

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

Институт кибернетики

Направление подготовки: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Кафедра автоматизации и роботизации в машиностроении

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка стенда для испытания изделий на устойчивость к воздействию качки

УДК 62-822

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Порохин Александр Васильевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Иоппа А.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юдахина О.Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова М.И.	к.х.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Буханченко С.Е.	к.т.н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
по основной образовательной программе подготовки магистров по направлению 15.04.05
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль
подготовки «Конструирование технологического оборудования»
ИК ТПУ, кафедра АРМ, руководитель ООП Иоппа А.В.

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять <i>глубокие естественнонаучные и математические знания</i> для создания нового технологического оборудования и машин.	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК-2, 3). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современного машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных инженерных задач</i>	Требования ФГОС ВО (ПК-1-4). Критерий 5 АИОР (п.2.1, п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P3	Ставить и решать <i>инновационные задачи инженерного анализа</i> , связанные с созданием и обработкой новых изделий с использованием системного анализа и моделирования объектов машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-5-9). Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P4	<i>Разрабатывать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-15-17). Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P5	Проводить теоретические и модельные <i>исследования</i> в области машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК-16.) Критерий 5 АИОР (п.1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P6	Внедрять и обслуживать современные высокотехнологические линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ВО (ОК-2, ПК-9, ПК-11, 12,13,14). Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС ВО (ОПК -4, ПК-2, ПК-3, ПК-13, ПК-14, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОПК-3, ОПК-4, ПК-13, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации.	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п. 2.13), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> , компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i> .	Требования ФГОС ВО (ОК-2). Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P11	<i>Самостоятельно</i> учиться и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-3). Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

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

Институт кибернетики

Направление подготовки: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Кафедра автоматизации и роботизации в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Н431	Порохину Александру Васильевичу

Тема работы:

Разработка стенда для испытания изделий на устойчивость к воздействию качки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 04.02.2016 № 700/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Стенд имитации судовой качки. Режим работы периодический. Диапазоны углов: $\alpha_{ZX} = \pm 45^\circ, \alpha_{ZY} = \pm 15^\circ;$ Масса испытуемого объекта 1500 кг. Вредного влияния на окружающую среду нет.
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Данная тема исследована в науке. Задача работы заключается в анализе математической модели стенда с заданными параметрами работы. Определение частотных характеристик динамической системы.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Юдахина О.Б.
Социальная ответственность	Пустовойтова М.И.
Английский язык	Диденко А.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Иоппа А.В.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Порохин А.В.		

РЕФЕРАТ

Диссертация содержит 106 страниц, 23 рисунка, 19 таблиц, 22 источника.

Ключевые слова: бортовая качка, килевая качка, испытательный стенд, имитация качки, стенд имитации судовой качки.

Цель работы: анализ математической модели стенда имитации судовой качки, направленный на определение его частотных характеристик при заданных исходных данных.

Объектом исследования является математическая модель стенда имитации судовой качки с заданными параметрами, описанными в техническом задании.

Предметом исследования являются динамические процессы, возникающие в процессе работы стенда.

В результате проделанной работы была составлена математическая модель работы стенда имитации судовой качки, предназначенного для проведения испытаний в соответствии с требованиями ТУ на изделия морской техники. Задачей, которая была выполнена в ходе данного исследования, является определение его частотных характеристик, а также подбор значения коэффициента жесткости для испытаний конкретного изделия, позволяющего в дальнейшем настроить гидроаппаратуру таким образом, чтобы воспроизводимые стендом колебания были максимально приближены к заданному закону движения.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

Бортовая качка – вращательные колебания судна вокруг собственной продольной оси.

Килевая качка – вращательные колебания судна вокруг собственной поперечной оси.

Угловая скорость – векторная величина, характеризующая скорость вращения материальной точки вокруг центра вращения. Вектор угловой скорости по величине равен углу поворота точки вокруг центра вращения за единицу времени.

Угловое ускорение – величина, характеризующая интенсивность изменения модуля и направления угловой скорости при движении твердого тела.

Момент инерции – физическая величина, мера инертности во вращательном движении вокруг оси, подобно тому, как масса тела является мерой инертности в поступательном движении.

В данной работе приняты следующие обозначения основных переменных и постоянных величин:

g – ускорение свободного падения, м/с²;

Q – расход жидкости, м³/с;

φ – угловое перемещение, рад;

ω – угловая скорость, рад/с;

ε – угловое ускорение, рад/с²;

F – сила, Н

l – плечо, м;

T – период колебаний, с;

v – линейная скорость, м/с;

S – площадь поршня гидроцилиндра, м²;

D – диаметр поршня гидроцилиндра, м.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ.....	13
2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	16
3. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	19
4. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА.....	24
4.1. Принципиальная схема испытательного стенда.....	24
4.2. Описание конструкции и принципа действия изделия.....	25
4.3. Расчетная часть.....	25
4.3.1. Силовой расчет механизма имитации бортовой качки.....	25
4.3.2. Силовой расчет механизма имитации килевой качки.....	27
4.3.3. Гидравлическая схема стенда.....	28
4.3.4. Расчет элементов гидропривода.....	30
4.3.5. Объект исследования.....	33
4.3.6. Описание математической модели стенда.....	34
4.3.7. Исследование математической модели.....	37
5. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	39
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	47
6.1. Общие сведения о научно-техническом исследовании.....	47
6.2. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	48
6.2.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	48
6.2.2. Анализ конкурентных технических решений.....	49
6.2.3. SWOT – анализ.....	50
6.2.4. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	52
6.3. Планирование научно-исследовательских работ.....	53
6.3.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	53
6.3.2. Определение трудоемкости выполняемых работ.....	53
6.3.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	55
6.3.4. Бюджет научно-технического исследования.....	58
6.3.5. Расчет материальных затрат НТИ.....	59
6.3.6. Основная заработная плата исполнителей.....	61
6.3.7. Дополнительная заработная плата исполнителей.....	63
6.3.8. Отчисления во внебюджетные фонды.....	63
6.3.9. Контрагентные расходы.....	64
6.3.10. Накладные расходы.....	67
6.3.11. Формирование бюджета затрат научно-технического проекта.....	67
6.3.12. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	68
6.4. Заключение.....	71
7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	73

7.1.	Анализ установки с точки зрения безопасности.....	73
7.2.	Полезные факторы.....	75
7.3.	Организация рабочего пространства.....	75
7.4.	Микроклимат.....	76
7.5.	Освещение на рабочем месте.....	78
7.6.	Анализ пожаро-взрывобезопасности.....	81
7.7.	Охрана окружающей среды.....	84
7.7.1.	Защита атмосферы.....	85
7.7.2.	Защита от шума.....	85
7.7.3.	Защита от электромагнитных полей.....	86
8.	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	87
	СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ.....	89
	СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	90
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	92

1. ВВЕДЕНИЕ

Машиностроение, поставляющее новую технику всем отраслям народного хозяйства, определяет технический прогресс любой страны и оказывает значительное влияние на создание материальной базы общества. В связи с этим, его развитию всегда придавалось и придается первостепенное значение.

Как показывает практика, создание новых функциональных элементов, предназначенных для работы в тяжелых условиях, невозможно без большого объема экспериментальных работ. Преимуществом испытаний на стенде, имитирующего реальные условия работы изделия, дает возможность оценки реакции образца на определённый тип и величину нагрузки при прочих фиксированных параметрах, что позволяет выявить скрытые конструктивные недостатки. При данных испытаниях объекты подвергаются действию нагрузок, сопоставимых или превышающих нагрузки в реальных условиях. Целью подобных испытаний является выяснение реакции объекта на специфические условия работы. При этом создание испытательных установок может оказаться не менее сложной и трудоемкой задачей, чем создание нового изделия.

Функционирование любого устройства осложняется тем, что нередко реальный закон движения отличается от требуемого (теоретического). Это связано с неточностью изготовления компонентов изделия, неправильными режимами работы, а также действием внешних сил. Для того, чтобы компенсировать действия всевозможных негативных факторов, существуют системы автоматического регулирования, конечной целью которых является формирование таких законов, при которых выходные регулируемые переменные мало отличались бы от требуемых значений.

Теория автоматического регулирования прошла значительный путь своего развития. На начальном этапе были созданы методы анализа устойчивости, качества и точности регулирования непрерывных линейных

систем. Затем получили развитие методы анализа дискретных и дискретно-непрерывных систем.

Проектирование систем автоматического регулирования можно вести двумя путями: методом анализа, когда при заранее выбранной структуре системы определяют ее параметры и методом синтеза, когда по требованиям к системе сразу же выбирают наилучшую ее структуру и параметры. На этапе проектирования систем управления на основе принятых допущений составляют математическую модель системы и выбирают предварительную ее структуру. В зависимости от типа модели (линейная или нелинейная) выбирают метод расчета для определения параметров, обеспечивающих заданные показатели устойчивости, точности и качества. После этого уточняют математическую модель и с использованием средств математического моделирования определяют динамические процессы в системе. При действии различных входных сигналов снимают частотные характеристики и сравнивают с расчетными. Затем окончательно устанавливают запасы устойчивости системы по фазе и модулю и находят основные показатели качества. Далее, задавая на модель типовые управляющие воздействия, снимают характеристики точности. На основании математического моделирования составляют технические требования на аппаратуру системы. Из изготовленной аппаратуры собирают регулятор и передают его на полунатурное моделирование, при котором объект регулирования набирают в виде математической модели.

По полученным в результате полунатурного моделирования характеристикам принимают решение о пригодности работы регулятора с реальным объектом регулирования. Окончательный выбор параметров регулятора и его настройка выполняют в натурных условиях при опытной отработке системы регулирования.

Данная магистерская диссертация направлена на создание и исследование математической модели стенда имитации судовой качки, предназначенного для проведения испытаний в соответствии с требованиями технических условий на изделия морской техники. Задачей данной работы

является определение частотных характеристик испытательного стенда, а также подбор численных значений коэффициентов жесткости и вязкого трения для испытаний конкретного изделия, согласно исходным данным, описанных в техническом задании, позволяющих в дальнейшем настроить гидроаппаратуру таким образом, чтобы воспроизводимые стендом колебания были максимально схожими с заданным законом движения.

2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

На сегодняшний день на рынке промышленного оборудования и испытательных стендов можно найти большое количество стендов имитации судовой качки. Данное разнообразие определяется различиями в использовании разных типов приводов и кинематических схем, реализующих требуемый закон движения рабочего стола.

Известно устройство, описанное в патенте РФ №2554631, общий вид которого представлен на рисунке 1.

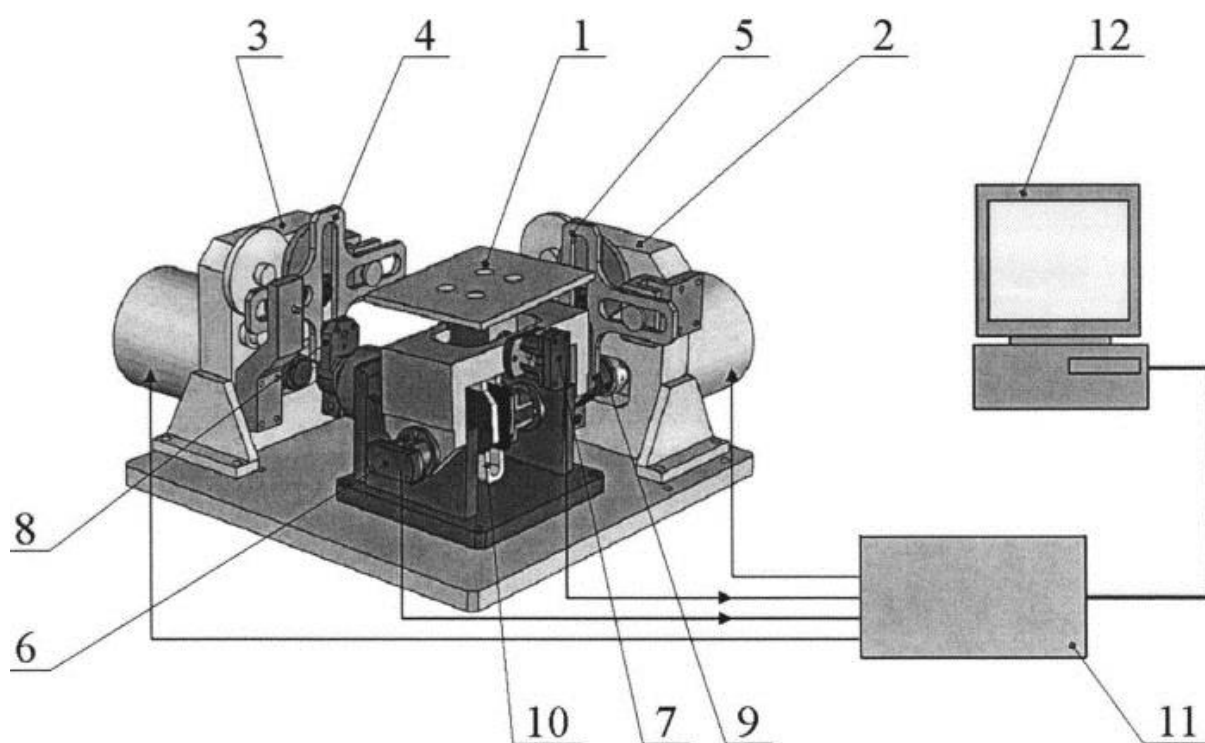


Рисунок 1– Общий вид конструкции стенда имитации судовой качки

1 – раскачивающаяся платформа для установки испытываемого прибора;
2, 3 – двигатели с редукторами по каждой из осей; 4, 5 – кривошипно-кулисные механизмы; 6, 7 – цифровые преобразователи угловых перемещений по каждой из осей; 8, 9 – преобразователи угловых перемещений валов двигателей; 10 – трехступенной подшипник качения; 11 – блок управления двигателями; 12 –

управляющий компьютер с установленным на нем программным обеспечением.

Предложенное изобретение используется для оценки динамических погрешностей микромеханических и других малогабаритных инерциальных систем. Заявленный стенд предназначен для выработки угловых колебаний в двух плоскостях, изменяющихся по гармоническому закону в расширенном частотном диапазоне, содержащий раскачивающуюся в двух плоскостях платформу, установленную на крестообразном подвесе, два двигателя с редукторами, кривошипно-кулисные механизмы, преобразующие вращательное движение двигателей в колебания платформы, и трехступенной подшипник качения.

К недостаткам данного прототипа относится наличие длинных кинематических цепей преобразования вращательного движения. В нашем случае, когда речь идет об испытуемых изделиях, имеющих большие массогабаритные показатели, применение данной принципиальной схемы повлечет за собой резкое увеличение габаритов стенда.

Также известно устройство, описанное в патенте РФ №348423, принципиальная схема которого представлена на рисунке 2.

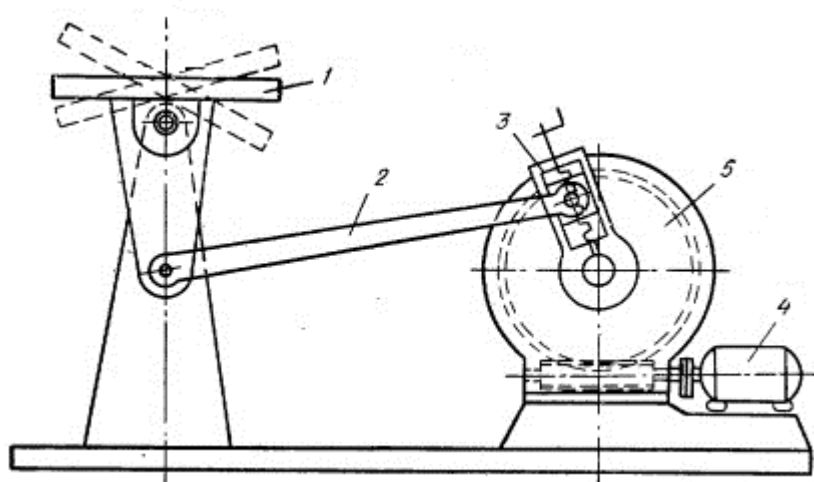


Рисунок 2 – Принципиальная схема стенда для испытания рулей

1 –рабочий стол; 2 – шатун;3 – кривошипный механизм, имеющий возможность регулировки;5 – червячный редуктор;6 – привод вращательного движения.

Предложенное изобретение используется для проведения испытаний рулей, например, активных успокоителей качки судна. Заявленный стенд предназначен для выработки угловых колебаний в одной плоскости, изменяющихся по гармоническому закону с возможностью изменения величины амплитуды, за счет регулируемого кривошипа.

Очевидным плюсом такой конструкции является его простота и надежность. Помимо наличия только одной колебательной составляющей качки, к недостаткам данного прототипа относится возможность воспроизведения лишь гармонических колебаний, а также изменение их амплитуды лишь в ручном режиме.

Описанные в данном разделе стенды представляют собой основные типы конструкций, промышленные образцы которых используются сегодня. Анализируя кинематику существующих прототипов, необходимо предложить принципиальную схему разрабатываемого стенда имитации судовой качки, параметры которой будут удовлетворять техническому заданию заказчика.

3. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на проектирование унифицированного приспособления для испытаний изделия
на устойчивость к воздействию качки и наклонов

3.1. Цели проводимой работы

Унифицированный стенд имитации судовой качки создается с целью проведения испытаний в соответствии с требованиями ТУ на изделия морской техники, выполненных в виде многоэтажных стоек.

3.2. Обоснование для разработки

Разработка испытательного стенда производится в соответствии с техническим заданием заказчика, в лице АО НПЦ «Полюс».

3.3. Основное содержание работы

- 3.3.1 Проектирование унифицированного испытательного стенда имитирующего процесс качки судна с заданными параметрами;
- 3.3.2. Создание математической модели проектируемого стенда и ее анализ с целью определения оптимальных параметров работы.

3.4 Источники разработки

- 3.4.1. результаты, полученные при выполнении научно-исследовательских работ;
- 3.4.2. исходные требования на проектирование испытательного стенда, разработанных с заказчиком;
- 3.4.3. патентно-информационные исследования.

3.5. Основные требования к установке

- 3.5.1. Состав установки и требования к их конструктивному исполнению

В состав проектируемого испытательного стенда должны входить следующие составные элементы:

- несущая рама;
- рабочий стол, входящий в состав механизма колебания в плоскости ZY;
- механизм колебания в плоскости ZX;
- система управления гидроприводом.

3.5.2. Компоновка

Испытательный стенд должен представлять собой сборную конструкцию, базирующуюся на сварной раме. На несущей раме должен устанавливаться рабочий стол, совершающий колебания в 2-х взаимно перпендикулярных плоскостях при помощи механизмов, приводимых в движение гидроцилиндрами. Конструкция стенда должна разрабатываться исходя из требования по минимизации вертикального габаритного размера. Для обеспечения безопасности должны быть предусмотрены упоры, исключающие возможность опрокидывания испытуемого изделия в случае возникновения аварийной ситуации.

3.5.3. Требования к конструкции и функциональному применению элементов

3.5.3.1. Несущая рама

Рама должна быть сварной, выполнена из стандартного проката и иметь возможность жесткого крепления на фундаментной площадке.

3.5.3.2. Рабочий стол, входящий в состав механизма колебания в плоскости ZY

Стол предназначен для установки на его рабочую поверхность стоек (типа СПКУ), и представляет собой плоскую прямоугольную платформу с технологическими отверстиями для крепления амортизаторов, входящих в состав испытуемого изделия. Для обеспечения требуемой жесткости и прочности стол может быть усилен стандартным профилем.

3.5.3.3. Механизмы колебания в плоскостях ZX/ZY

Механизмы должны представлять собой набор элементов, обеспечивающих колебания стола по заданным законам.

3.5.3.4. Система управления гидроприводом

Система должна состоять из насосной станции, гидроаппаратуры, блока фильтрации рабочей жидкости и иметь возможность установки на несущую раму. Управление системой (изменение режимов работы) должно осуществляться посредством ПК оператора.

3.6. Технические характеристики испытательного стенда

- 3.6.1. Проектируемый стенд должен обеспечивать возможность проведения испытаний на устойчивость изделий, массой до 1500 кг, к воздействию длительных наклонов и качки;
- 3.6.2. Диапазоны углов, характеризующих качку, действующую на изделие в плоскостях ZX и ZY:

$$\alpha_{ZX} = \pm 45^\circ;$$

$$\alpha_{ZY} = \pm 15^\circ;$$

- 3.6.3. Габаритные размеры($a \times b \times h$) проектируемого стенда (без учета, установленного на него объекта исследования) не должны превышать 2000x2000x1000 мм;
- 3.6.4. Масса стенда (без учета, установленного на него объекта исследования) не должна превышать 1000 кг;
- 3.6.5. При проектировании, предусмотреть возможность регулировки амплитуды колебаний в установленных пределах;
- 3.6.6. Предусмотреть возможность изменения частоты колебаний;
- 3.6.7. Проектируемый стенд должен обеспечивать плавный пуск и остановку изделия при проведении испытаний;
- 3.6.8. Предусмотреть наличие измерительных датчиков, контролирующих углы наклона платформы в реальном времени;

- 3.6.9. При конструировании данного устройства необходимо акцентировать внимание на его простоту, надежность и обеспечение им требуемых параметров колебательного движения.

