

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование технологии производства плакированных (биметаллических) сталей, применяемых в судостроении

УДК 669.14.018.293'058.68

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ01	Стилинский Ярослав Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Буякова С.П.	Д-р техн. наук, профессор		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Вед. н. с. ИФПМ СО РАН	Почивалов Ю.И.	К-т физ-мат. наук		
Начальник ЛМиСА ООО ССК «Звезда»	Пимонов А.К.			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	Д-р эконом. наук, профессор		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	К-т биологич. наук, доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.04.01 Материаловедение и технологии материалов	Буякова С.П.	Д-р техн. наук, профессор		

Планируемые результаты обучения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном языке, для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать производственные и/или исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов
ОПК(У)-2	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии
ОПК(У)-3	Способен участвовать в управлении профессиональной деятельностью, используя знания в области системы менеджмента качества
ОПК(У)-4	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
ОПК(У)-5	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен обоснованно (осмысленно) использовать знания основных типов металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач.
ПК(У)-2	Способен осуществлять рациональный выбор материалов и оптимизировать их расходование на основе анализа заданных

	условий эксплуатации материалов, оценки их надежности, экономичности и экологических последствий применения
ПК(У)-3	Способен осуществлять анализ новых технологий производства материалов и разрабатывать рекомендации по составу и способам обработки конструкционных, инструментальных, композиционных и иных материалов с целью повышения их конкурентоспособности
ПК(У)-4	Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать их результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям
ПК(У)-5	Способен выполнять перевод технической литературы на иностранном языке, связанной с профессиональной деятельностью в области материаловедения
ПК(У)-6	Способен определять соответствие готового изделия заявленным потребительским характеристикам; прогнозировать и описывать процесс достижения заданного уровня свойств в материале
ПК(У)-7	Способен организовать проведение анализа и анализировать структуру новых материалов, адаптировать методики исследования свойств материалов к потребностям производства и разрабатывать специальные методики
ПК(У)-8	Способен моделировать процессы обработок и прогнозировать результаты их осуществления при различных режимах, с использованием стандартных пакетов компьютерных программ и средств автоматизированного проектирования

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (специальность) Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ С. П. Буякова
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ01	Стилинскому Ярославу Сергеевичу

Тема работы:

Исследование технологий производства плакированных (биметаллический) сталей, применяемых в судостроении	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 33-30 от 02.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом магистерской диссертации являются технологии получения плакированных (биметаллических) сталей, пригодных для применения в судостроении, в том числе для постройки судов ледового класса.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор литературы по теме диссертации из различных источников. Изготовление образцов плакированной стали 10Г2ФБЮ (PCE40W)/12X18H10T путем электродуговой наплавки с дальнейшей холодной прокаткой. Проведение испытаний полученных образцов на механико-прочностные (испытание на растяжение, ударный изгиб, срез, отрыв), стойкость к коррозии с целью установления соответствия или несоответствия образцов требованиям Российского Регистра Морского Судоходства к материалам, применяемым в строительстве судов. Анализ полученных по результатам данных и их сравнение с существующими на сегодняшний день аналогами.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Гасанов М.А.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Антоневич О.А.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: литературный обзор</p>	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Буякова С.П.	Д-р техн. наук, профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ01	Стилинский Ярослав Сергеевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа включает в себя 121 страницу, 30 таблиц, 29 рисунков, 1 приложение, 60 литературных источников.

Ключевые слова работы: биметалл, плакированная сталь, сварка взрывом, сварка пакетов, ЭДНХП, термообработка, Правила, Регистр.

Объектом исследования магистерской диссертации являются технологии изготовления судостроительной плакированной стали.

Целями работы являются изучение и сравнение свойств биметаллов полученными разными методами. Проверка возможности исключения из технологических процессов изготовления плакированной судостроительной стали этапов, существенно удорожающих ее производство.

В процессе работы получены образцы плакированной стали 12X18Н10Т/РСЕ40W методом ЭДНХП, изучены их структура, механические и коррозионные свойства, произведены сравнения с плакированной сталью, произведенной методом горячей сварки пакетов и сваркой взрывом.

В результате исследования определено, что плакированная судостроительная сталь с покрывающим слоем из нержавеющей стали 12X18Н10Т и основным слоем из низкоуглеродистой стали РСЕ40W удовлетворяет требованиям Правил постройки судов Морского регистра судоходства РФ, что позволяет применять данную сталь при постройке кораблей любого типа, за исключением ледоколов, так как качество сцепления слоев данной плакированной стали находится у пределов нижних границ допуска.

В будущем, удешевление производства плакированной стали, позволит экономически обоснованно применять ее на всех типах судов, что существенно сократит потери металла от коррозии и увеличит срок эксплуатации судов торгового флота.

Обозначения, сокращения, нормативные ссылки

ССК – судостроительный комплекс

Регистр – Российский морской регистр судоходства (главный регулятор отрасли)

Правила – НД №2-020101-072. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов

ЭДНХП – электродуговая наплавка с последующей холодной прокаткой (технология производства плакированной стали)

Сварка пакетов – сварка горячей прокаткой пакета листового проката, набранного из стали плакирующего и основного слоев (технология производства плакированной стали)

ЭШН – электрошлаковая наплавка (технология производства плакированной стали)

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	11
1 Обзор и литературы.....	14
1.1 Требования, предъявляемые к судостроительным сталям	14
1.2 Особенности эксплуатации плакированных сталей в судостроении	18
1.3 Основные требования к свойствам плакированных сталей и пути их обеспечения.....	21
1.3.1 Требования к свойствам стали основного слоя.....	21
1.3.2 Требования к свойствам стали плакирующего слоя.....	22
1.4 Способы изготовления плакированных сталей	22
1.4.1 Способ горячей сварки пакетов	23
1.4.2 Способ электрошлаковой наплавки	24
1.4.3 Способ сваркой взрывом.	25
Резюме	27
2. Объект и методы исследования	30
2.1 Изготовление образцов	30
2.2 Испытание на растяжение.....	35
2.3 Испытание на ударную вязкость	40
2.4 Определение прочности сцепления слоев.....	41
2.4.1 Испытание на срез.....	41
2.4.2 Испытание на изгиб	43
2.4.3 Ультразвуковое исследование сплошности полученной плакированной стали.....	45
2.5 Проведение испытаний на склонность видам коррозии.....	45
2.5.1 Проведение испытания на склонность к межкристаллитной коррозии	45
2.5.2 Проведение испытания на склонность к питтинговой коррозии	46
2.6 Исследование микроструктуры и распределения легирующих элементов	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	55
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	60
ВВЕДЕНИЕ	60
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	61
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	61
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений	62
3.1.3 SWOT-анализ.....	65
3.2 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	69

3.3	Инициация проекта.....	70
3.3.1	Цели и результаты проекта	70
3.3.2	Организационная структура проекта	71
3.3.3	Ограничения и допущения проекта.....	72
3.4	Планирование управления научно-техническим проектом.....	73
3.4.1	План проекта.....	73
3.4.2	Бюджет научно-технического проекта.....	75
3.4.2.1	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов). 76	
3.4.2.2	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	77
3.4.2.3	Основная заработная плата	79
3.4.2.4	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	80
3.4.2.5	Отчисления во внебюджетные фонды	80
3.4.2.6	Накладные расходы на проведение НИР	81
3.4.2.7	Бюджетная стоимость НИР	81
3.5	Оценка рисков проекта.....	82
3.6	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	83
3.6.1	Интегральный показатель финансовой эффективности.....	83
3.6.2	Интегральный показатель ресурсоэффективности.....	84
3.6.3	Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	84
3.7	Заключение по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	86
4	Социальная ответственность	89
	ВВЕДЕНИЕ	89
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	90
4.1.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства	90
4.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	91
4.2	Производственная безопасность	92
4.2.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	92
4.2.2	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий..	93
4.2.3	Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды.....	94
4.2.4	Производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека	96

4.2.5 Опасные и вредные производственные факторы, обладающие свойствами физического воздействия на организм работающего человека.....	98
4.2.6 Производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека (активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов).....	99
4.2.7 Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения	99
4.3 Экологическая безопасность	102
4.3.1 Воздействие на селитебную зону	102
4.3.2 Воздействие на атмосферу	102
4.3.3 Воздействие на гидросферу	102
4.3.4 Воздействие на литосферу	102
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	103
4.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	103
4.4.2 Анализ возможных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	103
4.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»	104
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	106
ПРИЛОЖЕНИЕ I.....	111

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость в биметаллических материалах связана с потребностью использования материалов с совокупными свойствами, которые нельзя получить у гомогенных сплавов или сталей. Для достижения необходимой конструкционной прочности используют углеродистые и низколегированные высокопрочные стали, которые не имеют высокой стойкости к коррозии. А часто применяемые аустенитные коррозионностойкие или другие нержавеющие стали не обладают необходимыми прочностными характеристиками.

