм}} \pm D \frac{0,5}{\rho_{изм}}, \quad (1.8)$$

где $\rho_{расч}$ – расчетная плотность, для которой определены гидростатические таблицы, $\rho_{изм}$ – измеренная плотность забортной воды. Учитывая, что плотность морской воды обычно варьируется в пределах от 1005 кг/м^3 до 1035 кг/м^3 , погрешность определения водоизмещения в зависимости от плотности забортной воды составит от $0,0483\%$ до $0,0498\%$.

На сухогрузах жидкий балласт обычной составляет $25\% - 30\%$ водоизмещения судна. Считая погрешность при определении количества жидкости $0,1\%$ (вручную, либо с помощью датчиков), мы получаем погрешность при измерении жидких судовых запасов в $0,025\% - 0,03\%$ от водоизмещения судна.

На один сантиметр осадки судна приходится от $0,05\%$ водоизмещения для крупнотоннажных судов и до $0,35\%$ для малых судов. В большинстве случаев осадку судна определяют визуальным путем грузовые офицеры и сюрвееры. При неблагоприятных погодных условиях, даже опытный офицер способен допустить ошибку при измерении осадки в 5 сантиметров и более, что приведет к потере от $0,25\%$ до $1,75\%$ массы груза на судне. Учитывая, что для выполнения процедуры необходимо проведение начального и конечного сюрвея, при неблагоприятных условиях погрешности измерений будут иметь разный знак, а следовательно потенциальная ошибка удвоится. Итого, результирующая ошибка определения массы груза на судах может составить от $0,56\%$ до $3,57\%$ при рекомендуемом значении в $0,5\%$. Для крупнотоннажных судов потенциальная ошибка меньше, однако абсолютные значения массы потерянного груза и сопутствующих финансовых издержек достаточно высоки, чтобы проблема повышения точности измерений оставалась актуальной.

В момент снятия осадки, судно может обладать креном и дифферентом, причем этот параметр меняется от измерения к измерению, и может служить как

причиной завышенных, так и заниженных измерений. При наличии угла крена Θ , в момент замера значение осадки, определяемое по марке углубления, изменяется на:

$$\Delta d = \operatorname{tg} \Theta \cdot \frac{B}{2}, \quad (1.9)$$

где B (breadth) – ширина судна. Для учета этой погрешности следует использовать высокоточные инклинометры. Существующие подходы предполагают, что при измерениях крен мал (меньше 0,5) и постоянен. В действительности же в условиях даже небольшой качки крен и дифферент представляют собой случайные функции, существенно влияющие как на измерение осадки судна, так и на определение количества жидких запасов. Пример расчета ошибок ДС, а также его экономической эффективности приведен в главе 3 на примере судна Universal Bangkok.

1.4 Практические замечания к проведению ДС

На практике каждое конкретное судно обладает своей спецификой, в зависимости от которой конечная масса груза может быть значительно завышена или занижена и результат превысит рекомендуемые 0,5% расхождения.

Зачастую к таким особенностям относятся различия между реальными судовыми конструкциями и судовой документацией. Так, документация может быть разработана для типового судна, в то время как суда, построенные даже по одному проекту, несколько различаются как по массе судна порожнем, так и по реальным геометрическим размерам отсеков.

В некоторых случаях калибровочные таблицы балластных танков и танков пресной воды приняты из расчета, что замерочные трубки прямые, хотя в реальности они могут быть изогнуты и это приведет к погрешности в несколько тонн (или десятков тонн) в каждом подобном танке.

Кроме того, в процессе эксплуатации судно может деформироваться, причем такие деформации могут носить как временный, так и постоянный характер. Выявить их визуально зачастую не получается, хотя они также влияют на точ-

ность измерений. Особую роль при этом влияет наличие на судне выгиба или прогиба, который должен быть учтен при расчетах массы груза. Единственным способом борьбы с погрешностями такого рода является тщательный обмер судовых помещений и перерасчет гидростатических и всевозможных калибровочных таблиц в соответствии с реальными данными. В редких случаях изгиб на судне может возникнуть за счет наличия на судне открытых крышек трюмов. Например, на судне с двумя трюмами, где крышки первого трюма открываются в нос, а второго – в корму. На судах с большим числом трюмов обычно такой проблемы не возникает.

Ряд погрешностей может возникнуть непосредственно в процессе эксплуатации судна. Так, в некоторых случаях с точки зрения практики целесообразно немного намочить груз, чтобы уменьшить количество пыли при погрузке. В процессе перевозки излишняя влага может частично испариться, а частично осесть на дне трюма. Бороться с этим можно путем контроля влажности на момент погрузки и выгрузки, особенно если этого требуют правила перевозки груза. Тем не менее, зачастую этот фактор считают незначительным, хотя он так же ведет к накоплению общей ошибки.

При заборе балласта, особенно на мелководье в замерных трубках и на дне танков может скапливаться грязь, глина, что может привести к ошибке измерения балласта. За счет закупорки замерной трубки замер уровня воды на момент отхода судна может оказаться нулевым, а по приходу, в процессе выгрузки, обнаружиться, что в танке осталось несколько десятков тонн воды. Во избежание подобных случаев рекомендуется следить за состоянием балластной системы, дополнительно её промывать, а также избегать полного осушения, либо прессовки балластных танков.

Помимо технических аспектов проведения драфт сюрвея, на результаты измерений, представленных в отчетах, существенно влияет человеческий фактор. Так, зачастую результаты могут быть намеренно завышены или занижены с целью получить экономическую выгоду одной из сторон. Однако, даже если не брать в расчет случаи откровенного мошенничества, грузовые офицеры вынужде-

ны учитывать факторы, не поддающиеся измерениям, такие как изменяющуюся судовую константу, расхождения между реальными параметрами судна и расчетными и др.

1.5 Выводы по разделу 1

В данном разделе рассмотрены методы определения массы груза на судах различного типа. В результате анализа определено, что драфт сюрвей является наиболее практичным методом для судов типа балкер, поскольку он обеспечивает оптимальный баланс между финансовыми, временными затратами, а также точностью измерений. В разделе представлена общая структура ДС, проведен обзор его нормативно-правовой базы, а также представлена оценка влияния различных судовых параметров на результаты измерений.

Помимо прочего, существует расхождение между рекомендациями к условиям проведения драфт сюрвея и практикой. Так, поскольку суда типа балкер зачастую грузят на рейде, в удалении от берега, измерения приходится проводить даже в условиях волнения 3-4 балла, в то время как в соответствии с рекомендациями волнение выше одного балла уже относится к плохим погодным условиям. Отсутствует возможность производить высокоточные замеры осадки судна, а для понятия «устройство для определения осадки на волнении» не определен ни принцип работы, ни требования к точности, а следовательно, фактически подтверждается невозможность обеспечить рекомендуемую точность.

Показано, что на результатах драфт сюрвея отражаются как технические особенности судов и средств измерений, так и человеческий фактор, зачастую играющий решающую роль в вопросе определения массы груза на судах. В связи с этим, повышение точности технологического процесса драфт сюрвей является актуальной задачей. Автоматизация данного процесса позволит снизить влияние человеческого фактора и представляется перспективным с точки зрения безэкипажного судоходства.

2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ДРАФТ СЮРВЕЙ

Автоматизированная система управления (сокращенно АСУ) — комплекс аппаратных и программных средств, а также персонала, предназначенный для управления различными процессами в рамках технологического процесса, производства, предприятия. Термин «автоматизированная» подчеркивает сохранение возможности вмешательства человека в работу системы.

Задачей любой АСУ является повышение эффективности управления объектом или процессом за счет внедрения средств автоматизации, оптимизации работы объекта управления и снижения роли человека в производственном процессе. Применительно к предлагаемой системе в качестве технологического процесса выступает процесс драфт сюрвея.

2.1 Методика построения автоматизированных систем управления технологическими процессами

Поскольку одной из задач данной работы является разработка АСУ ТП ДС, перед тем как переходить к описанию непосредственно системы необходимо определиться с порядком её проектирования.

Первыми критериями, которые необходимо определить, являются философия управления и общие принципы работы системы. Обычно они определяются в технических требованиях к функциональному проектированию, в которых описывается уровень автоматизации и взаимодействия с операторами. Они также должны включать элементы обработки исключений, такие как блокировки, стратегии синхронизации между устройствами, функции непрерывного мониторинга и методы арбитража. Эта информация обеспечит руководящие принципы, которые будут определять порядок более детального проектирования в будущем.

Как только философия управления будет четко определена, следующим шагом будет полное понимание процесса. Это широкий термин, охватывающий процедурную модель процесса и его физическое взаимодействие с оборудованием. База знаний, описывающая поведение процесса, может быть получена из комбинации документов и бесед с экспертами. Типичная справочная документация включает в себя блок-схему технологического процесса, схемы взаимосвязей приборов, стандартные рабочие процедуры, описания процессов и пояснения к системе управления. Каждый сопроводительный документ содержит отдельный аспект, объясняющий общий производственный процесс. Эта информация станет бесценной позднее при определении требований к интерфейсу оператора.

Сегментация — очень важный этап проектирования, требующий знаний о технологическом оборудовании, требованиях к технологическому процессу и взаимодействиях вышестоящего и нижестоящего оборудования. Эти шаги должны быть сопоставлены со всеми требованиями, чтобы гарантировать, что конструкция достаточно надежна для выполнения всех действий по обработке. Пример архитектуры современного программного обеспечения для обеспечения процедуры драфт сюрвей представлен в подразделе 1.2.2.

Создание и обслуживание автоматизированных систем проходит в несколько стадий, каждая из которых может быть разбита на несколько этапов:

1. формирование требований к АСУ;
2. разработка концепции АСУ (подробное изучение объекта, проведение необходимых НИР, проработка концепций АСУ согласно требованиям);
3. разработка технического задания на создание АСУ;
4. разработка эскизного проекта (принятие предварительных проектных решений по системе и её частям с сопутствующей документацией);
5. разработка технического проекта (включая технические требования к элементам АСУ, оформление поставок комплектующих, разработку заданий на проектирование в смежных частях проекта);
6. разработка рабочей документации;

7. ввод в эксплуатацию (подготовка объекта автоматизации, персонала, комплектация техническими средствами и программным обеспечением, монтажные работы, проведение предварительных и приемочных испытаний);

8. сопровождение АСУ (гарантийное и послегарантийное обслуживание).

Каждая из стадий сопровождается соответствующими отчетами и документацией. В зависимости от сложности системы работа по отдельным стадиям может осуществляться параллельно. Так, например, часть строительно-монтажных работ может начаться еще при разработке технического проекта, а исследование объекта управления с последующей разработкой концепции АС может оказаться невозможной без создания компьютерных программ.

Поскольку данная работа посвящена по большей части теоретическим аспектам разработки автоматизированной системы управления драфт сюрвеем, мы сосредоточимся на описании функционирования системы, которое представим в виде комплекса алгоритмов. Для этого необходимо изучить технологический процесс и разработать модель системы «АСУ ТП – технологический процесс» и составить так называемый *внешний алгоритм*, который отражает концепцию управления технологическим процессом.

2.2 Структура автоматизированной системы управления технологическим процессом драфт сюрвей

В разделе 1 было дано общее описание процедуры драфт сюрвей, определены проблемы, возникающие в ходе её проведения, а также обозначены пути решения таких проблем. Драфт сюрвей при этом рассматривается в качестве технологического процесса, результатом выполнения которого является получение сведений о массе груза, который был принят на судно или снят с него.

На основании анализа, проведенного в подпунктах 1.2 и 1.3, можно сделать вывод, что наибольшую проблему при проведении драфт сюрвея представляют низкая точность существующих датчиков, а также участие человека в процессе замеров. Так, именно человеческий фактор во многом определяет результаты за-

меров и вычислений. Чтобы этого избежать, предлагается исключить участие человека в ключевых моментах ТП ДС.

Структурная схема АСУ ТП ДС представлена на рисунке 2.1 и отражает наиболее общие взаимосвязи её составных частей.

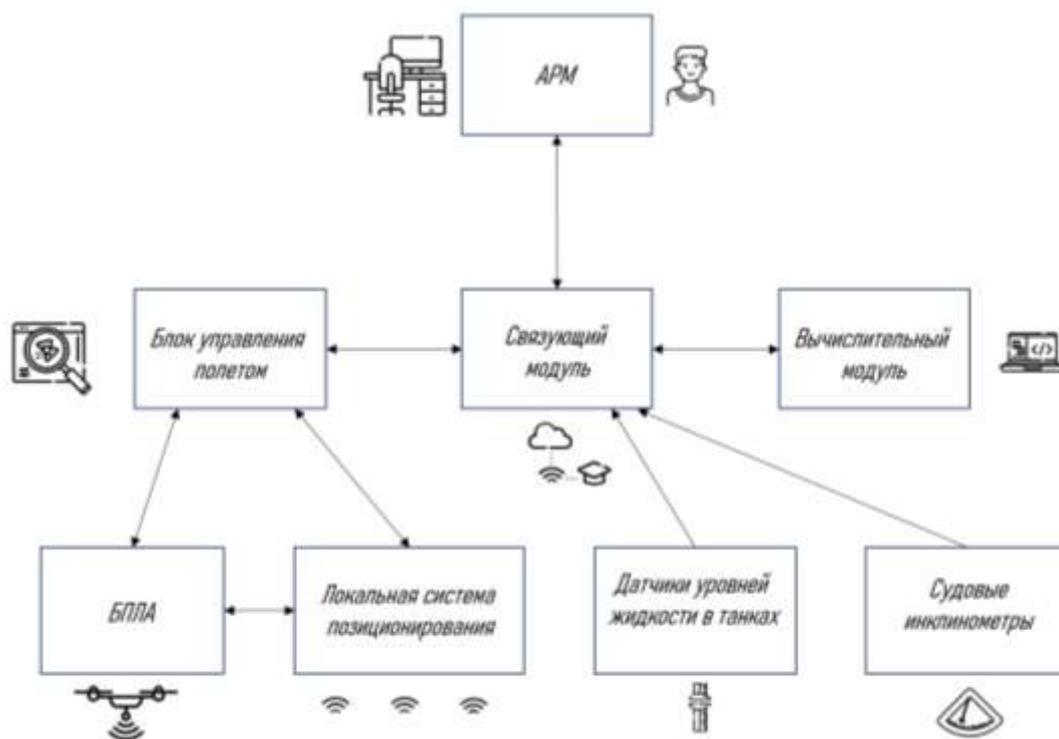


Рисунок 2.1 – Структурная схема АСУ ТП ДС

Каждый из модулей в представленной системе содержит в себе комплекс устройств, работающих по определенным алгоритмам, подробное описание которых будет приведено в последующих пунктах.

2.3 Алгоритмы определения осадки судна с использованием технологий глубокого обучения

В разделе 1 был произведен анализ существующих способов определения осадки судна. Ключевым отличием между ними является тип используемого датчика. Так, на основе анализа определено, что наиболее перспективным как с теоретической, так и с практической точек зрения является способ, основанный на

обработке видеоизображений методами компьютерного зрения и глубокого обучения, общая схема работы которого представлена на рисунке 2.2.

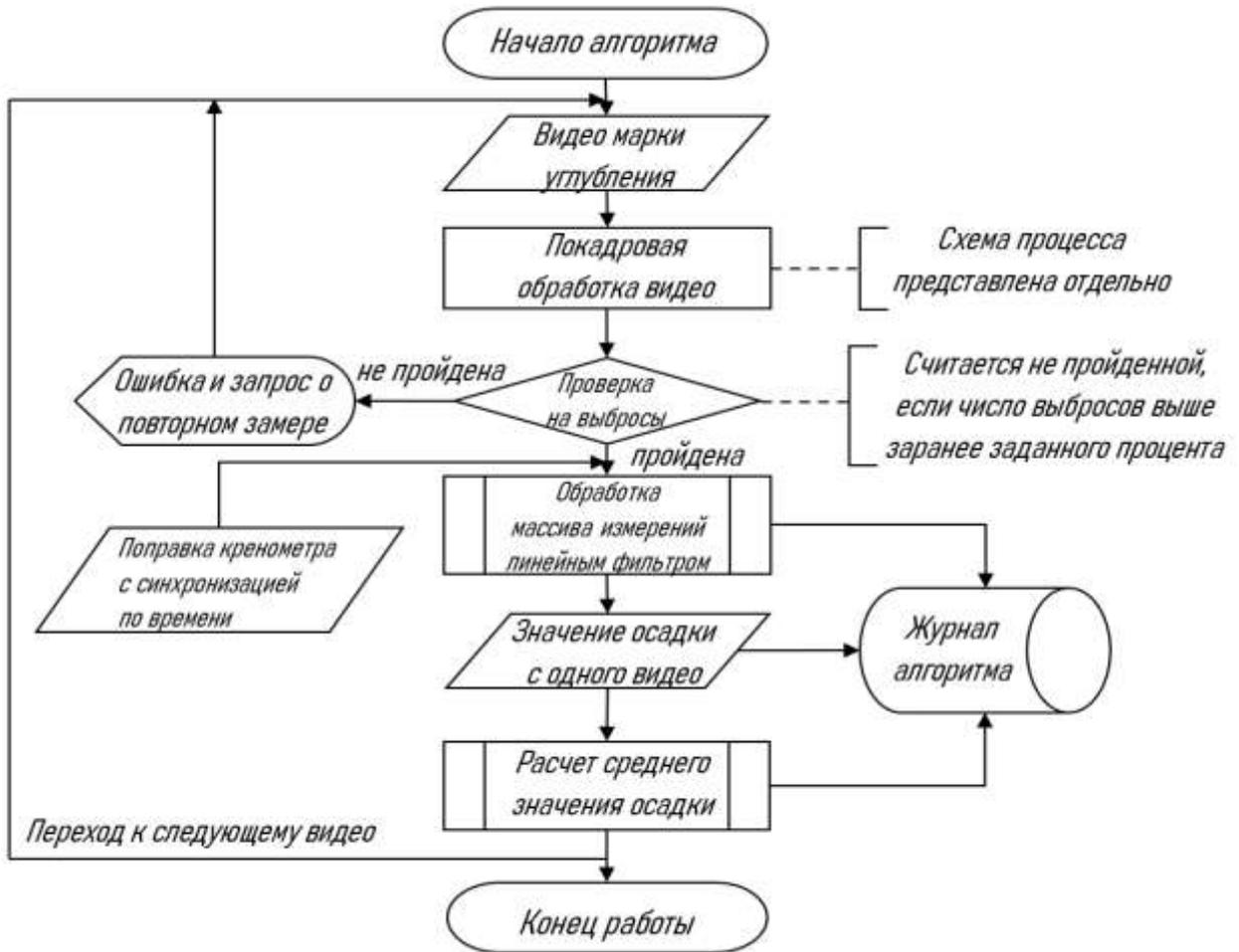


Рисунок 2.2 – Алгоритм определения осадки судна на базе методов машинного обучения

Принцип работы алгоритма определения осадки следующий. Тем или иным способом производятся видеозаписи минимум шести марок углубления: на носу, миделе и корме с каждого борта. Марок углубления может быть и больше, но это лишь увеличит точность измерений. Каждое видео покадрово обрабатывается с помощью нейронных сетей и компьютерного зрения. В результате, каждому видео в соответствие ставится массив измерений осадок с привязкой по времени. Измерения представляют собой точки пересечения реальной ватерлинии и соответствующей марки углубления, и впоследствии корректируются на величину, зависящую от крена и дифферента в конкретный момент времени. Массив измерений обрабатывается корреляционными методами и на основании него делается вывод о значении осадки на каждой из марок углубления, по которым, основыва-

ясь на подпунктах 1.2.1 и 1.3.3 вычисляется средняя из средних осадок, используемая в драфт сюрвее.

Покадровая обработка видео при этом представляет собой отдельный алгоритм, структура которого показана на рисунке 2.3. Так, после разбиения видео на кадры необходимо решить три основных задачи: обнаружить цифры марки углубления, сегментировать ватерлинию и определить точку их пересечения. Для детекции цифр, в соответствии с рекомендациями [114] было решено использовать нейросеть архитектуры YOLOv5. Она обладает небольшими размерами и достаточной с точки зрения практики точностью. Сегментация водной поверхности производится с помощью другой сверточной нейронной сети U-Net архитектуры. В результате её работы изображение разбивается на две области «вода» и «не вода», что позволяет однозначно определить ватерлинию.