3.7. Требования к надежности и технике безопасности

- 3.7.1. Все узлы и механизмы установки должны работать без заеданий и ударов;
- 3.7.2. В наиболее ответственных местах должны быть предусмотрены предохранительные устройства от перегрузок;
- 3.7.3. Защита от поражения электрическим током, короткого замыкания и размыкания цепи управления должна быть выполнена посредством экстренного выключателя, расположенного на панели установки;
- 3.7.4. Конструкция установки должна исключать его поломку при возникновении нештатных ситуаций;
- 3.7.5. Необходимо предусмотреть средства, обеспечивающие надежное заземление всех составных частей комплекса, которые могут оказаться под напряжением;
- 3.7.6. Установка должна соответствовать ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования»;
- 3.7.7. Уровень шума на рабочем месте не должен превышать значений, установленных ГОСТ 12.1.003-83.

3.8. Требования по установке и креплению испытуемых изделий

- 3.8.1 Унифицированное приспособление должно обеспечивать возможность проведения испытаний изделий на опорных и упорных амортизаторах типа АКСС и АРМОО в штатном (вертикальном) положении;
- 3.8.2 Комплектность болтов (винтов), гаек и шайб для крепления изделия должна составлять не менее одного комплекта на изделие;

- 3.8.3 Необходимость применения специального инструмента (моментные ключи, отвертки и т.п. отсутствует;
- 3.8.4 Необходимость дополнительного привода отсутствует;
- 3.8.5 Необходимость обеспечения доступа к элементам изделия во время испытаний для осмотра, регулировки и т.п. отсутствует.

3.9. Специальные требования

- 3.9.1. Необходимость защиты изделия от воздействия магнитных полей испытательных установок отсутствует;
- 3.9.2. Необходимость изготовления приспособлений для испытания отдельных узлов и комплектующих элементов изделия отсутствует;
- 3.9.3. Необходимость установки на приспособления нескольких изделий отсутствует;
- 3.9.4. Необходимость выключения амортизаторов или установки на приспособление без амортизаторов отсутствует.

4. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА

4.1. Принципиальная схема испытательного стенда

Принципиальная схема, которая будет реализовываться при конструктивной проработке проектируемого стенда, изображена на рисунке 3. В состав установки входит рабочий стол 1, имитирующий бортовую качку судна, а также предусматривающий возможность установки и закрепления на нем испытуемого изделия, механизм имитирующий килевую качку судна 2 и несущая рама 3. В качестве приводных элементов в данной конструкции предусматриваются два гидроцилиндра, по одному на каждое колебательное звено.

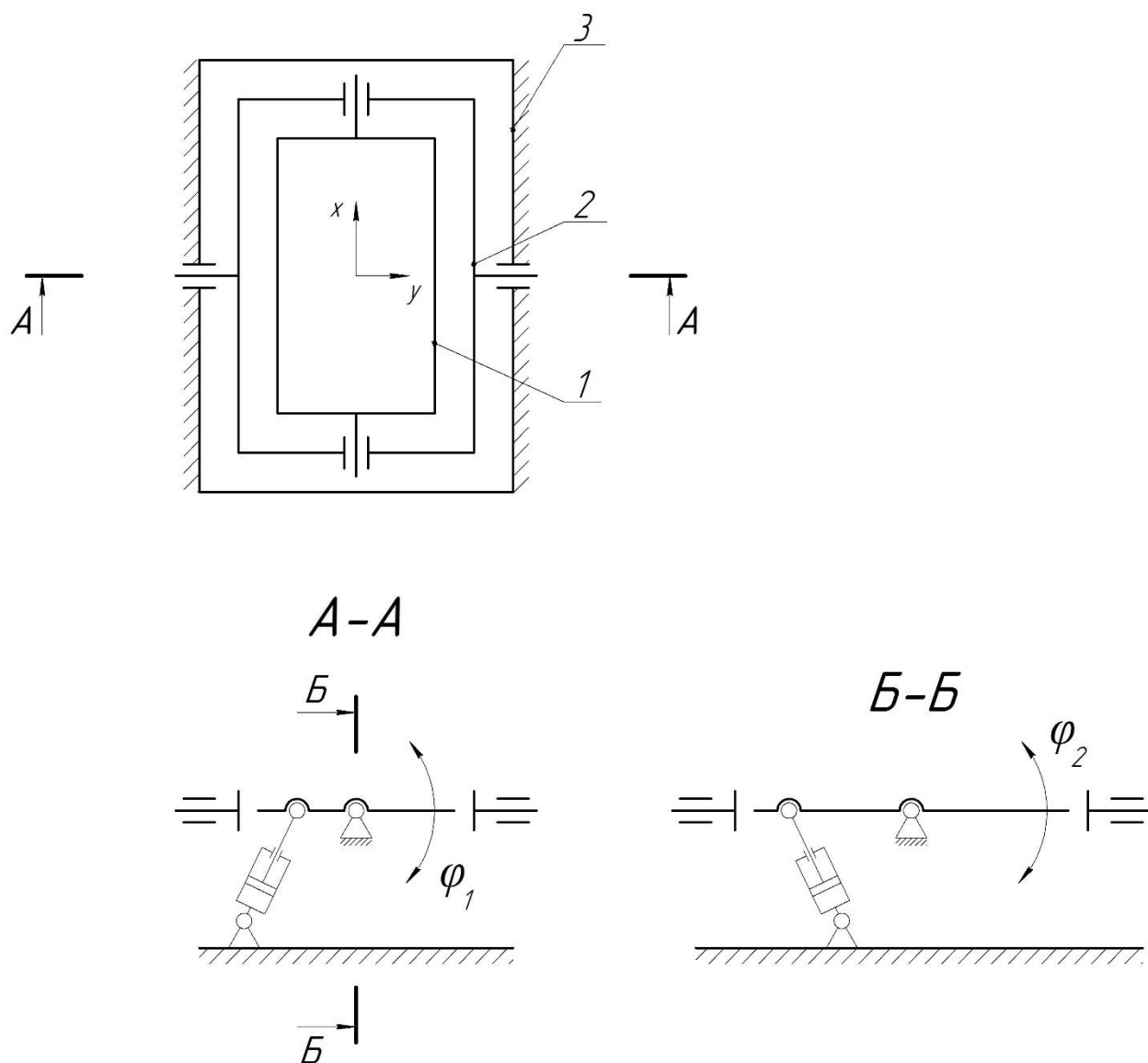


Рисунок 3 – Принципиальная схема проектируемого стенда

4.2. Описание конструкции и принципа действия изделия

Данный стенд имитации судовой качки работает следующим образом: механизм килевой качки 2 связан с несущей рамой посредством подшипниковых опор и имеет одну степень свободы, вращательное движение вокруг оси x . Согласно данным технического задания, колебания имитирующие килевую качку представляют собой синусоидальную зависимость с периодом колебаний 7 секунд и амплитудой, равной $\pm 45^\circ$. Рабочий стол 1 аналогичным образом связан с механизмом килевой качки и имеет возможность вращения вокруг оси y реализует гармонические колебания, имитирующие бортовую качку с периодом колебаний 6 секунд и амплитудой, равной $\pm 15^\circ$. В конечном итоге, испытываемое изделие одновременно испытывает влияния килевой и судовой составляющих качки.

Рассмотрим нагрузки, показанные на рисунках 4 и 5, действующие на каждое из колебательных звеньев, вычислим усилия и скорости, которые должны обеспечивать гидроцилиндры.

Так как угловые ускорения механизмов качки очень малы, пренебрежём действующими на них моментами инерции и будем рассматривать эти задачи, как статические.

4.3. Расчетная часть

4.3.1. Силовой расчет механизма имитации бортовой качки

Рассмотрим механизм бортовой качки в наиболее нагруженном состоянии, изображенном на рисунке 4, когда статический момент, действующий на платформу, будет максимальным.

$$F_y = m \cdot g \cdot \cos 15^\circ$$

m – общая масса стола и испытываемого объекта;

$$F_y = 1800 \cdot 9,8 \cdot \cos 15^\circ = 17040 \text{ Н};$$

$$F_{\text{борт}} \cdot b = F_y \cdot a$$

$$a = h \cdot \operatorname{tg} 15^\circ = 1 \cdot 0,27 = 0,27 \text{ м};$$

$$F_{\text{борт}} = \frac{F_y \cdot a}{b} = \frac{17040 \cdot 0,27}{0,46} = 10002 \text{ Н};$$

$$\omega_{\text{борт}} = \frac{2\pi}{T_{\text{борт}}};$$

$\omega_{\text{борт}}$ —угловая скорость механизма бортовой качки;

$T_{\text{борт}}$ — период колебаний механизма бортовой качки.

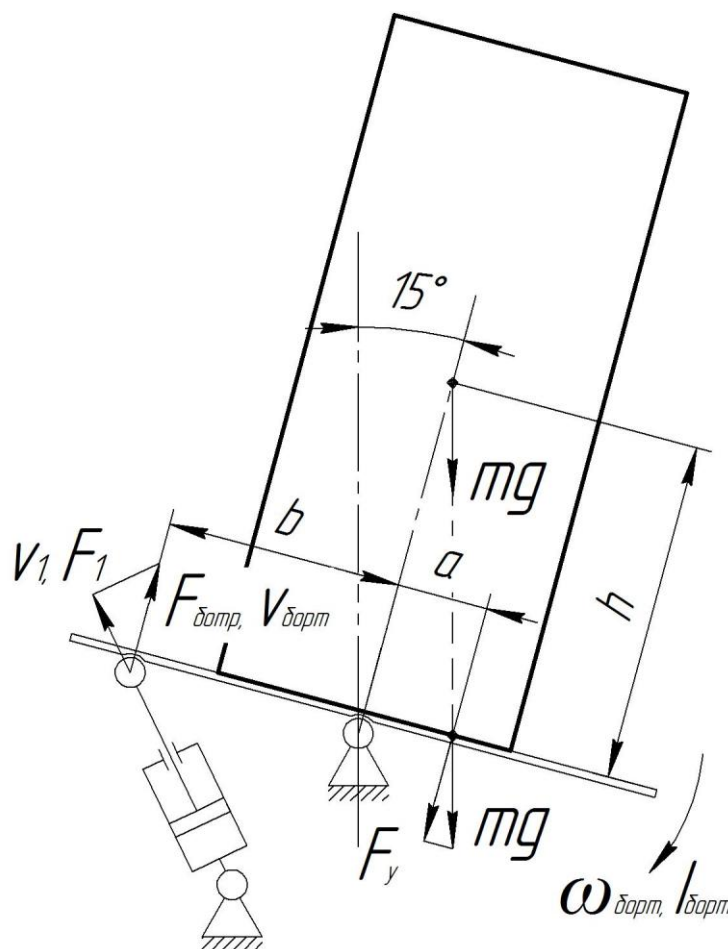


Рисунок 4 – Схема сил, действующих на механизм имитации бортовой качки

Величину периода $T_{\text{борт}}$ определим исходя из данных представленных в техническом задании

$$T_{\text{борт}} = \frac{360 \cdot 6}{30} = 72 \text{ с};$$

$$\omega_{\text{борт}} = \frac{2\pi}{72} = 0,09 \text{ рад/с};$$

$$v_{\text{борт}} = \omega_{\text{борт}} \cdot b$$

$v_{\text{борт}}$ – линейная скорость механизма имитации бортовой качки;

$$v_{\text{борт}} = 0,09 \cdot 0,46 = 0,041 \text{ м/с};$$

4.3.2. Силовой расчет механизма имитации килевой качки

Рассмотрим механизм килевой качки в наиболее нагруженном состоянии, представленном на рисунке 5, когда статический момент, действующий на платформу, будет максимальным.

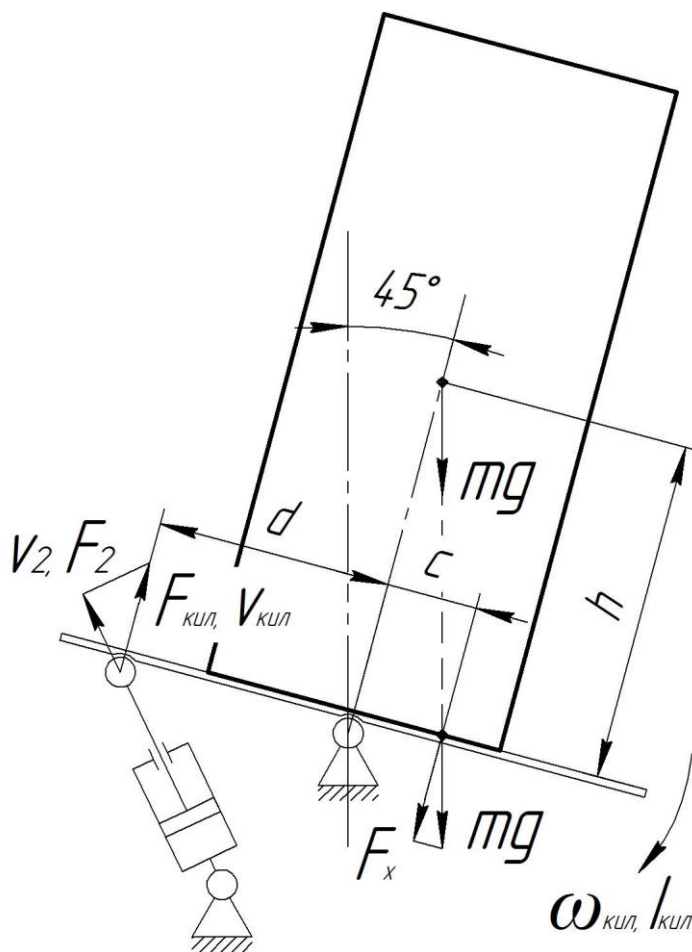


Рисунок 5 – Схема сил, действующих на механизм имитации килевой качки

$$F_x = k \cdot m \cdot g \cdot \cos 45^\circ$$

m – общая масса стола, рамки и испытуемого объекта;

$$F_x = 1900 \cdot 9,8 \cdot \cos 45^\circ = 13166 \text{ Н};$$

$$F_{\text{кил}} \cdot d = F_x \cdot c$$

$$c = h \cdot \tan 45^\circ = 1 \cdot 1 = 1 \text{ м};$$

$$F_{\text{кил}} = \frac{F_x \cdot c}{d} = \frac{13166 \cdot 1}{0,7} = 18809 \text{ Н};$$

$$\omega_{\text{кил}} = \frac{2\pi}{T_{\text{кил}}};$$

$\omega_{\text{кил}}$ –угловая скорость механизма килевой качки;

$T_{\text{кил}}$ – период колебаний механизма килевой качки.

Величину периода $T_{\text{кил}}$ определим исходя из данных представленных в техническом задании

$$T_{\text{кил}} = \frac{360 \cdot 7}{90} = 28 \text{ с};$$

$$\omega_{\text{кил}} = \frac{2\pi}{28} = 0,22 \text{ рад/с};$$

$$v_{\text{кил}} = \omega_{\text{кил}} \cdot d$$

$v_{\text{кил}}$ –линейная скорость механизма имитации килевой качки;

$$v_{\text{кил}} = 0,22 \cdot 0,7 = 0,154 \text{ м/с};$$

4.3.3. Гидравлическая схема стенда

Принято решение об использовании, в качестве приводных элементов, гидроцилиндров. При линейных перемещениях, которые реализуют гидроцилиндры, заданы усилия F и скорость v , в конечном итоге преобразуемые в крутящий момент M и угловую скорость платформы ω . Данный расчет сводится к выбору гидроцилиндров, которые должны обеспечивать заданные условия.

Гидравлическая схема проектируемого стенда приведена на рисунке 6, элементы, изображенные на ней, следующие:

$ГЦ1, ГЦ2$ – гидроцилиндры механизмов имитации бортовой и килевой качки соответственно;

$P1, P2$ – распределители трехпозиционные;

$РК1, РК2, РК3, РК4$ –клапаны редукионные;

$Д1, Д2, Д3, Д4$ – дроссели;

$KO1, KO2, KO3, KO4, KO5, KO6, KO7, KO8$ – клапаны обратные;

$HУ$ – насосная установка.

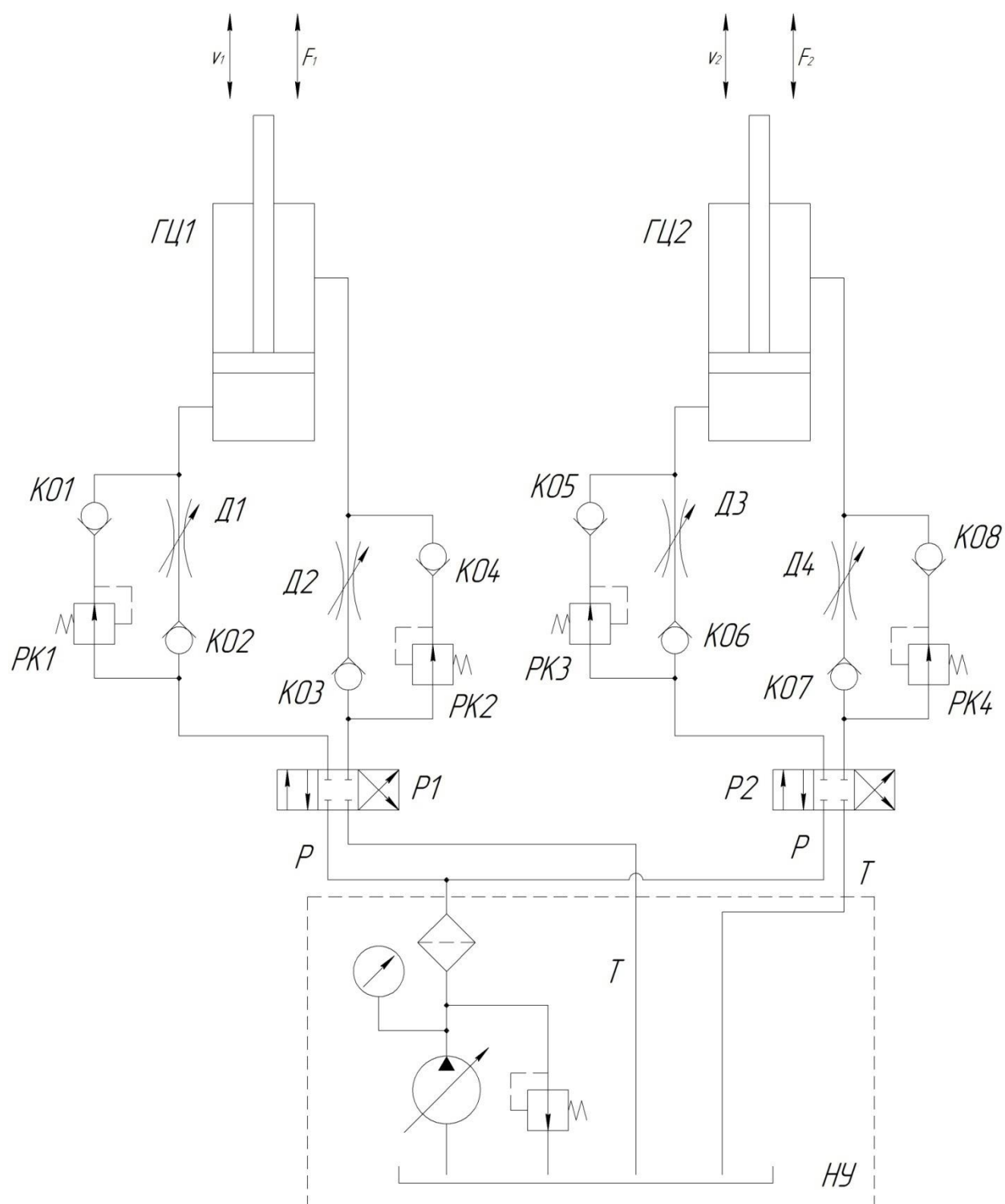


Рисунок 6 – Гидравлическая схема стенда имитации судовой качки

4.3.4. Расчет элементов гидропривода

Определяем площадь S поршня по следующей зависимости

$$S = \frac{F_{max}}{0,7 \cdot p} = \frac{F}{0,7 \cdot p \cdot \sin \alpha}$$

α – минимальный угол между осью гидроцилиндра и плоскостью колебательного звена, принимаем равным 15° ;

$0,7$ – коэффициент, учитывающий потери на трение и утечки в гидроцилиндре;

P – давление действующее на поршень.

$$S_{\text{борт}} = \frac{F_{\text{борт}}}{0,7 \cdot p \cdot \sin 15^\circ} = \frac{10002}{0,7 \cdot 16 \cdot 10^6 \cdot 0,26} = 0,003 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{кил}} = \frac{F_{\text{кил}}}{0,7 \cdot p \cdot \sin 15^\circ} = \frac{13166}{0,7 \cdot 16 \cdot 10^6 \cdot 0,26} = 0,005 \text{ м}^2;$$

Давление P выбирается из ряда номинальных давлений, используемых в гидроприводах технологического оборудования.