В металлоемких конструкциях, где одновременно требуется обеспечение высоких механических характеристик и коррозионной стойкости, а иногда и обеспечение высокого сопротивления механическому износу (например, корпуса судов, сосуды работающей под давлением, магистральные нефтегазопроводы и т.д.) порой невозможно обеспечить требуемые значения перечисленных характеристик без неоправданного увеличения их металлоемкости (увеличении толщины стенок). В подобных случаях оправданным решением является применение плакированной стали с основным слоем из высокопрочной низкоуглеродистой стали и покрывающим слоем из нержавеющей стали.

В таких конструкциях главные требования, предъявляемые к основному слою – это обеспечение высоких механико-прочностных характеристик и способность сопротивляться действию нагрузок. Следовательно, расчет прочности конструкций с применением плакированной стали ведется только по толщине основного слоя. Кроме того, при использовании в условиях глубокого холода арктического региона сталь основного слоя должна обладать достаточной ударной вязкостью при температурах значительно ниже нуля.

Так как покрывающий слой в плакированной стали несет только защитные функции он должен быть из материала, обладающего высокими сопротивлением коррозии и/или механическому износу. Для этих целей широкой распространение получили нержавеющие стали X13, X18H10. Там, где необходимо обеспечить защиту от питтинговой коррозии (судостроение) в качестве плакирующего слоя применяют нержавеющие стали, дополнительно легированные

молибденом и азотом; для предотвращения склонность к межкристаллитной коррозии нержавеющей сталь легируют ниобием и титаном. В некоторых случаях материалом плакирующего слоя являются сплавы на основе меди, никеля или титана. К настоящему времени требований к материалу плакирующего слоя по прочностным свойствам не предъявляется, и его толщина определяется только исходя из величины коррозионного или абразивного износа за расчетный период эксплуатации конструкции, но не учитывается при расчетах конструктивной прочности конструкции из двухслойной стали.

Наиболее успешным примером применения биметалла в судостроении является использование плакированной стали при строительстве атомного ледокола «50 лет Победы». Установка биметаллических листов в ледовом поясе корпуса судна обеспечило его почти 100 процентную защиту от коррозии эрозивного воздействия льда с морской водой. Тогда как у ледоколов предыдущего поколения скорость износа обшивки корпуса в ледовом поясе достигала до 7 мм. в год. Другим положительным примером применения плакированного стального листа является морская стационарная ледостойкая буровая платформа «Приразломная» [1]

До недавнего времени, разработке новых и перспективных биметаллических материалов в силу определенных причин судостроители не уделяли должного внимания. Но в связи с исчерпанием разведанных запасов нефти и газа на материке, открытием богатых месторождений в приарктическом шельфе для отечественных судостроителей данный вопрос, в настоящий момент, стоит особенно остро. Кроме того, в связи с таяниями арктических льдов северный морской путь стал открытым как никогда, поэтому зарубежные судостроители тоже обращают свое внимание на плакированную сталь. Так, например, корпорация «Kawasaki Heavy Industries» на своей верфи, что расположена в китайском Дзянье за последние десятилетие построила два танкера ледового класса и один тяжелый ледокол «Shirase»

Таким образом основными преимуществами применения плакированных сталей перед гомогенными в судостроении являются:

- сочетание в себе комплекса служебных характеристик, не достижимых при применении гомогенных сталей;
- снижение массы корпуса судна из-за возможности уменьшения толщины внешней обшивки — экономия металла;
- увеличение надежности и долговечности корпуса судна;
- значительное снижение или полное исключение ремонтных работ на корпусе судна, при его заходе на редокинг.

1 Обзор и литературы

1.1 Требования, предъявляемые к судостроительным сталям

Размер современных судов для перевозки различных грузов может достигать колоссальных размеров. Так, например, сухогрузы, контейнеровозы и балкеры класса «Suezmax» могут превосходить в длину 400 м, ширина ограничена 64 м. (по сути, габаритная ширина ограничивается размерами канала, по которым ходят суда, в данном случае размерами Суэцкого канала, откуда и название – «Suezmax») и водоизмещением более 200 тыс. тонн. А нефтеналивные танкеры и FPSO (Floating Production, Storage and Offloading – плавучая установка для добычи, хранения и отгрузки нефти) класса ULCC (Ultra Large Crude Carriers – ультра крупные перевозчики нефти) начинаются с водоизмещения от 300 тыс. тонн и это значение может превышать 650 тыс. тонн для FPSO, а их длина, как правило, превышает 450 метров. Такие титанические размеры, а соответственно напряжения и нагрузки, вызванные не только циклическим воздействием волн, но и перевозимым грузом и воздействием собственной массы, накладывают строго регламентированные ограничения по механическим свойствам сталей, применяемых при строительстве судов.

Можно выделить следующие основные нагрузки стремящиеся разрушить корпус судна при его эксплуатации: внешние нагрузки действующие на корпус со стороны моря; нагрузки от перевозимого груза, топлива и балласта.

Внешние нагрузки включают в себя:

- расчетное статическое давление P (кПа), действующее на корпус судна со стороны моря. Оно определяется статическим давлением и отстоянием точек приложения нагрузки от осадки корпуса судна;

- расчетное динамическое давление P_w (кПа). Это давление обуславливается перемещением корпуса относительно профиля волны. Распределение нагрузки P_w по профилю поперечного сечения судна представлено на рисунке 1.

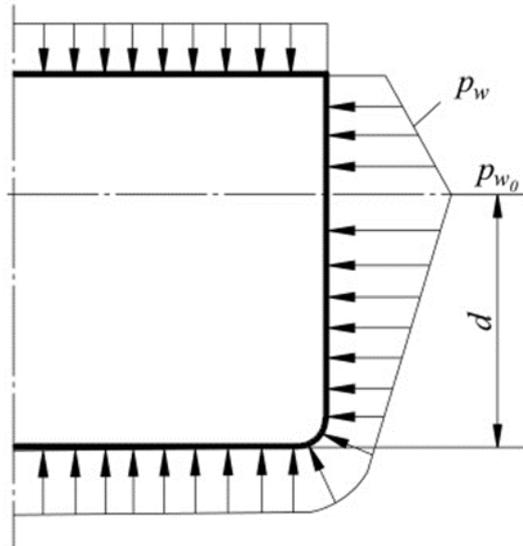


Рисунок 1 – Распределение нагрузки P_w по профилю судна, d - осадка судна, м

Нагрузки от перевозимого груза, топлива и балласта являются расчетными нагрузками, которые определяют продольную прочность судна, включают в себя изгибающие моменты и перерезывающие силы на тихой воде, волновые изгибающие моменты и перерезывающие силы при волнении на море и, кроме того, для судов с большим развалом бортов, изгибающие моменты, обусловленные ударом волн в развал бортов. Перерезывающие и изгибающие силы изображены на рисунке 2. Схема воздействия волнового изгибающего момента M_w (кН/м) действующего в вертикальной плоскости к поперечному сечению корпуса судна и вызывающий его перегиб, представлена на рисунке 3.