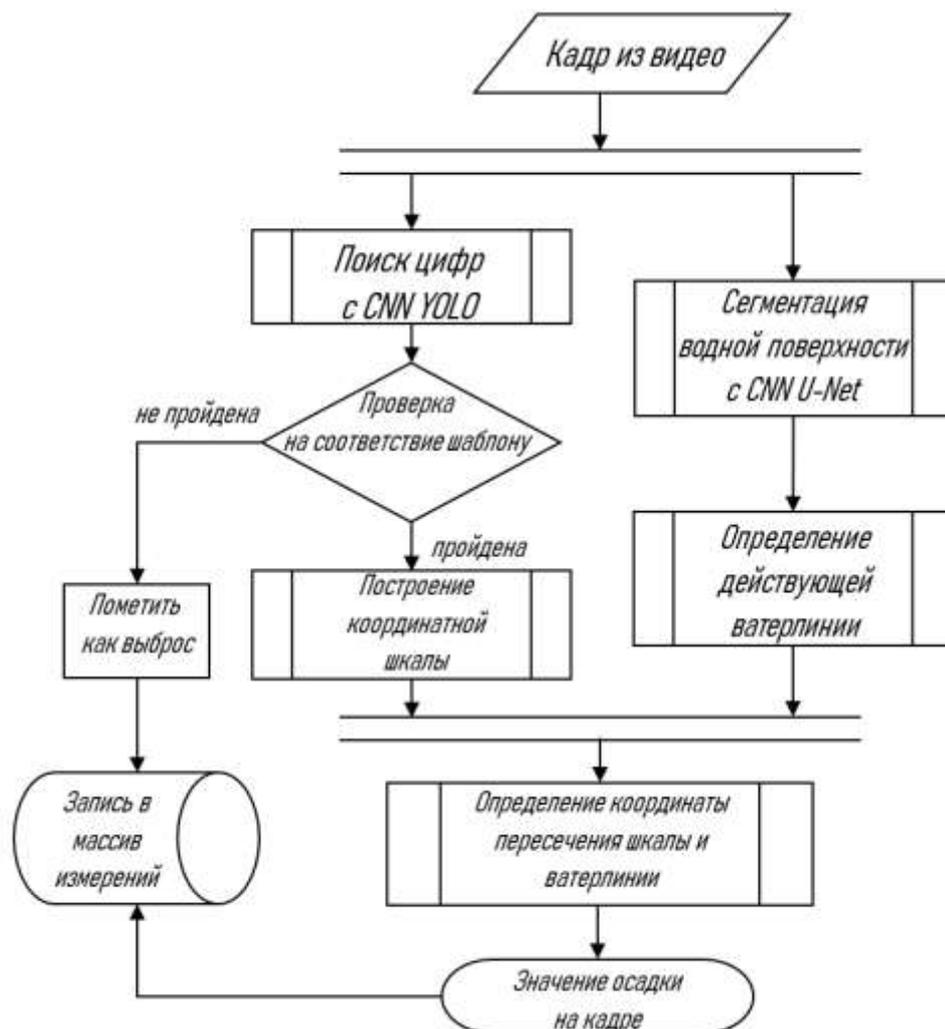


Рисунок 2.3 – Алгоритм покадровой обработки видео марок углубления

Алгоритм, показанный на рисунке 2.2, также применим в случае, если в качестве измерительного прибора используется другое устройство (например, лазерный или ультразвуковой дальномер). В этом случае меняется лишь источник цифрового сигнала. Порядок обработки массива измерений, а также общий принцип получения осадки остается прежним.

2.4 Алгоритм управления беспилотным летательным аппаратом для автоматизированного проведения снятия замеров осадок судна

Основная функция БПЛА в предлагаемой системе – доставка цифровой камеры, которая является измерительным прибором в окрестность марки углубления. Так, дрон должен облететь судно, зависнуть вблизи каждой из марок углубления так, чтобы камера была сориентирована на судно, и вернуться на место постоянного базирования на судне. При облете основной задачей дрона является прилет в конкретные координаты и установка необходимой ориентации. Очевидно, что для данной задачи лучше всего подходят дроны вертолетного типа, наиболее распространенными из которых являются квадрокоптеры. Технические характеристики таких машин подробнее описаны в разделе 4. При этом, любой квадрокоптер обладает набором из 4 пропеллеров, установленных на раме. Задача управления состоит в выработке таких управляющих воздействий на пропеллеры БПЛА, которые приведут к перемещению центра масс дрона в заданное положение. Подробнее о математической модели управления написано в разделе 3.

Первостепенным является вопрос задания координатной сетки, в пределах которой будет осуществляться управление. Поскольку погрузка судна зачастую производится на рейде, его положение может изменяться в процессе вращения относительно якоря под воздействием течения или ветра. Также, во многих регионах Земли спутниковые системы навигации могут работать с погрешностями в десятки метров, что недопустимо при управлении объектом, размеры которого составляют десятки сантиметров. Поэтому, необходимо внедрение локальной си-

системы позиционирования, способной предоставлять пространственные координаты дрона на расстоянии нескольких десятков метров от судна.

Техническая реализация предлагаемой системы позиционирования описана в разделе 4, здесь же обозначим, что такое позиционирование возможно как с использованием радиосигналов, так и по визуальным маркерам на местности. Алгоритм управления дроном представлен на рисунке 2.4.

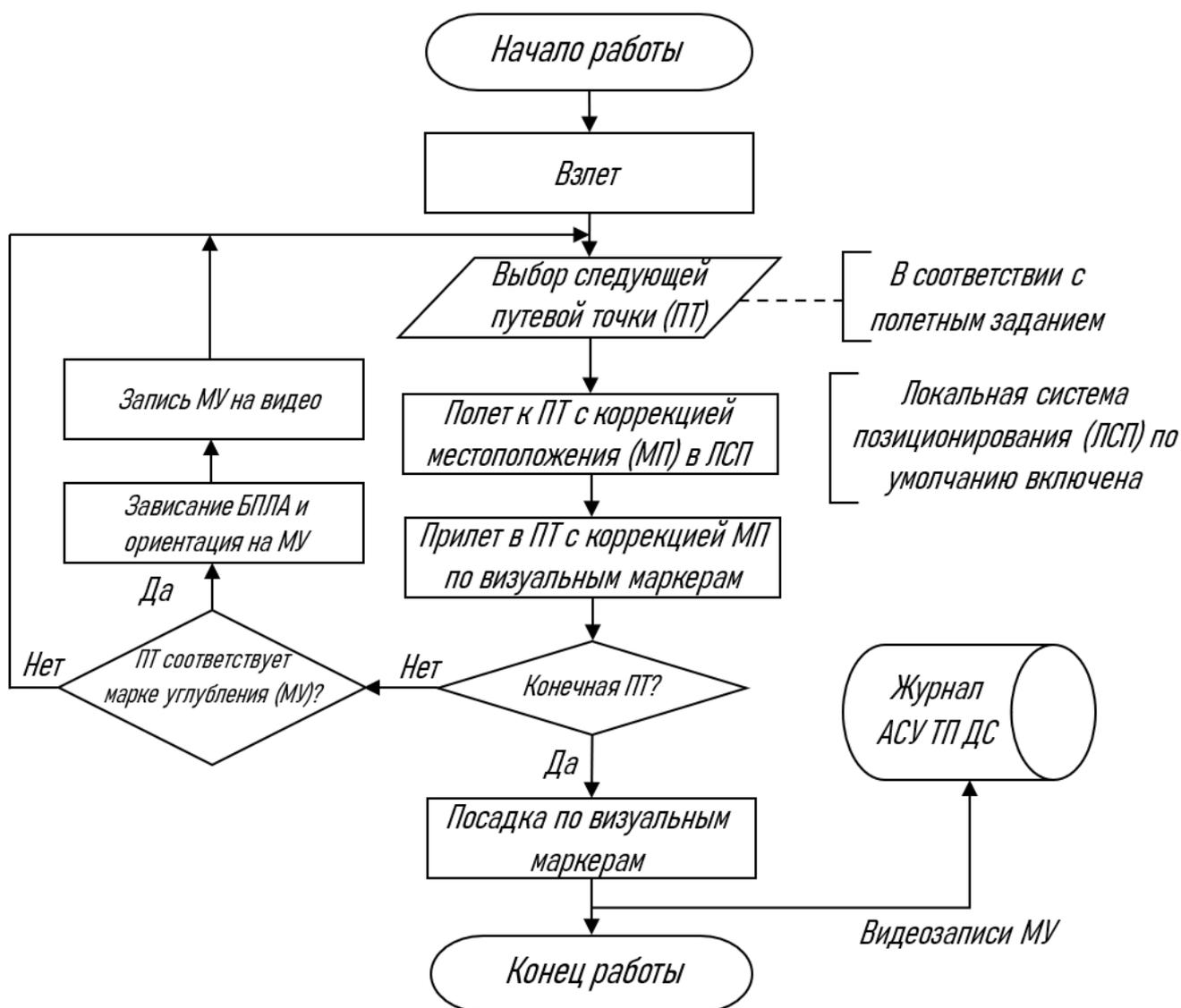


Рисунок 2.4 – Алгоритм управления полетом БПЛА

Полетное задание для БПЛА определяется исходя из геометрических характеристик судна и определяется заранее с учетом всех особенностей и ограничений. Основной задачей БПЛА является обеспечение возможности видеосъемки

марки углубления при помощи цифровой камеры, поэтому расположение путевых точек будет напрямую зависеть от возможной самой камеры.

Так, идеальными условиями считаются такие, при которых в кадр камеры попадает область пересечения ватерлинии и марки углубления, на которой видно минимум одну метровую отметку. Обычно это соответствует расстоянию от 3 до 5 метров от борта, что требует высокой точности позиционирования и управления вблизи судна. Примерная схема облета судна дроном представлена на рисунке 2.5.

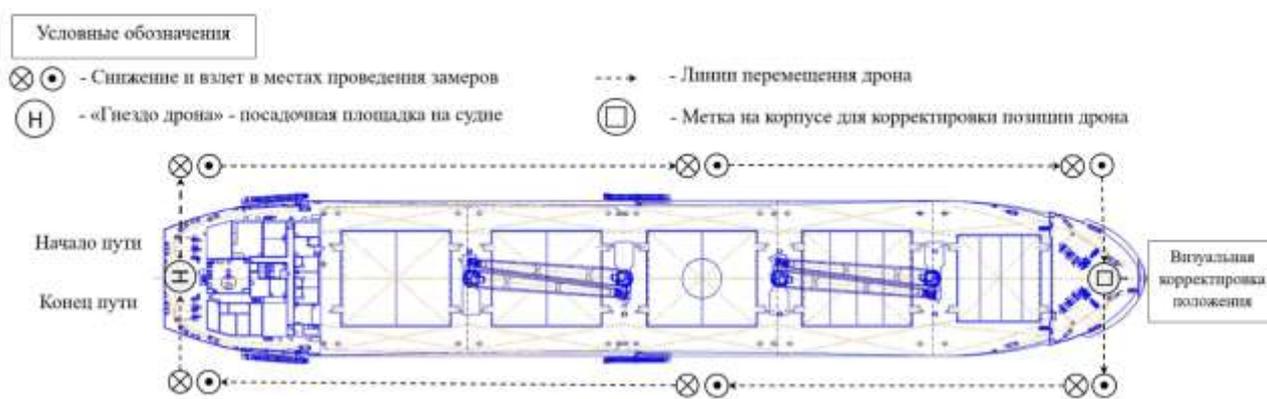


Рисунок 2.5 – Схема облета судна дроном

Учитывая ограниченные возможности современных локальных систем позиционирования, дополнительное уточнение местоположения предлагается производить с помощью алгоритмов технического зрения. В частности, уже сейчас реализованы проекты по автоматизированной посадке БПЛА в заданную область по визуальным маркерам.

Результатом работы АСУ ТП ДС является получение информации о текущем водоизмещении судна при начальном ДС и информация о массе груза, подлежащего перевозке при конечном ДС. В настоящее время большинство алгоритмов управления БПЛА, а также технологии искусственного интеллекта находятся на стадии формирования и обладают рядом существенных недостатков. В связи с этим было принято решение сделать систему автоматизированной и предоставить оператору возможность вмешиваться в рабочий процесс на любом этапе. Для про-

стоты, автоматизированное рабочее место оператора (АРМ) не отображено на схеме алгоритма (рисунок 2.6), однако подразумевается, что у оператора есть доступ к каждому блоку системы.

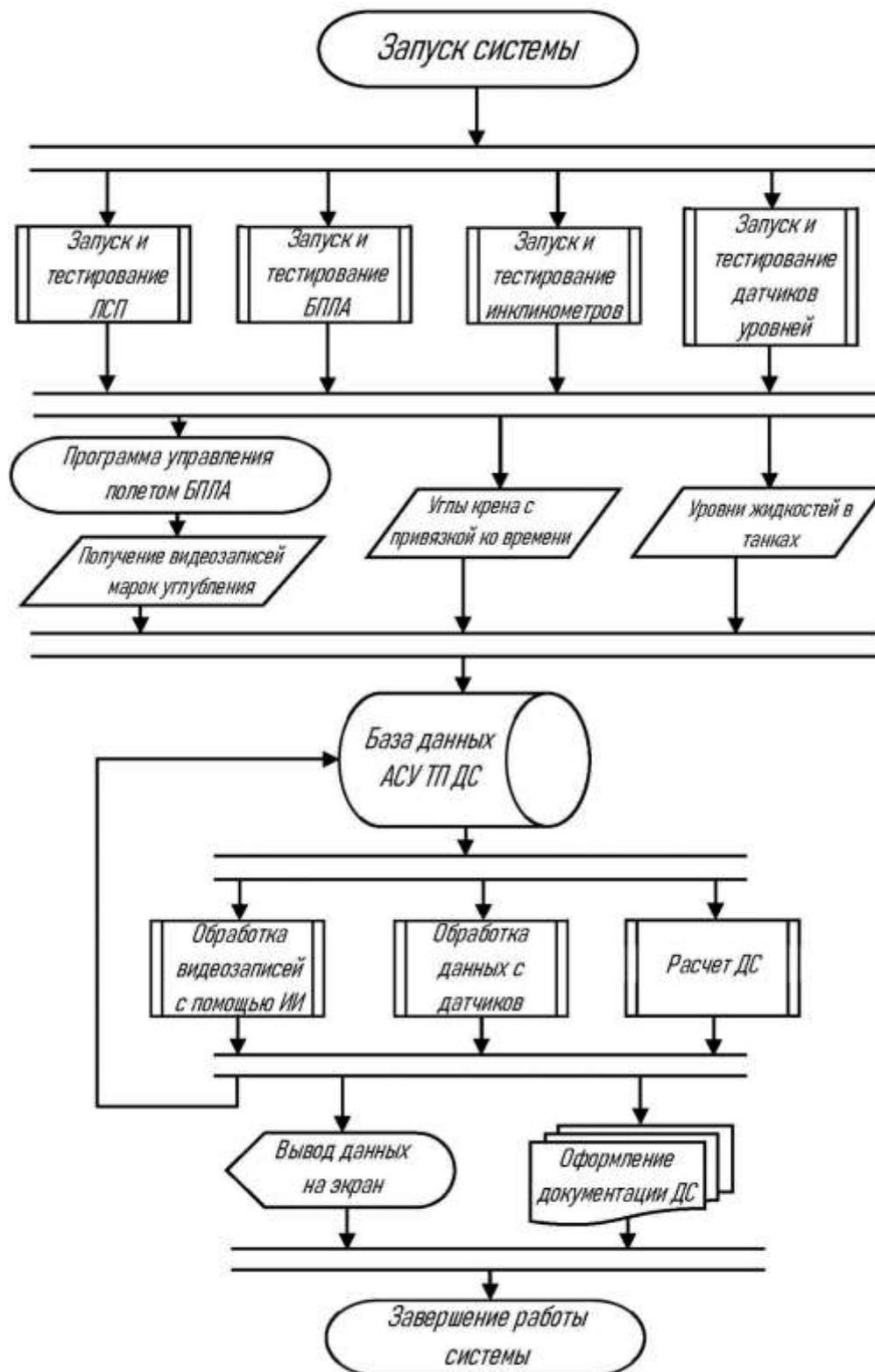


Рисунок 2.6 – алгоритм управления АСУ ТП ДС

Обработка данных осуществляется в соответствии с алгоритмами, описанными в пункте 2.3, а также математическими моделями, описанными в разделе 3. Начало и конец работы системы в общем случае определяется оператором.

2.5 Выводы по разделу 2

В разделе описана структура и процесс разработки АСУ ТП ДС, включающей в себя комплекс алгоритмов обработки различной информации, алгоритм управления БПЛА для автоматизированного снятия замеров и алгоритм управления АСУ ТП ДС в целом. Система включает в себя набор датчиков, в качестве которых выступают цифровая камера, ультразвуковые датчики, высокоточные инклинометры, датчики уровней жидкостей.

При обработке данных используется корреляционная теория фильтрации, математическая статистика и алгоритмы глубокого обучения. Все модели АСУ ТП ДС заменяемы и могут быть усовершенствованы по необходимости. АСУ ТП ДС представляет возможность выводить данные в удобном для пользователя виде, а также автоматически формировать документацию в соответствии с порядком, установленным местной администрацией.

3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ДРАФТ СЮРВЕЙ

3.1 Математическая модель БПЛА

Несмотря на то, что математические модели БПЛА в общем виде уже многократно описаны, при внедрении их в реальное устройство необходима адаптация к параметрам реального объекта. Управление БПЛА рассматривается исходя из допущения, что координаты БПЛА достоверно известны. Источником информации о положении могут выступать как спутниковые системы навигации, так и локальные системы позиционирования. В соответствии с алгоритмом управления БПЛА, описанным в разделе 2, ключевым фактором при построении модели управления является возможность стабилизации БПЛА в определенной точке пространства относительно судна и сохранении заданной ориентации.

3.1.1 Математическая модель движения БПЛА

При математическом моделировании полета квадрокоптера примем земные системы координат инерциальными, несущую часть аппарата твердым телом, а ветер будем учитывать только как внешнее возмущение. За основу возьмем модель, описанную в [20].

Рассмотрим кинематическую схему квадрокоптера (рисунок 3.1), на которой показано взаимное расположение связанной и стартовой систем координат, действующие на дрон силы и моменты. На данной кинематической схеме: $Oxyz$ – связанная система координат, $O_0x_0y_0z_0$ – стартовая система координат (система координат наблюдателя). Оси Ox и Oy проходят через центры двигателей. F_1, F_2, F_3, F_4 – подъемные силы, возникающие за счет вращения соответствующих винтов со скоростями $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$; M_1, M_2, M_3, M_4 – реактивные моменты сопротив-

ления винтов. Ориентация квадрокоптера в пространстве определяется тремя углами: углом крена φ – углом между осью Ox и плоскостью $O_0x_0z_0$; углом тангажа ϑ – углом между осью Ox и плоскостью $O_0x_0y_0$; углом рыскания ψ – углом между осью Oy и плоскостью $O_0y_0z_0$.

Управление движением реализуется за счет подачи управляющих напряжений на двигатели, приводящих во вращение винты [54]. В результате появляющихся угловых скоростей $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ формируются подъемные силы F_1, F_2, F_3, F_4 и возникает результирующая подъемная сила и моменты, обусловленные реактивным явлением, возникающим от вращения винтов.