Используя значение площади поршня S , определяем его диаметр D

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$$

$$D_{\text{борт}} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{борт}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,003}{3,14}} = 0,062 \text{ м} = 62 \text{ мм};$$

$$D_{\text{кил}} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{кил}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,005}{3,14}} = 0,079 \text{ м} = 79 \text{ мм};$$

Необходимо стремиться к тому, чтобы $32 < D < 150 \text{ мм}$. Это дает возможность выбирать стандартные гидроцилиндры, широко используемые в технологических машинах.

Рассчитываем потребный расход

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v_{max} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot v}{4 \cdot \sin \alpha}$$

v_{max} – максимальная скорость из заданных значений по рассчитываемому приводу;

α – минимальный угол между осью гидроцилиндра и плоскостью колебательного звена, принимаем равным 15° .

$$Q_{\text{борт}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{борт}}^2 \cdot v_{\text{борт}}}{4 \cdot \sin \alpha} = \frac{3,14 \cdot 0,062^2 \cdot 0,041}{4 \cdot 0,26} = 0,0005 \text{ м}^3/\text{с} = 30 \text{ л/мин};$$

$$Q_{\text{кил}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{кил}}^2 \cdot v_{\text{кил}}}{4 \cdot \sin \alpha} = \frac{3,14 \cdot 0,079^2 \cdot 0,154}{4 \cdot 0,26} = 0,0029 \text{ м}^3/\text{с} = 174 \text{ л/мин};$$

Следующий этап расчетов заключается в определении параметров трубопровода. Для сливных линий обычно принимают $v_m = 2 \text{ м/с}$

$$d = 4,6 \sqrt{\frac{Q}{v_m}}$$

d – минимальный проходной диаметр трубы;

$v_{m(P)}/v_{m(T)}$ – скорость потока рабочей жидкости в напорной и сливной магистрали соответственно.

$$\delta = \frac{P \cdot d}{2 \cdot \sigma_B} \cdot K_B$$

P – давление в соответствующей магистрали;

δ – минимально допустимая толщина стенки;

σ_B – предел прочности материала трубопровода;

K_B – коэффициент безопасности, принимаем равным 6.

$$d_{\text{борт}(P)} = 4,6 \sqrt{\frac{Q_{\text{борт}}}{v_{m(P)}}} = 4,6 \sqrt{\frac{30}{4}} = 12,6 \text{ мм} = 0,013 \text{ м};$$

$$d_{\text{борт}(T)} = 4,6 \sqrt{\frac{Q_{\text{борт}}}{v_{m(T)}}} = 4,6 \sqrt{\frac{30}{2}} = 17,8 \text{ мм} = 0,018 \text{ м};$$

$$\delta_{\text{борт}(P)} = \frac{P_P \cdot d_{\text{борт}(P)}}{2 \cdot \sigma_B} \cdot K_B = \frac{16 \cdot 10^6 \cdot 0,013}{2 \cdot 140 \cdot 10^6} \cdot 6 = 0,0007 \text{ м};$$

$$\delta_{\text{борт}}(T) = \frac{P_T \cdot d_{\text{борт}}(T)}{2 \cdot \sigma_B} \cdot K_B = \frac{2,5 \cdot 10^6 \cdot 0,018}{2 \cdot 140 \cdot 10^6} \cdot 6 = 0,0002 \text{ м};$$

$$d_{\text{кил}}(P) = 4,6 \sqrt{\frac{Q_{\text{кил}}}{v_{\text{м}}(P)}} = 4,6 \sqrt{\frac{174}{4}} = 30,3 \text{ мм} = 0,03 \text{ м};$$

$$d_{\text{кил}}(T) = 4,6 \sqrt{\frac{Q_{\text{кил}}}{v_{\text{м}}(T)}} = 4,6 \sqrt{\frac{174}{2}} = 42,9 \text{ мм} = 0,043 \text{ м};$$

$$\delta_{\text{кил}}(P) = \frac{P_P \cdot d_{\text{кил}}(P)}{2 \cdot \sigma_B} \cdot K_B = \frac{16 \cdot 10^6 \cdot 0,03}{2 \cdot 140 \cdot 10^6} \cdot 6 = 0,002 \text{ м};$$

$$\delta_{\text{кил}}(T) = \frac{P_T \cdot d_{\text{кил}}(T)}{2 \cdot \sigma_B} \cdot K_B = \frac{2,5 \cdot 10^6 \cdot 0,043}{2 \cdot 140 \cdot 10^6} \cdot 6 = 0,0003 \text{ м};$$

Рассчитываем наружный диаметр труб магистралей

$$D = 2\delta + d$$

$$D_{\text{борт}}(P) = 2 \cdot \delta_{\text{борт}}(P) + d_{\text{борт}}(P) = 2 \cdot 0,0007 + 0,013 = 0,014 \text{ м};$$

$$D_{\text{борт}}(T) = 2 \cdot \delta_{\text{борт}}(T) + d_{\text{борт}}(T) = 2 \cdot 0,0002 + 0,018 = 0,018 \text{ м};$$

$$D_{\text{кил}}(P) = 2 \cdot \delta_{\text{кил}}(P) + d_{\text{кил}}(P) = 2 \cdot 0,002 + 0,03 = 0,034 \text{ м};$$

$$D_{\text{кил}}(T) = 2 \cdot \delta_{\text{кил}}(T) + d_{\text{кил}}(T) = 2 \cdot 0,0003 + 0,043 = 0,044 \text{ м};$$

Опираясь на полученные данные, назначаем гидроаппаратуру и производим подбор стандартного проката для трубопровода, отвечающих предъявляемым минимальным требованиям.

Для расчета потерь давления необходимо определить режим течения жидкости, характеризующийся безразмерным числом Рейнольдса.

$$Re = 21200 \frac{Q}{d \cdot \nu}$$

Q – расход жидкости в магистрали, л/мин;

d – диаметр трубопровода, мм;

ν – вязкость рабочей жидкости, принимаем равной 20 мм²/с.

Ламинарный режим течения переходит в турбулентный при определенном критическом значении $Re_{кр} = 2100 \div 2300$ для круглых гладких труб и $Re_{кр} = 1600$ для резиновых рукавов.

$$Re_{\text{борт}} = 21200 \frac{Q_{\text{борт}}}{d_{\text{борт (P)}} \cdot \nu} = 21200 \frac{30}{12,6 \cdot 20} = 2524;$$

Поскольку $Re_{\text{борт}}$ больше критической величины, поток масла в напорной магистрали механизма имитации бортовой качки турбулентный, поэтому потери давления рассчитываем по следующей формуле

$$\Delta P = 7,85 \frac{L \cdot Q^2}{d^5}$$

Q – расход жидкости в магистрали, м³/с;

d – диаметр трубопровода, м;

L – длина трубопровода, м.

$$\Delta P_{\text{борт (P)}} = 7,85 \frac{L_{\text{борт (P)}} \cdot Q_{\text{борт}}^2}{d_{\text{борт (P)}}^5} = 7,85 \frac{1 \cdot \left(\frac{0,03}{60}\right)^2}{0,013^5} = 0,53 \text{ МПа};$$

$$Re_{\text{кил}} = 21200 \frac{Q_{\text{кил}}}{d_{\text{кил (P)}} \cdot \nu} = 21200 \frac{174}{30,3 \cdot 20} = 6087;$$

Поскольку $Re_{\text{борт}}$ больше критической величины, поток масла в напорной магистрали механизма имитации бортовой качки турбулентный, поэтому потери давления рассчитываем по следующей формуле

$$\Delta P = 7,85 \frac{L \cdot Q^2}{d^5}$$

$$\Delta P_{\text{кил (P)}} = 7,85 \frac{L_{\text{кил (P)}} \cdot Q_{\text{кил}}^2}{d_{\text{кил (P)}}^5} = 7,85 \frac{1 \cdot \left(\frac{0,174}{60}\right)^2}{0,03^5} = 0,003 \text{ МПа};$$

4.3.5. Объект исследования

Используя математический аппарат, описываем динамическую модель испытательного стенда.

$$\begin{cases} M_1 + m_1 \cdot R^2 \cdot \ddot{\varphi}_1 + \alpha \cdot \dot{\varphi}_1 + c \cdot \varphi_1 = F_1(t) \\ M_2 + m_1 \cdot (R \cdot \cos \varphi_1)^2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + \alpha \cdot \dot{\varphi}_2 + c \cdot \varphi_2 = F_2(t) \end{cases}$$

$m_1 \cdot R^2 = I_1$ – момент инерции механизма имитации бортовой качки;

$\ddot{\varphi}_1$ – угловое ускорение механизма имитации бортовой качки;

α – коэффициент вязкого трения, характеризующий взаимодействия компонентов внутри гидроцилиндров и путевые потери в трубопроводе;

$\dot{\varphi}_1$ – угловая скорость механизма имитация бортовой качки;

c – коэффициент жесткости, характеризующийся значением вязкости используемого масла;

φ_1 – угол поворота механизма имитации бортовой качки;

$m_2 \cdot (R \cdot \cos\varphi_1)^2 = I_2$ – момент инерции механизма имитации килевой качки;

$\ddot{\varphi}_2$ – угловое ускорение механизма имитации килевой качки;

$\dot{\varphi}_2$ – угловая скорость механизма имитация килевой качки;

φ_2 – угол поворота механизма имитации килевой качки;

M_1 – статический момент инерции механизма имитации бортовой качки;

M_2 – статический момент инерции механизма имитации килевой качки;

R – приведенный радиус инерции испытуемого изделия;

4.3.6. Описание математической модели стенда

На рисунке 7 представлена математическая модель стенда имитации судовой качки. Рассмотрим каждый колебательный механизм, дав ему краткую характеристику, а также рассмотрим влияние механизма имитации бортовой качки на механизм имитации килевой качки.

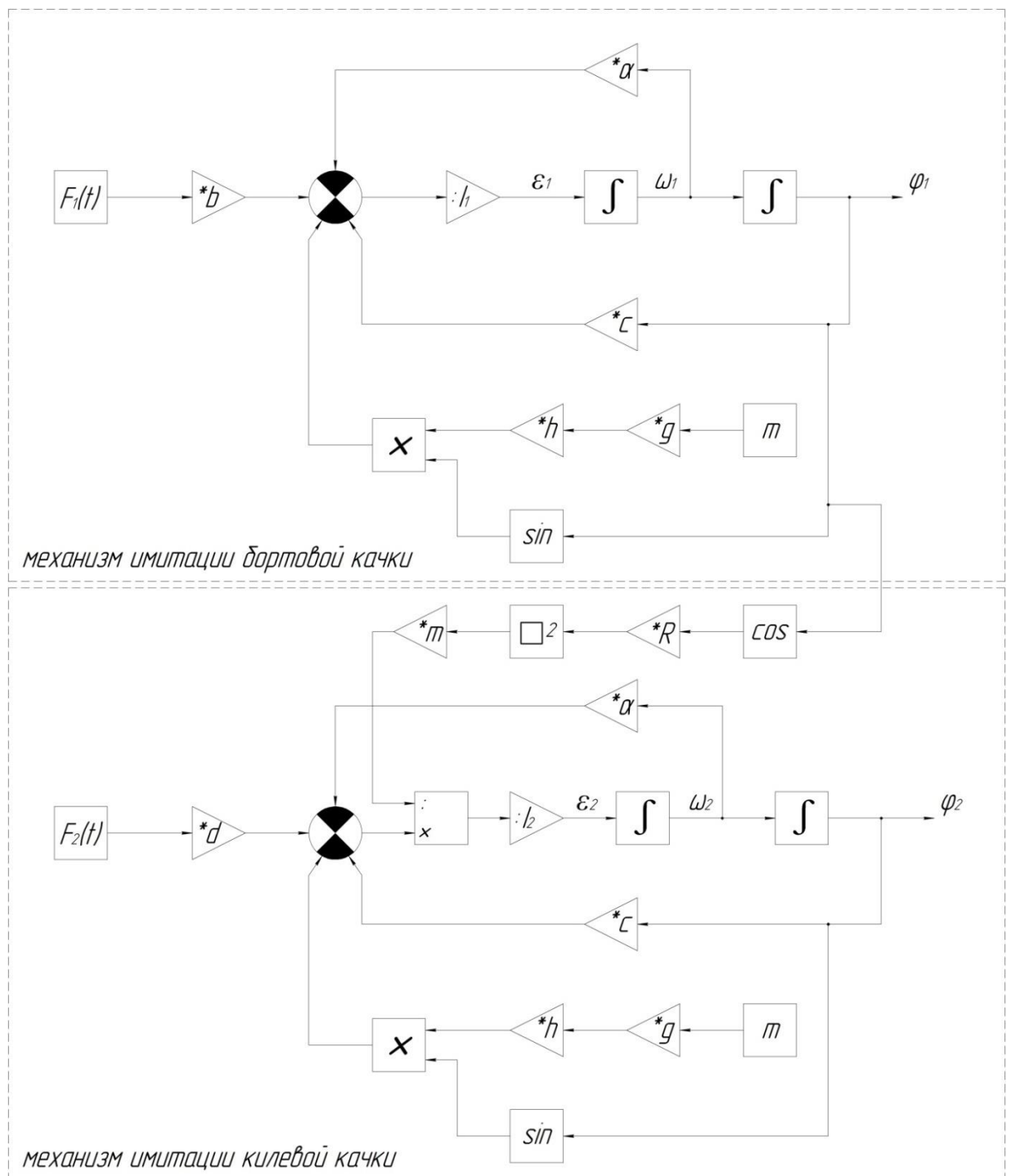


Рисунок 7 – Математическая модель испытательного стенда

На верхнем фрагменте рисунка 7 представлена математическая модель механизма имитации бортовой качки. Данный фрагмент описывается следующим уравнением

$$M_1 + m_1 \cdot R^2 \cdot \ddot{\varphi}_1 + \alpha \cdot \dot{\varphi}_1 + c \cdot \varphi_1 = F_1(t)$$

В качестве входного воздействия, определяющего дальнейшее поведение данной динамической системы, используется сигнал типа

$$F_1(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

A – сила действующая на платформу со стороны гидроцилиндра, H ;

ω – частота колебаний, $рад/с$;

После умножения входного сигнала на длину плеча b , на сумматор подается значение момента силы. Получаем значение углового ускорения, разделив полученный сигнал на величину момента инерции механизма имитации бортовой качки равный

$$I_1 = m_1 \cdot (R \cdot \cos\varphi_1)^2$$

Интегрируя полученное значение углового ускорения, вычисляем величину угловой скорости и формируем сигнал обратной связи, умножив угловую скорость на коэффициент вязкого трения α , характеризующий взаимодействия компонентов внутри гидроцилиндров и путевые потери в трубопроводе. Интегрируя угловую скорость, получаем значение углового перемещения механизма имитации бортовой качки и формируем сигнал обратной связи, умножив угловое перемещение на коэффициент жесткости c , характеризующийся значением вязкости используемого масла.

Также на сумматор подается отрицательный сигнал, характеризующий действие статического момента, изменяющийся в зависимости от угла наклона механизма, равный

$$M_1 = m_1 \cdot g \cdot h \cdot \sin\varphi_1$$

На нижнем фрагменте рисунка 7 представлена математическая модель механизма имитации килевой качки. Данный фрагмент описывается следующим уравнением

$$M_2 + m_1 \cdot (R \cdot \cos\varphi_1)^2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + \alpha \cdot \dot{\varphi}_2 + c \cdot \varphi_2 = F_2(t)$$

В качестве входного воздействия, определяющего дальнейшее поведение данной динамической системы, используется сигнал типа

$$F_2(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

A – сила действующая на платформу со стороны гидроцилиндра, H ;

ω – частота колебаний, rad/c ;

После умножения входного сигнала на длину плеча d , на сумматор подается значение момента силы. Получаем значение углового ускорения, разделив полученный сигнал на величину момента инерции механизма имитации бортовой качки равный

$$I_2 = m_1 \cdot R^2$$

m_1 – масса испытуемого объекта, kg

R – приведенный радиус инерции испытуемого объекта, m

Интегрируя полученное значение углового ускорения, вычисляем величину угловой скорости и формируем сигнал обратной связи, умножив угловую скорость на коэффициент вязкого трения α , характеризующий взаимодействия компонентов внутри гидроцилиндров и путевые потери в трубопроводе. Интегрируя угловую скорость, получаем значение углового перемещения механизма имитации бортовой качки и формируем сигнал обратной связи, умножив угловое перемещение на коэффициент жесткости c , характеризующийся значением вязкости используемого масла.

Также на сумматор подаем отрицательный сигнал, характеризующий действие статического момента, изменяющийся в зависимости от угла наклона механизма, равный

$$M_2 = m_1 \cdot g \cdot h \cdot \sin\varphi_2$$

4.3.7. Исследование математической модели

После создания математической модели в среде Simulink, показанной на рисунке 8, программного продукта MatLab, построим графики изменения угловых перемещений, скоростей и ускорений. Стоит отметить, что нас интересуют лишь численные значения угловых перемещений, значения

угловых скоростей и ускорений важны лишь с точки зрения качественной оценки работы стенда.

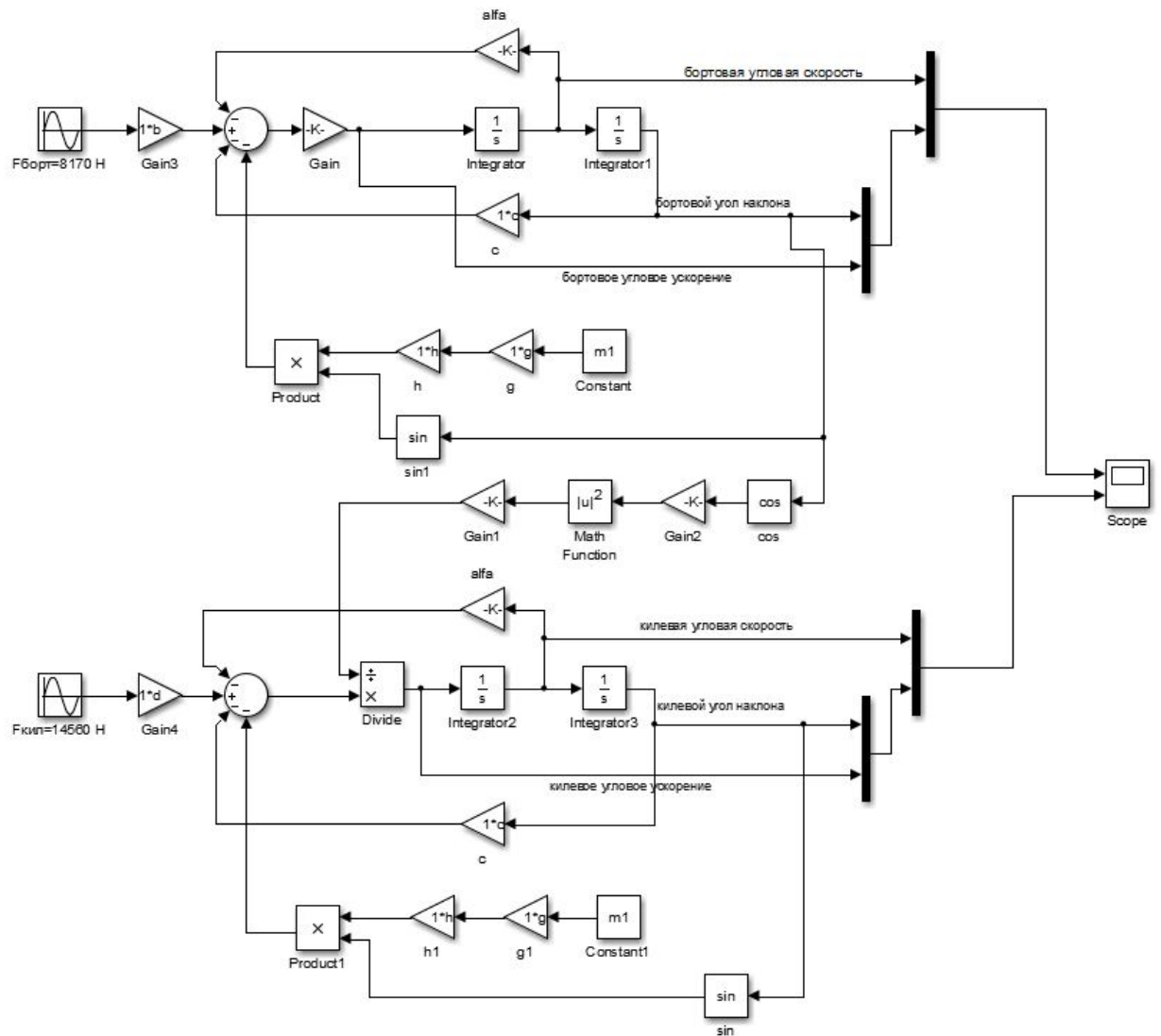


Рисунок 8 – Математическая модель стенда имитации судовой качки в среде Simulink

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В целом можно выделить три основных требования, предъявляемых к системе:

- точность – в установившемся режиме система должна поддерживать заданное значение выхода системы, причем ошибка не должна превышать допустимую величину;
- устойчивость – система должна оставаться устойчивой на всех режимах работы;
- качество переходного процесса – при смене заданного значения система должна переходить в нужное состояние по возможности быстро и плавно.