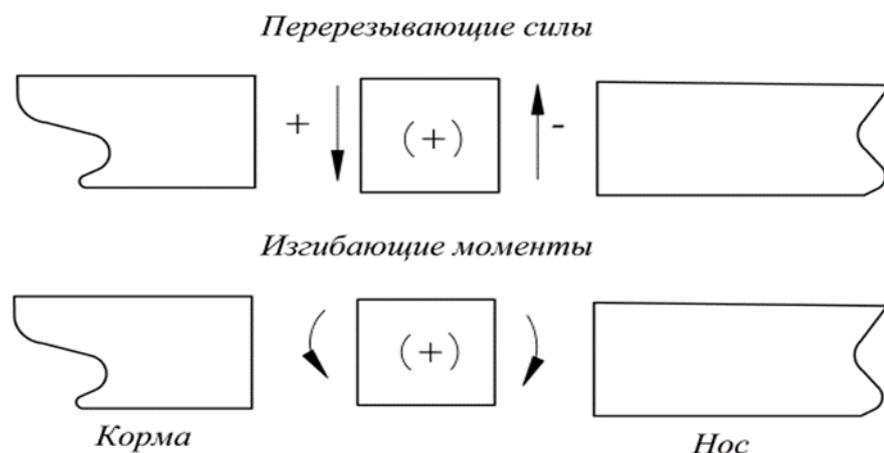


Рисунок 2 – Перерезывающие силы и изгибающие моменты

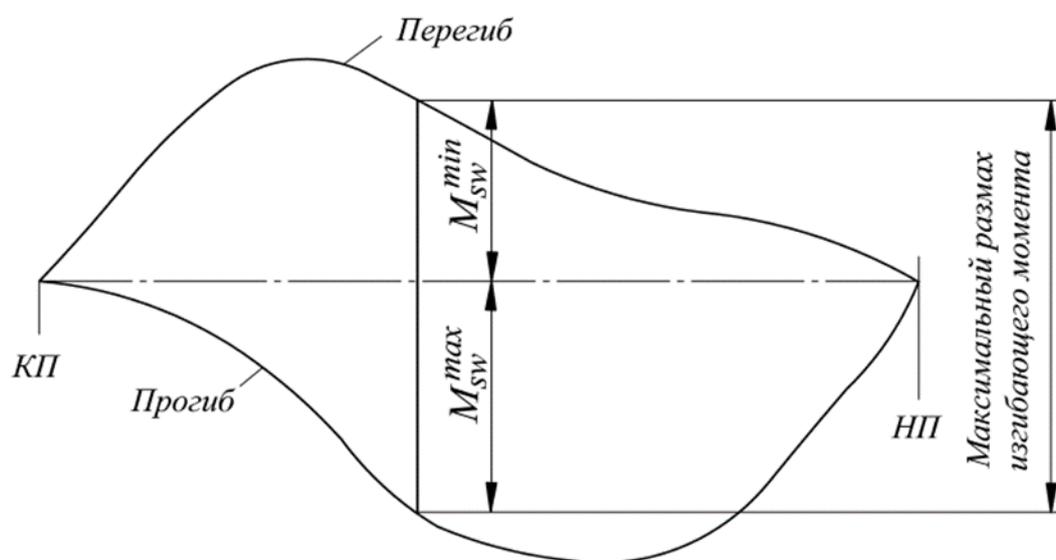


Рисунок 3 – Схема воздействия волнового изгибающего момента M_w

Кроме представленных выше общих нагрузок, которые воздействуют на корпус судна, можно выделить такие частные нагрузки как расчетное давление от штучного груза, давление частично заполненного танка, давление заполнения отсека по его длине и т.д. в зависимости от типа судна и конкретных условий эксплуатации в данный момент времени.

Основным видом повреждений корпуса судна являются трещины как хрупкого, так и усталостно-хрупкого характера. Причем сами повреждения происходят, как правило, при относительно низких уровнях действующих напряжений – до 50 % от предела текучести применяемых сталей [2].

В соответствии с приведенными выше нагрузками, которые действуют на корпус судна, Российским Морским Регистром Судоходства [3] строго регламентированы требования по химическому составу и механическим свойствам, методике испытаний образцов сталей, применяемых в судостроении (с 2020 года требования унифицированы с Китайским Классификационным Обществом, Корейским Регистром Судоходства, Американским Бюро Судоходства). Судостроительная сталь согласно Правил классификации Регистра [3, 4] делится на сталь нормальной прочности (с минимальным пределом текучести 235 МПа), сталь повышенной прочности (трех уровней прочности, с минимальным пределом текучести 315, 355 и 390 МПа, соответственно) и стали высокой прочности (с

минимальным пределом текучести 420 МПа и выше). В зависимости от требуемых значений и условий выполнения испытаний на ударный изгиб сталь подразделяется на категории, как показано в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Химический состав и механические свойства судостроительной стали нормальной прочности

Категория				А	В	Д	Е		
Раскисление				Спокойная или полуспокойная	Спокойная или полуспокойная	Спокойная	Спокойная мелкозернистая, обработанная алюминием		
Химический состав, %	C _{max}			0,21	0,21	0,21	0,18		
	Mn _{min}			2,5 x C	0,80	0,60	0,70		
	Si _{max}			0,50	0,35	0,35	0,35		
	P _{max}			0,035	0,035	0,035	0,035		
	S _{max}			0,035	0,035	0,035	0,035		
	Al _{min}			-	-	0,015	0,015		
Механические свойства при растяжении	Временное сопротивление σ _B , min, МПа			400-520					
	Предел текучести σ _T , min, МПа			235					
	Относительное удлинение A ₅ , min, %			22					
Испытание на ударный изгиб	Температура испытания, °С			+20	0	-20	-60		
	Работа удара, min, Дж, для поперечных образцов, KV _L			34	34	41	41		
	Работа удара, min, Дж, для продольных образцов, KV _T			24	24	27	27		
Толщина, мм	t ≤ 5	5 < t ≤ 10	10 < t ≤ 15	15 < t ≤ 20	20 < t ≤ 25	25 < t ≤ 30	30 < t ≤ 40	40 < t ≤ 50	
Относительное удлинение, %	14	16	17	18	19	20	21	22	

Таблица 2 – Химический состав и механические свойства судостроительной стали повышенной прочности

Категория		32	32	32	36	36	36	40	40	40
Раскисление		Спокойная								
Химический состав, %	C _{max}	0,18								
	Mn	0,09 - 1,6								
	Si _{max}	0,50								

Продолжение таблицы 2

	P_{\max}	0,04		
	S_{\max}	0,04		
	Cu_{\max}	0,35		
	Cr_{\max}	0,20		
	Ni_{\max}	0,40		
	Mo_{\max}	0,08		
	Al_{\min}	0,02		
	Nb	0,02 - 0,05		
	V	0,05 - 0,10		
	Ti_{\max}	0,02		
Механические свойства при растяжении	$\sigma_b, \min, \text{МПа}$	440 - 570	490 - 630	510 - 660
	$\sigma_t, \min, \text{МПа}$	315	355	390
	A5, min, %	22	21	20

Работа удара поперечных KV_L и продольных KV_T образцов судостроительных сталей повышенной прочности согласно требованиям Регистра должна быть на минимальном значении 60 Дж при температуре испытания минус 60 °С.

Производители на законодательном уровне обязаны выполнять требования Правил Регистра, предъявляемые к судостроительным сталям.

1.2 Особенности эксплуатации плакированных сталей в судостроении

В судостроении уже достаточно длительное время используются плакированные стали в грузовых трубопроводах танкеров, опреснительных установках, системах забора морской воды и т.д. Но вопрос об использовании плакированной стали в качестве обшивки корпусов судов впервые остро встал, когда в 50-х годах прошлого столетия ледоколы, состоявшие во флоте СССР столкнулись со снижением ледопроеходимости вследствие ускоренного, крайне интенсивного протекания коррозии в их ледовом поясе, которое усугублялось механическим износом металла обшивки в результате динамического воздействия движущегося льда, волновых нагрузок и отрицательных температур.

Для понимания процессов ускорения коррозии металла корпусов ледоколов был проведен ряд исследований. Авторами [5,6] было установлено, что при разломе льда корпусом ледокола появляются электромагнитное и рентгеновское излучение, сопровождающееся искровыми разрядами. Экспериментально установлено, что импульс тока при этих разрядах находится в пределах от 10^{-2} до 10^{-1} А/см², что значительно ускоряет процесс питтинговой коррозии, который еще и усугубляется механическим трением обшивки судна об лед. Данные исследования подтолкнули к созданию электрохимической защиты судов от коррозии.

Параллельно проводились исследования диаграммы состояния «вода – хлорид натрия» (хлорид натрия – соль в наибольшем количестве, растворенная в морской воде), которая представлена на рисунке 4 [7]. Из данной диаграммы можно видеть, что наибольшая концентрация NaCl в 23 % достигается при температуре замерзания раствора в минус 24 С°. В реальных условиях такая концентрация достигается при смерзании уже поломанных льдин и, если ледоход проходит по своему старому следу, такой пресыщенный хлоридом натрия водный раствор в буквальном смысле растворяет металл обшивки корпуса судна.

Кроме того, обследования состояния корпусов судов ледового класса показали, что в каждом случае присутствует усиленный неравномерный износ обшивки, независящий от применённой при строительстве судна марки стали. Интенсивность коррозии возрастала при увеличении срока плавания судов в ледовых районах. Но особенно сильному износу были подвержены ледоколы «Арктика» и «Сибирь», которые впервые начали проводку судов через северный морской путь в зимних условиях (рисунок 5) [8].

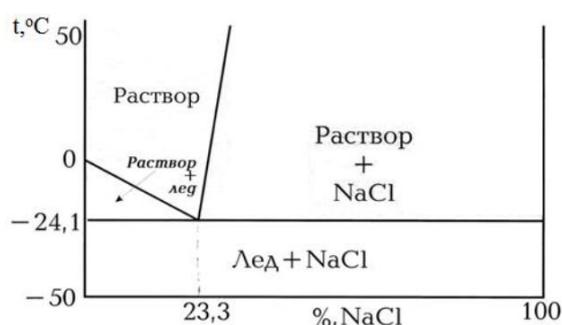


Рисунок 4 – Диаграмма состояния «вода – хлористый натрий»