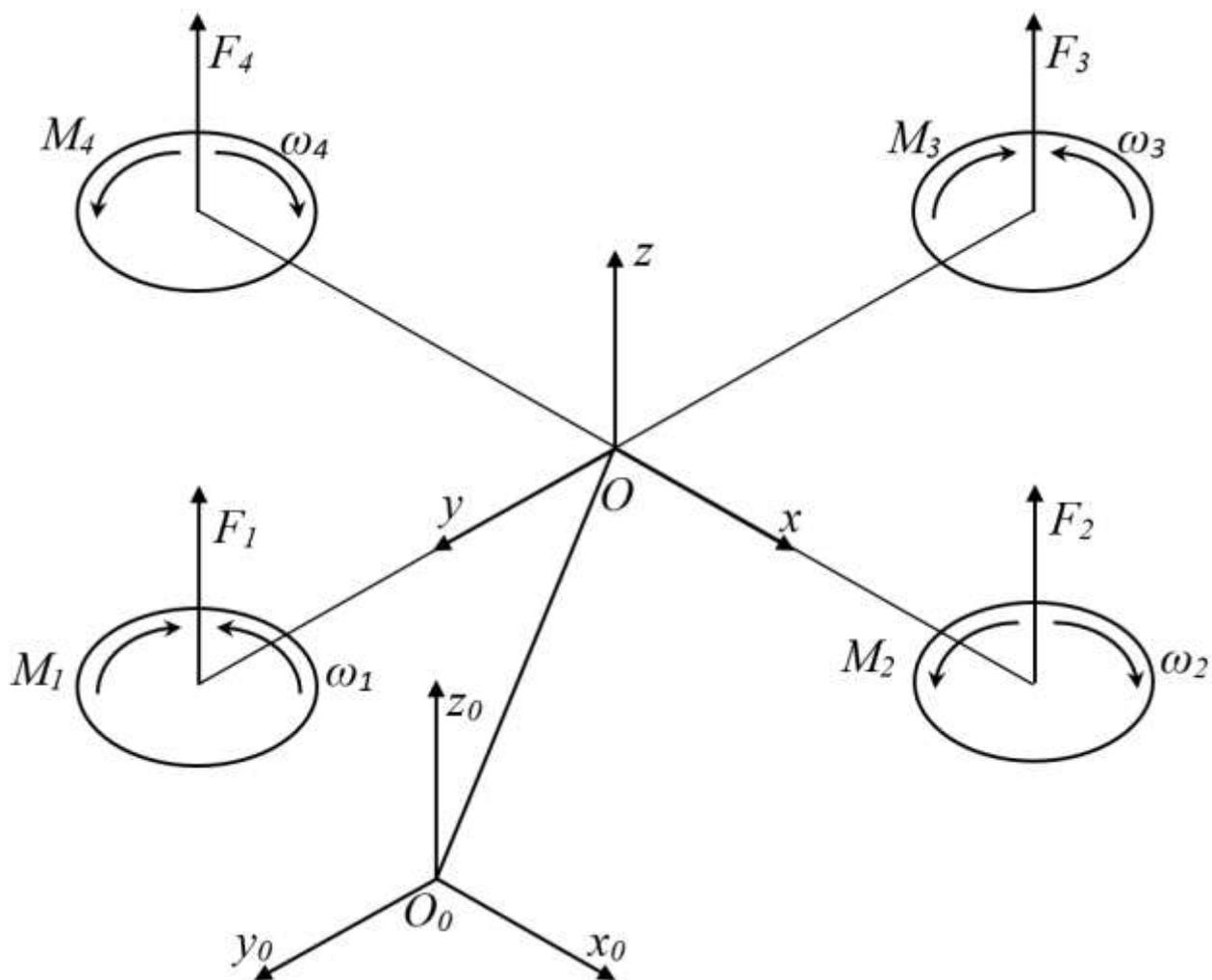


Рисунок 3.1 – Кинематическая схема БПЛА

Движение в вертикальной плоскости обеспечивается проекцией суммарного вектора подъемной силы F на вертикальную ось, а поворот по углу рыскания –

разностью значений угловых скоростей $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$, причем для поворота в положительном направлении необходимо, чтобы угловые скорости ω_2 и ω_4 были больше, чем ω_1 и ω_3 , а для поворота в отрицательном направлении – наоборот [54]. Иначе, поворот по рысканию осуществляется за счет разницы реактивных моментов, которые возникают при вращении двигателей. Изменение углов ориентации обеспечивается из-за границы в парах подъемных сил: F_2 и F_4 для угла тангажа; F_1 и F_3 для угла крена.

Для преобразования двух систем координат составим матрицу преобразования. В ней силы тяги в связанной системе координат:

$$\begin{cases} F = [F_x, F_y, F_z]^T = [0, 0, P_1]^T \\ P_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = b(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2) \\ b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_F \cdot S_i \cdot R_i^2 \end{cases} \quad (3.1)$$

где P_1 – суммарная тяга; b – коэффициент силы тяги; ρ – плотность воздуха; C_F – коэффициент подъемной силы; S_i – площадь ометаемой лопастями винта поверхности; R_i – радиус винта; ω_i – угловая скорость вращения i -того винта.

Сила тяги в стартовой системе координат:

$$\begin{aligned} F_0 &= [F_{x0}, F_{y0}, F_{z0}]^T = R \cdot F = \\ &= P_1 \cdot [\sin \varphi \sin \psi + \cos \varphi \cos \psi \sin \vartheta, \cos \varphi \sin \psi \sin \vartheta - \cos \psi \sin \varphi, \cos \varphi \cos \vartheta] \end{aligned} \quad (3.2)$$

где матрица перехода:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \vartheta & \cos \psi \sin \varphi \sin \vartheta - \cos \varphi \sin \psi & \sin \varphi \sin \psi + \cos \varphi \cos \psi \sin \vartheta \\ \cos \vartheta \sin \psi & \cos \varphi \cos \psi + \sin \varphi \sin \psi \sin \vartheta & \cos \varphi \sin \psi \sin \vartheta - \cos \psi \sin \varphi \\ -\sin \vartheta & \cos \vartheta \sin \varphi & \cos \varphi \cos \vartheta \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Сила сопротивления воздуха и сила тяжести:

$$\begin{cases} f_0 = [f_x, f_y, f_z]^T \\ G_0 = [0, 0, -mg]^T \end{cases} \quad (3.4)$$

Уравнения динамики движения центра масс в стартовой системе координат:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{x} = \frac{P_1(\sin \varphi \sin \psi + \cos \varphi \cos \psi \sin \vartheta) - f_x}{m} \\ \ddot{y} = \frac{P_1(\cos \varphi \sin \psi \sin \vartheta - \cos \psi \sin \varphi) - f_y}{m} \\ \ddot{z} = \frac{P_1 \cos \varphi \cos \vartheta - f_z - mg}{m} \end{array} \right. \quad (3.5)$$

С учетом симметричности квадрокоптера и принимая, что центр масс расположен в начале координат связанной системы, уравнения динамики углового движения в связанной системе координат [20] можно записать в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{p} = \frac{(I_{yy} - I_{zz})qr + P_2}{I_{xx}} \\ \dot{q} = \frac{(I_{zz} - I_{xx})pr + P_3}{I_{yy}} \\ \dot{r} = \frac{(I_{xx} - I_{yy})pq + P_4}{I_{zz}} \end{array} \right. \quad (3.6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_2 = M_{xq} + M_{xm} + M_{xp} \\ P_3 = M_{yq} + M_{ym} + M_{yp} \\ P_4 = M_{zq} \end{array} \right. \quad (3.7)$$

где $p = \omega_x, q = \omega_y, r = \omega_z$ – проекция вектора угловой скорости квадрокоптера; I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} – осевые моменты инерции квадрокоптера; M_{xq}, M_{yq}, M_{zq} – моменты, создаваемые винтами; M_{xm}, M_{ym} и M_{xp}, M_{yp} – гироскопические моменты двигателей и винтов. Для упрощения модели исключим инерционность винтов при изменении угловых скоростей их вращения. Тогда вышеприведенные моменты выразим в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{xq} = (F_2 - F_4) \cdot l = bl(\omega_2^2 - \omega_4^2) \\ M_{yq} = (F_3 - F_1) \cdot l = bl(\omega_3^2 - \omega_1^2) \\ M_{zq} = M_1 + M_3 - M_2 - M_4 = \sum M_i = d(\omega_1^2 + \omega_3^2 - \omega_2^2 - \omega_4^2) \\ d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_R \cdot S_i \cdot R_i^2 \end{array} \right. \quad (3.8)$$

$$\begin{cases} M_{xm} = I_m \cdot q \cdot (\omega_1 + \omega_3 - \omega_2 - \omega_4) \\ M_{ym} = I_m \cdot p \cdot (\omega_2 + \omega_4 - \omega_1 - \omega_3) \\ M_{xp} = I_p \cdot q \cdot (\omega_1 + \omega_3 - \omega_2 - \omega_4) \\ M_{yp} = I_p \cdot p \cdot (\omega_2 + \omega_4 - \omega_1 - \omega_3) \end{cases} \quad (3.9)$$

где l – расстояние от центра масс до оси винта квадрокоптера; I_m и I_p – моменты инерции ротора и винта; C_R – коэффициент аэродинамического сопротивления винта.

Изменения углов Эйлера определяются через проекции угловой скорости кинематическими уравнениями Эйлера:

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = p + \sin \varphi \cdot \tan \vartheta \cdot q + \cos \varphi \cdot \tan \vartheta \cdot r \\ \dot{\vartheta} = q \cdot \cos \varphi - r \cdot \sin \varphi \\ \dot{\psi} = \frac{q \cdot \sin \varphi + r \cdot \cos \varphi}{\cos \vartheta} \end{cases} \quad (3.10)$$

3.1.2 Математическая модель управления БПЛА

Задачу траекторного управления полетом квадрокоптера [20] можно рассмотреть, как последовательность задач перелета в очередную заданную точку маршрута или движения по заданным участкам типовых траекторий (например, по прямой или по дуге окружности). В этом случае система автоматического управления может быть построена как система с обратной связью, осуществляющая отслеживание заданного маршрута. При этом можно выделить канал управления высотой и канал управления движением в горизонтальной плоскости. Стабилизация и управление в вертикальном направлении обеспечивается изменением суммарной величины тяги. Горизонтальное перемещение аппарата происходит под действием горизонтальной проекции суммарного вектора тяги, отклоненного от вертикали. В рассматриваемом варианте отклонение вектора тяги происходит за счет изменения углов тангажа и крена при фиксированном положении угла рыскания. Изменение углового положения достигается путем дифференцированного управления скоростями вращения винтов, дающего соответствующие разли-

чия их сил тяги и моментов. Подсистему, обеспечивающую необходимые значения угловых параметров и высоты за счёт изменения тяги винтов, можно назвать системой ориентации и стабилизации, а подсистему, осуществляющую отслеживание заданных траекторий, – системой траекторного управления.

Расчет регуляторов для каждой из подсистем показан на примере одного из методов: «бэкстеппинг» – для алгоритма стабилизации углового положения; ПИД-регуляторы – для алгоритма отслеживания траекторий. Рассмотрим схему управления квадрокоптером (рисунок 3.2). В ней приняты следующие обозначения: 1 – заданная траектория (параметрами $x_d, y_d, z_d, \dot{x}_d, \dot{y}_d, \dot{z}_d, \ddot{x}_d, \ddot{y}_d, \ddot{z}_d$); 2 – корректирующее устройство (КУ) подсистемы траекторного управления; 3 – преобразователь координат; 4 – регулятор подсистемы ориентации и стабилизации; 5 – распределитель сигналов; 6 – ограничитель напряжения; 7 – модель винтомоторной группы; 8 – модель квадрокоптера.

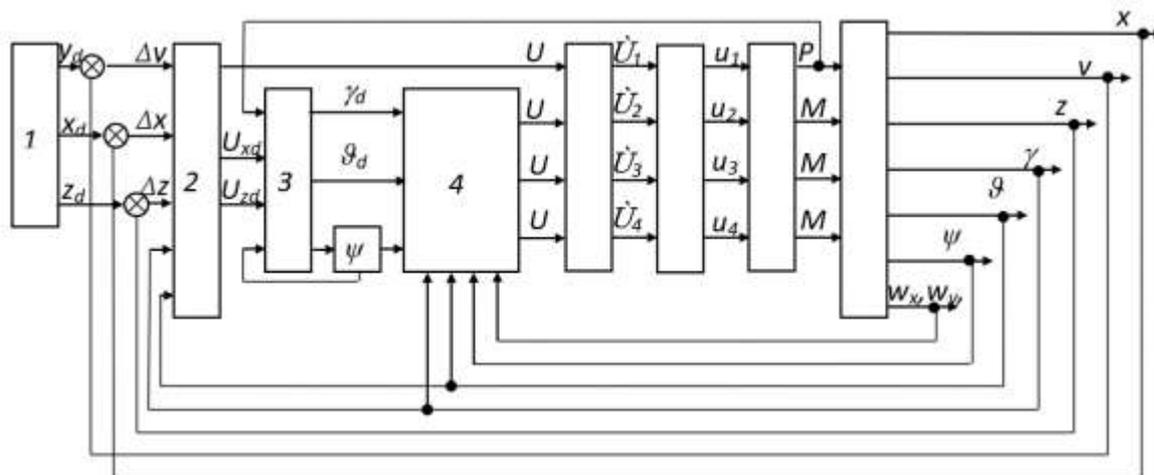


Рисунок 3.2 – Схема системы управления квадрокоптера

ПИД-регуляторы углового положения и высоты имеют вид:

$$\begin{cases} U_1 = \frac{m}{C_\vartheta C_\varphi} \left(K_{pz} (z_d - z) + K_{iz} \int (z_d - z) dt + K_{dz} (\dot{z}_d - \dot{z}) - g \right) \\ U_2 = K_{p\varphi} (\varphi_d - \varphi) + K_{i\varphi} \int (\varphi_d - \varphi) dt + K_{d\varphi} (\dot{\varphi}_d - \dot{\varphi}) \\ U_3 = K_{p\vartheta} (\vartheta_d - \vartheta) + K_{i\vartheta} \int (\vartheta_d - \vartheta) dt + K_{d\vartheta} (\dot{\vartheta}_d - \dot{\vartheta}) \\ U_4 = K_{p\psi} (\psi_d - \psi) + K_{i\psi} \int (\psi_d - \psi) dt + K_{d\psi} (\dot{\psi}_d - \dot{\psi}) \end{cases} \quad (3.11)$$

Проекции горизонтальной силы без учета сопротивления несущей части квадрокоптера согласно уравнениям динамики (3.5) и имеют вид:

$$\begin{cases} U_x = P_1 (\sin \varphi \sin \psi + \cos \varphi \cos \psi \sin \vartheta) \\ U_y = P_1 (\cos \varphi \sin \psi \sin \vartheta - \cos \psi \sin \varphi) \end{cases} \quad (3.12)$$

Тогда отсюда углы крена и тангажа, при которых создаются требуемые воздействия при известной тяге P_1 , будут:

$$\begin{cases} \varphi_d = \arcsin \frac{U_{xd} \sin \psi - U_{yd} \cos \psi}{P_1} \\ \vartheta_d = \arcsin \frac{U_{xd} \cos \psi + U_{yd} \sin \psi}{P_1} \end{cases} \quad (3.13)$$

Управляющие воздействия U_x и U_y , в свою очередь, можно получить как выходные сигналы ПИД-регулятора по отклонениям координат центра масс от требуемых:

$$\begin{cases} U_{xd} = K_{px} (x_d - x) + K_{ix} \int (x_d - x) dt + K_{dx} (\dot{x}_d - \dot{x}) \\ U_{yd} = K_{py} (y_d - y) + K_{iy} \int (y_d - y) dt + K_{dy} (\dot{y}_d - \dot{y}) \end{cases} \quad (3.14)$$

На схеме системы координат (рисунок 3.3) для момента времени k сделаны следующие обозначения:

$O_0x_0y_0z_0$ – стартовая неподвижная система координат;

$O_{v,k}x_{v,k}y_{v,k}z_{v,k}$ – связанная система координат БПЛА в момент времени k ;

$O_{w,k}x_{w,k}y_{w,k}z_{w,k}$ – система координат камеры в момент времени k ;

$O_{C1,k}x_{C1,k}y_{C1,k}z_{C1,k}$ – система координат камеры для первого кадра изображения в момент времени k ;

$O_{C2,k}x_{C2,k}y_{C2,k}z_{C2,k}$ – система координат камеры для второго кадра изображения в момент времени k .

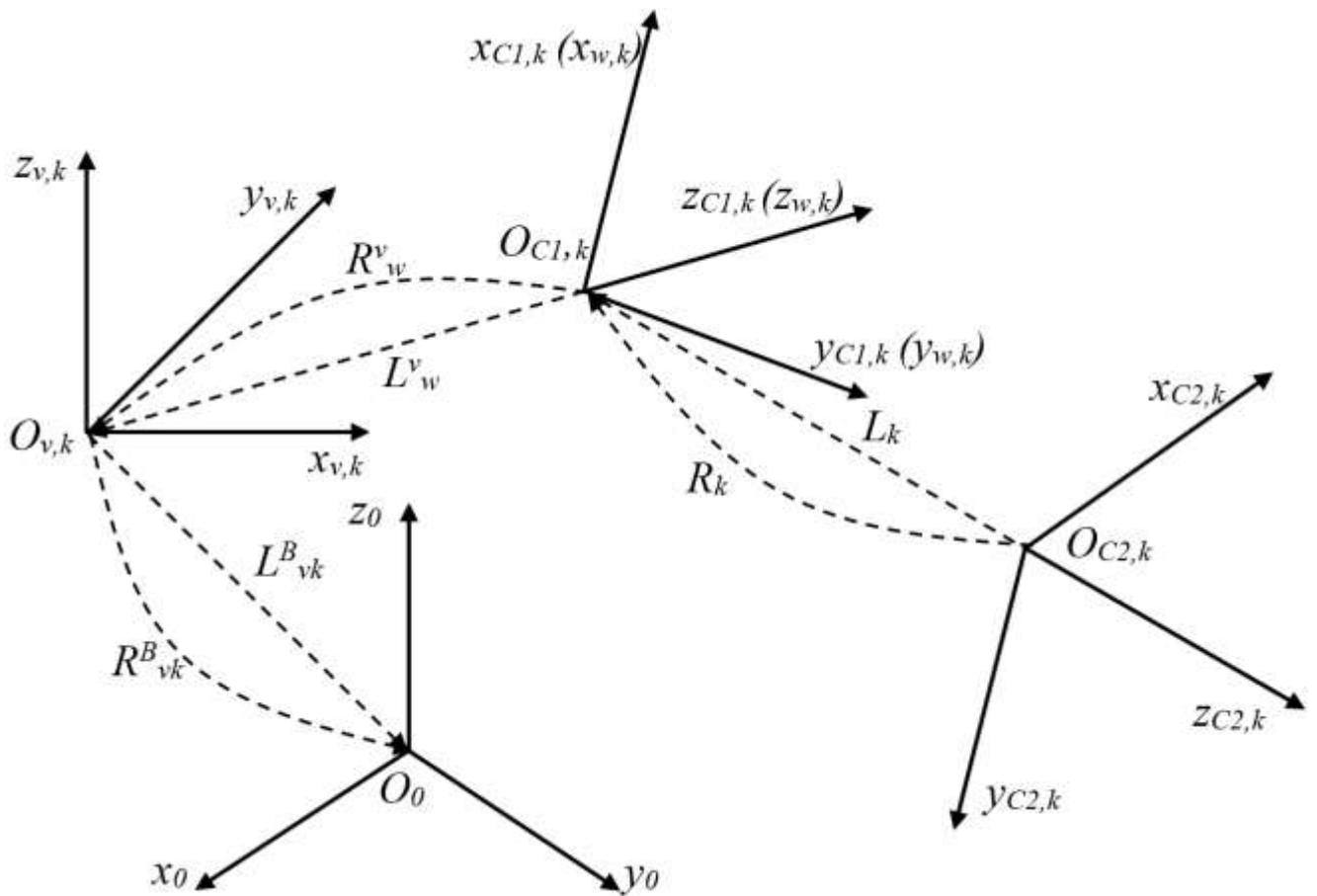


Рисунок 3.3 – Системы координат для момента времени k

3.1.3 Математическая модель локальной системы позиционирования

В контексте задачи автоматизации снятия замеров осадки судна, управление БПЛА осуществляется путем последовательного перевода дрона из одной точки пространства в другую. Для определения таких путевых точек необходимо задание некоей системы координат. Спутниковые системы навигации в данном случае неприменимы, поскольку их точность существенно зависит от района плавания, и в некоторых регионах ошибка измерений координат с помощью GPS или GLONASS может достигать сотен метров. Кроме того, в ряде регионов спутниковая навигация в принципе невозможно ввиду как политических, так и технических причин.

Учитывая эти факторы, создание локальной системы позиционирования (ЛСП) предпочтительно с точки зрения практики. При этом, ЛСП должна быть способна предоставить информацию о положении БПЛА в пространстве с точно-

стью, сопоставимой с размерами самого летательного аппарата. Технические аспекты реализации такой системы будут рассмотрены в разделе 4 данной работы, здесь же примем, что такие средства существуют.

В зависимости от размеров судна и технических характеристик приемопередатчиков, используемых для определения расстояния до БПЛА, разместим на судне n приемопередатчиков. Каждому приемопередатчику припишем координаты $t_i(x_i, y_i, z_i)$, где $i=1, 2, \dots, n$.

Так, положение БПЛА в пространстве можно определить путем решения системы, состоящей из уравнений сфер дальности (3.15).

$$\begin{cases} (x(t) - x_1)^2 + (y(t) - y_1)^2 + (z(t) - z_1)^2 = R_1^2(t) \\ \dots \\ (x(t) - x_i)^2 + (y(t) - y_i)^2 + (z(t) - z_i)^2 = R_i^2(t) \end{cases}, \quad (3.15)$$

где $O_i(x_i, y_i, z_i), R_i(t)$ – координаты центров и радиусы сфер расстояний i -того приемопередатчика.