Первый этап работы с математической моделью заключается в построении графиков изменения углового ускорения, скорости и перемещения во времени, которые будет воспринимать испытуемый объект. Их анализ позволит оценить работу стенда с точки зрения точности и качества воспроизводимых им колебаний.

Стоит отметить, что основными инструментами воздействия на динамические процессы, при заданной кинематике стенда, являются коэффициенты жесткости и вязкого трения. В реальном механизме коэффициент жесткости характеризуется соответствующей настройкой дросселей, а коэффициент вязкого трения – вязкостью используемого масла. Учитывая тот факт, что мы используем масло одной марки (И-20), коэффициент вязкого трения принимаем равным 20 и не меняем на протяжении всего исследования. На рисунках 9 и 10 изображены графики изменения значений углового перемещения, скорости и ускорения во времени, для механизмов бортовой и килевой качки соответственно, где по оси X – время, а оси Y – угол наклона платформ, угловая скорость и ускорение.

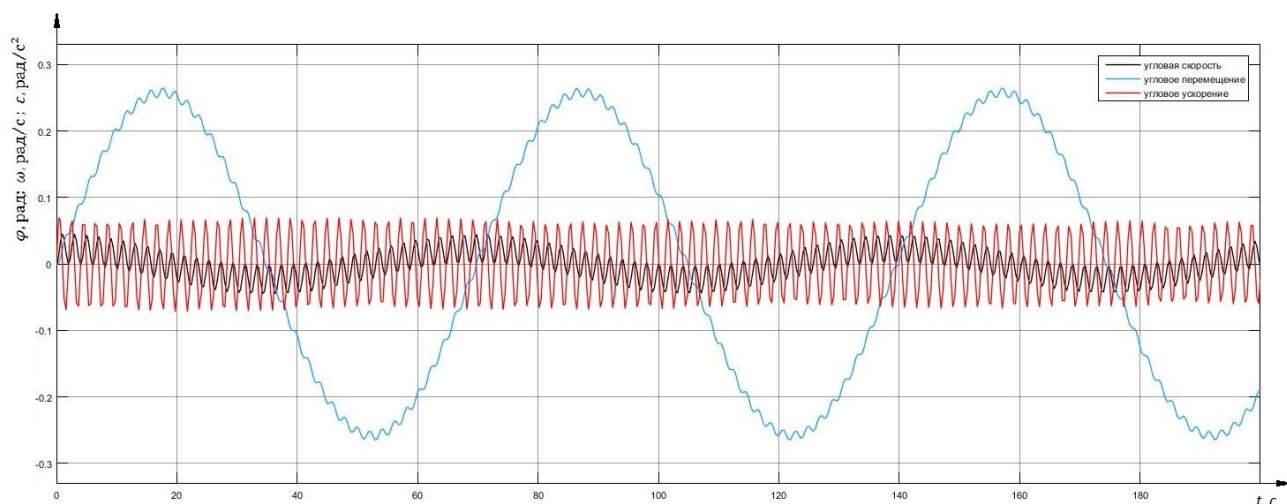


Рисунок 9 – Изменение значений угловых перемещений, скоростей и ускорений во времени механизма имитации бортовой качки при $\alpha = 20$ и $\tau = 15$

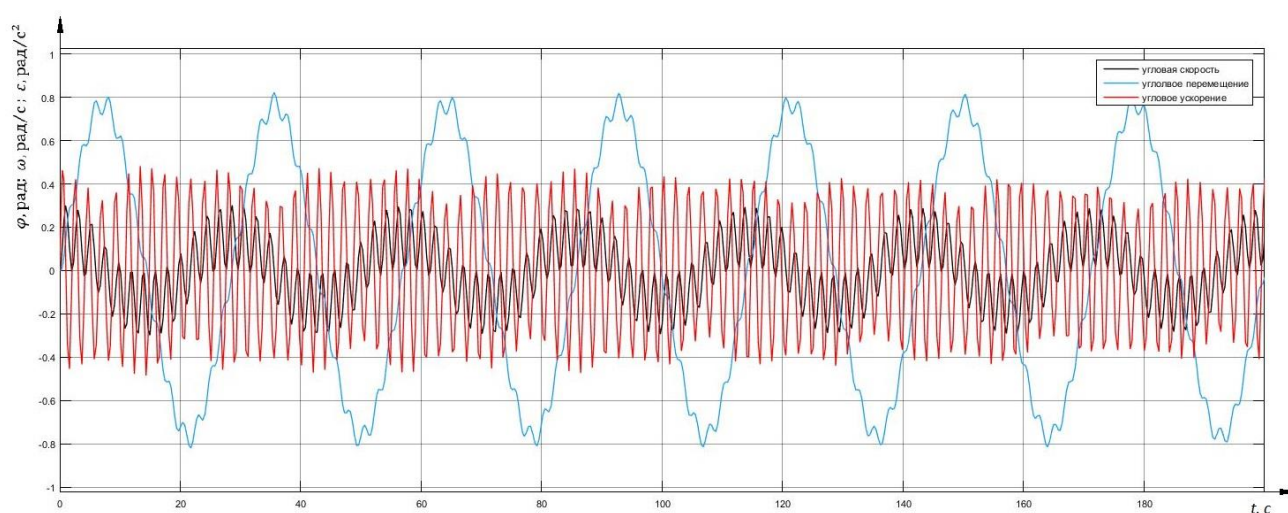


Рисунок 10 – Изменение значений угловых перемещений, скоростей и ускорений во времени механизма имитации килевой качки при $\alpha = 20$ и $\tau = 15$

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что в целом показатель точности удовлетворяет нашим требованиям, так как из данных графиков видно, что в установившемся режиме стенд воспроизводит колебания с амплитудой $\pm 15^\circ$ ($\pm 0,26 \text{ рад}$) для механизма имитации бортовой качки и $\pm 45^\circ$ ($\pm 0,78 \text{ рад}$) для механизма имитации килевой качки с периодом колебаний 72 и 28 секунд соответственно. Что касается качества воспроизводимых колебаний, стоит отметить, что разного рода биения в

процессе работы говорят о недостаточной жесткости системы, характеризующейся коэффициентом жесткости c .

Задача, которую предстоит решить на данном этапе, заключается в подборе оптимального значения коэффициента жесткости c , при котором работа проектируемого стенда будет стабильна, углы наклона механизмов постоянны, а время переходного процесса, для каждого механизма, минимальным.

Повторяем эксперименты, изменяя значения коэффициента c , до тех пор, пока не получим удовлетворительный результат.

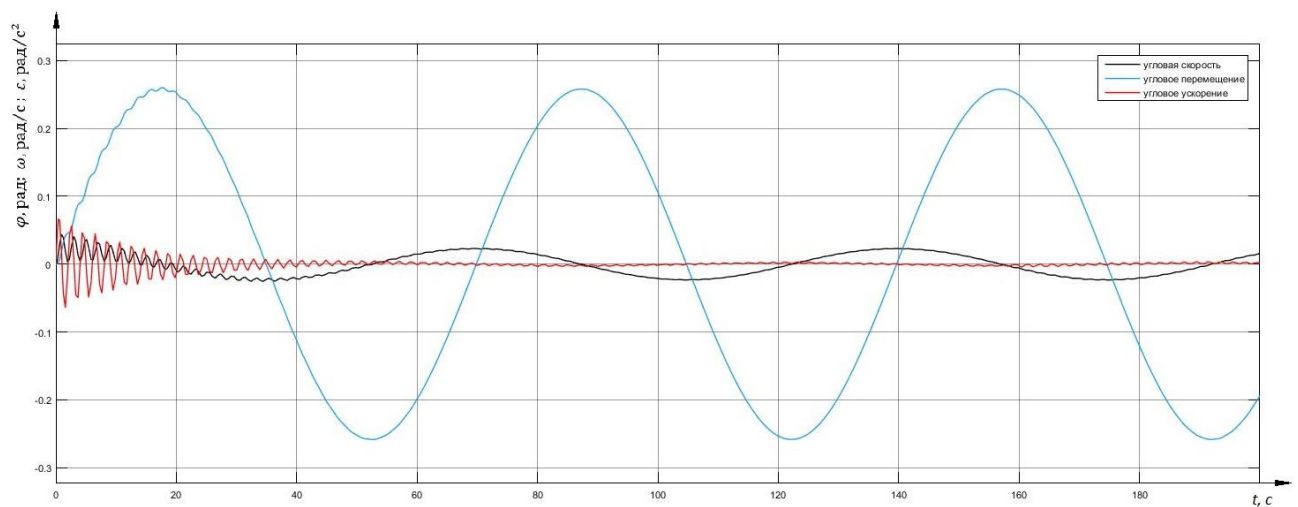


Рисунок 11 – Изменение значений угловых перемещений, скоростей и ускорений во времени механизма имитации бортовой качки при $\alpha = 20$ и $c = 45$

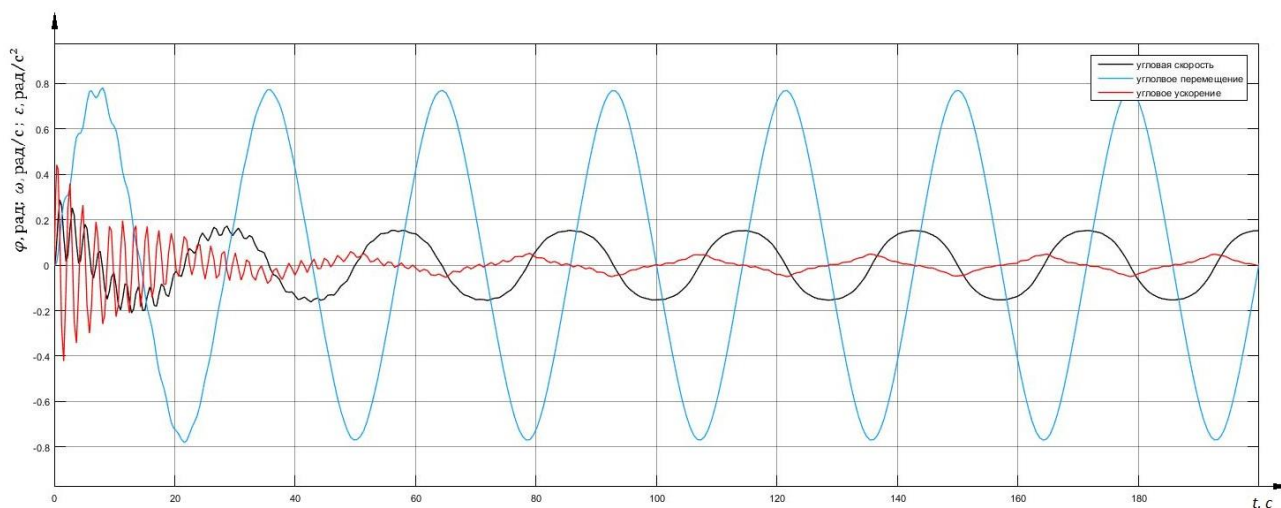


Рисунок 12 – Изменение значений угловых перемещений, скоростей и ускорений во времени механизма имитации килевой качки при $\alpha = 20$ и $\tau = 45$

Анализируя полученные результаты, представленные на рисунках 11 и 12, можно констатировать то, что при значениях коэффициентов жесткости и вязкого трения, равных 45 и 20 соответственно, время переходного процесса колебательной системы механизма бортовой качки равно 40 с, а для механизма имитации килевой качки, порядка 50 с, что в свою очередь является приемлемым результатом. Более того, в установившемся режиме работы стенд воспроизводит колебания согласно техническому заданию заказчика без видимых отклонений от теоретической траектории движения платформы. Таким образом, можно сделать вывод о том, что требования к работе стенда, такие как точность и качество полностью удовлетворены.

Следующий этап работы заключается в определении частотных характеристик проектируемого стенда имитации судовой качки, при заданных параметрах, описанных в техническом задании заказчика и, уже определенных, коэффициентах жесткости и вязкого трения.

Частотные характеристики описывают установившиеся вынужденные колебания на выходе звена, вызванные гармоническим воздействием на входе. Амплитудно-частотная характеристика – это коэффициент усиления

гармонического сигнала, а фазо-частотная, в свою очередь показывает, на сколько выходной сигнал отстает по фазе от входного.

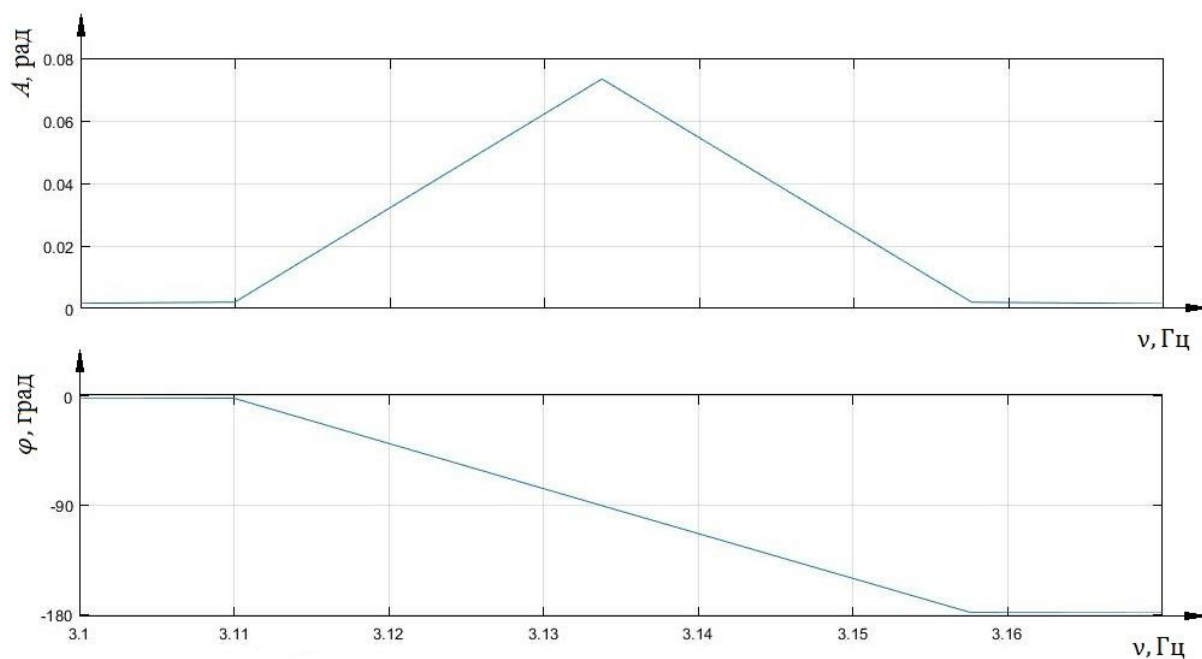


Рисунок 13 – АЧХ и ФЧХ механизма имитации бортовой качки

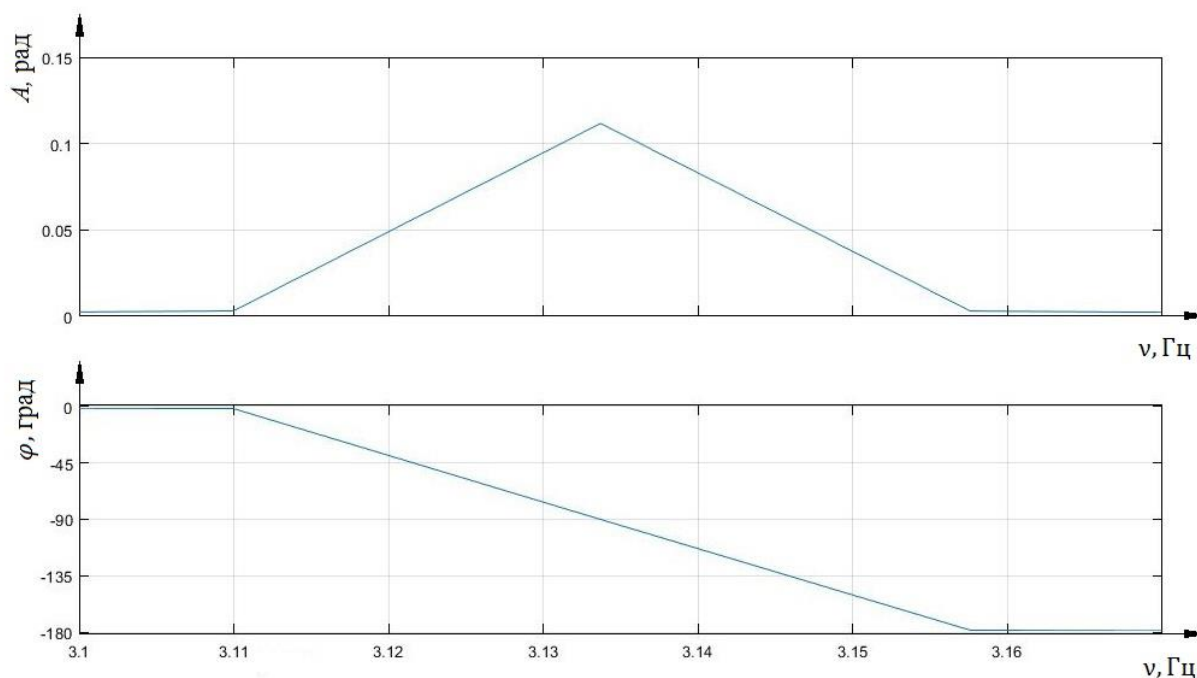


Рисунок 14 – АЧХ и ФЧХ механизма имитации килевой качки

На рисунках 13 и 14 представлены амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики механизмов имитации бортовой и килевой качки соответственно. Наличие максимумов у АЧХ, говорит о резонансных свойствах этих звеньев, для обоих механизмов резонансная (собственная) частота находится в диапазоне 3,11-3,16 Гц, поэтому, при эксплуатации данного стенда с текущими параметрами, стоит исключить данные частоты и работать в более низком диапазоне. Стоит отметить, что режимы работы стенда, описанные в техническом задании, а именно 0,01 Гц для механизма бортовой качки и 0,06 Гц для механизма имитации килевой качки являются приемлемыми.

Еще одним ключевым показателем корректной работы устройства является устойчивость, система должна оставаться устойчивой на всех режимах работы. Термин «устойчивость» подразумевает такое состояние системы, при котором она возвращается в состояние равновесия, если какая-то сила выведет ее из состояния покоя. В нашем случае, в первую очередь важно, чтобы система не «пошла вразнос», то есть, чтобы управляемая величина, а именно угол поворота платформы, не росла неограниченно при всех допустимых входных сигналах. Если это так, говорят, что система обладает устойчивостью. Существует несколько алгоритмов, позволяющих проверить устойчивость системы. Один из самых известных – критерий Найквиста, который позволяет определить устойчивость замкнутой системы, построив частотную характеристику разомкнутой системы.