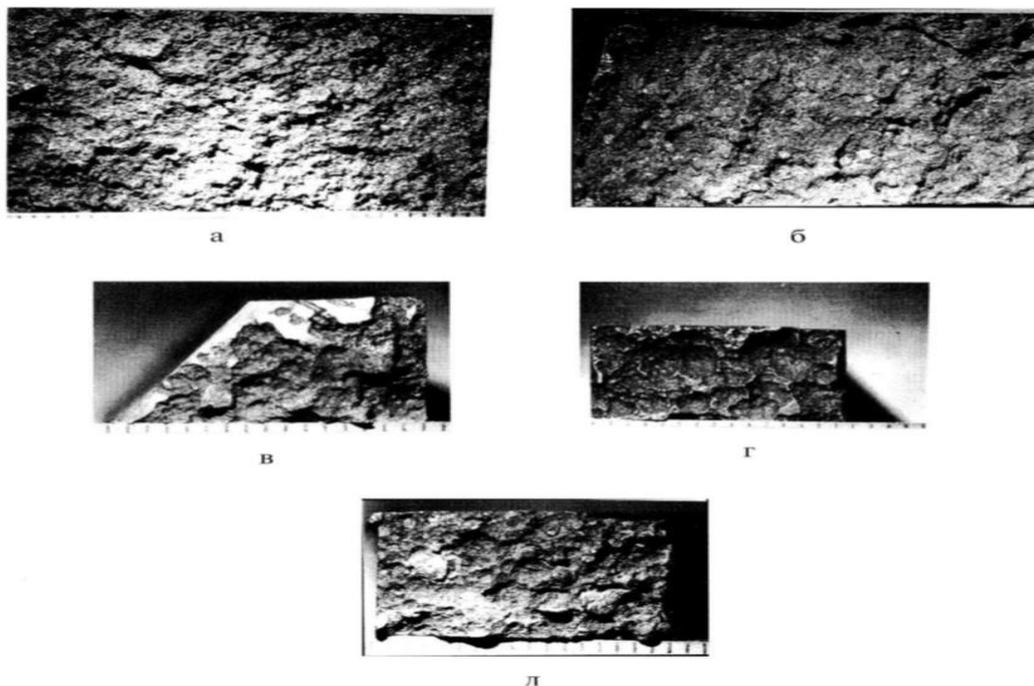


Рисунок 5 – Вид коррозионного состояния корпусов ледоколов: а – дизельный ледокол «Отто Шмидт»; б – дизельный ледокол «Красин»; в – атомный ледокол «Ленин»; г – ледокол «Арктика»; д – ледокол «Сибирь»

Корабли, которые не заходят в арктический регион и, соответственно, не работают во льдах и при низких температурах страдают от питтинговой коррозии, которая усугубляется кавитацией воды при ее движении вокруг обводов корпуса судна. Поэтому основные очаги коррозии зачастую наблюдаются в носовой части судна, где его обтекание особенно интенсивна, и в кормовой части судна в зоне работы винта. Помимо кавитационных процессов, коррозию усугубляет биологическое обрастание судов при их простое морскими организмами, в результате чего питтинговая коррозия перерастает в межкристаллитную и судну требуется дорогостоящий ремонт по замене поврежденных листов обшивки корпуса.

1.3 Основные требования к свойствам плакированных сталей и пути их обеспечения

1.3.1 Требования к свойствам стали основного слоя

Различными авторами и исследователями были сформированы следующие свойства, предъявляемые к основному слою судостроительной плакированной стали [9, 10, 11, 12]:

- должен обеспечивать высокую сопротивляемость хрупким разрушениям даже при условиях низких температур и изменяющихся нагрузок;
- должен обеспечивать сопротивляемость слоистым разрушениям в узлах сварных конструкций, в том числе при высоком уровне растягивающих напряжений, действующих в направлении толщины листов (перезывающие силы);
- высокое сопротивление воздействию знакопеременных нагрузок, вызывающих появление в металлоконструкциях циклических напряжений, способных привести к усталостным разрушениям (изгибающий волновой момент);
- должен иметь достаточно высокое сопротивление коррозионно-механическим повреждениям;
- должен обладать хорошей свариваемостью.

В работе [13] установлено, что хорошим выбором при создании плакированных судостроительных сталей в качестве основного слоя являются низкоуглеродистые хромоникельмолибденовые стали с дополнительным легированием ванадием и алюминием (например ст. АБ-2).

Такие стали имеют хорошие показатели пластичность, сопротивляемости хрупким разрушениям, в том числе в Z-направлении (сопротивляемость слоистым разрывам), из-за низкого содержания вредных примесей (особенно серы) и неметаллических включений (оксиды и карбиды). Обладают высоким пределом текучести (от 500 МПа). В состоянии поставки имеют мартенситно-бейнитную структуру, что обеспечивает работоспособность стали при низких температурах [13].

1.3.2 Требования к свойствам стали плакирующего слоя

Различными авторами и исследователями были сформированы следующие свойства, предъявляемые к покрывающему слою судостроительной плакированной стали [9, 10, 11,12]:

- коррозионная стойкость, сопротивление механическому или другие требуемые свойства плакирующего слоя должна обеспечивать надежную и длительную эксплуатацию судна при воздействии внешней среды;

- прочность, пластичность и вязкость плакирующего слоя должны обеспечивать противостояние воздействию как внешних, так в внутренних остаточных сварочных напряжений в конструкции судна на протяжении всего периода эксплуатации.

Кроме того, основное и главное требование к плакированным сталям – качественное сцепление основного и плакирующего слоев.

В работе [13] показано, что лучшим выбором для плакирующего слоя являются высокоуглеродистые аустенитные нержавеющие стали, легированные никелем и марганцем с содержанием азота, которые обладают высокой способностью к пластической деформации и малой чувствительностью к хрупкому разрушению при сравнительно низком пределе текучести. Такие стали (например, 09X19Г10Н6АМ2Д) имеют очень высокие характеристики вязкости при ударном нагружении, которые сохраняются до экстремально низких температур.

1.4 Способы изготовления плакированных сталей

В настоящее время существует множество способов изготовления биметаллов (от хорошо изученных технологий вроде электрошлаковой наплавки, до инновационных аддитивных технологий или электронно-лучевой наплавки), в том числе двухслойных сталей, изделия из которых представляют собой ленту, проволоку, тонкие листы или пластины. Данные изделия, как правило, не несут на себе высоких механических нагрузок и не подвергаются коррозионному износу, в отличие от листов стали, которые используются в обшивке корпусов судов и, кроме того, являются достаточно массивными. Для производства

крупногабаритных листов (стандартный судостроительный лист обшивки средних секций корпуса кораблей типа «Aframax» имеет размеры 5,5 x 14 м) плакированной стали в настоящее время можно применить методы, которые будут рассмотрены ниже.

1.4.1 Способ горячей сварки пакетов

Сварка пакетов представляет собой горячую прокатку двух различных сталей в виде листов или слябов путем их нагрева и пропусканием через валки прокатного стана. Для выполнения основного требования к обеспечению качества сцепления слоев основного и плакирующего слоев поверхности листов разных сталей необходимо подготовить, а именно [14]:

- добиться минимальной неплоскости свариваемых листов (не более 22 мм/пог. метр);
- добиться шероховатости основного слоя R_a не ниже 12,5 (добиваются строжкой или абразивной зачисткой);
- тщательно обезжирить поверхность свариваемых листов.

Для исключения окисления поверхностей листов при их нагреве, контактные стороны обрабатывают тонким слоем металла содержащегося в качестве легирующего элемента в нержавеющей стали и имеющий больше чем хром средство с к кислороду, обычно это медь, никель, или алюминий, которые имея меньшее чем исходные стали температуру плавления препятствуют их окислению и чрезмерному перераспределению легирующих элементов в процессе сварки пакета [15].

Обычно, после сварки пакета плакированный стальной лист подвергается дополнительной термической обработке (закалка, отпуск либо нормализация) после его естественного охлаждения, для придания стали основного слоя требуемых механических характеристик [14].

К настоящему времени плакированный стальной судостроительный лист методом сварки пакета получен один раз в лабораторных условиях южнокорейскими исследователями из Samsung Heavy Industries [16]. При этом целью

авторов работы было подобрать такие температуры термической обработки, при которых обеспечивались наилучшие коррозионностойкие свойства стали плакирующего слоя и наилучшие механические свойства стали основного слоя. По результатам исследований было установлено, что для биметалла S32750 (плакирующий слой) + EN40 (основной слой) наилучшими режимами последующей за сваркой пакета термообработки являются отпуск при температуре 580 °С в течение 2 часов и последующей закалки в воде при температуре 1080 °С с последующей изотермической выдержкой до 550 °С в течение 12 часов.

1.4.2 Способ электрошлаковой наплавки

Сущность способа электрошлаковой наплавки (ЭШН), который похож на обычную сварку электродом, заключается в том, что на заготовку основного слоя наносится расплавленный электродом металл плакирующего слоя, который кристаллизуется при быстром охлаждении. Охлаждение происходит в специальном устройстве кристаллизаторе. Кристаллизатор охлаждают проточной водой. Для защиты поверхностей металлов от электрохимической эрозии их покрывают графитом. Сам процесс ЭШН ведется в шлаковой ванне, которая состоит из расплавленного сварочного флюса, который подливают в шлаковую ванну в течение процесса ЭШН при его истощении [17].

Основным требованием к ЭШН является поддержание устойчивости, для чего стабилизируется температура процесса, объем шлаковой ванны и глубина погружения в нее электрода.