Обсервованное место дрона будет находиться в центре многогранника, образованного точками пересечения этих сфер (рисунок 3.4). Количество приемопередатчиков может отличаться в зависимости от размеров судна и его конструкции, а потому вид области пересечения также может меняться от измерения к измерению.

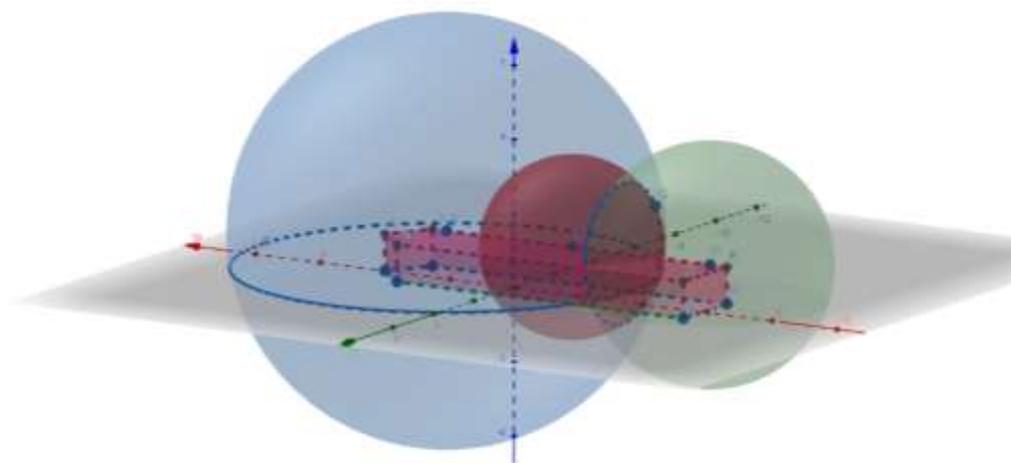


Рисунок 3.4 – Определение местоположения сфер по датчикам расстояния

Рассмотрим вариант с использованием информации о положении между приемопередатчиками. Пусть в произвольный момент времени мы получаем три дистанции r_1, r_2, r_3 от дрона d до приемопередатчиков t_1, t_2, t_3 (рисунок 3.5). Рассмотрим треугольник $\Delta t_1 t_2 d$. Поскольку данный треугольник может иметь любую ориентацию в пространстве, точка d находится на окружности с радиусом, равным высоте h_{12} , опущенной на $t_1 t_2$. Для ее определения используем формулу Герона:

$$h_{12} = \frac{2\sqrt{p(p-r_1)(p-r_2)(p-r_{12})}}{r_{12}}. \quad (3.16)$$

Аналогично, из треугольника $\Delta t_2 t_3 d$ точка d лежит на окружности радиусом h_{23} , равном:

$$h_{23} = \frac{2\sqrt{p(p-r_2)(p-r_3)(p-r_{23})}}{r_{23}} \quad (3.17)$$

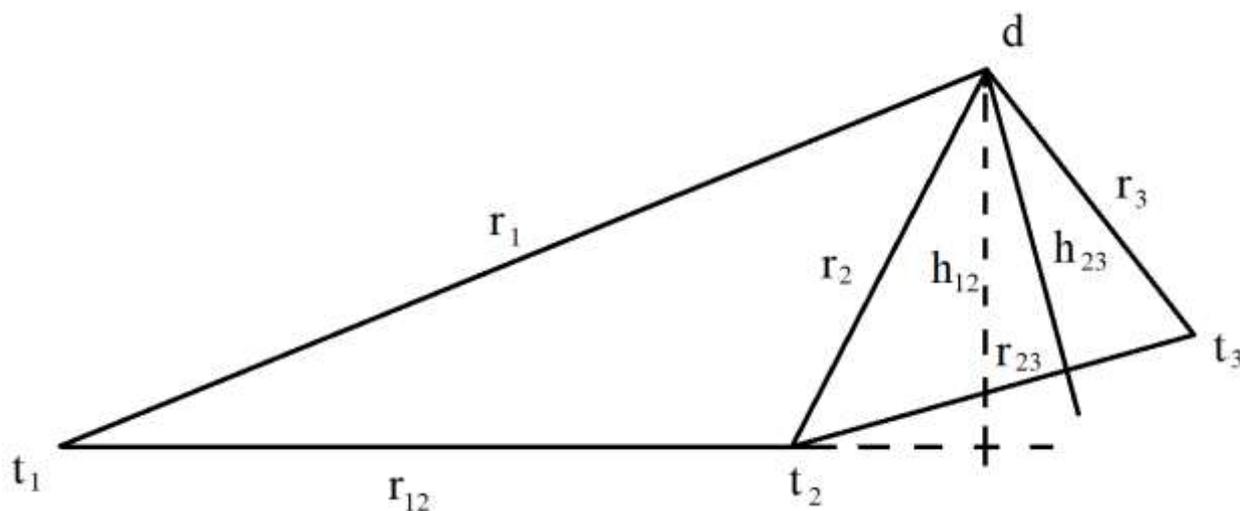


Рисунок 3.5 – Задача определения места дрона по трем дистанциям

Пересечение этих двух окружностей даёт две возможные точки положений. Выбор между ними производится за счет корректировки по визуальным маркерам. Также возможна ситуация, когда возникает неопределенность положения по

высоте. В этом случае рекомендуется использовать лазерный дальномер для грубой оценки высоты дрона и выбора одного из двух вариантов.

3.2 Математическая модель замеров осадки судна на базе модели нерегулярного волнения

Термин «осадка» – многозначительный. В широком смысле, в соответствии с ГОСТ Р 59145-2020, осадка – вертикальное расстояние от нижней кромки киля до ватерлинии в плоскости мидель-шпангоута (в дальнейшем будем называть её расчетной). В более узком смысле осадка определяется как ордината точки пересечения соответствующей марки углубления и водной поверхности (далее измеряемая осадка). Измеряемая осадка представляет собой случайный процесс, зависящий от формы нерегулярного волнения морской поверхности, а также параметров движения самого судна.

На практике отследить изменение реальной ватерлинии на всем корпусе судна практически невозможно, а потому прибегают к измерению осадки лишь в шести (как правило) позициях (бак, мидель, корма каждого борта), на основании значений которых вычисляется ватерлиния и производится расчет массы груза на судне по осадкам (драфт сюрвей). Значение осадки в ключевых точках также является процессом случайным, и поскольку мы не можем производить замеры осадки непрерывно, то время в нашей задаче – дискретно. Вне зависимости от способа измерения осадки судна [30][60][61][118], будем считать, что на входе мы имеем цифровой сигнал, состоящий из замеров осадки за некоторый промежуток времени.

Если заменить действительную ватерлинию теоретической (некая усредненная плоскость), расчетную осадку можно считать величиной постоянной. Соответственно, значения измеряемых осадок также можно считать постоянными, а различного рода возмущения, возникающие под влиянием окружающей среды рассматривать как шум. Учитывая этот факт, действительное значение измеряемой осадки можно представить как:

$$X(t_i) = Y^*(t_i) - \xi(t_i) \quad (3.18),$$

где $X(t_i)$ – значение измеряемой осадки в текущий момент времени, $Y^*(t_i)$ – замер, $\xi(t_i)$ – суммарное отклонение. $\xi(t_i) = \Theta(t_i) + \Psi(t_i) + \xi^*(t_i)$, $\Theta(t_i)$ – поправка на крен судна, $\Psi(t_i)$ – поправка на дифферент, $\xi^*(t_i)$ – центрированная функция нерегулярного морского волнения. При этом, в любой момент времени мы можем получить значения $\Theta(t_i)$ и $\Psi(t_i)$, по результатам измерений судовых инклинометров.

Для целей создания и апробации АСУ ТП ДС зачастую бывает удобно пользоваться математическими моделями изучаемых процессов. При этом, качку судна можно представить в виде периодических функций времени, а для описания морского волнения воспользоваться стандартным спектром 12й МКОБ (Пирсона-Мошковица):

$$S(\omega) = 7,06\pi \frac{D_r}{\bar{\omega}} \left(\frac{\omega_m}{\omega} \right)^5 \exp \left[-1,25 \left(\frac{\omega_m}{\omega} \right)^4 \right], \quad (3.19)$$

где $\bar{\omega} = 2\pi/\bar{T}$ – средняя частота волнения, $D_r = 0,0356h_{3\%}^2$ – дисперсия процесса, $\bar{T} \approx 3,1\sqrt{h_{3\%}}$ – средний период волнения, $\omega_m = 0,71\bar{\omega}$ – частота максимума спектра, $h_{3\%}$ – высота волны 3%-й обеспеченности (табличная величина по МТ-75).

На основании экспоненциального спектра, после нахождения его дробно-рациональной аппроксимации становится возможным синтезировать формирующий фильтр второго порядка:

$$x_n = a_1x_{n-1} + a_2x_{n-2} + b_0\varepsilon_n + b_1\varepsilon_{n-1}, \quad (3.20)$$

где x_n – аппликата волнения в момент времени Δtn , ε_n – порождающая последовательность независимых стандартных гауссовских величин; a_1 , a_2 , b_0 , b_1 – коэффициенты формирующего фильтра, рассчитанные по критериям близости спектра МКОБ (3.19) и спектра процесса с передаточной функцией заданного вида.

С помощью авторегрессионной модели и с учетом поправок на бортовую и килевую качку можно имитировать поведение аппликаты точки пересечения морской поверхности и марки углубления морского судна любой длительности. При-

мер ряда реализаций нерегулярного морского волнения представлен на рисунке 3.6.

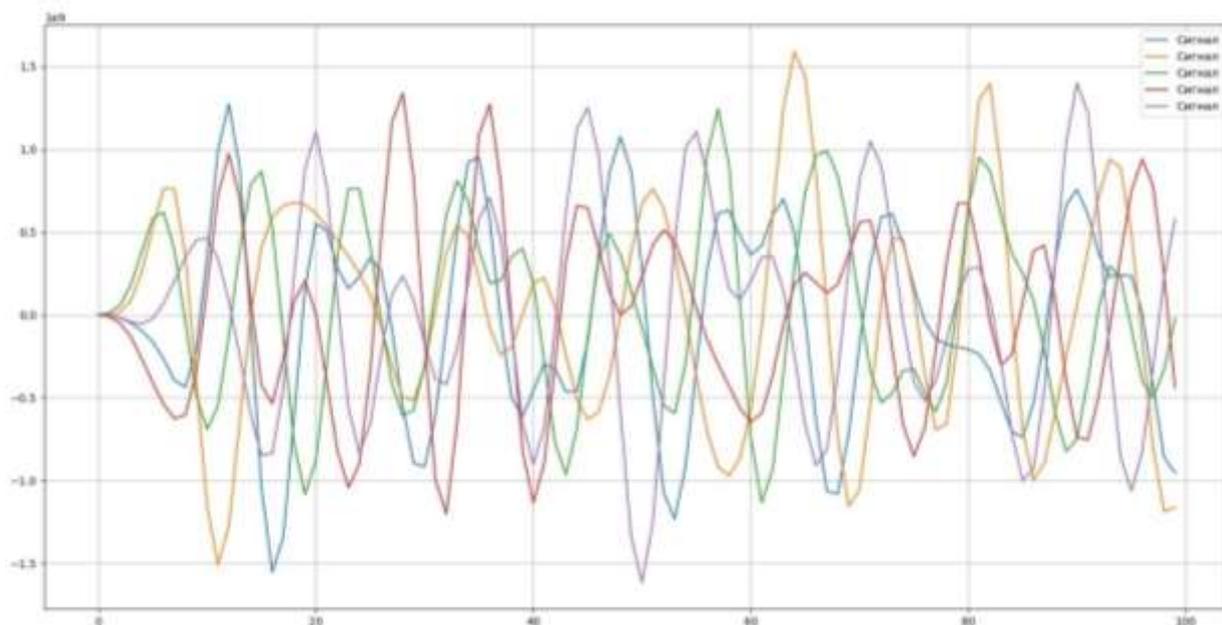


Рисунок 3.6 – Примеры реализаций нерегулярного морского волнения

3.3 Синтез линейного фильтра для обработки замеров осадки судна

Пусть $Y(t) = (Y_1(t), \dots, Y_m(t))$ – наблюдаемый случайный векторный процесс, при этом:

$$Y(t) = C(t)X(t) + T(t)\xi(t), \quad (3.21)$$

где $X(t) = (X_1(t), \dots, X_n(t))$ – векторный марковский стохастический процесс, удовлетворяющий разностному уравнению:

$$\Delta X = A(t)X + \Sigma(t)\xi(t), \quad X(t_0) = X_0, \quad (3.22)$$

т.к. время дискретно. Здесь $A(t)$, $C(t)$, $E(t)$, $T(t)$, $\Sigma(t)$ – матричные функции соответствующих размеров, $\xi(t) = (\xi_1(t), \dots, \xi_N(t))$ – векторный дискретный белый шум, X_0 – случайный вектор.

Для решения задачи линейной фильтрации найдем оценку случайного процесса с дискретным временем:

$$\hat{X}(t|t) = \hat{M}(X(t)|\mathcal{H}(Y(\tau), \tau = t_0, \dots, t)) = \hat{M}(X(t)|\mathcal{H}(W(t))),$$

при этом, когда случайные векторные величины $Y(t)$ и $X(t)$ удовлетворяют уравнениям (1) и (2), $W(t) = [Y(t_0), \dots, Y(t)]$. Для простоты примем $\Sigma(t)T^*(t) = 0$.

Предположим, что в некоторый момент времени ν ($t_0 \leq \nu \leq t$) известны оценка $\hat{X}(\nu|\nu)$ и дисперсионная матрица $K(\nu|\nu)$ ошибки $\varepsilon(\nu|\nu) = X(\nu) - \hat{X}(\nu|\nu)$. Если представить подпространство $\mathcal{H}(W(\nu+1))$ в виде ортогональной суммы, то станет возможным использование оценки $\hat{X}(\nu|\nu)$ в текущий момент времени при вычислении оценки $\hat{X}(\nu+1|\nu+1)$ на следующем шаге:

$$\mathcal{H}(W(\nu+1)) = \mathcal{H}(W(\nu)) \oplus \mathcal{H}(Y(\nu+1) - \hat{Y}(\nu+1|\nu)), \quad (3.23)$$

где $\hat{Y}(\nu+1|\nu) = \hat{M}(Y(\nu+1)|\mathcal{H}(W(\nu)))$.

Тогда проекцию $\hat{X}(\nu+1|\nu+1)$ можно определить, воспользовавшись формулой:

$$\begin{aligned} \hat{X}(\nu+1|\nu+1) &= \hat{M}(X(\nu+1)|\mathcal{H}(W(\nu+1))) = \hat{X}(\nu+1|\nu) + \\ &+ \hat{M}(X(\nu+1) - \hat{X}(\nu+1|\nu)|\mathcal{H}(Y(\nu+1) - \hat{Y}(\nu+1|\nu))) \end{aligned}, \quad (3.24)$$

где $\hat{X}(\nu+1|\nu) = \hat{M}(X(\nu+1|\nu)|\mathcal{H}(W(\nu)))$.

Оценки $\hat{X}(\nu+1|\nu)$, $\hat{Y}(\nu+1|\nu)$ и дисперсионные матрицы ошибок $\varepsilon(\nu+1|\nu) = X(\nu+1) - \hat{X}(\nu+1|\nu)$ и $\delta(\nu+1|\nu) = Y(\nu+1) - \hat{Y}(\nu+1|\nu)$ можно представить как:

$$\hat{X}(\nu+1|\nu) = L(\nu+1, \nu) \hat{X}(\nu|\nu), \quad (3.25)$$

$$\varepsilon(\nu+1|\nu) = L(\nu+1, \nu)(X(\nu) - \hat{X}(\nu|\nu)) + \Sigma(\nu)\xi(\nu), \quad (3.26)$$

где $L(\nu+1, \nu)$ – некий случайный вектор, ортогональный подпространству $\mathcal{H}(Y(t))$, а дисперсионная матрица ошибки $\varepsilon(\nu+1|\nu)$.

$$K(\nu+1|\nu) = L(\nu+1, \nu)K(\nu|\nu)L^*(\nu+1, \nu) + F(\nu).$$

Далее, в соответствии с (1):

$$Y(\nu+1) = C(\nu+1)X(\nu+1) + T(\nu+1)\xi(\nu+1).$$

Так как случайный вектор $T(\nu+1)\xi(\nu+1)$ перпендикулярен подпространству $\mathcal{H}(W(\nu))$, то:

$$\hat{Y}(\nu+1|\nu) = C(\nu+1)\hat{X}(\nu+1|\nu) \quad (3.27)$$

$$\delta(\nu+1|\nu) = C(\nu+1)\varepsilon(\nu+1|\nu) + T(\nu+1)\xi(\nu+1). \quad (3.28)$$

Опираясь на (7) и (8), найдем дисперсионные матрицы ошибок:

$$K^{XY}(\nu+1|\nu) = M\varepsilon(\nu+1|\nu)\delta^*(\nu+1|\nu) = K(\nu+1|\nu)C^*(\nu+1) \quad (3.29)$$

$$\begin{aligned} K^{YY}(\nu+1|\nu) &= M\delta(\nu+1|\nu)\delta^*(\nu+1|\nu) = \\ &= C(\nu+1)K(\nu+1|\nu)C^*(\nu+1) + N(\nu+1), \end{aligned} \quad (3.30)$$

где $N(\nu) = T(\nu)T^*(\nu)$.

Оценка $\hat{X}(\nu+1|\nu+1)$ и дисперсионная матрица $K(\nu+1|\nu+1)$ ошибки $\varepsilon(\nu+1|\nu+1)$. Зная, что:

$$\begin{aligned} \hat{M}\left(X(\nu+1) - \hat{X}(\nu+1|\nu) \middle| \mathcal{H}(Y(\nu+1) - \hat{Y}(\nu+1|\nu))\right) &= \\ = K^{XY}(\nu+1|\nu)(K^{YY}(\nu+1|\nu))^{-1}(Y(\nu+1) - \hat{Y}(\nu+1|\nu)), \end{aligned} \quad (3.31)$$

Получим:

$$\begin{aligned} \hat{X}(\nu+1|\nu+1) &= \hat{X}(\nu+1|\nu) + \\ &+ K^{XY}(\nu+1|\nu)(K^{YY}(\nu+1|\nu))^{-1}(Y(\nu+1) - \hat{Y}(\nu+1|\nu)), \end{aligned} \quad (3.32)$$

И следовательно:

$$\begin{aligned} \varepsilon(\nu+1|\nu+1) &= X(\nu+1) - \hat{X}(\nu+1|\nu) - \\ &- K^{XY}(\nu+1|\nu)(K^{YY}(\nu+1|\nu))^{-1}(Y(\nu+1) - \hat{Y}(\nu+1|\nu)). \end{aligned} \quad (3.33)$$

Из последнего получим:

$$\begin{aligned} K(\nu+1|\nu+1) &= K(\nu+1|\nu) - \\ &- K^{XY}(\nu+1|\nu)(K^{YY}(\nu+1|\nu))^{-1}K^{YX}(\nu+1|\nu). \end{aligned} \quad (3.34)$$

Выражения (3.25), (3.26), (3.28), (3.29), (3.30), (3.32), (3.33), (3.34) представляют собой рекуррентные формулы, позволяющие вычислять оценку $\hat{X}(\nu+1|\nu+1)$ и дисперсионную матрицу $K(\nu+1|\nu+1)$ через оценку $\hat{X}(\nu|\nu)$, поступившее измерение $Y(\nu+1)$ и дисперсионную матрицу $K(\nu|\nu)$. В приведенных формулах начальные условия для этих формул можно представить в виде:

$$X(t_0) = X_0, (MX_0 = m_0, MX_0 X_0^* = K_0)$$

при наблюдаемом случайном векторе $Y(t_0) = C(t_0)X(t_0) + T(t_0)\xi(t_0)$. Учитывая перпендикулярность векторов X_0 и $\xi(t_0)$, имеем:

$$\hat{X}(t_0|t_0) = m_0 + K_0^{XY} (K_0^{YY})^{-1} (Y(t_0) - C(t_0)m_0), \quad (3.35)$$

$$K(t_0|t_0) = K_0 - K_0^{XY} (K_0^{YY})^{-1} K_0^{YX}, \quad (3.36)$$

где $K_0^{XY} = K_0 C^*(t_0)$ и $K_0^{YY} = C(t_0)K_0 C^*(t_0) + N(t_0)$.