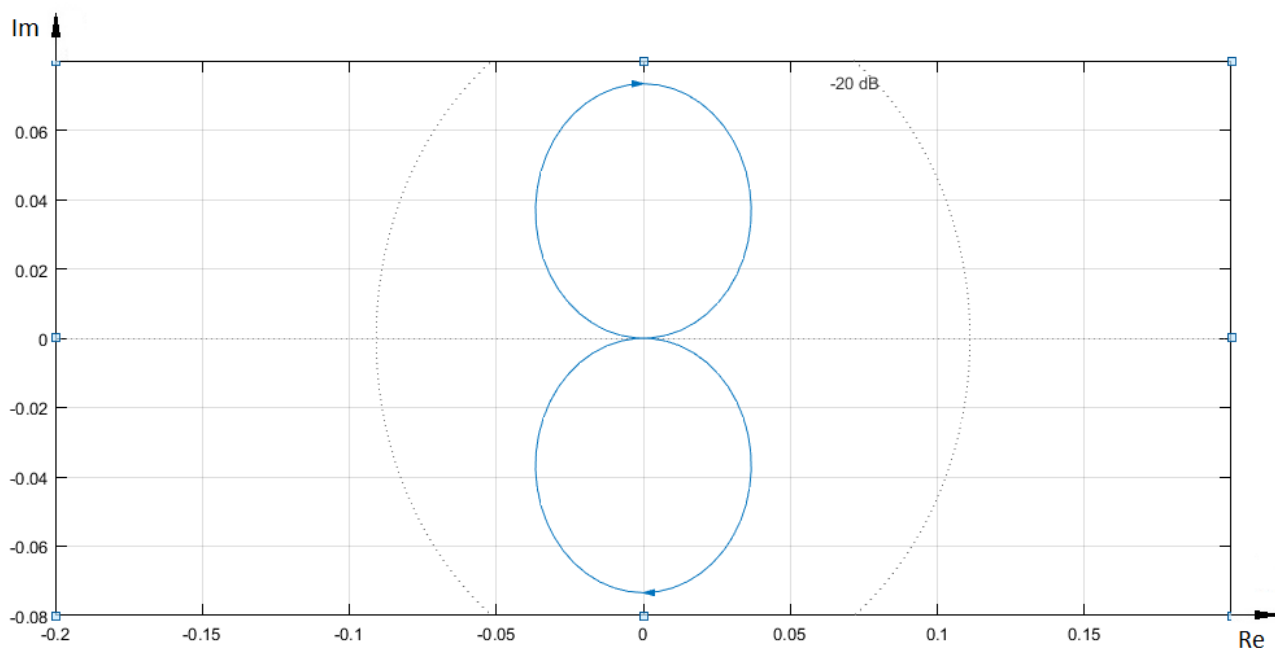


Рисунок 15 – Диаграмма Найквиста для механизма имитации бортовой качки

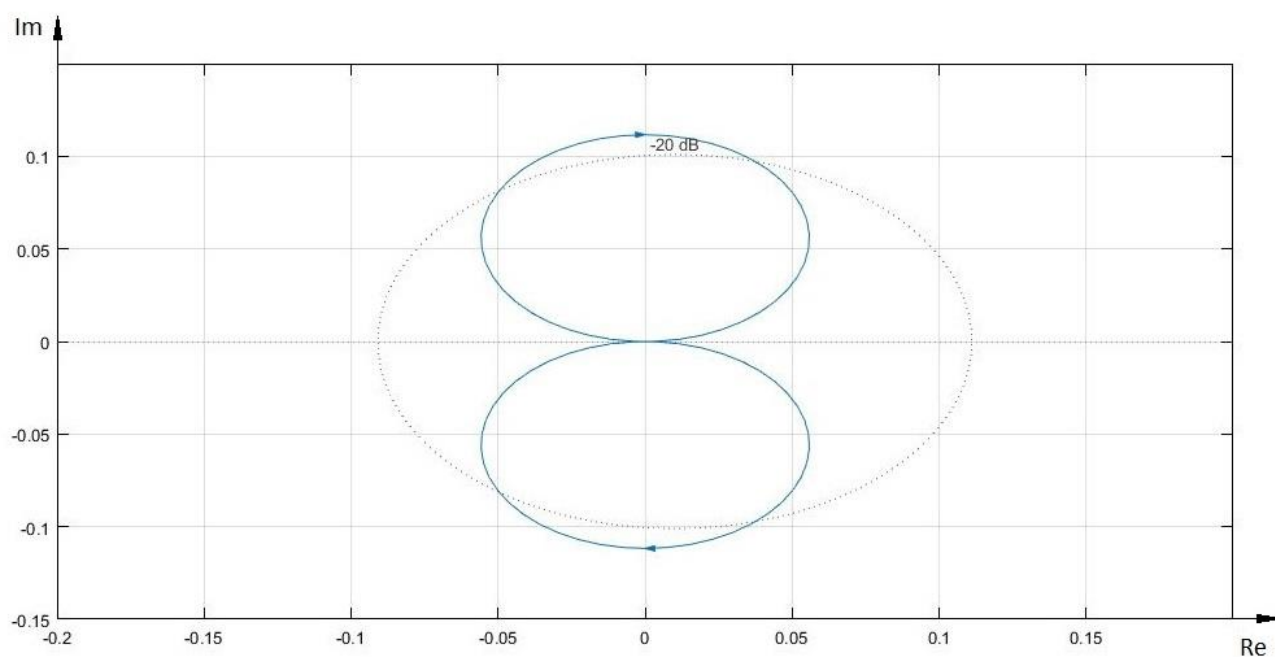


Рисунок 16 – Диаграмма Найквиста для механизма имитации килевой качки

Рассмотрим диаграммы Найквиста, представленные на рисунках 15 и 16 для механизмов имитации бортовой и килевой качки соответственно. Опираясь на следствие из теоремы Михайлова-Найквиста, которое гласит, что система устойчива, тогда и только тогда, когда при увеличении частоты от 0 до $+\infty$

годограф не охватывает точку $(-1; j0)$, можно сделать вывод о том, что динамическая система проектируемого стенда имитации судовой качки является устойчивой.

Таким образом, исследование математической модели проектируемого стенда имитации судовой качки позволило на стадии разработки оценить будущее изделие с точки зрения трех основных критериев: точность, качество переходного процесса и устойчивость. Подбранное значение коэффициента жесткости позволит в дальнейшем настроить гидроаппаратуру таким образом, чтобы реальные показатели работы стенда были максимально приближены к расчетным.

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

6.1. Общие сведения о научно-техническом исследовании

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое, на первых этапах жизненного цикла продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческого потенциала разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров разработки над аналогами, но и насколько быстро разработчик сможет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, чтобы удовлетворить потребителя, каков бюджет научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью данного раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;

- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

6.2. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.2.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование, которое в дальнейшем поможет найти те области, где продвижение нового продукта будет наименее трудоемким.

Таблица 1 – Карта сегментирования рынка

		Вид оборудования		
		ИС 2-500	СИК 1-800	Стенд
Размер компании	Крупные			+
	Средние	+	+	+

По карте сегментирования, таблица 1, видно, что наименьшая конкуренция для нашего образца будет на рынке крупных предприятий. Это связано с меньшими функциональными возможностями аналогичных устройств конкурентов, что в свою очередь, не удовлетворяет требованиям крупных предприятий.

6.2.2. Анализ конкурентных технических решений

На сегодняшний день на рынке промышленного оборудования и испытательных стендов можно найти большое количество стендов имитации судовой качки. Данное разнообразие определяется различиями в использовании разных типов приводов и кинематических схем, реализующих требуемый закон движения рабочего стола. Для анализа были отобраны два конкурентных технических решения.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _с	Б _{к1}	Б _{к2}	К _с	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	10	10	6	6	100	60	60
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	8	8	5	5	64	40	40
3. Энергоэкономичность	6	4	5	4	24	30	24
4. Надежность	9	9	7	6	81	63	54
5. Уровень шума	7	7	4	5	49	28	35
6. Безопасность	8	8	4	3	64	32	24
7. Простота эксплуатации	7	7	6	6	49	42	42
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	10	10	8	7	100	80	70
2. Уровень проникновения на рынок	9	0	9	9	0	81	81

3. Цена	7	3	5	7	21	35	49
4. Предполагаемый срок эксплуатации	6	6	5	5	36	30	30
5. Послепродажное обслуживание	7	7	4	4	49	28	28
6. Срок выхода на рынок	6	0	6	6	0	36	36
Итого:	100	79	74	73	637	585	573

Новая модель стенда имитации судовой качки, технически эффективней конструкций конкурентов, за счет того, что процесс автоматизирован, управление осуществляется посредством ПК. Благодаря этому удобно моделировать различные случаи качки судна. Конструкция стенда позволяет имитировать бортовую и килевую качку судна, как по отдельности, так и одновременно. Экономическая оценка разрабатываемого продукта несколько выше, чем у основных конкурентов, это значит, что данное устройство будет конкурентоспособным.

6.2.3. SWOT– анализ

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

Таблица 3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно- исследовательского проекта:	Слабые стороны научно- исследовательского проекта:
	С1. Имитация качки по двум плоскостям.	Сл1. Продукт не продавался.
	С2. Конструкция	Сл2. Нет реального

	данного устройства предусматривает использование только стандартного проката и серийно выпускаемой гидроаппаратуры. С3. Процесс полностью автоматизирован, благодаря этому удобно моделировать различные случаи качки судна.	прототипа. Сл3. Более высокая стоимость, по сравнению с моделями конкурентов, что может отпугнуть менее крупные предприятия.
Возможности: В1. Низкая конкуренция, т.к. полностью аналогов данного устройства не представлено на рынке. В2. Увеличение спроса в виду последних событий и вводом санкций по отношению к России.	В1В2С1С3. высокий спрос в связи с возможностью имитации качки в двух плоскостях. В1С2. использование стандартного проката и серийно выпускаемой гидроаппаратуры благоприятно скажется на конечной цене изделия.	В1Сл1Сл2. высокий спрос со стороны предприятий, но реального прототипа нет, и данного продукта еще не было на рынке. В1Сл3. конкуренты технически устарели, но их цена несколько ниже.
Угрозы: У1. Спрос на испытательный стенд может быть ниже ожидаемого. У2. Финансовый кризис		У2Сл3. В условиях кризиса повышенная цена стенда негативно скажется на уровне продаж.

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	+	+	+
	B2	+	-	+

На основании SWOT-анализа составляем интерактивную матрицу проекта, дающую общее представление о возможных вариантах стечения благоприятных и негативных факторов.

6.2.4. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования.

Таблица 5 – Морфологическая матрица для стенда

	1	2
А. Привод механизма имитации бортовой качки	Гидравлический	Электромеханический
Б. Привод механизма имитации килевой качки	Гидравлический	Электромеханический

Варианты решения задачи:

A1B1 – исполнение 1

A1B2 – исполнение 2

A2B2 – исполнение 3

На данном этапе были предложены различные варианты исполнений проектируемого стенда, отличия которых заключаются в применяемых приводах.

6.3. Планирование научно-исследовательских работ

6.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

Разбиваем проект на основные этапы работы и назначаем исполнителей. Все это необходимо для дальнейшего расчета заработной платы.

Таблица 6 – Перечень этапов и распределение исполнителей

Основные этапы	№		Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	Студент
	3	Проведение патентного обзора	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	Студент
	5	Выполнение расчетов	Студент
	6	Построение модели стенда	Студент
	7	Разработка математической модели	Студент
Проведение ОКР			
Разработка технологической документации	8	Разработка сборочных чертежей	Студент
	9	Исследование математической модели	Студент
Оформление отчета	10	Заполнение пояснительной записки	Студент

6.3.2. Определение трудоемкости выполняемых работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5};$$

$t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы чел/дн;

t_{min} – минимальная возможная трудоемкость выполнения заданной работы (оптимистическая оценка в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел/дн.

t_{max} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы (пессимистическая оценка в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел/дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_p = \frac{t_{ож}}{ч};$$

T_p – продолжительность одной работы, рабочих дней;

ч – численность исполнителей выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Таблица 7 – Ожидаемое время выполнения работы

Основные этапы	№ раб		$t_{ож}$, чел/дн
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	1
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	1,4
	3	Проведение патентного обзора	2
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	4,2
	5	Выполнение расчетов	4,2
	6	Построение модели стенда	4,6
	7	Разработка математической модели	4,6
Проведение ОКР			

Разработка технологической документации	8	Разработка сборочных чертежей	6,4
	9	Исследование математической модели	11,4
Оформление отчета	10	Заполнение пояснительной записки	2,8
Итого:			42,6

Расчет продолжительности одной работы не является необходимым, т.к. на каждой работе задействован один исполнитель, то есть $T_p = t_{ож}$

6.3.3. Разработка графика проведения научного исследования

Строится график проведения научного исследования в форме диаграммы Гранта.

Для удобства построения, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней необходимо перевести в календарные дни.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$$

T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}};$$

$T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году

Таблица 8 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительно сть работ в рабочих днях T_p	Длительнос ть работ в календарны х днях T_k						
	t_{min}			t_{max}			$t_{ож}$											
	Испол. 1	Испол. 2	Испол. 3	Испол. 1	Испол. 2	Испол. 3	Испол. 1	Испол. 2	Испол. 3				Испол. 1	Испол. 2	Испол. 3	Испол. 1	Испол. 2	Испол. 3
Составление и утверждение ТЗ	1			1			1			Руководитель			1			2		
Изучение материала по теме	1			2			1,4			Студент			1,4			2		
Проведение патентного обзора	2			2			2			Студент			2			3		
Составление принципиальной схемы	3			6			4,2			Студент			4,2			6		
Выполнение расчетов	3			6			4,2			Студент			4,2			6		
Построение модели стенда	3			7			4,6			Студент			4,6			7		
Разработка математической модели	3			7			4,6			Студент			4,6			7		
Разработка сборочных чертежей	6			7			6,4			Студент			6,4			9		
Исследование математической модели	9			15			11,4			Студент			11,4			16		

Заполнение пояснительной записки	2	4	2,8	Студент	2,8	4
--	---	---	-----	---------	-----	---

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,47;$$

Таблица 9 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ раб.	Вид работ	Испол.	T_k	Продолжительность выполнения работ							
				Март	Апрель			Май			Июнь
				3	1	2	3	1	2	3	1
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2								
2	Изучение материалов по теме	Студент	2								
3	Проведение патентного обзора	Студент	3								
4	Составление принципиальной схемы	Студент	6								
5	Выполнение расчетов	Студент	6								
6	Построение модели стенда	Студент	7								
7	Разработка математической модели	Студент	7								
8	Разработка сборочных чертежей	Студент	6								
9	Исследование математической модели	Студент	16								
10	Заполнение пояснительной записки	Студент	4								

6.3.4. Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

6.3.5. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_{\text{т}}) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{рас.}xi};$$

m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{рас.}xi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт, кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб/шт, руб/кг, руб/м, руб/м² и т.д.);

$k_{\text{т}}$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 10 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.	Затраты на материалы		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Болт М12	шт	200	200	200	1,5	300	300	300
Швеллер 100	м	50	50	50	1000	50000	50000	50000
Уголок 28х45	м	20	20	20	500	10000	10000	10000

Винт М6	шт	80	80	80	1,5	120	120	120
Болт М20	шт	40	40	40	2	80	80	80
Шайба М20	шт	40	40	40	2	80	80	80
Шайба М6	шт	80	80	80	0,5	40	40	40
Лист нержавеющий	м ²	20	20	20	2500	50000	50000	50000
Винт М14	шт	24	24	24	2	84	84	84
Гайка М14	шт	24	24	24	2	84	84	84
Гайка М20	шт	40	40	40	4	160	160	160
Гайка М6	шт	80	80	80	1	80	80	80
Шайба М6	шт	80	80	80	0,5	40	40	40
Гайка М12	шт	200	200	200	1,5	300	300	300
Гидроцилиндр/НС	шт	2	2	2	///	24000	32180	27081
Сверла	шт	8	8	8	50	400	400	400
Резиновые уплотнения	шт	3	3	3	10	30	30	30
Итого расходы на материалы:						135798	143978	138879

Основываясь на данные таблицы 10, можно сделать вывод о том, что наиболее предпочтительным вариантом исполнения стенда имитации судовой качки, с точки зрения ресурсосбережения, является первый вариант, когда оба механизма имитации судовой и килевой качки используют гидравлические приводы.

6.3.6. Основная заработная плата исполнителей

В таблице 11 приведены основные этапы работы, их исполнители и затраты на оплату их труда.

Таблица 11 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнители	Трудоемкость, чел.-дн	Заработная плата на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	1	1356	1356
2	Изучение материалов по теме	Студент	1,4	879	1230
3	Проведение патентного обзора	Студент	2	879	1758
4	Составление принципиальной схемы	Студент	4,2	879	3691,8
5	Выполнение расчетов	Студент	4,2	879	3691,8
6	Построение модели стенда	Студент	4,6	879	4043,4
7	Разработка математической модели	Студент	4,6	879	4043,4
8	Разработка сборочных чертежей	Студент	4,2	879	3691,8
9	Исследование математической модели	Студент	11,4	879	1020,6
10	Заполнение пояснительной записки	Студент	2,8	879	2461,2

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп};$$

$З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия(при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Т_p;$$

$З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$Т_p$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.;

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d};$$

$З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 рабочих дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 рабочих дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней.

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	104	104
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	48

- невыходы по болезням	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	199

Для руководителя:

$$З_{\text{дн. рук}} = \frac{27500 \cdot 11}{223} = 1356 \text{ руб};$$

Для студента:

$$З_{\text{дн. студ}} = \frac{17500 \cdot 10}{199} = 879 \text{ руб};$$

$$З_{\text{осн. рук}} = 1356 \cdot 1 = 1356 \text{ руб};$$

$$З_{\text{осн. студ}} = 879 \cdot 41,6 = 36566 \text{ руб};$$

$$З_{\text{зп. рук}} = 1356 + 1356 \cdot 0,12 = 1518 \text{ руб};$$

$$З_{\text{зп. студ}} = 36566 + 36566 \cdot 0,12 = 40953 \text{ руб};$$

6.3.7. Дополнительная заработная плата исполнителей

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}};$$

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$З_{\text{доп.рук}} = 0,12 \cdot 1356 = 163 \text{ руб};$$

$$З_{\text{доп.студ}} = 0,12 \cdot 36566 = 4388 \text{ руб};$$

6.3.8. Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством РФ нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп});$$

$k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	1356	163
Студент	36566	4388
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	27,1%
Итого:	11509	

После расчета суммы отчислений во внебюджетные фонды, не стоит забывать о том, что их необходимо учитывать при общем подсчете затрат на научно-техническое исследование.

6.3.9. Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ сторонними организациями:

Работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними предприятиями и организациями. К работам и услугам производственного характера относятся:

- Выполнение отдельных операций по изготовлению продукции, обработке сырья и материалов;
- Проведение испытаний для определения качества сырья и материалов;
- Контроль за соблюдением установленных регламентов технологических и производственных процессов;
- Ремонт основных производственных средств;
- Проверка и аттестация измерительных приборов и оборудования, другие работы (услуги) в области метрологии и прочее;
- Транспортные услуги сторонних организаций по перевозкам грузов внутри организации (перемещение сырья, материалов, инструментов, деталей, заготовок, других видов грузов с базисного (центрального) склада в цеха (отделения) и доставка готовой продукции на склады хранения, до станции (порта, пристани) отправления.
- Работы, выполняемые другими учреждениями, предприятиями и организациями (в т.ч. находящимися на самостоятельном балансе опытными предприятиями по контрагентским договорам на создание научно-технической продукции, головным исполнителем которых является данная научная организация).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется их условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

Изготавливаться модель стенда будет в рамках кафедры АРМ, материалы и амортизация для оборудования посчитаны, нужно подсчитать стоимость работ.

В таблице 14 представлены исполнители операций по изготовлению сепаратора.

Таблица 14 – Сторонние исполнители

№ п/п	Профессия	Количество деталей			Количество работников	Разряд рабочего
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		
1	Токарь	8	8	8	1	2
2	Оператор гидрорезки	14	15	11	1	2

Заказ будет выполняться на кафедре АРМ. Оклад операторов станков с ЧПУ принимаем равным 20000 тыс. руб.

На выполнение работ по изготовлению деталей сепаратора отводится 3 дня. Это время необходимое на написание УП, подготовки оборудования, его наладки и на изготовление сборочных единиц и деталей.

Подсчитаем зарплату за 3 дня рабочих на кафедре АРМ. Результаты расчетов представлены в таблице 15.

Таблица 15– Оплата труда сторонних исполнителей

Исполнитель	Заработная плата, руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Токарь	2208	2208	2208
Оператор гидрорезки	3312	3814	3012
Отчисления во внебюджетные фонды	1596	1632	1414
Итого:	7118	7655	6635

Основная зарплата токаря:

$$З_{\text{дн.1,2}} = \frac{20000 \cdot 11}{223} = 986 \text{ руб};$$

$$З_{\text{осн.1}} = 986 \cdot 2 = 1972 \text{ руб};$$

Основная зарплата оператора гидрорезки:

$$З_{\text{осн.2}} = 986 \cdot 3 = 2952 \text{ руб};$$

Зарплата токаря:

$$З_{\text{зп.1}} = 1972 + 1972 \cdot 0,12 = 2208 \text{ руб};$$

Зарплата оператора гидрорезки:

$$З_{\text{зп.2}} = 2958 + 2958 \cdot 0,12 = 3312 \text{ руб};$$

Отчисления для токаря:

$$З_{\text{внеб.1}} = 0,3 \cdot (1972 + 1972 \cdot 0,12) = 662 \text{ руб};$$

Отчисления для оператора гидрорезки:

$$З_{\text{внеб.2}} = 0,3 \cdot (2958 + 2958 \cdot 0,12) = 993 \text{ руб};$$

6.3.10. Накладные расходы.

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}};$$

6.3.11. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Материальные затраты НТИ	135798	143978	138879	Пункт 3.4.1.
Затраты по основной заработной плате исполнителей	42852	43354	42552	Пункт 3.4.2.
Зарплаты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	5142	5202	5106	Пункт 3.4.3.
Отчисления во внебюджетные фонды.	11613	11748	11531	Пункт 3.4.4.
Контрагентские расходы	7118	7655	6635	Пункт 3.4.5.
Накладные расходы	32403	33909	32752	16% от суммы ст. 1-5
Бюджет затрат НТИ	234926	245846	237455	Сумма ст. 1-6

На основании итоговых данных таблицы 16, можно сделать вывод о необходимости изготовления первого исполнения изделия исходя из экономической целесообразности.

6.3.12. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Интегральный показатель разработки определяется как:

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

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

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

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{135798}{143978} = 0,94;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{143978}{143978} = 1;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{138879}{143978} = 0,96;$$

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

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

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Результаты расчета интегрального показателя ресурсоэффективности в таблице 17.

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Способствует производительности пользователя росту труда	0,15	5	3	3
Удобство в эксплуатации	0,15	5	4	3
Безопасность	0,15	5	3	3
Надежность	0,25	5	3	3
Стоимость	0,3	3	3	3
Итого:	1			

$$I_{p-исп.1} = 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,3 = 4,4$$

$$I_{p-исп.1} = 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,3 = 3,15$$

$$I_{p-исп.1} = 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,3 = 3$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}};$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,4}{0,94} = 4,68; I_{исп.2} = \frac{3,15}{1} = 3,15; I_{исп.3} = \frac{3}{0,96} = 3,13;$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}};$$

Таблица 18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п\п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,94	1	0,96
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	3,15	3
3	Интегральный показатель эффективности	4,4	3,2	3,05
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Исп1/Исп2=1,48; Исп1/Исп3=1,49	Исп2/Исп3=1; Исп2/Исп1=0,67	Исп3/Исп2=0,99; Исп3/Исп1=0,66

По данным из таблицы 18 можно сделать вывод, что наиболее эффективный вариант решения технического задания с позиции финансовой и ресурсной эффективности является первый вариант исполнения.