Несмотря на ряд существенных достоинств способа ЭШН, таких как обеспечение высокой чистоты стали плакирующего слоя по сере, кислороду и неметаллическим включениям, при изготовлении плакированных крупногабаритных листов имеет ряд недостатков, а именно:

- необходимость сохранения после прокатки плакирующего слоя увеличенной толщины из-за возможного образования несплошностей между полосами из наплавляемого металла в процессе создания ЭШН;
- возможная неравномерность по толщине плакирующего слоя;

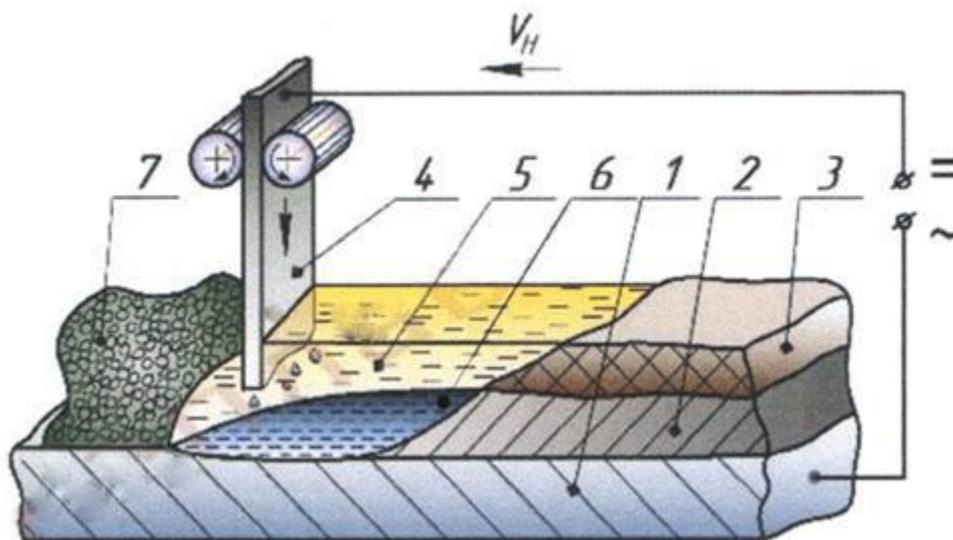


Рисунок 6 – Схема процесса электрошлаковой наплавки: 1 – основной металл; 2 – наплавленный металл; 3 – шлаковая корка; 4 – полоса наплавляемого металла; 5- шлаковая ванна; 6 – кристаллизатор; 7 – сварочный флюс

- повышенный по сравнению с расход дорогостоящей нержавеющей стали;
- для придания металлу основного слоя требуется дополнительная термообработка (обычно закалка);
- требуется механообработка внешней поверхности плакирующего слоя для придания ему приемлемой шероховатости.

К настоящему моменту в мировом судостроении плакированная сталь изготовленная ЭШН использовалась лишь дважды: атомный ледокол «Ленин» и морская буровая платформа «Приразломная». Производство биметаллов по данной технологии освоено ПАО «Северсталь» для использования их в конструкциях крупногабаритных гальванических ванн и сосудах высокого давления.

1.4.3 Способ сваркой взрывом.

Сварка взрывом это – «явление прочного соединения соударяющихся под некоторым углом поверхностей металлических тел, по крайней мере одно из которых разгоняется до скоростей 150-100 м/с продуктами детонации взрывчатого

вещества» [18]. Схема, из которой понятна сущность сварки взрывом представлена на рисунке 7.

В работе [13] автор которой произвел сравнение полученных образцов плакированной стали АБ2-2/04Х20Н6Г11М2АФБ разными методами, установлено что биметалл, произведенный сваркой взрывом, обладает наилучшими механико-прочностными свойствами и качеством сцепления слоев. Автор объясняет это тем, что «при сварке взрывом, топохимические реакции, которыми объясняется природа твердофазной сварки из-за высокоинтенсивного силового воздействия не успевают развиваться и физический контакт между свариваемыми поверхностями происходит за счет пластических деформаций»

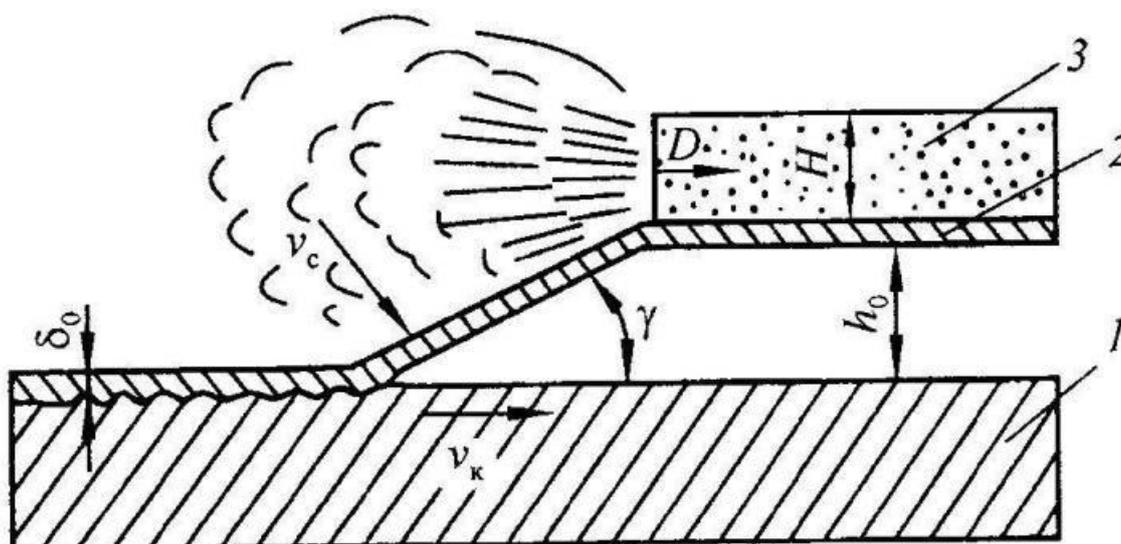


Рисунок 7 – Схема сварки листов металла сваркой взрывом: 1 – основной слой плакированной стали; 2 – плакирующий слой; 3 – взрывчатое вещество; h_0 – зазор, необходимый для придания метаемой пластины необходимой скорости; D – детонатор; V_k – скорость метаемой пластины

Тем не менее, наилучшее сцепление слоев после сварки взрывом достигается после горячей прокатки полученного биметалла. Почему это происходит понятно из рисунка 8.

К недостаткам сварки взрывом автор работы [13] относит: необходимость крайне тщательно очистки свариваемых поверхностей; трудность в равномерном

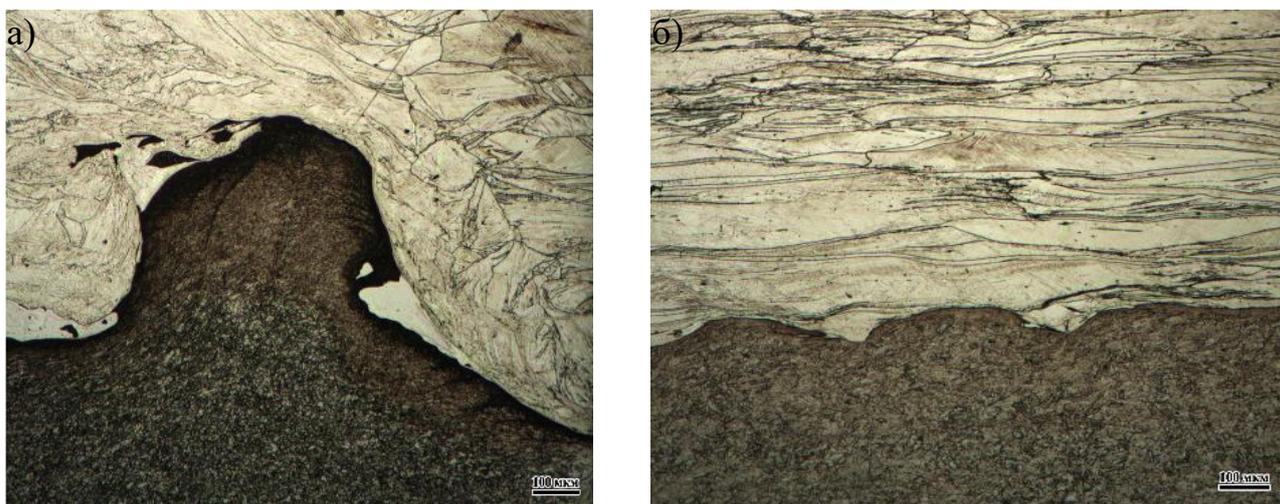


Рисунок 8 – Вид зоны сцепления плакированной стали АБ2-2/04Х20Н6Г11М2АФБ полученной сваркой взрывом: а) – до прокатки; б) – после прокатки

распределении заряда по всей площади листа; необходимость дополнительной термической обработки. Так же у существенным недостатками данной технологии можно отнести работу со взрывчатыми веществами, которые являются особо опасными и требуют специальных мер обеспечения безопасности (например, согласно ГОСТ 32162-2013 [19] данные работы разрешается проводить только в отдельно стоящем здании).