Так как вектор m_0 можно понимать как проекцию случайного вектора $X(t_0)$ на подпространство \mathcal{H}_0 , применив условные обозначения $m_0 = \hat{X}(t_0|t_0-1)$ и $K_0 = K(t_0|t_0-1)$ после ряда преобразований над перечисленными выше выражениями, получим следующий набор рекуррентных формул:

$$\hat{X}(\nu+1|\nu+1) = \hat{X}(\nu+1|\nu) + P(\nu+1)(Y(\nu+1) - \hat{Y}(\nu+1|\nu)), \quad (3.37)$$

$$K(\nu+1|\nu+1) = K(\nu+1|\nu) - P(\nu+1)C(\nu+1)K(\nu+1|\nu), \quad (3.38)$$

$$\hat{X}(t_0|t_0-1) = m_0, K(t_0|t_0-1) = K_0$$

$$P(\nu+1) = K(\nu+1|\nu)C^*(\nu+1)(C(\nu+1) \times \\ \times K(\nu+1|\nu)C^*(\nu+1) + N(\nu+1))^{-1}, \quad (3.39)$$

$$\hat{X}(\nu+1|\nu) = L(\nu+1, \nu)\hat{X}(\nu|\nu), \quad (3.40)$$

$$K(\nu+1|\nu) = L(\nu+1, \nu)K(\nu|\nu)L^*(\nu+1, \nu) + F(\nu). \quad (3.41)$$

При использовании рекуррентных формул (3.37)-(3.41) $t-t_0+1$ раз, в результате будут найдены оценка $\hat{X}(t|t)$ и дисперсионная матрица $K(t|t)$ ошибки

$X(t) - \hat{X}(t|t)$, т.е. решение задачи фильтрации случайного процесса $X(t)$, удовлетворяющего уравнению (3.22), при описании наблюдаемого процесса $Y(t)$ соотношением (3.31). В (3.41) $F(\nu) = \Sigma(\nu)\Sigma^*(\nu)$, а в (3.39) $N(\nu) = T(\nu)T^*(\nu)$.

Перейдем к синтезу оптимального линейного фильтра для вычисления значения осадки из массива измерений. Пусть $X(t_i)$ - значение осадки в текущий момент времени, $Y^*(t_i)$ - замер, $\xi(t_i)$ - суммарное отклонение (шум), которое представляет собой различного рода возмущения, возникающие под влиянием окружающей среды. Учитывая этот факт, искомую величину можно представить как:

$$X(t_i) = Y^*(t_i) - \xi(t_i) \quad (3.42)$$

На основании данного предположения можно синтезировать линейный фильтр (3.22), позволяющий выделить значение постоянной величины из массива замеров.

$$\hat{X}(t_i + 1) = \hat{X}(t_i) + P(t_i)(Y^*(t_i) - \hat{X}(t_i)), \quad (3.43)$$

где $\hat{X}(t_i)$, $\hat{X}(t_i + 1)$ - оценки значения осадки в текущий и следующий момент времени, $Y^*(t_i) - \hat{X}(t_i) = \tau$ - невязка, $P(t_i)$ - вес невязки.

$$P(t_i + 1) = K(t_i)(K(t_i) + \tau^2)^{-1}, \quad (3.44)$$

$$K(t_i + 1) = K(t_i) - P(t_i + 1)K(t_i), \quad (3.45)$$

где $K(t_i)$ - дисперсионная матрица ошибки.

3.4 Выводы по разделу 3

В разделе представлен комплекс математических моделей, описывающих ТП ДС, включающий ММ замеров осадки судна, ММ БПЛА для автоматизации проведения замеров, ММ ЛСП БПЛА, ММ расчетов ДС, а также описан способ

синтеза линейного фильтра для обработки замеров осадки. Основным назначением системы является минимизации ошибки измерения массы груза при проведении процедуры драфт сюрвей. Поскольку результат процедуры напрямую зависит от точности определения средней осадки судна, необходимо также минимизировать ошибки измерения эквивалентной осадки.

Замер осадки представлен в виде суммы функции нерегулярного морского волнения в окрестности марки углубления, а также функции качки судна. В реальности данные явления представляют собой случайные процессы с известными спектральными плотностями, а потому их синтез возможен путем применения формирующих фильтров к белому шуму. Имея модель замера, также можно синтезировать линейный оптимальный фильтр для обработки натурной информации.

Внедрение математической модели замера и линейного фильтра для его обработки в процесс драфт сюрвея является ключевым в повышении точности ДС. До настоящего момента при проведении ДС не учитывались ни влияние качки на замеры осадок, ни влияние волнения, а обработка замеров состояла в нахождении среднего значения между амплитудными точками волнения.

4 ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ДРАФТ СЮРВЕЙ

В данном разделе описаны технические аспекты реализации АСУ ТП ДС, включая программную реализацию алгоритмов, описанных в разделе 1, на базе математических моделей, представленных в разделе 3. Также, приведен краткий анализ существующего аппаратного обеспечения, необходимого для реализации той или иной подсистемы АСУ ТП ДС.

Программная реализация математических моделей, алгоритмов управления, имитационных моделей проводится преимущественно средствами языка Python. При написании графического интерфейса используется связка HTML + CSS + JavaScript, которая использует данные из Python посредством библиотеки eel.

4.1 Техническая реализация подсистемы снятия замеров осадок судна

В настоящее время замеры осадок судна проводятся с лодки или катера при непосредственном участии человека. Поскольку точность визуальных измерений не может быть оценена и потенциально влечет за собой большие потери груза, в предыдущих главах было показано, что для повышения точности определения следует использовать вспомогательные устройства, в частности цифровые камеры для записи видео с последующей их обработкой. При внедрении технологии на ранних этапах очевидно, что система должна тестироваться под контролем человека, а потому камера может быть взята на борт катера и запись видео марок углубления может проводиться параллельно с традиционными замерами.

Тем не менее, тотальная автоматизация производств, развитие беспилотных технологий и перспективы появления безэкипажных судов в ближайшие десятилетия подсказывают нам, что снятие замеров также должно проводиться без участия человека. Поскольку снятие замеров предполагает собой наведение камеры

на область пересечения марки углубления и водной поверхности, устройство должно обеспечивать такую возможность.

Очевидным решением может являться установка по бортам судна специальных штанг с телескопическим подъемником для регулировки длины в зависимости от высоты борта. Способ полностью выполняет поставленную задачу, однако установка таких устройств требует переоборудования палубы, с учетом защиты на случай штормования судна.

Штанга должна обеспечить вынос камеры на 3 метра от борта судна, что требует увеличения конструкции. Это может быть оправдано на судах с малым надводным бортом, однако на средне- и крупнотоннажном флоте, где надводный борт может достигать 15-20 метров, внедрение такой конструкции значительно усложняется. Кроме того, в некоторых случаях конструкция судна может не позволять такое переоборудование, так как марки углубления на миделе находятся прямо под лоцманским трапом, а на носу – вблизи якорных клюзов. Наиболее важным фактором оказывается высокая стоимость переоборудования, и многие судовладельцы попросту не пойдут на него, а значит от массового внедрения технологии придется отказаться.

Альтернативный способ предполагает использование БПЛА вертолетного типа. Он также способен обеспечить позиционирование камеры в нужной ориентации и на заданном расстоянии от борта судна без непосредственного участия человека. В последние годы идет активное развитие как алгоритмов управления БПЛА, так и систем позиционирования, однако внедрение таких систем на производство все еще представляет собой нетривиальную задачу, сопряженную со многими трудностями, которым посвящены дальнейшие подразделы и глава в целом.

4.1.1 Техническая реализация локальной системы позиционирования

На сегодняшний день позиционирование БПЛА осуществляется в рамках глобальных систем позиционирования, таких как ГЛОНАСС или GPS. Данные системы обеспечивают высокую точность позиционирования, однако обладают

целым рядом недостатков, которые делают нецелесообразным их использование применительно к задаче облета судна по заданной траектории.

Локальная система позиционирования (ЛСП) должна быть способна обеспечить высокую точность позиционирования в непосредственной близости от судна. Поскольку самое большое судно в мире (Prelude) имеет длину 488 метров, область позиционирования можно ограничить квадратом со стороной в 550 метров. Проанализировав существующие решения для высокоточных систем локальной навигации (UWB, MiWi, Wi-Fi, ZigBee, NanoLoc и др., см. таблицу 1) стало очевидно, что применительно к данной задаче могут подойти решения на базе NanoLoc при навигации в радиусе до 500 м, и UWB при подлетах к судну на расстоянии до 40 м для обеспечения более высокой точности навигации.

Таблица 4.1 – Сравнение существующих решений для построения ЛСП

	UWB	Wi-Fi	WiMax	MiWi	ZigBee	NFER	Nano-Loc	DECT	GSM
Стоимость оборудования	<i>средн.</i>	низк.	высок.	низк.	низк.	высок.	<i>средн.</i>	ниже средн.	высок.
Стоимость обслуживания	<i>выше среднего</i>	средн.	высок.	низк.	низк.	выше средн.	<i>ближе к низкой</i>	ниже средн.	высок.
Стоимость монтажа	<i>высок.</i>	средн.	высок.	низк.	низк.	выше средн.	<i>средн.</i>	ниже средн.	высок.
Зона охвата	<i>до 40 м.</i>	до 100 м.	до 5 км	до 300 м.	до 300 м.	до 70 м.	<i>до 900 м</i>	до 200 м.	десятки км.
Точность	<i>до 0.1 м</i>	до 5 м	до 50 м	до 3 м	до 2 м	до 1 м	<i>до 1 м</i>	до 5 м	до 50 м
Диапазон рабочих частот	<i>3-10 ГГц</i>	2.4, 5 ГГц	2-66 ГГц	2.4 ГГц	868 МГц, 915 МГц, 2.4 ГГц, 6 ГГц	До 30 МГц	<i>2.4 ГГц</i>	1900 МГц	800 МГц, 900 МГц, 1850-3800 МГц, 2.6 ГГц
Пропускная способность	<i>До 480 Мбит/с</i>	802.11a с: до 6.77 Гбит/с	До 1 Гбит/с	До 250 Кбит/с	До 250 Кбит/с	нет	<i>До 2 Мбит/с</i>	До 1152 Кбит/с	До 1 Гбит/с

Важным фактором при выборе способа реализации ЛСП является стоимость, однако и при ограниченном бюджете решение задачи вполне реально [91]. Задача позиционирования усложняется тем, что установка антенных модулей возможна только на судне, а полет необходимо выполнять за его пределами. Это уменьшает зону покрытия приемопередатчиками, а также приводит к появлению

более острых углов между пеленгами на них, что снижает точность позиционирования методом мультилатерации.

Также, даже при стоянке на якоре судно совершает циркуляцию вокруг якоря, а потому управление происходит подвижной системе координат. Еще одной сложностью является то, что производители данных систем представлены иностранными компаниями, а потому доступ к их продукции может быть ограничен, а разработка альтернативных систем отечественного производства актуальна с точки зрения импортозамещения.

4.1.2 Коррекция позиции БПЛА с помощью компьютерного зрения

Несмотря на большой выбор различных решений, точность как локальных, так и глобальных систем позиционирования всё еще достаточно низкая. При этом специфика эксплуатации БПЛА в морской среде накладывает ряд ограничений на применение таких решений. Удаленность от берега делает невозможным использование дифференциальных систем позиционирования, а большое количество металлических конструкций затрудняет использование радиопередатчиков.

Альтернативным решением для задачи позиционирования БПЛА может выступать использование цифровых камер, оснащенных системами искусственного интеллекта. В настоящее время наиболее популярными являются технологии типа SLAM [50] (Simultaneous Localization and Mapping, простейший пример – в роботах пылесосах) и навигация по фидуциарным маркерам [10](QR-, AR-коды,).

В частности, навигация по визуальным маркерам лишена ряда проблем SLAM. Примеры визуальных маркеров представлены на рисунке 4.1. В реальной системе предполагается наносить данные маркеры на доски или плакаты размером 1x1 метр с помощью светоотражающих пленок (для повышения надежности распознавания). Каждому маркеру при этом предписывается заранее известная позиция на судне в соответствии с судовой документацией, а также порядковый номер для однозначной идентификации места марки. Предполагается, что по такого рода маркерам БПЛА будет корректировать свое положение в контрольных точках.

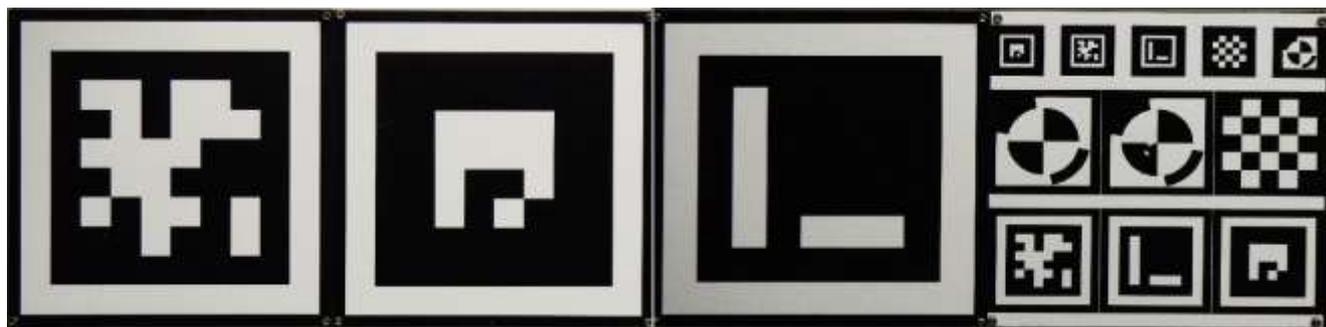


Рисунок 4.1 – Примеры фидуциарных маркеров

Такой подход уже активно используется для организации взлета и посадки БПЛА на подвижные платформы (рисунок 4.2), однако ничто не мешает использовать его и при навигации. Помимо полета над судном, цифровая камера с искусственным интеллектом должна быть способна обнаружить и марку углубления вдоль борта. Это позволит задать верную ориентацию БПЛА, задать начало и конец процесса замеров осадки. Также, контроля положения БПЛА относительно препятствий возможно оснащение дрона лазерными или ультразвуковыми дальномерами.

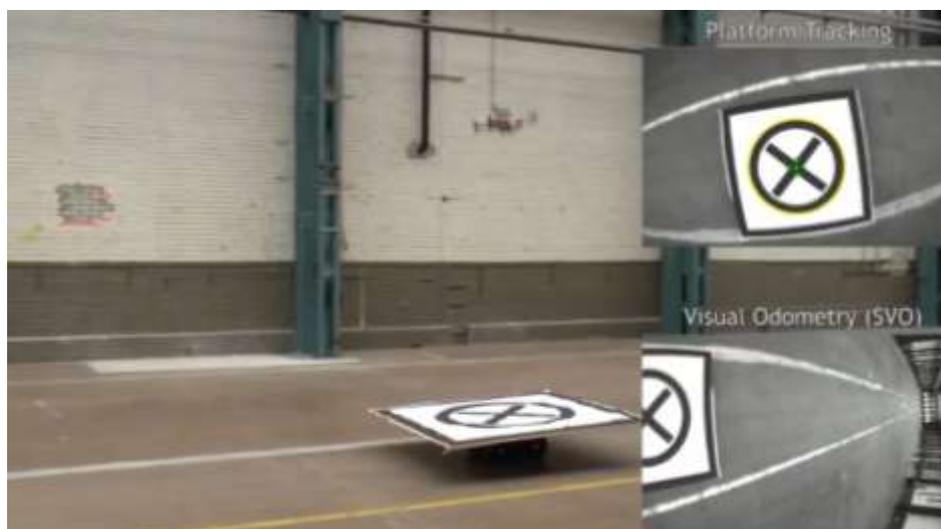


Рисунок 4.2 – Посадка дрона на платформу при управлении по визуальным маркерам с помощью алгоритмов технического зрения

4.2 Блок получения замеров осадки судна по видеоизображениям марок углубления с использованием технологий глубокого обучения

4.2.1 Детекция цифр марок углубления

Задача поиска цифр марки углубления на кадре сводится к задаче обнаружения объекта на изображении. Поскольку из практических соображений было принято решение отказаться от алгоритмов компьютерного зрения, в качестве инструментария для данной задачи было принято использовать сверточные нейронные сети (СНС). При выборе архитектуры СНС мы руководствовались результатами Международной конференции по анализу и распознаванию документов (ICDAR Competition on Robust Reading) 2015 [105], а также публикациями из списка [29].

По результатам оценки эффективности различных нейронных сетей в других задачах обнаружения объектов на изображении, было решено использовать нейронные сети архитектуры YOLO, в частности YOLO v5. К неоспоримым достоинствам этой СНС можно отнести скорость ее работы (до 60 кадров в секунду), небольшой размер (до 250 МБ), а также низкие требования к вычислительной мощности.

Для обучения выбранной СНС была собрана база данных из 32 видео марок углубления с судов, находящихся на рейде Керченского пролива, а также балкеров некоторых международных компаний. Нейронная сеть была обучена распознавать 11 классов, включающих десять цифр и букву «М». Для этого было размечено 1200 изображений, на которых размещено 9210 аннотаций. Для разметки изображений использовался сервис Roboflow. Для аугментации данных применено три типа аффинных преобразований (сдвиг, растяжение, вращение), а также зашумление изображений, в результате чего исходный набор был расширен до 6000 изображений.

На вход нейросети мы подаем изображение размером 640x360 пикселей. На выходе мы получаем список прямоугольных областей с координатами вершин, а также классы, которым эти области соответствуют. Для оценки работы СНС использовалась популярная метрика mAP (mean Average Precision), предельное зна-

чение которой в нашем случае составило 93.9%, что является хорошим результатом и подтверждает возможность использования такого подхода на практике.

Пример работы YOLO v5 представлен рисунке 4.3. СНС выделяет на кадре прямоугольные области, содержащие цифры марок углубления, а также вычисляет вероятность их принадлежности к тому или иному классу. Стандартный вид марок углубления позволяет дополнительно проверять полученные данные на выбросы и устранять их. Также это позволяет построить координатную шкалу на изображении, привязанную к марке углубления, вычислить её масштаб и предельную точность конкретного замера. Реализация YOLOv5 приведена в приложении Б.

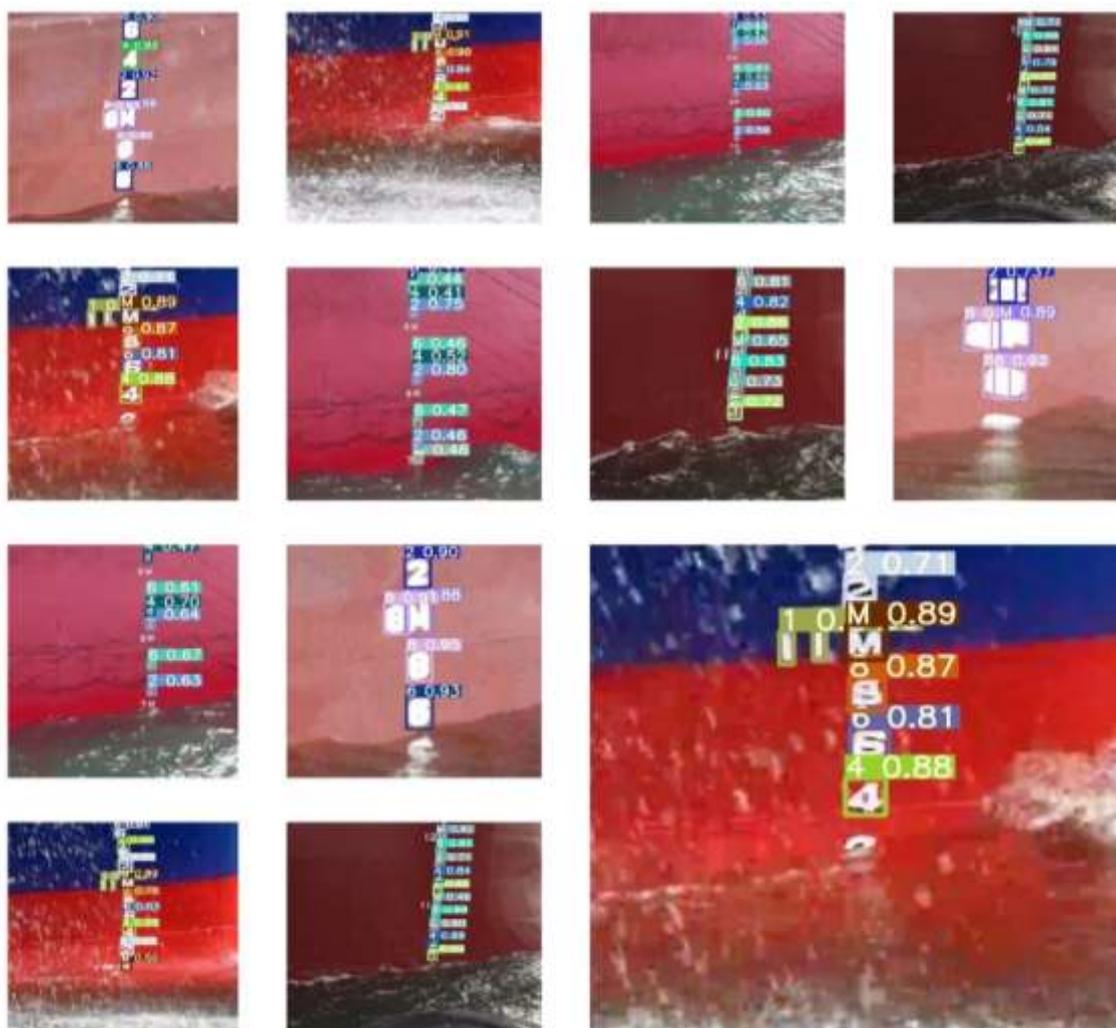


Рисунок 4.3 – Пример работы СНС YOLOv5

4.2.2 Сегментация водной поверхности

После построения координатной оси, на ней необходимо найти точку пересечения с ватерлинией. Координата этой точки и будет являться измеряемой осадкой в конкретный момент времени. По аналогии с обнаружением цифр, вместо выделения границ с помощью классических детекторов (Кенни, Собеля, Прюитта и др.), задача поиска ватерлинии эффективнее решается путем сегментации изображения на два класса («вода» и «не вода»).