6.4. Заключение

В ходе выполнения данного раздела был проведен анализ перспективности данного проекта, рассмотрены различные варианты влияния благоприятных и негативных факторов, а также предложено несколько альтернативных исполнений конструкции проектируемого стенда. На основании этого, был выбран наиболее перспективный вариант и рассчитаны все необходимые расходы, требуемые для его реализации.

На первом этапе работы была построена карта сегментирования рынка, анализ которой дает представление о том, что на рынке крупных и средних предприятий продвижение продукта будет наиболее благоприятным. После этого проведен SWOT-анализ, моделирующий возможные варианты стечения благоприятных и негативных факторов. Далее, разбили проект на основные этапы работы и назначили исполнителей, провели расчет материальных затрат, связанных с выплатой заработной платы, отчисления во внебюджетные фонды

и т.д. и посчитали общий уровень затрат для каждого исполнения. Опираясь на полученные данные, можно сделать вывод о целесообразности изготовления стенда имитации судовой качки первого исполнения, так как для его реализации необходимо наименьшее количество материальных затрат, а именно 234926 рублей. Согласно подсчетам, реализация проекта займет 42,6 рабочих дней.

7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

7.1. Анализ установки с точки зрения безопасности

Как показывает практика, создание новых функциональных элементов, предназначенных для работы в тяжелых условиях, невозможно без большого объема экспериментальных работ. Преимуществом испытаний на стенде, имитирующего реальные условия работы изделия, дает возможность оценки реакции образца на определённый тип и величину нагрузки при прочих фиксированных параметрах, что позволяет выявить скрытые конструктивные недостатки. При данных испытаниях объекты подвергаются действию нагрузок, сопоставимых или превышающих нагрузки в реальных условиях. Целью подобных испытаний является выяснение реакции объекта на специфические условия работы. При этом создание испытательных установок может оказаться не менее сложной и трудоемкой задачей, чем создание нового изделия.

Данная работа направлена на конструктивную проработку унифицированного стенда имитации судовой качки, предназначенного для проведения испытаний в соответствии с требованиями ТУ на изделия морской техники, а также создание и дальнейшее исследование математической модели проектируемого устройства, с целью определения оптимальных параметров работы на этапе его разработки.

Принципиальная схема, которая реализовывалась при конструктивной проработке проектируемого стенда, изображена на рисунке 3. В состав установки входит рабочий стол 1, имитирующий бортовую качку судна, а также предусматривающий возможность установки и закрепления на нем испытуемого изделия, механизм имитирующий килевую качку судна 2 и несущая рама 3. В качестве приводных элементов в данной конструкции предусматриваются два гидроцилиндра, по одному на каждое колебательное звено. Общий вид испытательного стенда представлен на рисунке 17.

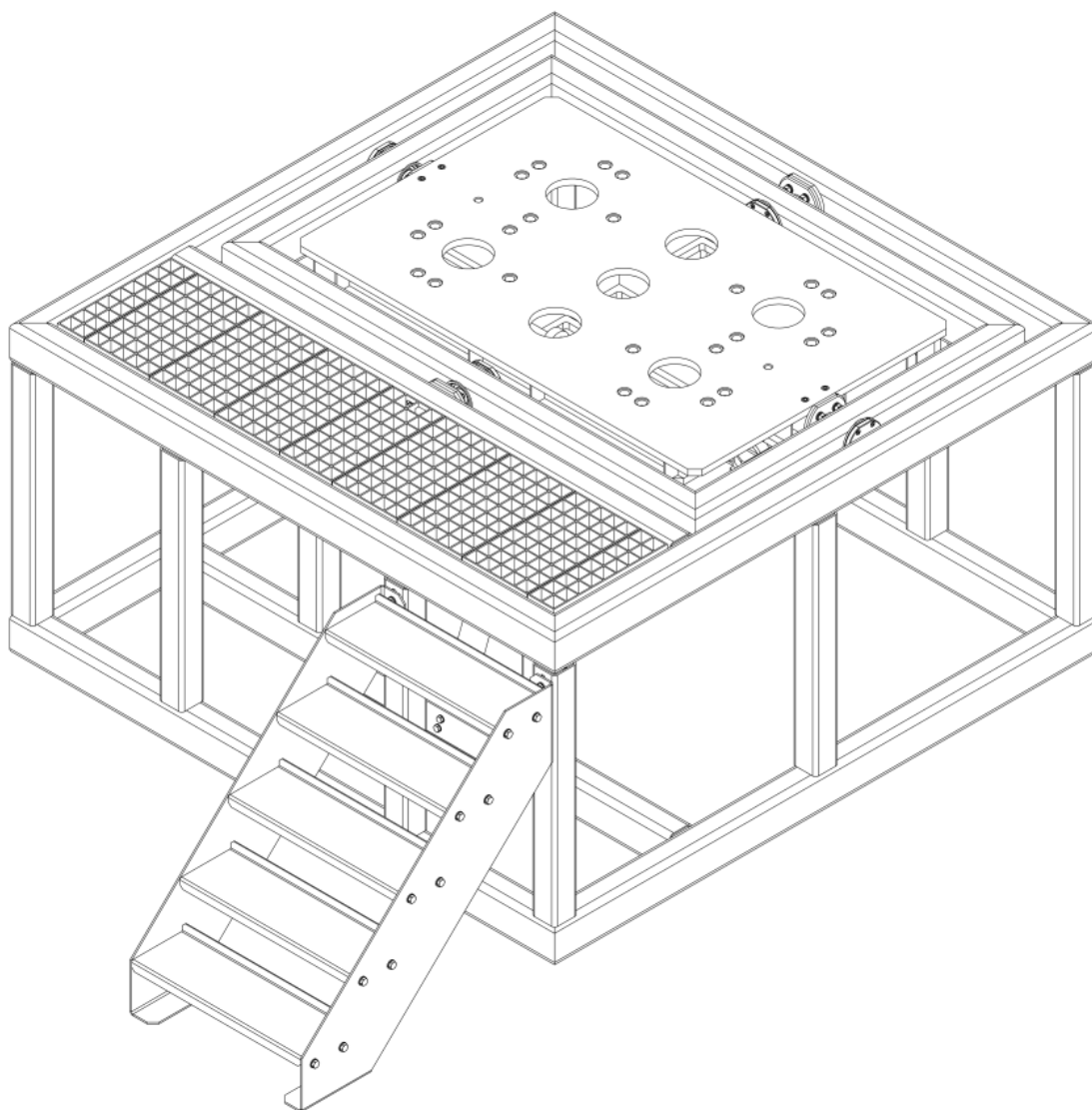


Рисунок 17 – Общий вид стенда имитации судовой качки

Основными факторами, представляющие опасность для персонала, эксплуатирующего данное устройство, являются наличие подвижных элементов конструкции, а также большие массогабаритные показатели испытуемого объекта, совершающего возвратно-поступательное движение в двух плоскостях. Для исключения вероятности получения травм, следует ограничить доступ к устройству во время его работы. Для удобства закрепления испытуемого объекта, а также его обслуживания, предусмотрено наличие небольшого помоста и лестницы.

К другим, менее вредным факторам, относится наличие шума, вызванного работой испытательного стенда. Шум на рабочем месте оказывает

раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих повышенного внимания, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения заданий. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты.

Согласно техническому заданию, уровень шума на рабочем месте не должен превышать значений, установленных ГОСТ 12.1.003-2014. В связи с данной необходимостью, в качестве приводных элементов используются гидроцилиндры.

7.2. Полезные факторы

На сегодняшний день на рынке промышленного оборудования и испытательных стендов можно найти большое количество стендов имитации судовой качки. Данное разнообразие определяется различиями в использовании разных типов приводов и кинематических схем, реализующих требуемый закон движения рабочего стола. Несмотря на это, область применения подобных стендов достаточно узкая и ограничивается предприятиями, занимающимися выпуском изделий, используемых на морских судах. Под действием качки, все имеющееся на борту оборудование воспринимает динамические нагрузки, а выход из строя, какого либо модуля в открытом море, может привести к необратимым последствиям, именно поэтому так важно выявить уязвимость тех или иных компонентов на этапе производства.

7.3. Организация рабочего пространства

Данная работа выполняется в Томском политехническом университете, на кафедре автоматизации и роботизации в машиностроении.

Студенты кафедры имеют неограниченный доступ к компьютерным аудиториям, с полным набором необходимого программного обеспечения, более того в аудиториях непрерывно поддерживаются комфортные условия труда. Помимо всего прочего, на кафедре АРМ имеются промышленные

лаборатории, включающие в себя станочное оборудование, а также учебно-практические стенды.

7.4. Микроклимат

Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры:

- температура воздуха в помещении;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха.

Перечисленные параметры оказывают огромное влияние на функциональную деятельность человека, его самочувствие и здоровье и на надежность работы средств вычислительной техники.

Повышенные или пониженные значения этих параметров выступают как опасные или вредные факторы производства. Показатели микроклимата согласно ГОСТ 12.1.005-88 приведены в таблице 19.

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещения должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Таблица 19 – Оптимальные и допустимые показатели микроклимата

Период года	Температура, °C			Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
	Оптимальная граница	Верхняя граница	Нижняя граница	Оптимальная граница	Допустимый максимум	Оптимальная	Допустимый максимум
Холодный	22-24	24,5	21	40-60	75	0,1	0,1
Теплый	23-25	26	22	40-60	55	0,1	0,2

Для поддержания данных санитарных норм достаточно иметь естественную неорганизованную вентиляцию помещения и местный кондиционер установки полного кондиционирования воздуха, обеспечивающий постоянство температуры, относительной влажности, скорости движения и чистоты воздуха. Необходима система центрального отопления, обеспечивающая заданный уровень температуры в зимний период по СНиП-41-01-2003.

В зимний период в аудитории для поддержания необходимой температуры используется система водяного отопления. Эта система надежна в эксплуатации и обеспечивает возможность регулирования температуры в широких пределах.

При устройстве системы вентиляции и кондиционирования воздуха в помещении лаборатории необходимо соблюдать определенные требования пожарной безопасности.

В зимнее время в помещении необходимо предусмотреть систему отопления. Она должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление.

7.5. Освещение на рабочем месте

Основными понятиями, характеризующими свет, являются световой поток, сила света, освещённость и яркость. Световым потоком называют поток лучистой энергии, оцениваемый глазом по световому ощущению.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

Нормальная освещённость достигается в дневное время за счёт естественного света, проникающего через оконные проёмы, в утренние и вечерние часы за счёт искусственного освещения лампами.

В качестве источников искусственного света будем использовать люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеют ряд существенных преимуществ: по спектральному составу они близки к дневному, естественному свету; обладают более высоким КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания); обладают повышенной светоотдачей (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания); более длительный срок службы.

Освещенность рабочего стола должна быть не менее 300÷500 лк, что может достигаться установкой местного освещения. Местное освещение не должно создавать бликов на экране. Следует ограничивать отраженную блескостность на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура) за счет правильного выбора и расположения светильников, яркость бликов на экране не должна превышать 40 кд/м². Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель.

Проектирование искусственного освещения рабочего места сводится к выбору системы освещения, определению необходимого числа светильников, их типа и размещения.

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами, м:

$H = 3$ м – высота помещения;

h_c – расстояние светильников от перекрытия (свес);

$h_{\pi} = H - h_c = 2,5$ м – высота светильника над полом, высота подвеса;

$h_p = 0,8$ м – высота рабочей поверхности над полом;

$h = h_{\pi} - h_p$ – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью.

Расстояние между светильниками определяется как:

$$L = \lambda \cdot h;$$

Необходимо изобразить в масштабе в соответствии с исходными данными план помещения, указать на нём расположение светильников и определить их число.

Рассчитаем высоту светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_{\pi} - h_p = 2,5 - 0,8 = 1,7 \text{ м};$$

$$L = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 1,7 = 2,21 \text{ м};$$

Расстояние I от крайних светильников или рядов до стены:

$$I = \frac{L}{3} = \frac{2,21}{3} = 0,7 \text{ м};$$

Размещаем светильники в 3 ряда. В одном ряду можно установить 4 светильника типа ШОД-2-40 (2 лампы по 40В в одном светильнике). План помещения и размещения в нем светильников изображен в масштабе на рисунке 18. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $n = 12 \cdot 2 = 24$ лампы.

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 6}{1,7 \cdot (8 + 6)} = 2;$$

По таблице определяем коэффициент использования светового потока:

$$\eta = 0,5;$$

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{n \cdot \eta};$$

E_n – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, лк;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

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

Z – коэффициент неравномерности освещения, отношение $E_{\text{ср.}} / E_{\text{min}}$. Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;

n – число светильников;

η – коэффициент использования светового потока.

Определим потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 48 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,5} = 3960 \text{ Лм};$$

Рассчитав световой поток Φ , зная тип лампы, по таблице выбирается стандартная ближайшая лампа и определяется электрическая мощность всей осветительной системы. Если необходимый поток светильника выходит за пределы диапазона (-10 ÷ +20%), то корректируется число светильников n либо высота подвеса светильников.

Выбираем стандартную ближайшую лампу – ЛДЦ 80 Вт с потоком 3800 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$\begin{aligned} -10\% &\leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\% \\ -10\% &\leq \frac{3800 - 3960}{3960} \cdot 100\% \leq +20\% \end{aligned}$$

Получаем

$$-10\% \leq -0,04\% \leq +20\%$$

Необходимый поток светильника не выходит за пределы диапазона (-10 ÷ +20%), то корректировать число светильников n либо высоту подвеса светильников нет необходимости.

Определим электрическую мощность осветительной установки:

$$P = \omega \cdot S = 80 \cdot 48 = 3840 \text{ Вт};$$

Тогда мощность каждой лампы:

$$P_{\text{л}} = \frac{P}{n} = \frac{3840}{24} = 160 \text{ Вт};$$

Определим электрическую мощность осветительной установки

$$P = 24 \cdot 80 = 1920 \text{ Вт};$$

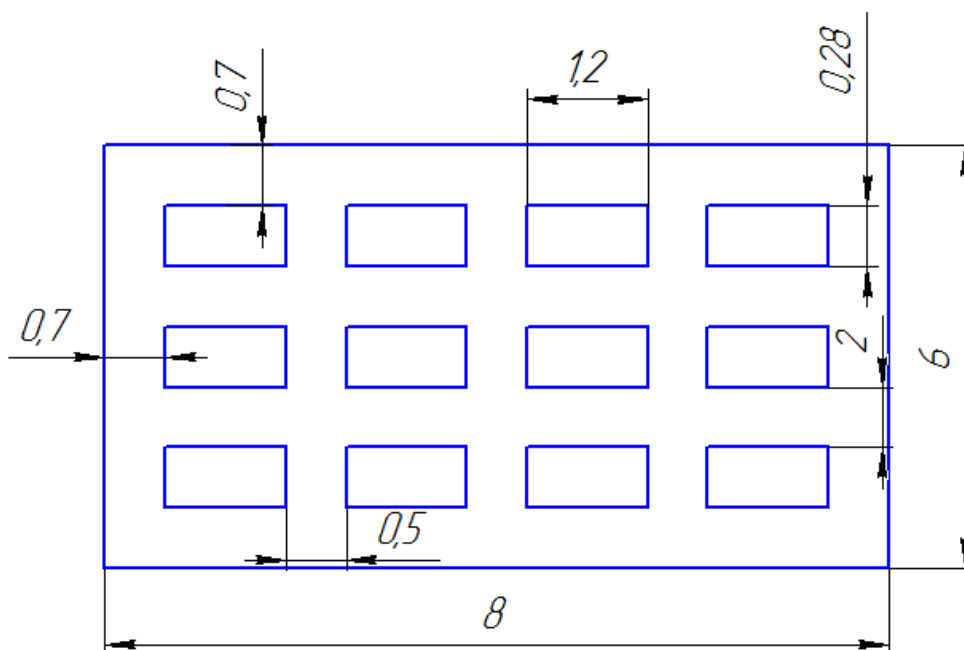


Рисунок 18 – План помещения и размещения светильников

7.6. Анализ пожаро-взрывоопасности

Пожарная профилактика основывается на исключении условий, необходимых для горения, и использования принципов обеспечения безопасности. При обеспечении пожарной безопасности решаются следующие задачи:

- предотвращение пожаров;
- возгорание;

- локализация возникших пожаров;
- защита людей и материальных ценностей;
- тушение пожара.

Пожаром называют неконтролируемое горение во времени и пространстве, наносящее материальный ущерб и создающее угрозу жизни и здоровью людей [20].

Горение представляет собой сложное, быстро протекающее химическое превращение, сопровождающееся выделением большого количества теплоты и свечением.

Предотвращение пожара достигается исключением образования горючей среды и источников зажигания, а также поддержанием параметров среды в пределах, исключающих горение.

Пожар в лаборатории представляет особую опасность, так как он грозит уничтожением ЭВМ, аппаратуры, инструментов, документов, которые представляют большую материальную ценность, и возникновением пожара в соседних лабораториях.

Возникновение пожара в рассматриваемом помещении обуславливается следующими факторами: возникновение короткого замыкания в электропроводке вследствие неисправности самой проводки или электро-соединений и электrorаспределительных щитов; возгорание устройств вычислительной аппаратуры вследствие нарушения изоляции или неисправности самой аппаратуры; возгорание мебели или пола по причине нарушения правил пожарной безопасности, а также неправильного использования дополнительных бытовых электроприборов и электроустановок.

Для устранения возможности пожара в помещении необходимо соблюдать противопожарные меры:

- ограничение количества горючих веществ;
- максимально возможное применение негорючих веществ;
- устранение возможных источников возгорания (электрических искр, нагрева оболочек оборудования);

- применение средств пожаротушения;
- использование пожарной сигнализации;
- содержание электрооборудования в исправном состоянии, использование плавких предохранителей и автоматических выключателей в аппаратуре, по окончании работ все установки должны обесточиваться;
- наличие в помещении средств пожаротушения (огнетушители типа ОУ-3, пожарный инструмент, песок) и содержание их в исправном состоянии;
- содержание путей и проходов эвакуации людей в свободном состоянии;
- проводить раз в год инструктаж по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещения.

По степени взрывопожарной и пожарной опасности помещение лаборатории в соответствии с классификацией производств по пожарной безопасности относится к категории В (пожароопасные помещения), т.е. к помещениям с твердыми сгораемыми веществами. Поэтому необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий технического, эксплуатационного и организационного плана.

Необходимость строгого соблюдения мер пожарной безопасности при работе с оборудованием и бытовыми приборами требует регулярного проведения инструктажей работников по пожарной безопасности и их действий в случае возникновения пожара в помещении или в соседних комнатах. При возникновении пожара нужно, прежде всего, вызвать пожарную команду, обеспечить полную эвакуацию людей из помещения, где возник пожар. Вынужденная эвакуация при пожаре протекает в условиях нарастающего действия опасных факторов пожара. Поэтому безопасность людей находится в прямой зависимости от времени пребывания их в здании при пожаре. Кратковременность процесса вынужденной эвакуации достигается устройством эвакуационных путей и выходов, их числом и размером.

Число эвакуационных выходов из здания с каждого этажа должно быть не менее двух. Ширину эвакуационного выхода (двери) устанавливают в зависимости от общего количества людей, эвакуирующихся через этот выход,

но не менее 0,8 м. Высота прохода на эвакуационных путях должна быть не менее 2 м. План эвакуации изображен на рисунке 19.

После эвакуации людей необходимо принять меры по пожаротушению. На лестничных площадках каждого этажа здания находятся пожарные щиты. Каждый из этих щитов оборудован лопатами, ведрами, топором и двумя огнетушителями типа ОХВП - 10. Рядом со щитом расположен ящик с песком.



Рисунок 19 – План эвакуации

7.7. Охрана окружающей среды

Правовую основу охраны окружающей среды в стране составляет закон РСФСР “О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения” (1991).

Требования охраны окружающей среды зафиксировано в Основах законодательства РФ “Об охране здоровья граждан” (1993) и в законе РФ “О защите прав потребителей” (1992) [17].

Основным видом нормативно-правовых актов по охране окружающей среды является система стандартов “Охрана природы”, имеющая номер 17 и состоящая из 10 комплексов [17].

7.7.1. Защита атмосферы

Для защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий можно применять следующие меры:

- полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам;
- совершенствование технологических процессов и разработка нового оборудования с меньшим уровнем выбросов примесей и отходов в окружающую среду;
- экологическая экспертиза всех видов производств и промышленной продукции;
- замена токсичных отходов на нетоксичные;
- замена не утилизируемых отходов на утилизируемые;
- последствия промышленного загрязнения окружающей среды.

7.7.2. Защита от шума

Шум в окружающей среде создается одиночными или комплексными источниками, находящимися снаружи или внутри здания [18].