Резюме

В процессе изучения литературы по теме научно-исследовательской работы были рассмотрены силы и нагрузки, которые действуют на корпус судна, рассмотрены условия, в которых работают судостроительные стали. На основании этого определены требования к основному и покрывающему слою судостроительных сталей. Определены наиболее подходящие стали для производства биметаллов, которые планируется применять при строительстве судов в качестве материала обшивки корпуса. Рассмотрены технологии производства плакированной стали, которые подходят для изготовления крупногабаритных листов обшивки судов, определены их достоинства и недостатки.

Основным недостатком технологий производства плакированной стали горячей сваркой пакетов и сваркой взрывом является их дороговизна, так обе данные технологии предусматривают дополнительную термическую обработку, что влечет за собой повышенный расход электроэнергии и наличие крупногабаритных печей, в которых можно проводить термообработку листового проката, значительно превышающего по своим размерам стандартный листовой прокат. Кроме того, для отладки производства плакированного судостроительного листа сваркой взрывом, на предприятии производителе под эти цели для обеспечения безопасности требуется наличие отдельно стоящего цеха, наличие у персонала соответствующих допусков на работу со взрывчатыми веществами, что так же сказывается на удорожании производства.

Американский ученый Майкл Ф. Эшби, в своем труде «Выбор материалов при проектировании изделий» [20] выделил следующую закономерность экономической целесообразности использования того или иного материала, которая звучит следующим образом: чем дороже материал, чтобы экономически оправдать его использование, тем больше изделий из него должно быть произведено. Иллюстрация данной закономерности для судостроительных сталей приведена на рисунке 9.

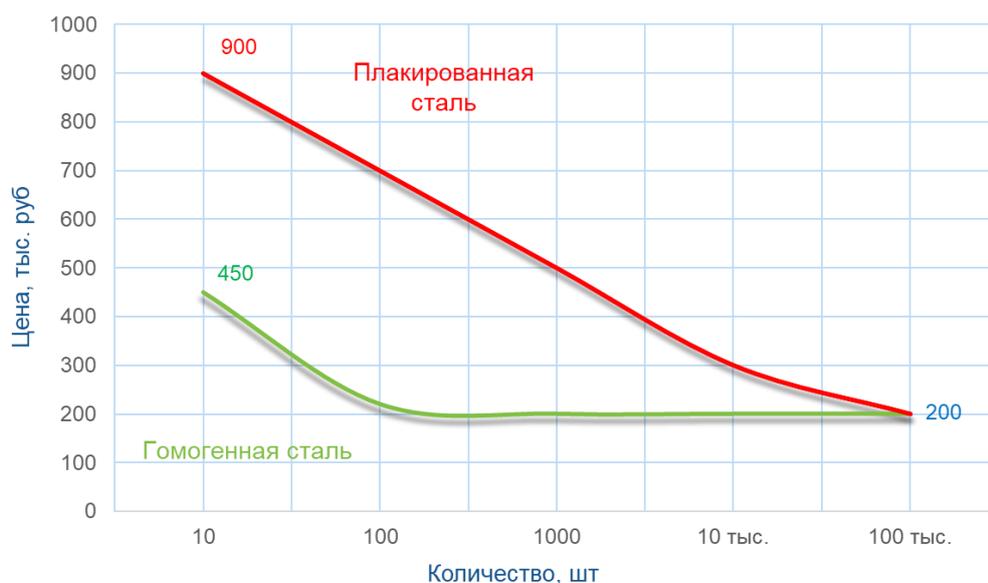


Рисунок 9 – Стоимость производства стальных листов обшивки корпуса судов в зависимости от произведенного количества

Из рисунка 9 видно, что стоимость одного плакированного судостроительного стального листа сравнивается со стоимостью листа из гомогенной стали при достижении производства в 100 тыс. шт. Но дело в том, что даже в мировом масштабе судостроительная отрасль не испытывает потребности в листовом прокате в таком количестве. Кроме того, первоначальная стоимость производства плакированного стального листа в десятки раз выше, чем у однородной стали. Именно по этой причине, использование плакированной стали становится неоправданно дорогим, даже при производстве мелкосерийных судов, таких как атомный ледокол проекта «Лидер».

На основании вышеизложенного и в рамках проведения настоящей НИР было решено изготовить образцы биметаллов технологией, которая исключает технологические процессы влияющие на удорожание его производства (термическая обработка, предварительная подготовка, исключение технологии сварки взрывом и сопутствующих ей процессов), провести их испытания на соответствие требований Правил постройки судов Регистра морского судоходства, провести исследование микроструктуры полученных образцов. На основании этого сделать выводы о возможности исключения из технологического процесса производства плакированных сталей термическую обработку как фактор, существенно удорожающий его, без потерь свойств получаемого биметалла. Для данных целей была выбрана технология производства плакированной стали путем электродуговой наплавки с последующей прокаткой (ЭДНХП).

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕ-
РЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ01	Стилинский Ярослав Сергеевич

Школа		Отделение школы (НОЦ)	Отделение материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	22.04.01 Материаловедение и технология материалов

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами; Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием ООО ССК «Звезда» и СО ИФПМ РАН;</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование;</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %;</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Сравнительный анализ с другими исследованиями в этой области;</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>SWOT-анализ;</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Расчет времени на проект; Создание расписания на проект; Расчет научного и технического исследовательского бюджета;</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Интегральный финансовый показатель; Интегральный показатель ресурсоэффективности; Интегральный показатель эффективности;</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений;*
2. *Матрица SWOT;*
3. *График проведения и бюджет НТИ;*
4. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ;*
5. *Потенциальные риски;*
6. *Основные показатели эффективности НИ.*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов М.А.	Д.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ01	Стилинский Ярослав Сергеевич		

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

ВВЕДЕНИЕ

Основная цель данного раздела – оценка перспективности развития и планирования финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, разработанного в рамках исследовательской работы.

Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

1. Оценка коммерческого потенциала разработки;
2. Оценка готовности проекта к коммерциализации;
3. Проработка методов коммерциализации и инициацию проекта;
4. Планирование научно-исследовательской работы;
5. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью магистерской диссертации является изучение технологий производства плакированных сталей, подходящих для применения в судостроении; разработка новой технологии производства плакированной стали, исследование структуры и механико-физических свойств полученных образцов биметалла.

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Биметаллы применяются во многих отраслях промышленности, где требуются материалы, обладающие комплексом свойств, которые невозможно достичь применением гомогенных сплавов или металлов (например, высокая коррозионная стойкость и повышенная прочность, высокая электропроводимость и устойчивость к хладноломкости и т.д.) В рамках настоящей работы рассмотрены технологии производства, изучены свойства плакированных сталей, пригодных для использования в особо металлоемких конструкциях каковыми являются корпуса крупнотоннажных судов. Предложена собственная технология производства плакированного стального листа, которая подходит не только для ледового судостроения, но и вследствие удешевления производства, делает возможным массовое применение биметалла в качестве обшивки корпуса судна в крупнотоннажном судостроении.

В настоящее время, основными перспективными потребителями продукта являются новая верфь ССК «Звезда», по заданию которой проводилось настоящее исследование, и строящаяся верфь ЦСКМС «Новатэк-Мурманск». Кроме того, вследствие того, что мировое крупнотоннажное судостроительство сосредоточено в дальневосточном регионе Евразии (Южная Корея, Китай, Япония, Приморский край РФ), по причине того, что в данном регионе не развита металлургическая промышленность, в связи с чем существуют существенные логистические издержки на доставку металла до конечных потребителей (верфей), плюс планируемая постройка металлургического комбината для обеспечения потребностей в металле Приморской верфи ССК «Звезда» делают возможным и экономически привлекательным выход продукта на самый крупный и масштабный мировой рынок судостроения. Так, например, южнокорейские партнеры из «Samsung Heavy Industries» уже заинтересовались в данной работе.

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Стальные листы для обшивки корпусов судов отличаются от стандартного металлопроката своими габаритными размерами и массой, что существенно ограничивает методы, которые подходят для производства судостроительных плакированных сталей. В ходе выполнения настоящей работы при изучении литературы было установлено, что для этих целей больше всего подходят сварка набранного пакета металлов горячей прокаткой, сварка взрывом и электрошлаковая наплавка.

Несмотря на то, что во второй половине прошлого века Советским Союзом были построены два атомных ледокола и морская нефтедобывающая платформа с применением в качестве обшивки плакированных сталей, полученных электрошлаковой наплавкой, данная технология не получила дальнейшего распространения вследствие того, что на практике сцепление слоев нержавеющей и высокопрочной стали осталось недостаточным.

В настоящее время в РФ плакированные стали производят ряд предприятий, такие как ПАО «Северсталь», НЛМК, ПАО «ММК» и другие, их продукция не отвечает требованиям Регистров, предъявляемым к сталям, которые применяются при постройке судов. Продукция этих предприятий в основном применяется в нефтегазовой отрасли (сосуды под давлением, трубопроводы и т.д.) где металл подвергается воздействию агрессивной внешней среды, но не испытывает ультравысоких механических нагрузок, при этом покрывающий слой стали служит лишь защитой от коррозии. Но в связи с тем, что северный морской путь в последние десятилетия становится все более доступным, а также развитием отечественного судостроения, потребность в биметаллах, пригодных для постройки тяжелых кораблей различного типа стала очень актуальной.