Наиболее распространенными СНС для сегментации изображений на данный момент являются R-CNN, FCN, U-Net и ASPP. В нашем случае было решено использовать нейронную сеть типа U-Net, потому что она лучше всего подходит для разделения изображения на два класса. На вход СНС также подается изображение 640x360 пикселей, а на выходе мы получаем бинарное изображение-маску (рисунок 4.4). Ватерлиния при этом соответствует верхней границе пикселей, относящихся к классу «вода».

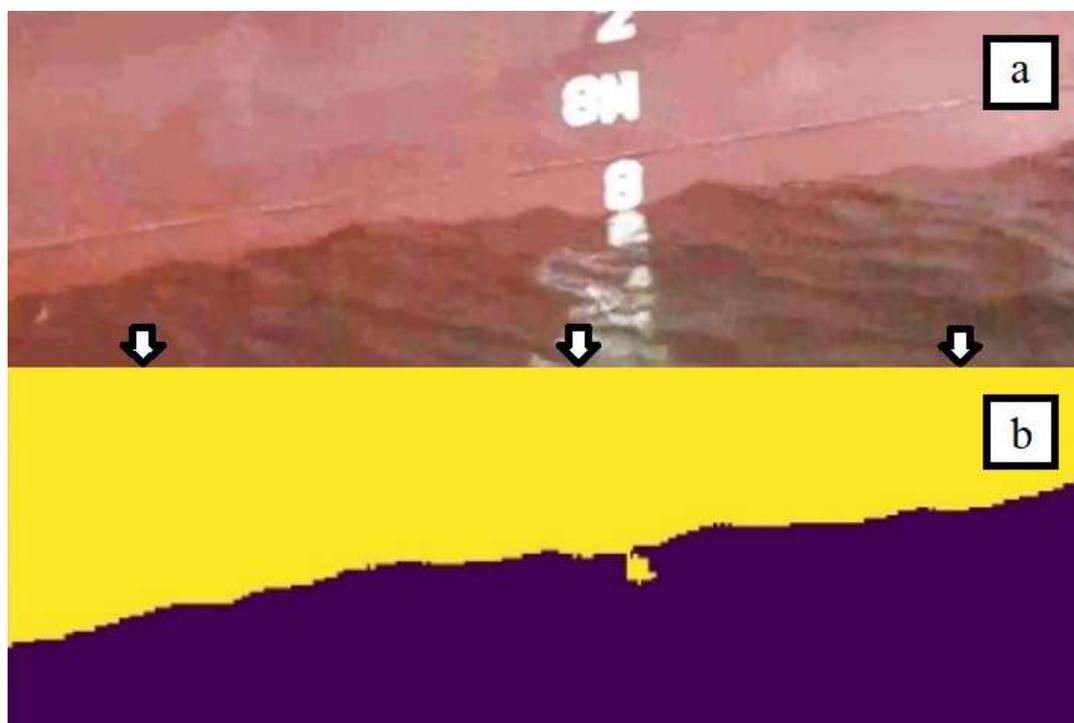


Рисунок 4.4 – Пример сегментации водной поверхности на изображении с использованием СНС U-Net

Реализация проводится средствами языка Python, а также библиотек машинного обучения TensorFlow и Keras. Перед непосредственно процессом обучения описан и реализован алгоритм аугментации данных на основании классических аффинных преобразований, а также с использованием технологий компьютерного моделирования в программе Blender.

Основная проблема, возникающая при использовании методов машинного обучения – отсутствие единой системы правил по выбору той или иной архитектуры, а также подбору параметров для обучения нейронных сетей. В данном исследовании для сегментации водной поверхности и поиска ватерлинии используется классическая нейронная сеть, которая обычно предназначена для поиска на изображении нескольких классов. В нашем случае необходимо выделить на изображении всего два класса: «водную поверхность» и «не водную поверхность», а потому использование более громоздкой модели может быть не лучшим решением. На входе мы имеем трехцветное изображение марки углубления, на выходе хотим получить однослойное изображение-маску, а потому нам всё так же необходимо наличие и энкодера и декодера в нейронной сети (рисунок 4.5).

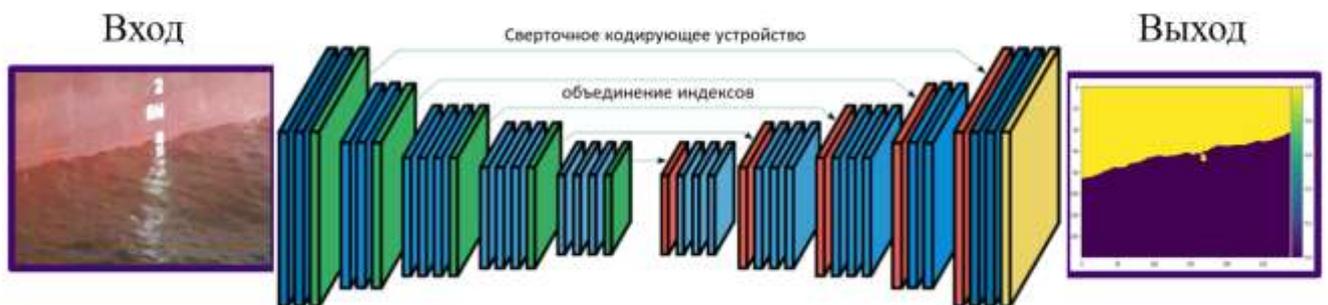


Рисунок 4.5 – Общий принцип работы нейронной сети

В то же время, мы хотим уменьшить количество слоев нейронной сети без потери точности сегментации. Для оценки точности используется коэффициент Дайса:

$$DSC = \frac{2|X \cap Y|}{|X| + |Y|}, \quad (4.1)$$

который показывает меру сходства изображений. X , Y – матрицы тренировочного изображения и изображения-маски, полученного на выходе нейронной сети. Помимо размеров моделей немаловажной является проблема затухающих градиентов в нейронных сетях, а потому предлагается ввести дополнительную передачу весов в пределах слоев нейронной сети. Архитектура предлагаемой нейронной сети показана на рисунке 4.6.

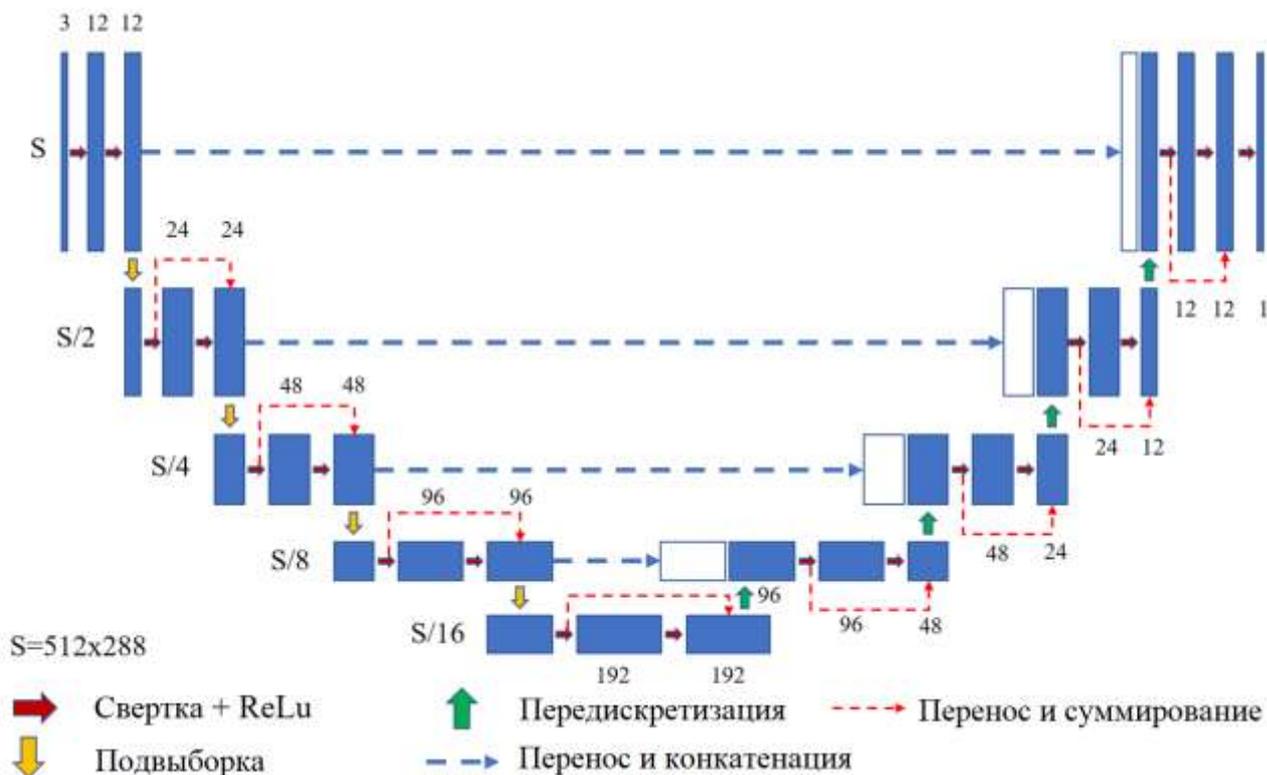


Рисунок 4.5 – Архитектура модифицированной нейронной сети U-Net

Точность такой модели в среднем на 4% выше стандартной U-Net архитектуры, а время обучения ниже на 12% при большем количестве эпох обучения. Также, в работе представлено сравнение точности работы данной модели с другими популярными моделями глубокого обучения. Программная реализация нейросети U-Net приведена в приложении Б.

4.2.3 Получение массива замеров осадок

После выделения цифр марки углубления на кадре, необходимо построить координатную прямую на изображении. Для этого вычисляем геометрические центры каждой из цифр. Их можно вычислить как среднее арифметическое по координатам всех пикселей соответствующего класса. Координатная прямая будет являться результатом аппроксимации полученных точек линейной функцией. Цифру 8 в данном случае исключаем из рассмотрения.

Заметим, что ввиду специфики цветопередачи камеры, высота цифр на изображении выше, чем высота отступов между цифрами. Тогда, масштаб изображения мы будем считать не по точкам пересечения полученной прямой и границ цифр, а по взаимному расположению цифр друг относительно друга, исключая из внимания объекты, пересекающие границу изображения, либо водную поверхность. В примере, представленном на рисунке 4.7, масштаб составляет 58 пикселей на 10 сантиметров. Предельная точность составит 1,7 миллиметра (высота одного пикселя).

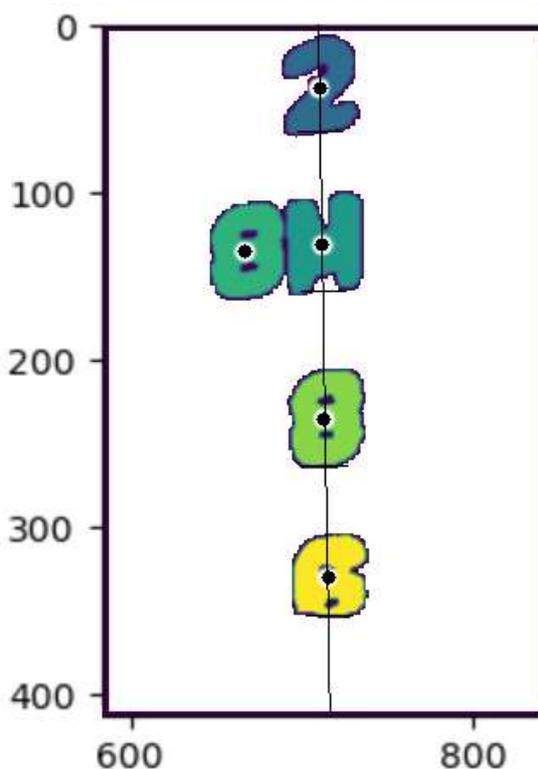


Рисунок 4.7 – Центры объектов и координатная прямая на изображении

Работа алгоритма определения осадки представлена на рисунке 4.8.



Рисунок 4.8 – Визуализация алгоритма определения осадки судна

Как было сказано ранее, измеренная осадка – это случайный процесс. Независимо от способа измерения осадки судна будем считать, что на входе имеется цифровой сигнал, состоящий из замеров осадки за определенный период времени. При отсутствии грузовых операций в короткий период времени масса судна и судовых запасов остается неизменной. Если заменить действительную ватерлинию теоретической (некая усредненная плоскость), расчетную осадку также можно считать величиной постоянной. Соответственно, значения измеряемых осадок также можно считать постоянными, а различного рода возмущения, возникающие под влиянием окружающей среды рассматривать как шум.

Важным моментом в обосновании применения методов линейной фильтрации является гипотеза об эргодичности и стационарности описываемого случайного процесса в короткий период времени (20-40 минут, сопоставимо со стандартным временем проведения драфт сюрвея), так как это позволяет дать оценку осадки судна всего по одной серии измерений.

4.2.4 Обработка массива измерений осадки с помощью линейного фильтра и внесение поправок по данным с судовых кренометров

Крен судна в значительной степени влияет на измерения осадки на марках углубления. Так, для среднетоннажного судна Universal Bangkok шириной 32 метра, крен в один градус на любой борт дает погрешность в 28 см в измерении осадки. При снятии замеров осадки с помощью цифровой камеры, замер представляет собой сумму значений нерегулярного морского волнения, теоретической осадки судна и поправки на крен. Поскольку зачастую судно подвержено качке, то в произвольный момент времени эта поправка может существенно исказить результаты измерений в ту или иную сторону.

В настоящее время существуют высокоточные судовые инклинометры, способные обеспечить точность измерений крена до $0,01^\circ$, что соответствует точности измерения влияния крена на осадку до 0,3 см. При внесении поправки, необходимо точно соблюдать синхронизацию замеров осадки и крена по времени. Для удобства, желательно, чтобы частота замеров с кренометра и частота кадров камеры совпадали. Пример внесения поправки на крен к натурной информации представлен на рисунке 4.9.

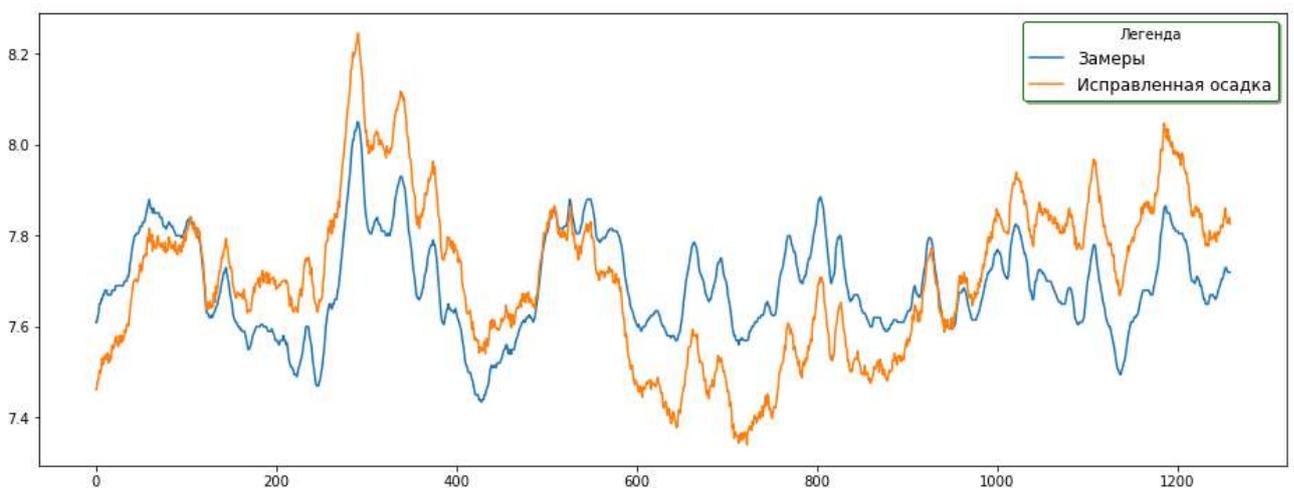


Рисунок 4.9 – Внесение поправки на крен к натурной информации

Пример результатов обработки серии замеров линейным фильтром представлен на рисунке 4.10. Следует отметить, что в качестве тестовых данных были наборы с амплитудой до 60 см, а расчетная погрешность составляет менее 1% от амплитуды волны, и ни один другой существующий метод не способен показать такую точность при столь сильном волнении.

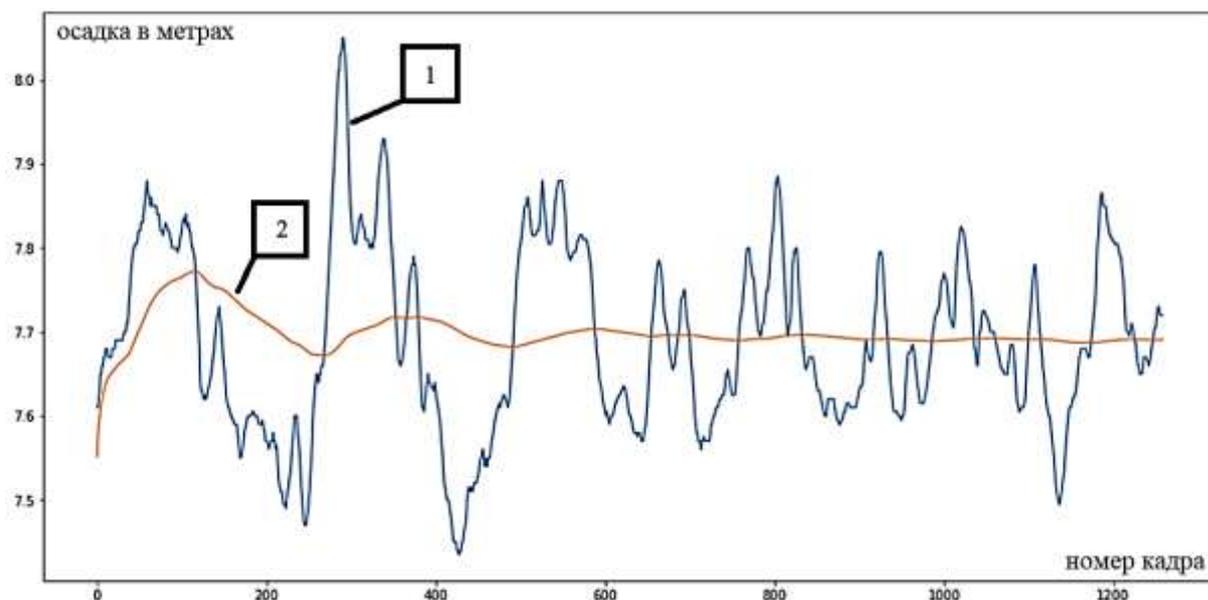


Рисунок 4.10 – Применение линейного фильтра к массиву измерений осадок на марке углубления:

1 – значения измеренных осадок, 2 – отфильтрованные значения

4.3 Разработка комплексной программно-реализованной имитационной модели технологического процесса драфт сюрвей для тестирования разрабатываемой автоматизированной системы управления

Для тестирования работоспособности алгоритмов и моделей, используемых в данной работе, разработана комплексная имитационная модель. Она представляет собой программно-реализованную 3D модель, включающую в себя упрощенную модель судна, модель нерегулярного волнения с соответствующими визуальными эффектами, а также модель управления БПЛА.