Под воздействием шума, превышающего 85-90 дБ, снижается слуховая чувствительность. Сильный шум вредно отражается на здоровье и работоспособности людей. Человек, работая при шуме, привыкает к нему, но продолжительное действие сильного шума вызывает общее утомление и может привести к ухудшению слуха [22].

Для снижения шума можно использовать следующие методы:

- уменьшение шума в источнике;
- изменение направленности излучения;
- рациональная планировка предприятий и цехов;

- акустическая обработка помещений;
- уменьшение шума на пути его распространения. [22].

7.7.3. Защита от электромагнитных полей

Электромагнитные поля оказывают специфическое воздействие на ткани человека, при воздействии полей, имеющих напряженность выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения со стороны нервной, сердечно-сосудистой систем, органов дыхания, органов пищеварения и некоторых биохимических показателей крови [22].

В результате выполненной выпускной квалификационной работы разработана математическая модель, которая функционирует на ЭВМ. Рассмотрим влияние ЭВМ на окружающую среду.

Ряд исследований, проводимых различными организациями здравоохранения, показал, что излучения, сопровождающие работу электронно-лучевого монитора компьютера, могут существенно сказываться на здоровье человека. Особенно вредным оказалось действие на человека излучения очень низкой частоты. Вероятнее всего, человеку никогда не удастся полностью избежать пагубного влияния передовых технологий на свое здоровье, но, безусловно, необходимой задачей в этом случае является сведение вредных факторов к минимуму.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование математической модели стенда имитации судовой качки позволило на этапе разработки оценить параметры проектируемого изделия по трем основным показателям: точность, качество переходного процесса и устойчивость.

Проектируемый стенд предназначен для проведения испытаний в соответствии с требованиями ТУ на изделия морской техники. Обзор литературы показал, что на сегодняшний день на рынке промышленного и испытательного оборудования можно найти большое количество стендов имитации судовой качки. Данное разнообразие определяется различиями в использовании разных типов приводов и кинематических схем, реализующих требуемый закон движения рабочего стола. Анализируя кинематику существующих прототипов, была предложена принципиальная схема стенда имитации судовой качки, параметры которой будут удовлетворять техническому заданию заказчика.

На следующем этапе работы был проведен силовой расчет, в результате которого были определены нагрузки, возникающие в процессе работы стенда, после чего составлена математическая модель проектируемого изделия.

В ходе исследования математической модели были получены данные о реальных параметрах работы стенда, такие как угловое ускорение, скорость и перемещение. На основании этого было подобрано значение коэффициента жесткости системы, характеризующийся определенной настройкой дросселей, при котором, время переходных процессов для механизмов имитации бортовой и килевой качки составило 40 и 50 с соответственно, что в свою очередь является приемлемым. Более того, данное значение, в установившемся режиме работы стенда, обеспечивает воспроизведение колебаний согласно техническому заданию заказчика без видимых отклонений от теоретической траектории движения платформ.

На заключительном этапе исследования математической модели были построены диаграммы Найквиста для механизмов имитации бортовой и килевой качки, анализ которых позволил сделать вывод о том, что динамическая система стенда является устойчивой.

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был проведен анализ актуальности данного проекта, рассмотрены различные варианты влияния благоприятных и негативных факторов, а также предложено несколько альтернативных исполнений конструкции проектируемого стенда. На основании этого, был выбран наиболее перспективный вариант и рассчитаны все необходимые расходы, требуемые для его реализации.

На первом этапе данного раздела была построена карта сегментирования рынка, анализ которой дает представление о том, что среди крупных и средних предприятий продвижение продукта будет наиболее благоприятным. После этого проведен SWOT-анализ, моделирующий возможные варианты стечения благоприятных и негативных факторов. Далее, проект был разбит на основные этапы работы и назначены исполнители, проведен расчет материальных затрат, связанных с выплатой заработной платы, отчисления во внебюджетные фонды и т.д. и посчитан общий уровень затрат для каждого исполнения. Опираясь на полученные данные, можно сделать вывод о целесообразности изготовления стенда имитации судовой качки первого исполнения, так как для его реализации необходимо наименьшее количество материальных затрат, а именно 234926 рублей. Согласно подсчетам, реализация данного проекта займет 42,6 рабочих дней.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Пат. RU150286U1, A23B 7/12 Сепаратор для автоматического отделения кочерыжки от вилка капусты [Текст]/ Д.М. Козарь, А.В. Порохин, (RU). – 2014119012/13; заявлено 12.05.2014; опубл. 10.02.2015.
2. Подана заявка на полезную модель «Шестикомпонентный вибрационный стенд»

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Балахнов Д.А. Определение частотных характеристик динамических звеньев: Методические указания к лабораторной работе. – Ухта: УГТУ, 2005. – 16 с., ил.
2. Гернет М.М., Ратобылский В.Ф. Определение моментов инерции. – М.: «Машиностроение», 1969 г.
3. Никулин Г.Л., Французова Г.А. Упрощенная математическая модель гидроусилителя руля автомобиля. – М.: «Машиностроение», 1986 г.
4. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. – М.: «Наука», 1991 г.
5. Грезина А.В., Комаров В.Н. О гашении крутильных колебаний в механической системе. – М.: «Наука», 1994 г.
6. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Том 1. 8-е изд., перераб. и доп. – М.: «Машиностроение», 2001 г. – 920 с., ил.
7. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: «Машиностроение», 1978 г. – 736 с., ил.
8. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления – М.: «Наука», 1975 г. – 711 с., ил.
9. Поляков К.Ю. Теория автоматического управления для «чайников» – СПб. 2008 г. – 80 с., ил.
10. Поляков К.Ю. Теория автоматического управления для «чайников». Часть 2. Управление при случайных возмущениях. Оптимальные линейные системы – СПб. 2009 г. – 59 с., ил.
11. Схиртладзе А.Г., Новиков В.Ю. Технологическое оборудование машиностроительных производств. – М.: Высшая школа, 2002 г. – 407 с.
12. Ковалева Н.В., Наталюткина И.А. Силовой расчет станочных приспособлений – Дружковка: Изд-во ДГМА, 2007 г. – 60 с.

13. Марон Ф.П., Кузьмин А.В. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. Минск, 1977. – 271 с.
14. Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. Москва: Изд-во Энергия, 1976 г. – 296 с.
15. Безопасность жизнедеятельности. Под ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 2002. – 357 с.
16. Гигиенические требования к ВДТ, ПЭВМ и организации работы. Санитарные правила и нормы 2.2.2.542 – 96. – М., 1996 г.
17. Правила устройства электроустановок. Минэнерго СССР, 6-е издание – Энергоатомиздат, 1996. – 640 с.
18. Ревкин А.И. Инженерные вопросы радиогигиены при проектировании и эксплуатации источников излучения. – М.: МЭИ, 1987. – 58с.
19. Федосова В.Д. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных задач по курсу «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей. – Томск, ТПУ, 1991. – 25 с.
20. Назаренко О.Б. Дашковский А.Г. Безопасность жизнедеятельности «Расчёт искусственного освещения» методические указания к выполнения индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. Томск, 2008 г.
21. А. С. 348423 СССР, В 63Ь 41/00 Стенд для испытания рулей [Текст]/ П.Е. Комиссаров, В.И. Аркадьев, В.В. Калабынин (СССР). – 1674231/27-11; заявлено 28.11.1971;опубл. 23.08.1972.
22. Пат. 771500 СССР, В 63В 39/00 Стенд для моделирования бортовой и килевой качки судна и его циркуляций [Текст]/ Э.В. Барановский, К.Н. Гайсенок, А.А. Иорх, В.И. Предеин, В.А. Черепанов (СССР). – 2684744/25-11; заявлено 02.11.1978;опубл. 15.10.1980.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Раздел 4 РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Порохин А.В.		

Консультант кафедры АРМ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Иоппа А.В.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Диденко А.В.	к.ф.н.		

THE MAIN PART

The principal scheme of the tested stand

Principal scheme, which will be implemented with the constructive elaboration of the projected stand, is shown in figure 19.

The unit consists of 1 desktop that simulates rolling of the vessel, as well as providing the ability to install and fix on it the tested product, the mechanism of imitating the pitching vessel 2 and the support frame 3. As the two drive elements are provided in the hydraulic cylinder design, one for each oscillating link.

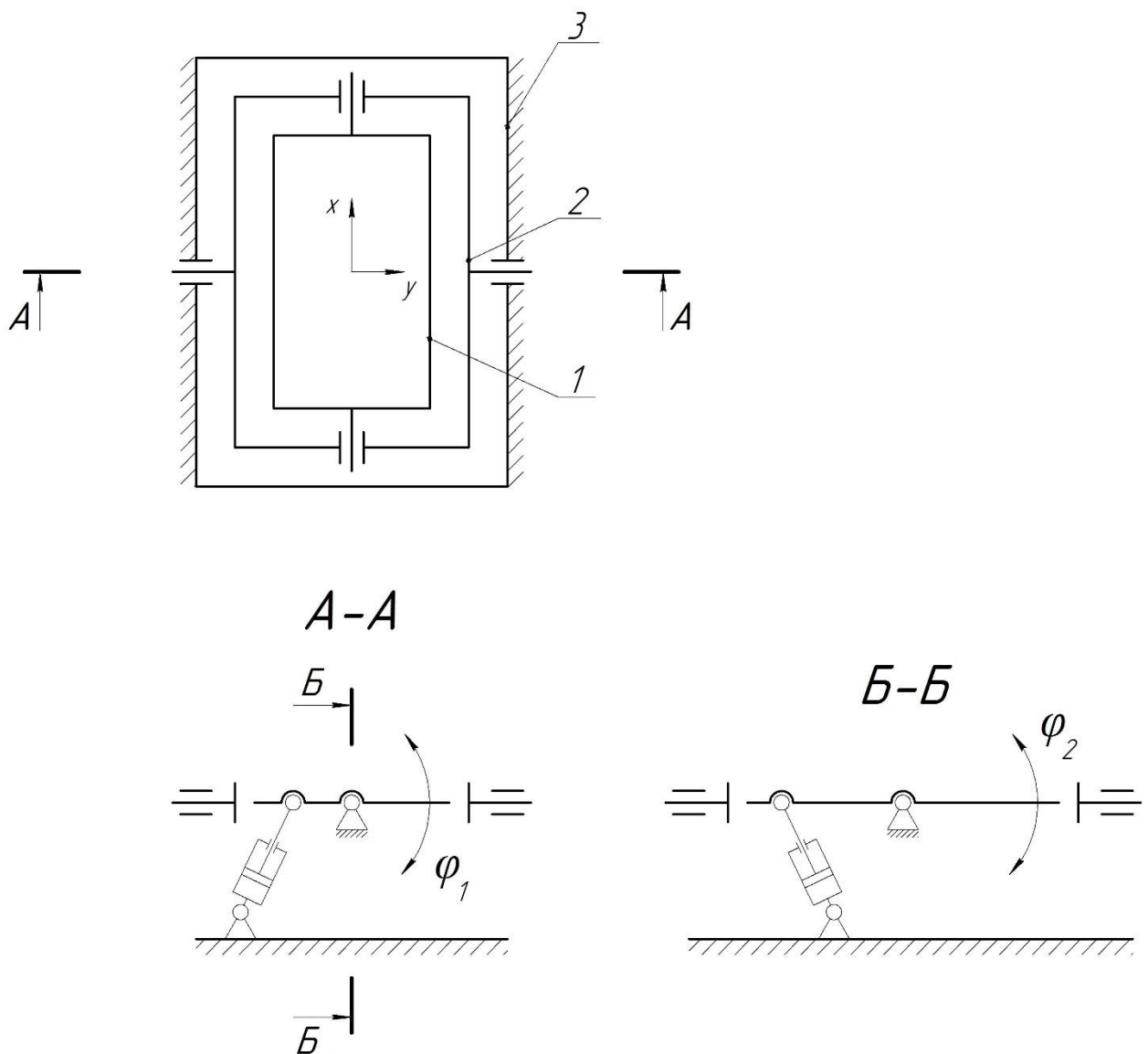


Figure 19 – The Principal scheme of the tested stand

The description of the construction and operating principle of products

This stand imitation of a pitching operates as follows: the pitching mechanism 2 is connected to the base frame by means of bearings and has one degree of freedom, a rotational motion around the X axis. According to technical specifications, the data, which imitate pitching oscillations, are dependent sinusoidal oscillations with a period of 7 seconds and amplitude equal to $\pm 45^\circ$. Desk 1 is similarly linked to the mechanism of the pitching motion being able to rotate around the axis Y implements harmonic oscillations simulating rolling oscillations with a period of 6 seconds and amplitude equal to $\pm 15^\circ$. Finally, the test product at the same time experiences the impact of the pitching of the ship and rolling components.

There are loads shown on figures 20 and 21, acting on each oscillating units and speed force, which should provide the hydraulic cylinders.

Since the angular accelerations of the pitching mechanism are very small, the force at the moment of inertia shall be neglected and considered as static.

The estimation

The power estimation of the rolling imitation mechanism

Consider the mechanism of rolling in the most loaded condition shown in figure 20, when a static moment acting on the platform is maximized.

$$F_y = m \cdot g \cdot \cos 15^\circ$$

m – the total weight of the table and the tested object;

$$F_y = 1800 \cdot 9,8 \cdot \cos 15^\circ = 17040 \text{ H};$$

$$F_{\text{6opt}} \cdot b = F_y \cdot a$$

$$a = h \cdot \operatorname{tg} 15^\circ = 1 \cdot 0,27 = 0,27 \text{ м};$$

$$F_{\text{6opt}} = \frac{F_y \cdot a}{b} = \frac{17040 \cdot 0,27}{0,46} = 10002 \text{ H};$$

$$\omega_{\text{6opt}} = \frac{2\pi}{T_{\text{6opt}}};$$

ω_{6opt} – the angular velocity of the roll mechanism;

T_{6opt} —the rolling period of oscillation mechanism.

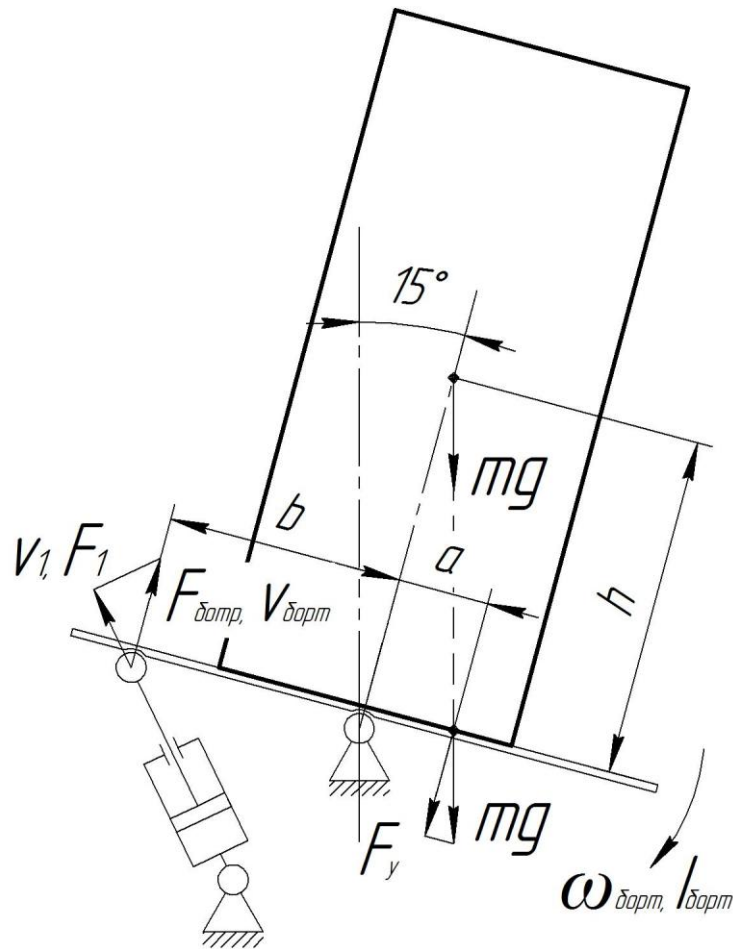


Figure 20 – The driving forces acting on the mechanism of rolling imitation

The value of the period T_{6opt} is determined on the basis of the data presented in the technical task

$$T_{\text{борт}} = \frac{360 \cdot 6}{30} = 72 \text{ с};$$

$$\omega_{\text{борт}} = \frac{2\pi}{72} = 0,09 \text{ рад/с};$$

$$v_{\text{opt}} = \omega_{\text{opt}} \cdot b$$

v_{6OPT} – the linear velocity of the rolling imitation mechanism.

$$v_{\text{доп}} = 0,09 \cdot 0,46 = 0,041 \text{ м/с};$$

The power estimation of the pitching imitation mechanism

There is a mechanism of pitching under loaded condition shown on figure 21, when static moment acting on the platform is maximized.

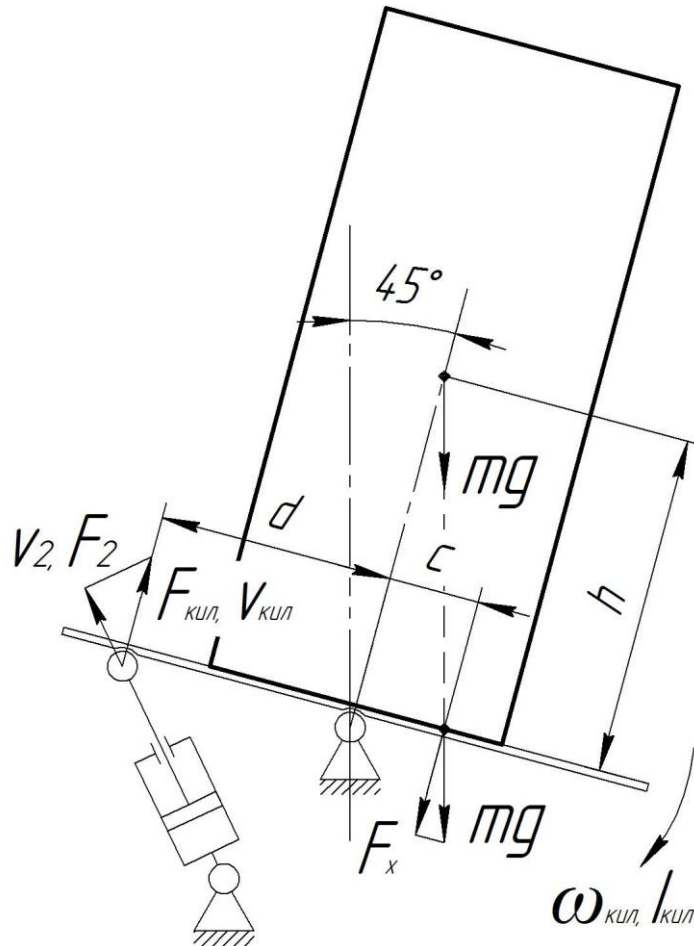


Figure 21 – The driving forces acting on the imitation of pitching mechanism

$$F_x = k \cdot m \cdot g \cdot \cos 45^\circ$$

m – the total weight of the table, and the scope of the tested object;

$$F_x = 1900 \cdot 9,8 \cdot \cos 45^\circ = 13166 \text{ H};$$

$$F_{\text{кил}} \cdot d = F_x \cdot c$$

$$c = h \cdot \operatorname{tg} 45^\circ = 1 \cdot 1 = 1 \text{ м};$$

$$F_{\text{кил}} = \frac{F_x \cdot c}{d} = \frac{13166 \cdot 1}{0,7} = 18809 \text{ H};$$

$$\omega_{\text{кил}} = \frac{2\pi}{T_{\text{кил}}};$$

$\omega_{\text{кил}}$ – the angular velocity of pitching mechanism;

$T_{\text{кил}}$ – the period of pitching oscillation mechanism.

The magnitude of time $T_{\text{кил}}$ can be defined based on data presented in the technical task:

$$T_{\text{кил}} = \frac{360 \cdot 7}{90} = 28 \text{ с};$$

$$\omega_{\text{кил}} = \frac{2\pi}{28} = 0,22 \text{ рад/с};$$

$$v_{\text{кил}} = \omega_{\text{кил}} \cdot d$$

$v_{\text{кил}}$ – the linear velocity of the pitching mechanism imitation;

$$v_{\text{кил}} = 0,22 \cdot 0,7 = 0,154 \text{ м/с};$$

The hydraulic diagram of the stand

It has been decided to use hydraulic cylinders as drive elements. Under linear displacements which hydraulic cylinders realize, force set F and velocity v , ultimately converted into torque M and angular velocity of the platform ω . This calculation comes for choosing of hydraulic cylinders, which should provide the specified conditions.

Hydraulic scheme of the designed booth is shown in figure 6, elements depicted therein are as follows:

$\Gamma Ц 1, \Gamma Ц 2$ – hydraulic cylinders mechanisms of pitch and roll imitation, respectively;

$P 1, P 2$ – three positions valves;

$PK 1, PK 2, PK 3, PK 4$ – pressure reducing valve;

$\Delta 1, \Delta 2, \Delta 3, \Delta 4$ – needle valves;

$KO 1, KO 2, KO 3, KO 4, KO 5, KO 6, KO 7, KO 8$ – non-return valves;

HV – pumping station.