В настоящее время в РФ специалистами НИЦ «Курчатовский институт» под руководством доктора технических наук Харькова О.В. была разработана и апробирована технология производства плакированной стали сваркой взрывом с последующей термообработкой. Исследователем удалось добиться исключительных механических и антикоррозионных свойств, которые делают их продукт

наилучшим, с точки зрения эксплуатации, выбором для применения в ледовом судостроении. Но вновь разработанная и улучшенная технология сварки взрывом имеет ряд существенных минусов: вследствие того, что сварка взрывом требует использование взрывчатых веществ, для производства биметалла необходимо отдельное помещение или цех соблюдение всех установленных законодательством мер для обеспечения безопасности при работе со взрывчатыми веществами; в связи с тем, что для обеспечения заданных механических свойств требуется дополнительная последующая термообработка, не месте производства требуется наличие крупногабаритных печей для закалки и отпуска плакированных листов.

Южнокорейские конкуренты из «Hyundai Heavy Industries» в 2017 году получили плакированную судостроительную сталь путем сварки листов нержавеющей и высокопрочной конструкционной стали сваркой горячей прокаткой. Свойства полученного продукта близки к свойствам плакированной стали произведенной сваркой взрывом отечественными исследователями. Но данная технология, тоже имеет ряд недостатков, а именно: потребность в последующей термической обработки подразумевает на месте производства наличие крупногабаритных металлургических печей и прокатного стана; требующаяся дополнительная обработка поверхности разнородных сталей перед их горячей прокаткой и применение присадок в виде дорогостоящих порошков ниобия, никеля или тантала для обеспечения наилучшего сцепления слоев.

В работе американского ученого Майкла Ф. Эшби «Materials selection in mechanical design» [20] которая посвящена экономически обоснованной целесообразности выбора материалов, установлена закономерность: чем дороже материал обходится в производстве, тогда для обеспечения экономического обоснования выбора данного материала, тем больше изделий должно быть из него произведено. Данная зависимость имеет вид арифметической прогрессии.

Не смотря на все преимущества, которые дает плакированный стальной лист, ряд недостатков при его производстве, которые были приведены выше для двух технологий, делают экономически нецелесообразным его применению при

постройке кораблей по причине того, что ледовых судов в мире производится крайне мало. Например, на мощностях ССК «Звезда» до 2034 года планируется построить всего 3 ледокола проекта «Лидер». А представленные выше технологии разрабатывались как раз-таки для ледоколов.

Производство образцов биметалла, полученного в рамках настоящей работы путем электролучевой наплавки плакирующего слоя нержавеющей стали на основной слой низкоуглеродистой высокопрочной стали существенно дешевле рассмотренных выше технологий вследствие того, что было решено отказаться от последующей термической обработки. Полученная по данной технологии плакированная сталь в результате испытаний продемонстрировала гораздо более низкие механические свойства, чем у конкурентов, при этом сохранив высокие износостойкость, коррозионное сопротивление и хладноломкость. Это исключает применение листов из данной стали для постройки тяжелых ледоколов, но вместе с тем, механические свойства полученной стали позволяют применять ее в постройке любых типов судов способных самостоятельно проходить во льдах до толщиной до 1 метра (практически все судна всех по международной размерной классификации от «Aframax» и больше), что позволит в два раза заводить корабли на редокинг. А, в перспективе, возможность широкого применения производства плакированной стали электролучевой наплавкой делает выбор данной стали экономически обоснованным [20].

В таблице 6 представлена оценочная карта сравнения конкурентных технических решений.

Таблица 6 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
2. Соответствие требованиям конечного потребителя	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
3. Физико-механические свойства	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5

Продолжение таблицы 6

4. Коррозионная стойкость	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
5. Безопасность	0,075	5	5	3	0,375	0,375	0,225
6. Срок службы	0,075	4	5	5	0,3	0,375	0,375
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	2	2	0,5	0,2	0,2
2. Цена	0,1	5	2	2	0,5	0,2	0,2
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
5. Затраты на производство	0,1	5	3	2	0,5	0,3	0,2
6. Финансирование научной разработки	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Итого	1	52	47	44	4,725	4,2	3,95

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum_{i=1}^n V_i \cdot B_i, \quad (2)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Исходя из проведенного анализа можно заключить, что уязвимость конкурентных технологических решений связана с высокой стоимостью производства и высокой конечной цены изделия.

Преимуществом собственной разработки является ее относительная дешевизна и универсальность в рамках отрасли (подходит для постройки всех типов кораблей, кроме тяжелых ледоколов).

3.1.3 SWOT-анализ

Для проведения комплексного анализа проекта использовался SWOT-анализ, который проводился в несколько этапов. На первом этапе были определены сильные и слабые стороны проекта, а также выявлены возможности и угрозы для реализации проекта. Первый этап проведения SWOT-анализа представлен в таблице 7.

SWOT-анализ – это выявление сильных (S – strenghts) и слабых (W – weaknesses) сторон исследуемого объекта, что описывает внутреннюю среду, а также возможностей (O – opportunities) и угроз (T – threats) внешней среды.

Таблица 7 – Матрица SWOT

Strenghts (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
С1. Не требуется дорогостоящего технологического оборудования; С2. Дешевизна разработки; С3. Легкость в масштабируемости на мировой рынок; С4. Использование отечественных коммерчески доступных российских материалов; С5. Квалифицированный персонал;	Сл1. Вероятность получения брака; Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой на стадии производства конечного продукта; Сл3. Отсутствие прототипа научной разработки; Сл4. Продолжительный процесс производства одного плакированного листа стали; Сл5. Влияние множества технологических параметров на конечный продукт;
Opportunities (возможности)	Threats (угрозы)
В1. Появление потенциального спроса на новые разработки; В2. Быстрое внедрение в производство; В3. Продажа технологии партнерам, в том числе зарубежным; В4. Повышение стоимости конкурентных разработок; В5. Поддержка со стороны потребителя продукта (коими, по сути, являются государственные предприятия);	У1. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке; У2. Ограничения на экспорт технологии; У3. Введение экономических санкций со стороны недружественных стран; У4. Введение дополнительных требований либо ограничений со стороны регулятора отрасли – РМРС; У5. Несвоевременное финансирование;

После того как были сформированы четыре области, был выполнен второй этап, на котором выявлены соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого построена интерактивная матрица, при этом каждый фактор отмечался знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям) или знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если были сомнения в соответствии сильным и слабым сторонам. Интерактивные матрицы представлены в таблицах 8 – 11.

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

		Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4	С5
Возможности проекта	В1	-	+	+	+	-
	В2	+	+	+	+	-
	В3	+	+	+	+	-

Продолжение таблицы 8

	B4	-	-	-	-	-
	B5	+	+	+	+	+

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	+	-	-
	B2	-	-	+	-	-
	B3	-	-	+	-	-
	B4	-	-	+	+	+
	B5	-	-	+	+	-

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта						
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-
	У3	-	-	-	-	-
	У4	-	-	-	-	-
	У5	-	-	-	-	-

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта						
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	-	+_	+	+
	У2	-	-	-	-	-
	У3	-	-	-	-	-
	У4	-	-	-	-	-
	У5	+	+	+	-	-

На третьем этапе составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Итоговая матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Не требуется дорогостоящего технологического оборудования; С2. Дешевизна разработки;</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Вероятность получения брака; Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по</p>
--	---	--

	<p>С3. Легкость в масштабируемости на мировой рынок;</p> <p>С4. Использование отечественных коммерчески доступных российских материалов;</p> <p>С5. Квалифицированный персонал;</p>	<p>работе с научной разработкой на стадии производства конечного продукта;</p> <p>Сл3. Отсутствие прототипа научной разработки;</p> <p>Сл4. Продолжительный процесс производства одного плакированного листа стали;</p> <p>Сл5. Влияние множества технологических параметров на конечный продукт;</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление потенциального спроса на новые разработки в отрасли;</p> <p>В2. Быстрое внедрение в производство;</p> <p>В3. Продажа технологии партнерам, в том числе зарубежным;</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок;</p> <p>В5. Поддержка со стороны потребителя продукта (коими, по сути, являются государственные предприятия);</p>	<p>Наилучший исход событий — это получение дополнительных ресурсов как трудовых, так и материальных в случае, если технология окажется интересна каким-либо инвесторам/покупателям;</p>	<p>Главная проблема разработки – это возможный брак конечного продукта в виде трещин и несплошностей в зоне сцепления разнородных металлов; нехватка квалифицированных кадров в регионе производства продукта и трудности привлечения персонала в данный удаленный регион. (Приморский край)</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке;</p> <p>У2. Ограничения на экспорт технологии;</p> <p>У3. Введение экономических санкций со стороны недружественных стран;</p> <p>У4. Введение дополнительных требований либо ограничений со стороны регулятора отрасли – РМРС;</p> <p>У5. Несвоевременное финансирование;</p>	<p>Все сильные стороны проекта, а также заинтересованность в разработке именно отечественных потребителей компенсируют слабые стороны и потенциальные угрозы;</p>	<p>Для устранения всех угроз и слабых сторон необходимо проводить обучение и повышение квалификации рабочих кадров. Влияние текущей геополитической обстановки может существенно затормозить выход продукта на мировой рынок отрасли, поэтому необходимо в первую очередь ориентироваться и развивать отечественное судостроение.</p>

В результате SWOT-анализа наглядно показано, что преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками.