Необходимость разработки таких моделей вызвана сложностью и трудоемкостью обучения нейронных сетей. Так, для тренировки сверточной нейронной сети требуется ручная разметка тысяч изображений, что требует десятков и сотен часов работы человека. Для снижения времени разметки, а также для повышения устойчивости нейросети к различного рода преобразованиям, применяется метод расширения тренировочного набора данных путем их модификации – аугментация. Как правило, к таким модификациям относятся аффинные преобразования (поворот, перенос, отражение и т.д.).

Несмотря на то, что аугментация данных позволяет увеличить датасет в несколько раз, это не избавляет от необходимости ручной разметки данных в Photoshop, либо специализированных программах (например LabelMe или RoboFlow). Построение 3D модели в Blender или другом графическом редакторе дает возможность в автоматическом режиме генерировать практически бесконечное количество размеченных изображений. На базе визуализации морского волнения стало возможным тестировать алгоритмы сегментации водной поверхности и алгоритмы детекции цифр марок углубления в искусственно подготовленной среде, в которой известны все параметры – точное положение ватерлинии, расположение камеры, вид марок углубления, положение точки пересечения ватерлинии и марки углубления и т.д. Пример визуализации морской поверхности и модели судна в среде моделирования Blender показаны на рисунках 4.11 и 4.12.

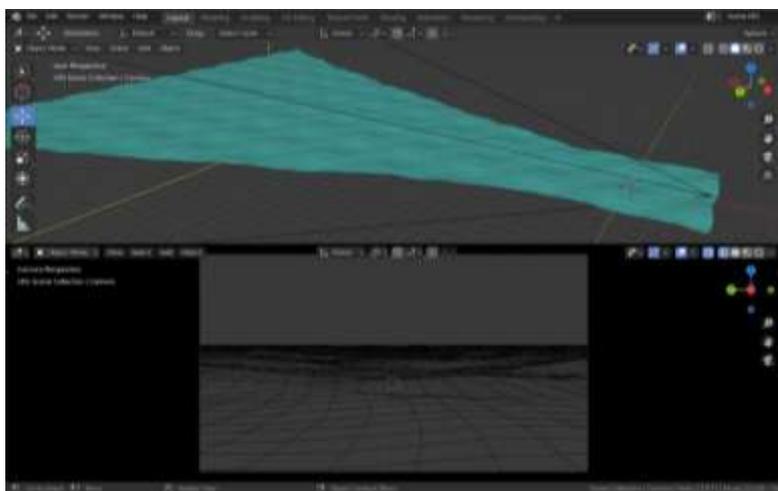


Рисунок 4.11 – Визуализация морского волнения



Рисунок 4.12 – Визуализация модели судна

Если моделирование водной поверхности и судна проводится для автоматизации разметки данных для тренировки нейронных сетей, то моделирование движения БПЛА необходимо для отработки алгоритмов и математических моделей, приведенных в разделах 2 и 3. Так, на рисунке 4.13 показана отработка полета БПЛА вокруг судна на имитационной модели, совместно с которой велась отработка алгоритмов и моделей, предложенных в данной работе. При моделировании данные о положении БПЛА были получены GPS, однако также возможна их замена на данные с локальной системы позиционирования, при реализации таковой и построении матриц перехода между двумя системами координат. На рисунке 4.14 приведен пример расположения путевых точек в имитационной модели для отработки облета судна. Данные путевые точки необходимы для коррекции местоположения по визуальным маркерам и снятия замеров осадки судна с помощью видеокамеры, если система распознавания образов, установленная на БПЛА, их обнаружит.

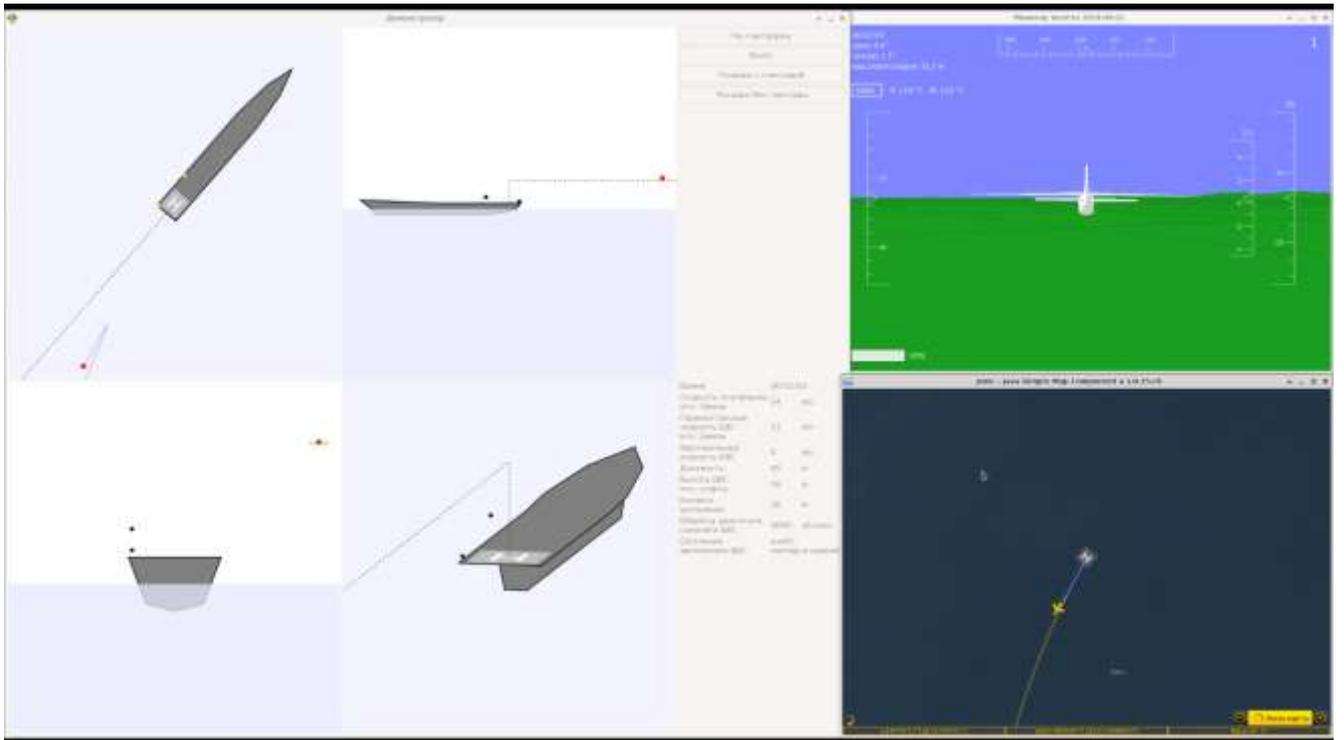


Рисунок 4.13 – Демонстрация отработки полета БПЛА вокруг судна



Рисунок 4.14 – Расположение путевых точек БПЛА при облете судна

4.4 Выводы по разделу 4

Разработано программное обеспечение для отработки и тестирования структурных элементов АСУ ТП ДС, включая программы обработки видеоизображений марок углубления на базе нейронных сетей и компьютерного зрения, программы обработки информации, программы расчета массы груза в соответствии с ТП ДС, программно-реализованные имитационные модели судна и морского волнения. В результате тестирования отдельных элементов предлагаемой системы, достигнута предельная точность определения массы груза на судне 0,09% при рекомендуемом значении 0,5% от дедвейта. Результат сопоставим с точностью взвешивания в 0,2%.

Для отработки математических моделей, описанных в разделе 3 и построения алгоритмов, описанных в разделе 2, использованы средства языка Python. Визуализация полета дрона, а также генерация искусственных данных для обучения нейронных сетей проведена с помощью среды Blender.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

– На основании анализа технологического процесса драфт сюрвей выявлено, что результаты определения массы груза значительно зависят от человеческого фактора, а использующиеся на практике вспомогательные измерительные средства не отвечают современным требованиям;

– разработана комплексная ММ ТП ДС, включающая ММ замеров осадки судна, ММ БПЛА для автоматизации проведения замеров, ММ ЛСП БПЛА, ММ расчетов ДС, а также описан способ синтеза линейного фильтра для обработки замеров осадки. Рассмотрение осадки судна с точки зрения теории случайных процессов позволяет строить реалистичную модель изменения состояния судна во времени;

– разработан комплекс алгоритмов для обеспечения работы АСУ ТП ДС, включая алгоритмы определения осадки судна на основании видеозаписей марок углубления с использованием технологий глубокого обучения, алгоритмы управления БПЛА в пределах ЛСП, алгоритмы управления АСУ ТП ДС. Предложенные алгоритмы определения осадки позволяют обеспечить предельную точность измерений на волнении 0,4 см, что минимум в 5 раз превосходит показатели известных методов;

– разработано программное обеспечение для отработки и тестирования структурных элементов АСУ ТП ДС, включая программы обработки видеоизображений марок углубления на базе нейронных сетей и компьютерного зрения, программы обработки информации, программы расчета массы груза в соответствии с ТП ДС, программно-реализованные имитационные модели судна и морского волнения. В результате тестирования отдельных элементов предлагаемой системы, достигнута предельная точность определения массы груза на судне 0,09% при рекомендуемом значении 0,5% от дедвейта. Результат сопоставим с точностью взвешивания в 0,2%;

– разработана АСУ ТП ДС, включающая в себя весь комплекс математических моделей, алгоритмов, программ и технических средств, необходимых для автоматизации процесса драфт сюрвей. В состав системы входит цифровая камера для снятия замеров осадки, датчики уровней жидкости, высокоточные судовые инклинометры, БПЛА и ЛСП. Разработанная система позволяет устранить влияние человеческого фактора на результаты измерений массы груза на судне, повысить безопасность судна и улучшить показатели экономической эффективности судна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амбросовский В. М. Система измерения осадки морских подвижных объектов / В. М. Амбросовский, Д. С. Васильев // Морской вестник. – 2016. – № 3(59). – С. 57-59.

2. Багаев С. М. Сегментация спутниковых снимков на основе сверточной нейронной сети u-net / С. М. Багаев, Е. В. Медведева // Цифровая обработка сигналов и её применение (ЦОС-2021) : Доклады 23-ей Международной конференции, Москва, 24–26 марта 2021 года. – Москва, 2021. – С. 218-222.

3. Баев А. С. Влияние осадки судов на структуру их энергетических установок / А. С. Баев // Судостроение. – 2018. – № 4(837). – С. 26-28.

4. Бекиров Э. А. Колебание поплавка энергоагрегата на поверхности волн / Э. А. Бекиров, Д. В. Каркач, Э. Р. Муртазаев // Строительство и техногенная безопасность. – 2021. – № 21(73). – С. 91-96.

5. Белоус В. А. Причины появления отрицательного значения константы при определении массы груза по осадкам судна / В. А. Белоус, Ф. А. Гаджиев // Дни науки: материалы межвузовской научно-технической конференции студентов и курсантов, Калининград, 12–25 октября 2020 года. – Калининград: Обособленное структурное подразделение «Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота» ФГБОУ ВО «КГТУ». – 2021. – С. 274-279.

6. Бимбереков П. А. Исследование точности определения значений по шкале осадок с применением фото и видеосъемки / П. А. Бимбереков, В. Д. Звонков // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – №1-2. – С. 169–173.

7. Богданов Д. В. Выбор и анализ структуры пользовательского радиointерфейса локальной системы позиционирования / Д. В. Богданов, Д. В. Гайворонский // Известия вузов России. Радиоэлектроника. – 2017. – № 1. – С. 49-55.

8. Бойков Д. Ю. Использование свёрточных нейронных сетей в задаче сегментации изображений / Д. Ю. Бойков, М. С. Каунг, Ю. С. Белов // *Colloquium-journal*. – 2019. – № 10-1(34). – С. 54-58.

9. Боков П. А. Экспериментальный анализ точности и производительности разновидностей архитектур YOLO для задач компьютерного зрения. / П.А. Боков, П.Д. Кравченя // *Программные продукты и системы / Software & Systems*. – 2020 – Т. 33. – № 4. – С. 635–640.

10. Бугрышев, Р. И. Оптимизация процесса обнаружения фидуциарных маркеров с помощью вычислений на GPU / Р. И. Бугрышев, А. Д. Григорьева // *StudNet*. – 2021. – Т. 4. – № 9. – С. 13.

11. Бусько И. В. Анализ влияния параметров системы и шума на восстановление спектральной плотности морского волнения / И. В. Бусько // *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. – 2018. – № 2. – С. 29-35.

12. Вайнштейн Л. А. Выделение сигналов на фоне случайных помех. / Л. А. Вайнштейн, В. Д. Зубаков. – М.: Советское радио, 1960. – 447 С.

13. Виноградов В. Н. Корреляционная теория фильтрации и управления многомерными случайными процессами: Линейная корреляционная теория фильтрации и управления / В.Н. Виноградов. – М.: КРАСАНД, 2012. – 320 С.

14. Виноградов В. Н. Анализ влияния случайных параметров судна на управляемость и безопасность / В. Н. Виноградов, Н. В. Ивановский, Д. А. Новоселов // *Вестник Волжской государственной академии водного транспорта*. – 2018. – № 55. – С. 169-181.

15. Власенко Е. А. Допустимая загрузка контейнеровоза / Е. А. Власенко // *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VI (22). – 2018. – № 186. – С. 87-96.

16. Гелиг А. Х. Введение в математическую теорию обучаемых распознающих систем и нейронных сетей: учеб. пособие. / А. Х. Гелиг, А. С. Матвеев. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2014. – 224 С.

17. ГОСТ Р 59145-2020 – «методы расчета веса груза по осадке судна». – ОКС 03.220.40. – Действует с 29.10.2020. – 22 С.

18. ГОСТ 24.104-85 – «Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования». – ОКСТУ 0024. – МКС 35.240 – Действует с 01.01.1987. – 12 С.

19. Гридин В. Н. Выбор начальных значений и оптимизация параметров нейронной сети / В. Н. Гридин, В. И. Солодовников, В. В. Карнаков // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2016. – №19. – С. 270-273.

20. Гэн К. Алгоритм наведения движения для квадрокоптера с возможностью облета препятствий и отслеживания запланированного маршрута на основе управления нормальным ускорением / К. Гэн, Н. А. Чулин // Проблемы современной науки и образования. – 2016. – № 31(73). – С. 6-28.

21. Денисенко А. А. Модификация архитектуры tiny-YOLO для задачи обнаружения объектов в реальном времени / А. А. Денисенко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2021. – № 4. – С. 53-57.

22. Дерябкина Е. С. Разработка алгоритма позиционирования БПЛА на основе визуального маркера / Е. С. Дерябкина, А. М. Зенкин, Е. А. Осинкин, Я. М. Селезнева // Сборник трудов IX Конгресса молодых ученых, Санкт-Петербург, 15–18 апреля 2020 года. – Университет ИТМО, Санкт-Петербург. – 2021. – С. 30-33.

23. Донцов С. В. Методика проведения драфт-сюрвея / С. В. Донцов. – Одесса.: Изд-во МУ ОНИА, 2014. – 34 С.

24. Ермаков С. В. Методика оценки координат центра тяжести «мертвого запаса» (константы) / С. В. Ермаков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2020. – Т. 12. – № 3. – С. 492-503.

25. Ермаков С. В. К вопросу определения погрешностей водоизмещения при снятии осадок методом драфт-сюрвея / С. В. Ермаков, И. В. Якута // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 4–3. – С. 103–108.

26. Ермаков С.В. Оценка расхождения масс принятого и сданного грузов при определении массы по осадкам (методом драфт-сюрвея) / С. В. Ермаков, И. В.

Якута // Труды Мурманского государственного технического университета. – 2016. – Т. 19. – № 4. – С. 822-829.

27. Ермолаев А.Н. Современные средства измерения плотности жидких дисперсных сред / А.Н. Ермолаев, О.В. Мельничук // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2017. – № 4. – С. 92-97.

28. Ефремов П. В. Обработка и анализ данных дрона для мониторинга линейных объектов, эксплуатирующихся на Севере / П. В. Ефремов, К. А. Попов, Т.А. Капитонова, Г. П. Стручкова, О. И. Слепцов // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 10-2. – С. 238-239.

29. Задача нахождения объектов на изображении [Электрон. ресурс]. – 2018. – URL: https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Задача_нахождения_объектов_на_изображении (дата обращения: 10.06.2021).

30. Заявка № RU 2013 140 354 А Российская Федерация, МПК В63В 39/12. Способ определения массы груза по осадке судна: № 2013140354/11; заявл. 02.09.2013; опубл. 10.03.2015 / В. М. Карюк, С. М. Придчин, О. Б. Котлов, М. Л. Климовицкий; заявители: Закрытое акционерное общество «Объединение БИ-НАР», М. Л. Климовицкий, В. М. Крюк. Бюл. № 7. – 1 С.

31. Зенкевич С. Л. Разработка математической модели и синтез алгоритма угловой стабилизации движения квадрокоптера / С. Л. Зенкевич, Н. К. Галустян // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2014. – № 3. – С. 27-32.

32. Зенкевич С. Л. Синтез и апробация алгоритма управления движением квадрокоптера по траектории / С. Л. Зенкевич, Н. К. Галустян // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2015. – Т. 16. – № 8. – С. 530-535.

33. Иванов Р. В. Влияние размеров и осадки судна на качество выполнения комплексных гидрографических изысканий / Р. В. Иванов, Д. А. Полубелов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2019. – Т. 11. – № 2. – С. 332-339.

34. Ивановский А.Н. Выделение марки углубления на изображении с использование алгоритмов компьютерного зрения. / А.Н. Ивановский, Н.Н. Марков-

кина, С.Г. Черный // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 1. – 2 (51). – С. 102–107.

35. Ивановский А. Н. Перспективы применения технологий компьютерного зрения в морской отрасли / А. Н. Ивановский, С. Г. Черный // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Техническое зрение и распознавание образов» : Сборник статей III научно-технической конференции, Анапа, 18 марта 2021 года. – Анапа: ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА», 2021. – С. 177-181.

36. Ивановский А. Н. Автоматизированная система определения загрузки судна / А. Н. Ивановский // Первая отраслевая научно-практическая конференция. «Производственные технологии в судостроении – вопросы информатизации» (ПТС ВИ-2021): Труды конференции, Санкт-Петербург, 21 апреля 2021 года / АО «Центр технологии судостроения и судоремонта». – НТФ «Судотехнология»; АО «ЦТСС»: Центр технологии судостроения и судоремонта, 2021. – С. 90-96.

37. Ивановский А. Н. Перспективы развития грузовых компьютерных систем на судах типа балкер / А. Н. Ивановский // Современные тенденции практической подготовки в морском образовании : Материалы II национальной научно-практической конференции, Керчь, 20–21 ноября 2020 года. – Керчь: ФГБОУ ВО «КГМТУ», 2020. – С. 17-23.

38. Ивановский А. Н. Улучшение точности измерения массы груза по осадкам с применением современных информационных технологий / А.Н. Ивановский // Образование, наука и молодежь – 2020. Сборник трудов по материалам II научно-практической конференции студентов и курсантов. – 2020. – С. 21-24.

39. Калман Р. Е. Новые результаты в теории линейной фильтрации и предсказания. Теоретические основы инженерных расчетов. / Р.Е. Калман, Р.С. Бьюси. – М.: Мир, 1961 – Серия Д. №1 – С. 95–108.

40. Касаткина А. С. Международные морские перевозки грузов: актуальные проблемы правового регулирования / А.С. Касаткина // Право. Журнал Высшей школы экономики. – 2016. – №2. – С. 171–185

41. Ким М. Л. Разработка системы автоматического управления маршрутным движением беспилотного летательного аппарата в шахтных условиях / М.Л. Ким, В.Н. Костеренко, Л.Д. Певзнер, А.А. Ярыгин // Уголь. – 2020. – № 10(1135). – С. 22-27.

42. Кирьяков М. А. Сравнительное исследование методов распознавания рукописного текста на основе гибридных нейронных сетей / М. А. Кирьяков // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2020. – Т. 1. – С. 307-309.

43. Коберниченко В. Г. Основы цифровой обработки сигналов: учеб. пособие / В. Г. Коберниченко // М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. Федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 150 С.

44. Кодекс единых стандартов и процедур расчёта веса угля по осадке судна // Европейская экономическая комиссия. Организация Объединенных Наций. – ECE/ENERGY/19. – 1992. – 152 С.