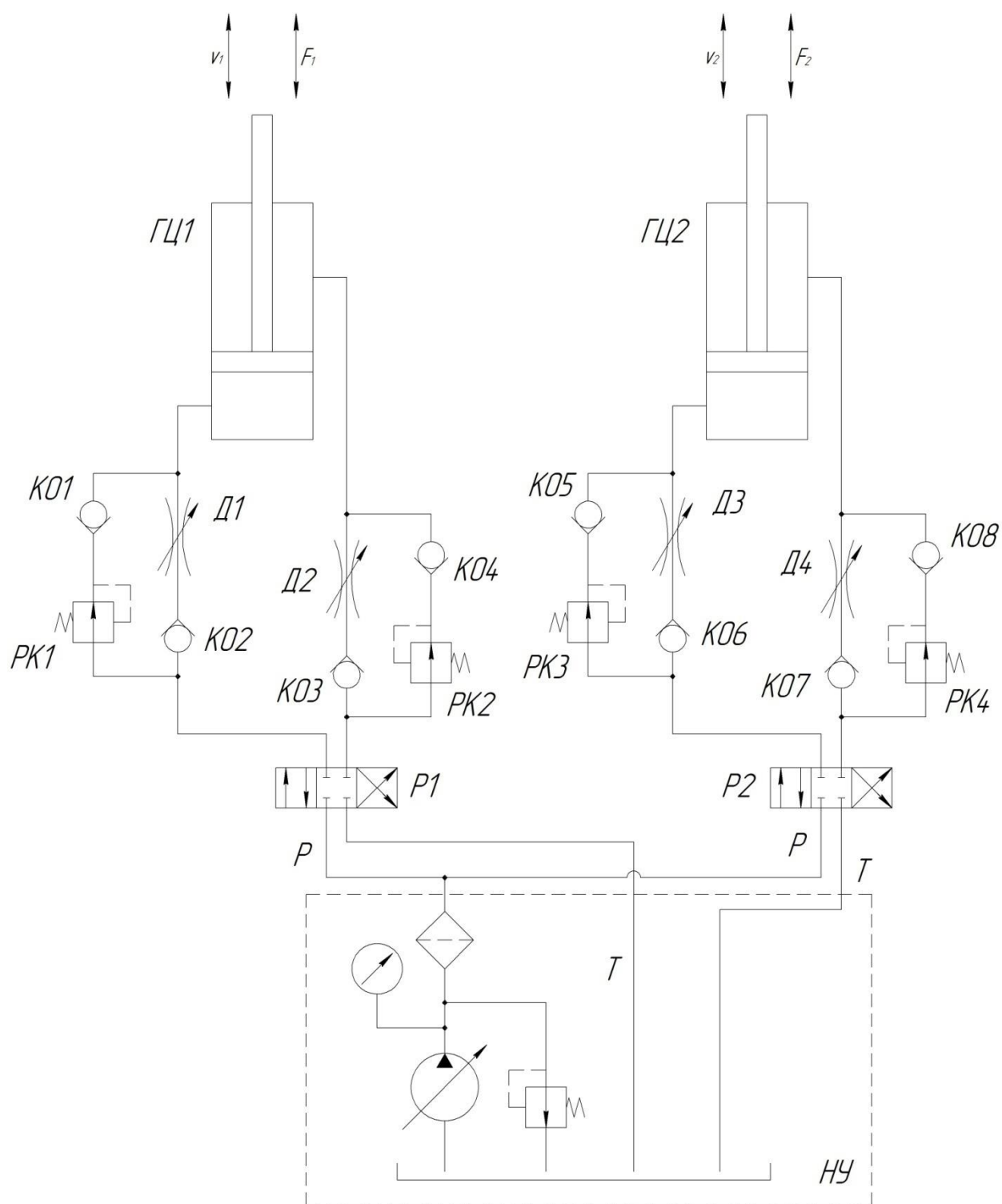


Figure 22 – The hydraulic scheme of the stand of the ship pitching imitation

The calculation of the hydraulic drive elements

The piston S area is determined in the following equation

$$S = \frac{F_{max}}{0,7 \cdot p} = \frac{F}{0,7 \cdot p \cdot \sin \alpha}$$

α – the minimum angle between the cylinder axis and the plane of the vibration level, is accepted as equal to 15° ;

0,7 – coefficient reflecting the losses due to friction and leakage in the hydraulic cylinder;

P – the pressure acting on the piston.

$$S_{\text{борт}} = \frac{F_{\text{борт}}}{0,7 \cdot p \cdot \sin 15^\circ} = \frac{10002}{0,7 \cdot 16 \cdot 10^6 \cdot 0,26} = 0,003 \text{ m}^2;$$

$$S_{\text{кил}} = \frac{F_{\text{кил}}}{0,7 \cdot p \cdot \sin 15^\circ} = \frac{13166}{0,7 \cdot 16 \cdot 10^6 \cdot 0,26} = 0,005 \text{ m}^2;$$

Pressure P is selected from the series of nominal pressures used in hydro drives of technological equipment.

Usage of the piston area S value defines its diameter D

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$$

$$D_{\text{борт}} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{борт}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,003}{3,14}} = 0,062 \text{ м} = 62 \text{ mm};$$

$$D_{\text{кил}} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{кил}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,005}{3,14}} = 0,079 \text{ м} = 79 \text{ mm};$$

It is necessary to strive to $32 < D < 150$ mm. This makes it possible to choose a standard hydraulic cylinders commonly used in industrial machines.

The estimate of the needed consumption

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v_{max} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot v}{4 \cdot \sin \alpha}$$

v_{max} – the maximum speed of the target values of the estimating drive;

α – the minimum angle between the cylinder axis and the plane of the oscillatory link, which is accepted equal to 15° .

$$Q_{\text{борт}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{борт}}^2 \cdot v_{\text{борт}}}{4 \cdot \sin \alpha} = \frac{3,14 \cdot 0,062^2 \cdot 0,041}{4 \cdot 0,26} = 0,0005 \text{ м}^3/\text{с} = 30 \text{ л}/\text{min};$$

$$Q_{\text{кил}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{кил}}^2 \cdot v_{\text{кил}}}{4 \cdot \sin \alpha} = \frac{3,14 \cdot 0,079^2 \cdot 0,154}{4 \cdot 0,26} = 0,0029 \text{ м}^3/\text{с} = 174 \text{ л}/\text{min};$$

The next step consists in definition of calculations pipeline parameters. For the drain lines it is usually considered, that $v_m = 2 \text{ м}/\text{sec}$

$$d = 4,6 \sqrt{\frac{Q}{v_m}}$$

d – the minimum passing pipe diameter;

$v_m(P)/v_m(T)$ – the working fluid flow rate and pressure in the drain line, respectively.

$$\delta = \frac{P \cdot d}{2 \cdot \sigma_B} \cdot K_B$$

P – a pressure in a respective pipeline;

δ – the minimum acceptable wall thickness;

σ_B – a tensile strength of the pipe material;

K_B – a safety factor is assumed equal to 6.

$$d_{\text{борт}(P)} = 4,6 \sqrt{\frac{Q_{\text{борт}}}{v_m(P)}} = 4,6 \sqrt{\frac{30}{4}} = 12,6 \text{ мм} = 0,013 \text{ м};$$

$$d_{\text{борт}(T)} = 4,6 \sqrt{\frac{Q_{\text{борт}}}{v_m(T)}} = 4,6 \sqrt{\frac{30}{2}} = 17,8 \text{ мм} = 0,018 \text{ м};$$

$$\delta_{\text{борт}(P)} = \frac{P_P \cdot d_{\text{борт}(P)}}{2 \cdot \sigma_B} \cdot K_B = \frac{16 \cdot 10^6 \cdot 0,013}{2 \cdot 140 \cdot 10^6} \cdot 6 = 0,0007 \text{ м};$$

$$\delta_{\text{борт}(T)} = \frac{P_T \cdot d_{\text{борт}(T)}}{2 \cdot \sigma_B} \cdot K_B = \frac{2,5 \cdot 10^6 \cdot 0,018}{2 \cdot 140 \cdot 10^6} \cdot 6 = 0,0002 \text{ м};$$

$$d_{\text{кил}(P)} = 4,6 \sqrt{\frac{Q_{\text{кил}}}{v_m(P)}} = 4,6 \sqrt{\frac{174}{4}} = 30,3 \text{ мм} = 0,03 \text{ м};$$

$$d_{\text{кил}}(T) = 4,6 \sqrt{\frac{Q_{\text{кил}}}{v_{\text{м}}(T)}} = 4,6 \sqrt{\frac{174}{2}} = 42,9 \text{ мм} = 0,043 \text{ м};$$

$$\delta_{\text{кил}}(P) = \frac{P_P \cdot d_{\text{кил}}(P)}{2 \cdot \sigma_B} \cdot K_B = \frac{16 \cdot 10^6 \cdot 0,03}{2 \cdot 140 \cdot 10^6} \cdot 6 = 0,002 \text{ м};$$

$$\delta_{\text{кил}}(T) = \frac{P_T \cdot d_{\text{кил}}(T)}{2 \cdot \sigma_B} \cdot K_B = \frac{2,5 \cdot 10^6 \cdot 0,043}{2 \cdot 140 \cdot 10^6} \cdot 6 = 0,0003 \text{ м};$$

Calculation of the outer diameter of the highway pipes

$$D = 2\delta + d$$

$$D_{\text{борт}}(P) = 2 \cdot \delta_{\text{борт}}(P) + d_{\text{борт}}(P) = 2 \cdot 0,0007 + 0,013 = 0,014 \text{ м};$$

$$D_{\text{борт}}(T) = 2 \cdot \delta_{\text{борт}}(T) + d_{\text{борт}}(T) = 2 \cdot 0,0002 + 0,018 = 0,018 \text{ м};$$

$$D_{\text{кил}}(P) = 2 \cdot \delta_{\text{кил}}(P) + d_{\text{кил}}(P) = 2 \cdot 0,002 + 0,03 = 0,034 \text{ м};$$

$$D_{\text{кил}}(T) = 2 \cdot \delta_{\text{кил}}(T) + d_{\text{кил}}(T) = 2 \cdot 0,0003 + 0,043 = 0,044 \text{ м};$$

Based on received data, we assign hydraulic equipment and make the selection of the standard metal products for the pipeline to meet minimum requirements.

For calculation of pressure loss, it is necessary to determine the fluid flow regime, which is characterized by the dimensionless Reynolds number.

$$Re = 21200 \frac{Q}{d \cdot \nu}$$

Q – the fluid flow in the line, l/min ;

d – the pipeline diameter, mm ;

ν – the viscosity of the liquid, accept equal to $20 \text{ mm}^2/sec$.

The laminar mode of flow becomes turbulent at a certain critical value $Re_{\text{кр}} = 2100 \div 2300$ for round smooth pipes and $Re_{\text{кр}} = 1600$ for rubber hose pipes.

$$Re_{\text{борт}} = 21200 \frac{Q_{\text{борт}}}{d_{\text{борт}}(P) \cdot \nu} = 21200 \frac{30}{12,6 \cdot 20} = 2524;$$

Since $Re_{\text{борт}}$ more than the critical value, the flow of oil in the pressure line rolling simulating mechanism is turbulent, so the pressure losses are calculated by the following formula

$$\Delta P = 7,85 \frac{L \cdot Q^2}{d^5}$$

Q – Fluid flow in the main line, m^3/sec ;

d – pipeline diameter, m ;

L – Length of the pipeline, m .

$$\Delta P_{\text{борт}(P)} = 7,85 \frac{L_{\text{борт}(P)} \cdot Q_{\text{борт}}^2}{d_{\text{борт}(P)}^5} = 7,85 \frac{1 \cdot \left(\frac{0,03}{60}\right)^2}{0,013^5} = 0,53 \text{ MPa};$$

$$Re_{\text{кил}} = 21200 \frac{Q_{\text{кил}}}{d_{\text{кил}(P)} \cdot \nu} = 21200 \frac{174}{30,3 \cdot 20} = 6087;$$

Since $Re_{\text{борт}}$ more than the critical value, the flow of oil in the pressure line rolling simulating mechanism is turbulent, so the pressure losses are calculated by the following formula

$$\Delta P = 7,85 \frac{L \cdot Q^2}{d^5}$$

$$\Delta P_{\text{кил}(P)} = 7,85 \frac{L_{\text{кил}(P)} \cdot Q_{\text{кил}}^2}{d_{\text{кил}(P)}^5} = 7,85 \frac{1 \cdot \left(\frac{0,174}{60}\right)^2}{0,03^5} = 0,003 \text{ MPa};$$

The object of the research

Using the mathematical tools the dynamic model of the test bench are described below:

$$\begin{cases} M_1 + m_1 \cdot R^2 \cdot \ddot{\varphi}_1 + \alpha \cdot \dot{\varphi}_1 + c \cdot \varphi_1 = F_1(t) \\ M_2 + m_1 \cdot (R \cdot \cos \varphi_1)^2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + \alpha \cdot \dot{\varphi}_2 + c \cdot \varphi_2 = F_2(t) \end{cases}$$

$m_1 \cdot R^2 = I_1$ – the moment of inertia of rolling simulation mechanism;

$\ddot{\varphi}_1$ – the angular acceleration of rolling simulation mechanism;

α – a viscous friction coefficient, which characterizes the interaction of the components inside the cylinders and travel losses in the pipeline;

$\dot{\varphi}_1$ – the angular velocity of the mechanism of imitation rolling;

c – a stiffness coefficient, characterized by the value of the viscosity of the oil used;
 φ_1 – the angle of rotation of the mechanism simulation rolling;
 $m_2 \cdot (R \cdot \cos\varphi_1)^2 = I_2$ – the moment of inertia pitching simulation mechanism;
 $\ddot{\varphi}_2$ – the angular acceleration of pitching simulation mechanism;
 $\dot{\varphi}_2$ – the angular velocity of the pitching simulation mechanism;
 φ_2 – the angle of rotation of the pitching simulation mechanism;
 M_1 – a static moment of inertia of rolling simulation mechanism;
 M_2 – a static moment of inertia of pitching simulation mechanism;
 R – a given radius of test product inertia;

The description of the test bench mathematical model

Figure 7 shows a mathematical model of a stand simulating the pitching. Each oscillating mechanism is to be considered by giving it a brief description as well as the checking of mechanism rolling imitation influence on pitching simulation mechanism.

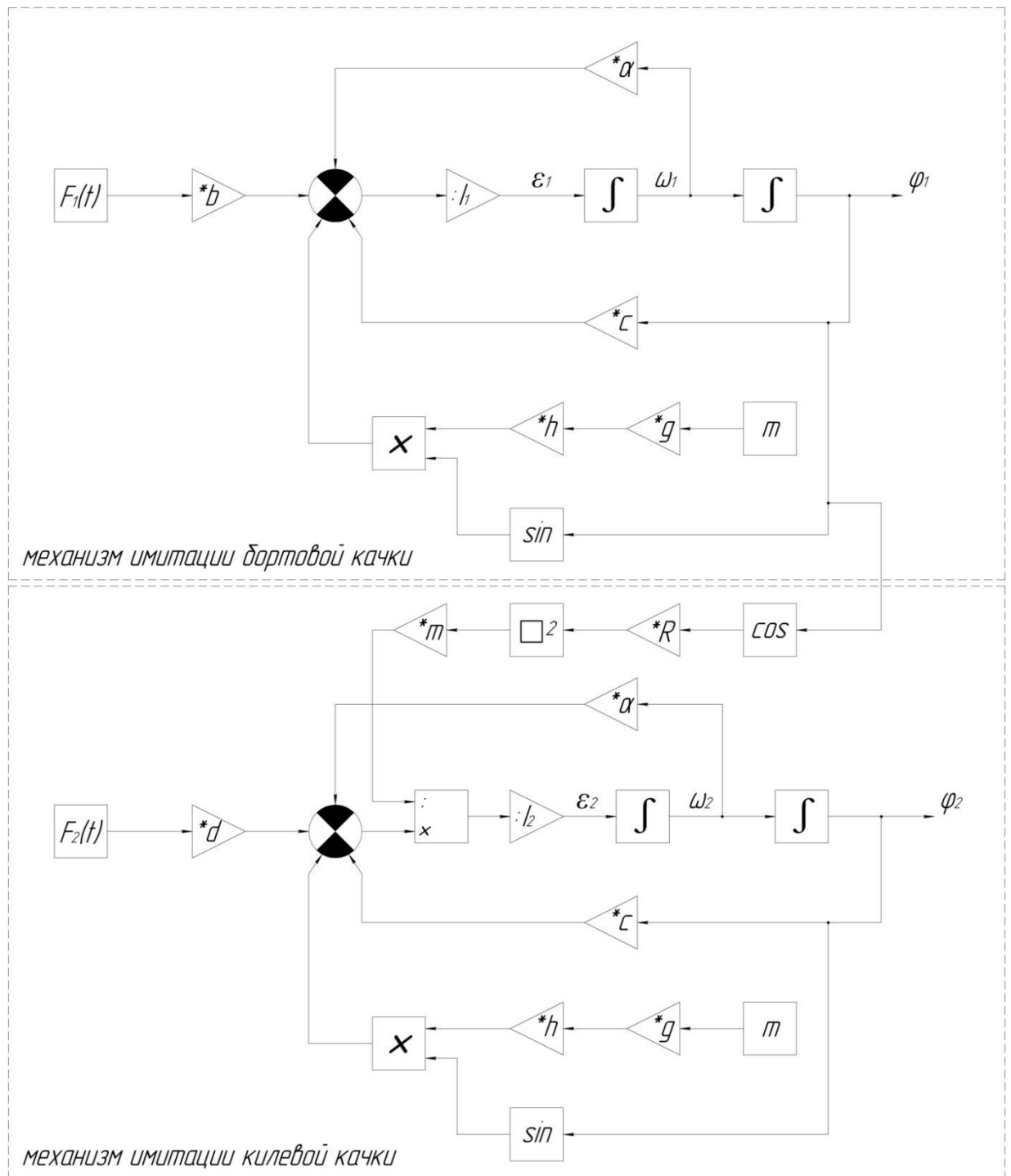


Figure 23 – The mathematical model of the test stand

The top fragment of figure 7 shows a mathematical model of the imitation roll mechanism. This fragment is described by the following equation

$$M_1 + m_1 \cdot R^2 \cdot \ddot{\varphi}_1 + \alpha \cdot \dot{\varphi}_1 + c \cdot \varphi_1 = F_1(t)$$

As the impact of the input that determines the further behavior of the dynamic system, the type of signal used

$$F_1(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

A – the force acting on the platform by a hydraulic cylinder, N ;

ω – the oscillation frequency, rad/sec ;

After multiplying the input signal by the length of the shoulder b , the adder is supplied with torque force. The value of the angular acceleration is obtained by dividing the resulting signal to the magnitude of the moment of inertia of a rolling imitation mechanism equal to

$$I_1 = m_1 \cdot (R \cdot \cos\varphi_1)^2$$

Integrating the resulting angular acceleration value, the magnitude of the angular velocity is calculated and a feedback signal is formed by multiplying the angular speed by the viscous friction coefficient α , which characterizes the interaction of the components inside the cylinders and travel losses in the pipeline.

By integrating the angular velocity, the value of the angular displacement is obtained by simulating the mechanism of rolling and a feedback signal is formed by multiplying the angular displacement on the stiffness coefficient c , characterized by values of viscosity of the oil used.

The negative signal characterizing the action of the static moment is also applied to the adder which varies depending on the angle of inclination mechanism equal to

$$M_1 = m_1 \cdot g \cdot h \cdot \sin\varphi_1$$

At the bottom fragment of figure 7 there is a mathematical model of pitching simulation mechanism presented. This fragment is described by the following equation

$$M_2 + m_1 \cdot (R \cdot \cos\varphi_1)^2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + \alpha \cdot \dot{\varphi}_2 + c \cdot \varphi_2 = F_2(t)$$

As the input impact determines the further behavior of the dynamic system, use the type of following signal

$$F_2(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

A – forth influencing platform from the side of hydraulic cylinder, N ;

ω – the oscillation frequency, rad/sec;

After multiplying of the input signal on the arm length d , the adder is fed with torque force. We get the value of the angular acceleration by dividing the resulting signal to the magnitude of the moment of rolling simulation mechanism inertia equal to

$$I_2 = m_1 \cdot R^2$$

m_1 – mass of tested product, kg

R – given radius of tested product inertia, m

Integrating the resulting angular acceleration value, the magnitude of the angular velocity is calculated and a feedback signal is formed by multiplying the angular speed by the viscous friction coefficient α , which characterizes the interaction of the components inside the cylinders and travel losses in the pipeline.

By integrating the angular velocity, the value of the angular displacement is obtained by simulating the mechanism of rolling and a feedback signal is formed by multiplying the angular displacement on the stiffness coefficient c , characterized by values of viscosity of the oil used.

Also, to adder a negative signal is submitted which characterizes the effect of the static torque that varies depending on the angle of mechanism inclination equal to

$$M_2 = m_1 \cdot g \cdot h \cdot \sin\varphi_2$$