45. Константинов А. А. Использование YOLO для обнаружения объектов в видеозаписи на языке Python с помощью библиотеки opencv / А. А. Константинов // Modern Science. – 2019. – № 6-1. – С. 191-198.

46. Костин К. А. Модификация нейросетевой модели u-net для повышения эффективности сегментации изображений / К. А. Костин, С. А. Семенов // Перспективы развития фундаментальных наук : Сборник научных трудов XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 23–26 апреля 2019 года / Под редакцией И.А. Курзиной, Г.А. Вороновой. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2019. – С. 86-88.

47. Кочкаров А. А. Современная инженерия малых беспилотных летательных аппаратов и особенности их сетевого взаимодействия / А. А. Кочкаров // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности. – 2018. – № 1(1). – С. 113-121.

48. Красовский А. Н. Математическая модель полёта дрона-квадрокоптера и способ гарантированной посадки его в «гнездо» / А. Н. Красовский // Актуальные исследования. – 2021. – № 14(41). – С. 6-10.

49. Крашенинников В. Р. Имитатор волнового воздействия / В. Р. Крашенинников, А. Н. Васильев, А. А. Аникин, Е. А. Гладких // Вестник УлГТУ. – 2005. – №3 (31). – С. 57-61.

50. Кулаков К. О. Применение метода одновременной локализации и построения карты (SLAM) на судах с системой динамического позиционирования / К. О. Кулаков // Вестник государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. – 2016. – № 3(16). – С. 28-31.

51. Кушнир В. М. Воздействие нелинейных поверхностных волн на морской терминал пирамидальной формы / В. М. Кушнир, В. Р. Душко // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – № 9. – С. 52-58.

52. Лопухов С. А. Свёрточные нейронные сети класса YOLO в задачах распознавания объектов / С. А. Лопухов, И. А. Рубец, С. В. Богачев // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Техническое зрение и распознавание образов» : сборник статей II Всероссийской научно-технической конференции, Анапа, 22 октября 2020 года / Военный инновационный технополис «ЭРА». – Анапа: ФАОУ «Военный инновационный технополис «ЭРА», 2020. – С. 132-136.

53. Лохин В. М. Интеллектуальная система управления автономным беспилотным летательным аппаратом / В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов, И.Б. Гарцев, Д.В. Евстигнеев, К.С. Колядин // Известия ТРТУ. – 2006. – № 3(58). – С. 141-143.

54. Лысухо Г. В. Квадрокоптер: динамика и управление / Г. В. Лысухо, А. Л. Масленников // Политехнический молодежный журнал. – 2020. – № 5(46). – С. 1-14.

55. Максимов А. С. Применение технических методов для определения количества грузов по осадке судна / А. С. Максимов // Сборник научных трудов по

материалам международной научно-практической конференции. – 2006. – Т. 1. – № 1. – С. 9-12.

56. Маценко С. В. Грузовые операции на нефтяных танкерах: учебное пособие / С. В. Маценко, А. И. Кондратьев, Г. Г. Волков, В. Е. Борисов. – Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф.Ушакова, 2010. – 190 С.

57. Международная Конвенция о грузовой марке 1966 года, измененная протоколом 1988 года к ней (КГМ-66/88) (с изменениями на 1 января 2016 года). // Международная морская организация – Лондон. – 1966. – 125 С.

58. Мухамадиева К. Б. Обнаружение и распознавание неординарного текста из видеок кадров / К. Б. Мухамадиева // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2021. – № 1. – С. 45-57.

59. Патент № 2363611 Российская Федерация, МПК В 63 В 39/12. Способ аргументированного определения параметров отметок осадки судна / С. С. Зулкашев; заявитель и патентообладатель Зулкашев Самат Сарывич. – № 2363611. – заявл. 30.05.2007; опубл. 10.08.2009. – 4 С.

60. Патент № 2668003 Российская Федерация, МПК В 63 В 39/12. Устройство для измерения осадки плавучего средства на волнении / С. В. Алексеев, А. А. Поляшов, С. А. Кичко; заявитель и патентообладатель Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации. – № 2017137943; заявл. 31.10.2017; опубл. 25.09.2018, Бюл. № 27. – 13 С.

61. Патент № 2680944 С1 Российская Федерация, МПК В63В 39/12. Способ определения осадки судна: № 2018100528: заявл. 09.01.2018: опубл. 28.02.2019 / С. Ю. Дорошенко, Т. Ю. Дубинко, Е. О. Ольховик, Н. О. Тхоржевская; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова». Бюл. № 7. – 8 С.

62. Патент № 2714977 С1 Российская Федерация, МПК В64D 1/22, В64С 39/02, G01S 1/68. Способ и система автоматического управления дроном: № 2018137122: заявл. 22.10.2018: опубл. 21.02.2020 / В. И. Петров, М. В. Соколов-

ская; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения». – 41 С.

63. Патент № 2729495 С1 Российская Федерация, МПК В63В 39/12. Способ определения осадки и внешнего состояния корпуса судна: № 2019144385: заявл. 24.12.2019: опубл. 07.08.2020 / А. В. Кузьминых, Бюл. № 22. – 10 С.

64. Певзнер Л. Д. Теория автоматического управления. Задачи и решения: Учебное пособие. / Л. Д. Певзнер. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2016. – 604 С.

65. Письменный М. Н. Определение количества груза по осадкам судна / М.Н. Письменный. – Владивосток.: МГУ им. адм. ГИ Невельского. – 2006. – 45 С.

66. Попов М. И. Сегментация изображений с использованием нейронных сетей / М. И. Попов, А. С. Миронов // Информационные технологии XXI века: Сборник научных трудов / Отв. ред. В.В. Воронин. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2018. – С. 53-62.

67. Правила о грузовой марке морских судов // Российский морской регистр судоходства. РМРС. – Санкт-Петербург. – НД № 2-020101-128 – 2020. – 93 С.

68. Пролетарский А. В. Фильтр Калмана с линейным трендом в схеме коррекции навигационных систем летательных аппаратов / А. В. Пролетарский, К. А. Неусыпин, М. С. Селезнева, Ху Цяоцу, Чжан Лифэй // Авиакосмическое приборостроение. – 2019. – № 8. – С. 20-27.

69. Соколов С. С. Автоматизация определения осадки судна методами машинного обучения / С. С. Соколов, А. Н. Ивановский // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 7. – С. 67-72.

1. Соболев, А. С. Тестирование и отладка экспериментального образца фильтра преобразователя частоты для работы в судовых сетях ограниченной мощности / А. С. Соболев, А. А. Зинченко, В. В. Ениватов // Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. – 2022. – № 3(155). – С. 22-27. – DOI 10.52190/1729-6552_2022_3_22. – EDN UHPJJE.

2. Серебряков, М. Ю. Глубокое обучение с подкреплением в управлении манипуляционными роботами / М. Ю. Серебряков, С. В. Колесова, А. А. Зинченко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 9. – С. 265-268. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-9-265-268. – EDN APDBIP.

70. Скрыпников А. В. Использование нейронных сетей при распознавании рукописного текста / А. В. Скрыпников, В. В. Денисенко, И. И. Савченко, М. А. Зайцева // Моделирование энергоинформационных процессов : Сборник статей VIII национальной научно-практической конференции с международным участием, Воронеж, 24–26 декабря 2019 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2020. – С. 498-504.

71. Телегин А. И. Методика определения эффективности при внедрении приборов для точного измерения осадки судов / А. И. Телегин, А. О. Ничипорук, А. Г. Малышкин // Научные проблемы водного транспорта. – 2020. – № 65. – С. 157-164.

72. Телегин А. И. Опыт применения дистанционных осадкомеров на морских грузовых судах, технико-экономические и коммерческие требования их применения на речных грузовых судах / А. И. Телегин, В. Н. Шабров, А. О. Ничипорук // Научные проблемы водного транспорта. – 2013. – №35. – С. 312-316.

73. Тимченко Т. Н. Актуальные проблемы определения массы насыпных грузов методом «драфт-сюрвей» / Т. Н. Тимченко, М. В. Бухтенко // Научное обозрение. – 2017. – № 19. – С. 104-108.

74. Тимченко Т. Н. Современные проблемы обеспечения единства измерений количества насыпных грузов, перемещаемых морским транспортом через таможенную границу ЕАЭС / Т. Н. Тимченко, Ю. А. Арестова, А. С. Погарская, В. В. Тонконог, Е. В. Филатова, К. В. Конфино, Т. В. Головань, В. П. Гуменюк. – Санкт-Петербург: Издательство «Инфо-да». – 2018. – 200 С.

75. Товстик Т. М. Линейный обобщенный фильтр Калмана - Бьюси / Т. М. Товстик, П. Е. Товстик // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. – 2019. – Т. 6. – № 4. – С. 636-645.

76. Фахми Ш. С. Новый алгоритм обнаружения и выделения морских объектов от фона в системах наблюдения / Ш. С. Фахми, О. А. Королев, О. В. Бородин // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – № 3-1(57). – С. 256-264.

77. Фахми Ш. С. Исследование эффективности морской интеллектуальной видеосистемы обработки подводных изображений / Ш. С. Фахми, Н. В. Шаталова, Е. В. Костикова, О. В. Бородин // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – Т. 1. – № 1(55). – С. 133-140.

78. Федотов Д. В. Оптимизация структуры сверточной нейронной сети с помощью самоконфигурируемого эволюционного алгоритма в одной задаче идентификации / Д. В. Федотов, Е. А. Попов, В. А. Охорзин // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2015. – №4. – С. 857-862.

79. Фёрсман П. Интегрированная навигационная система на основе МЭМС для адаптивного управления полетом беспилотного аппарата / П. Фёрсман, К. Кашвих, Т. Крюгер, Ф. Шнеттер, К. С. Вилкенс // Гироскопия и навигация. – 2013. – № 1(80). – С. 3-18.

80. Филимонов В. Н. Расчет массы груза по осадкам / В. Н. Филимонов. – «ЛитРес: Самиздат». – 2019. – 150 С.

81. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. / С. Хайкин. – М.: Издательский дом «Вильямс». – 2006. – 1104 С.

82. Харинов М. В. Модель локализации объектов на цифровом изображении / М. В. Харинов // Вестник Бурятского государственного университета. – 2013. – № 9. – С. 182-189.

83. Хрящев В. В. Модификация архитектуры свёрточной нейронной сети U-Net в задаче сегментации мультиканальных спутниковых изображений / В. В. Хрящев, А. Л. Приоров, В. А. Павлов, Р. В. Ларионов // Цифровая обработка сигналов. – 2019. – № 3. – С. 39-45.

84. Худяков С. А. Влияние осадки судна на вибрацию малооборотных дизелей / С. А. Худяков // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. – 2017. – № 4. – С. 39-44.

85. Чаликов Д. В. Трехмерное численное моделирование морских волн / Д.В. Чаликов // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2020. – Т. 56. – № 3. – С. 360-372.

86. Чубич В. М. Исследование эффективности некоторых робастных фильтров для нестационарных линейных непрерывно-дискретных систем / В. М. Чубич, Е. В. Филиппова // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 12-1. – С. 153-161.

87. Шелковников Е. Ю. Применение нейронной сети архитектуры U-Net для сегментации СТМ-изображений / Е. Ю. Шелковников, К. А. Шляхтин, Т. Е. Шелковникова, С. Ф. Егоров // Химическая физика и мезоскопия. – 2019. – Т. 21. – № 2. – С. 330-336.

88. Шипунов И. С. IoT устройства как важный аспект современного морского транспорта / И. С. Шипунов, А. П. Нырков // Региональная информатика (РИ-2020): XVII Санкт-Петербургская международная конференция. Материалы конференции, Санкт-Петербург, 28–30 октября 2020 года. – Санкт-Петербург: Региональная общественная организация «Санкт-Петербургское Общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления», 2020. – С. 362-364.

89. Широков, И. Б. Система автоматизированной посадки БПЛА на движущуюся платформу на базе алгоритмов технического зрения / И. Б. Широков, Е. Г. Зинченко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 9. – С. 293-297. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-9-293-297. – EDN UXRMTS.

90. Широков, И. Б. Гомодинные системы. Обработка сигналов и позиционирование / И. Б. Широков. – Санкт-Петербург : Издательство «Наукоемкие технологии», 2021. – 169 С.

91. Ashraf S. A low-cost solution for unmanned aerial vehicle navigation in a global positioning system–denied environment / S. Ashraf, P. Aggarwal, P. Damacharla, Hong Wang, Ahmad Y Javaid, V. Devabhaktuni // International Journal of Distributed Sensor Networks. – 2018. – Т. 14. – №. 6. – P. 1-17.

92. Ayrapetov D. P. Analysis of Work of YOLO v.3 AND YOLO v.2 Neural Networks / D. P. Ayrapetov, B. Y. Buyanov // Proceedings of the International Conference Technology & Entrepreneurship in Digital Society (TEDS): Proceedings of the International Conference, Moscow, 07 ноября 2018 года. – Moscow: Издательский дом «Реальная экономика». – 2019. – P. 22-25.
93. Badrinarayanan V. SegNet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation / V. Badrinarayanan, A. Kendall, R. Cipolla // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach.Intell. – 2017. – Vol. 39. – №12. – P. 2481-2495.
94. Bochkovskiy A. Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection / A. Bochkovskiy, C. Y. Wang, H. Y. M. Liao // arXiv preprint arXiv:2004.10934. – 2020. – P. 1-17.
95. Chen L. C. DeepLab: Semantic Image Segmentation with Deep Convolutional Nets, Atrous Convolution, and Fully Connected CRFs / L.C. Chen, G. Papandreou, I. Kokkinos, K. Murphy, A. L. Yuille // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. – 2018. – Vol. 40. – № 4. – P. 834-848.
96. Emelianov, V. Application of artificial intelligence technologies in metallographic analysis for Quality Assessment in the shipbuilding industry / V. Emelianov, A. Zhilenkov, S. Chernyi, A. Zinchenko, E. Zinchenko // Heliyon, 2022, Vol.8(8). doi:10.1016/j.heliyon.2022.e10002
97. Emelianov, V. Information System for Diagnosing the Condition of the Complex Structures Based on Neural Networks / V. Emelianov, S. Chernyi, A. Zinchenko, N. Emelianova, E. Zinchenko, K. Chernobai // Energies, 2022; Vol.15(9):2977. <https://doi.org/10.3390/en15092977>
98. Final loading manual, Universal Bangkok. – Shanghai, Ref. No. 12-044531. – 2012. – 642 P.
99. Gu H. W. Digital Measurement System for Ship Draft Survey / H.W. Gu, W. Zhang, W.H. Xu // Applied Mechanics & Materials. – 2013. – P. 312–316.
100. Guangcheng Xu. Assessing Risk of Draft Survey by AHP Method / Guangcheng Xu, Kuimin Zhao, Zhaoying Zuo, Gang Liu, Binguo Jian, Yan Lin, Yukun Fan,

Fei Wang // *Advances in Materials, Machinery, Electronics II*. AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing. – 2018. – 5 P.

101. Guidance and Information on Dry Cargo Loading and Discharging to Reduce the Likelihood of Over-stressing the Hull Structure. – London: International Association of Classification Societies. – 2020. – 38 P.

102. Hui X. Vision-based autonomous navigation approach for unmanned aerial vehicle transmission-line inspection / X. Hui, J. Bian, X. Zhao, M. Tan // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2018. – T. 15. – № 1. – 15 P.

103. Iglovikov V. Ternausnet: U-net with vgg11 encoder pre-trained on imagenet for image segmentation / V. Iglovikov, A. Shvets // *arXiv preprint arXiv:1801.05746*. – 2018. – 5 P.

104. Ivče R. Determining weight of cargo onboard ship by means of optical fibre technology draft reading / R. Ivče, I. Jurdana, R. Mohović // *Promet-Traffic&Transportation*. – 2011. – T. 23. – № 6. – P. 421-429.

105. Karatzas D. ICDAR 2015 competition on robust reading / D. Karatzas // *2015 13th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*. – IEEE – 2015. – P. 1156-1160.

106. Kenneth Dawson-Howe, *A practical introduction to computer vision with OpenCV*. / Kenneth Dawson-Howe. – Willey, New-Dehli, 2014. – 235 P.

107. Kutsenko O. V. Unmanned aerial vehicle position determination in GNSS landing system / O. V. Kutsenko, S. I. Ilnytska, V. M. Kondratyuk, V. V. Konin // *2017 IEEE 4th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)*. – 2017. – P. 79-83.

108. Liu L. Deep learning for generic object detection: A survey / L. Liu, W. Ouyang, X. Wang, P. Fieguth, J. Chen, X. Liu, M. Pietikainen // *International journal of computer vision*. – 2020. – T. 128. – № 2. – P. 261-318.

109. Long J. Fully convolutional networks for semantic segmentation / J. Long, E. Shelhamer, T. Darrell // *2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. – 2015. – P. 3431-3440.

110. Lu L. Deep learning and convolutional neural networks for medical image computing / L. Lu, Y. Zheng, G. Carneiro, L. Yang // *Advances in computer vision and pattern recognition*. – 2017. – Т. 10. – P. 978.

111. Mellouli D. Morphological convolutional neural network architecture for digit recognition / Mellouli D., Hamdani T. M., Sanchez-Medina J. J. // *IEEE transactions on neural networks and learning systems*. – 2019. – № 30 (9). – P. 2876-2885.

112. Okamoto A. A draught reading method by image processing with the robustness of measurement distance / A. Okamoto, H. Yoshida, N. Tanaka, K. Hirono // *The Journal of Japan Institute of Navigation*. – 2014. – Т. 130. – P. 135-140.

113. Outay F. Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and highway infrastructure management: Recent advances and challenges / Outay F., Mengash H. A., Adnan M. // *Transportation research part A: policy and practice*. – 2020. – Т. 141. – P. 116-129.

114. Scene Text Localization & Recognition Resources [Электрон. ресурс] – 2018. – URL: <https://github.com/chongyangtao/Awesome-Scene-Text-Recognition> (дата обращения: 08.06.2021)

115. SGS/Van Bree, edited by SGS Geneva. Draft Survey manual. 2nd edition. – 1993. – 131 P.

116. Shen Y. Application of ranging technique of radar level meter for draft survey / Y. Shen, Bo Li, Penghao Wang // *Chinese Journal of Ship Research*. – 2017. – 6 P.

117. Shirokov I. B. Small-Sized Broadband Antenna for Unmanned Aerial Vehicles Positioning / I. B. Shirokov, P. A. Evdokimov, V. V. Golovin, Tyschuk Y.N., Shirokova E.I. // 2021 IEEE Indian Conference on Antennas and Propagation, InCAP 2021, Jaipur, Rajasthan, 13–16 декабря 2021 года. – Jaipur, Rajasthan, 2021. – P. 359-362.

118. Tsujii T. Automatic draft reading based on image processing / T. Tsujii, H. Yoshida, Y. Iiguni // *Optical Engineering*. – 2016. – №55(10). – P. 1-9.

119. Wang Z. A Ship Draft Line Detection Method Based on Image Processing and Deep Learning / Z. Wang, P. Shi, C. Wu // *Journal of Physics: Conference Series*. – IOP Publishing. – 2020. – Т. 1575. – № 1. – P. 1-6.

120. Wen H. A Study of YOLO Algorithm for Target Detection. / H. Wen, F. Dai, Y. Yuan // The 2021 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2021). – 2021. – P. 622-625.

121. Wu T. H. Real-Time Vehicle and Distance Detection Based on Improved Yolo v5 Network / T. H. Wu, T. W. Wang, Y. Q. Liu // 2021 3rd World Symposium on Artificial Intelligence (WSAI). – 2021. – P. 24-28.

122. Ran X. Draft line detection based on image processing for ship draft survey / X. Ran, C. Shi, J. Chen, S. Ying, K. Guan // Proceedings of the 2011 2nd International Congress on Computer Applications and Computational Science. – Springer, Berlin, Heidelberg. – 2012. – P. 39-44.

123. Zhang H. Context Encoding for Semantic Segmentation / H. Zhang, K. Dana, J. Shi, Z. Zhang, X. Wang, A. Tyagi, A. Agrawal // Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. – 2018. – P. 7151-7160.

124. Zhao Z. Q. Object detection with deep learning: A review / Z. Q. Zhao, P. Zheng, S. T. Xu, X. Wu // IEEE transactions on neural networks and learning systems. – 2019. – T. 30. – № 11. – P. 3212-3232.

125. Zou Z. Object detection in 20 years: A survey / Z. Zou, Z. Shi, Y. Gou, J. Ye // arXiv preprint arXiv:1905.05055. – 2019. – 39 P.