Пути устранения недостатков, такие как недостаточно высокие механические свойства продукта, которые не позволяют применять его при строительстве

ледоколов, будут искаяться при проведении дальнейшей научной работы и НИОКР на ССК «Звезда».

Преимуществом проекта является универсальность конечного продукта в рамках сугубо узконаправленно отрасли, а именно возможность его экономически обоснованного применения при строительстве различных типов судов крупнотоннажного торгового флота.

3.2 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для оценки степени готовности к коммерциализации НИР и ее проведения необходимо было выяснить уровень собственных знаний. Для этого была заполнена специальная форма, которая содержит показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенций разработчика научного проекта (таблица 13)

Таблица 13 – Бланк оценки готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	5
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2

Продолжение таблицы 13

9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	4	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	5	5
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	5
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	70	70

Итоговые значения проработанности научного проекта и знаний у разработчика составляют 70, из чего следует, что разработка считается перспективной. Некоторые аспекты вывода продукта на рынок не были учтены, а также проявляется недостаток знаний в некоторых областях. В связи с этим, необходимы консультации у соответствующих специалистов по разработке проекта.

3.3 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определены изначальные цели, содержание и финансовые ресурсы. Определены внутренние и внешние заинтересованные стороны, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

3.3.1 Цели и результаты проекта

Перед определением целей необходимо обозначить заинтересованные стороны проекта. Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 9.

Таблица 14 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Потенциальный потребитель	Удовлетворенность в выполнении заказа и соответствие заявленных требований
Разработчик	Получение прибыли со своего продукта
Научный руководитель, студент	Выполненная ВКР, написание и публикация научных статей

Цели и результат проекта в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения представлены в таблице 10:

Таблица 15 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Провести анализ существующих технологий производства судостроительных плакированных сталей. На основании выявленных недостатков предложить методы или технологию производства исключающие выявленные недостатки. Изготовить образцы по предложенной технологии.
Ожидаемые результаты проекта:	Получении данных об испытаниях полученных образцов на соответствие требованиям регулятора отрасли – Регистра. В случае положительного исхода, предложение по внедрению выбранной технологии производства на территории инициатора НИР – ССК «Звезда»
Критерии приемки результата проекта:	Отчет о проделанной работе, в котором представлены результаты испытаний.
Требования к результату проекта:	1) Все испытания образцов должны проводиться с требованиями не ГОСТов и ТУ, а строго в соответствии с методикой указанной в Регистре 2) Результаты испытаний должны проводиться строго на поверенном и сертифицированном Регистром оборудовании с указанием даты поверки

3.3.2 Организационная структура проекта

Участники, входящие в рабочую группу данного проекта, функции, и трудозатраты в проекте представлены в таблице – 16.

Таблица 16 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудоза- траты, час.
1	Пимонов А.К., за- ведующий ЛМиСА ООО ССК «Звезда»	Руководитель	Предоставление дан- ных для обработки и расчетов, организация работ	24
2	Стилинский Я.С., ССК «Звезда», инженер-лаборант	Исполняющий	Проведение испытаний и экспериментов, обра- ботка и интерпретация их результатов	816
ИТОГО:				840

В результате определения рабочей группы проекта, были определены функции и трудозатраты руководителя и исполняющего.

3.3.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта, таблица 17.

Таблица 17 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения
Бюджет проекта	550 000 рублей
Источник финансирования	НИТПУ, ССК «Звезда»
Сроки проекта	31.01.2021 – 22.05.2022
Фактическая дата утверждения плана управления проектом	12.12.2021
Плановая дата завершения проекта	27.05.2022

3.4 Планирование управления научно-техническим проектом

3.4.1 План проекта

В рамках планирования научного проекта был построен календарный и сетевой графики проекта. Календарный график представлен в виде таблицы 18.

Таблица 18 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1.	Составление и утверждение технического задания	5	31.01.2022	04.02.2022	Пимонов А.К, Стилинский Я.С.
2.	Изучение учебной литературы по теме	5	07.02.2022	11.02.2022	Стилинский Я.С.
3.	Изучение актуальных статей по теме	5	14.02.2022	18.02.2022	Стилинский Я.С..
4.	Обоснование выбора технологии производства образцов плакированное стали	2	21.02.2022	22.02.2022	Стилинский Я.С.
5.	Изготовление образцов	10	24.02.2022	14.03.2022	Стилинский Я.С.
6.	Подготовка образцов к исследованиям (подготовка микро и макрошлифов)	10	15.03.2022	28.03.2022	Стилинский Я.С.
7.	Проведение исследований и экспериментов	30	29.03.2022	16.05.2022	Пимонов А.К, Стилинский Я.С.
8.	Анализ результатов исследований	2	17.05.2022	18.04.2022	Стилинский Я.С.

Продолжение таблицы 18

9.	Обобщение и оценка результатов	1	19.05.2022	19.05.2022	Стилинский Я.С..
10.	Оформление отчета ВКР	5	20.05.2022	27.05.2022	Пимонов А.К, Стилинский Я.С.
Итого:		75			

Диаграмма Ганта – тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Диаграмма представлена в таблице 19 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике, зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу, выделены различной штриховкой.

Таблица 19 – Календарный план-график проведения НИОКР

Код работ (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Т _к , ч.	Продолжительность выполнения работ														
				Янв.			Февр.			Март			Апр.			Май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1.	Составление и утверждение технического задания	Р, И	5				■											
2.	Изучение учебной литературы по теме	И	5				■	■										
3.	Изучение актуальных статей по теме	И	5				■	■										
4.	Обоснование выбора технологии производства образцов плакированное стали	И	2							■	■							
5.	Изготовление образцов	И	10										■	■	■			

3.4.2.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

Расчет стоимости материальных затрат производился по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3–5 % от цены). Результаты по данной статье представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Серная кислота	ГОСТ 4234-77 Реактивы, 500 мл	1	2015	2015
Соляная кислота	ГОСТ 4234-77 Реактивы, 500 мл	1	970	970
Пикриновая кислота	ГОСТ 4234-77 Реактивы, 500 мл	1	2300	2300
Плавиковая кислота	ГОСТ 4234-77 Реактивы, 200 гр	1	5600	5600
Хлорид калия	ГОСТ 4234-77 Реактивы, 500 мл	4	350	1400
Нитриловые перчатки	L	100	22,05	2205
Респиратор	Лабораторный	1	2751	2751
Очки	Защитные	1	900	900
Халат	Лабораторный	1	670	670
Резиновый фартук	Лабораторный	1	3120	3120
Аргон	10 л.	1	3250	3250
Электроды	Неплавящийся вольфрам, WP-100	10	255	2555
Круг шлифовальный	На липучке, 350 мм, различной зернистости	300	60	12000
Круг полировальный	На липучке, 350 мм, различной зернистости	100	73	7300
Всего за материалы				47036
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				1411,08
Итого по статье С _м				48447,08

В статье расходов на сырье и материалы не учитывалась стоимость исходных сталей 10Г2ФБЮ/РСЕ40W (основной слой) и 12Х18Н10Т (плакирующий слой), которые использовались при создании образцов так как данные марки стали являются одними их основных судостроительных сталей, применяемых на ССК «Звезда». Для создания образцов было достаточно отходов производства.

3.4.2.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 21 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1.	Автоматический монтажный пресс ETOS-100	1	161 000	161 000
2.	Автоматический шлифовальный станок Vainpol-Auto	1	315 230	315 230
3.	Ручной двухдисковый шлифовально-полировальный станок Vainpol VTD Individual Drive	1	57 520	57 520
4.	Автоматическая машина для испытания на растяжение-сжатие TLS-S5000П	1	1 750 000	1 750 000
5.	Маятниковый копер JB-W300	1	663 852	663 852
6.	Микроскоп MicroOptix MX-1150T (тринокулярный, стереоскопический)	1	3 960 000	3 960 000
7.	СЭМ микроскоп ZEISS GeminiSEM 360	1	13 451 000	13 451 000
8.	Ультразвуковая ванна «LaboSonic»	1	16 980	16 980
9.	Шкаф вытяжной лабораторный ЛК1800ШВ	1	170 000	170 000

Расчет амортизационных отчислений H осуществлялся по следующей формуле исходя из базовой стоимости оборудования и утвержденных норм амортизации:

$$H = \sum_{i=1}^n \frac{T_{испi}}{365} \cdot K_i \cdot H_{ai}, \quad (3)$$

где n – число единиц оборудования;

$T_{испi}$ – время использования i -ой единицы оборудования;

K_i – стоимость i -ой единицы оборудования;

N_{ai} – норма амортизации i -ой единицы оборудования.

Норма амортизации является величиной, обратной сроку службы оборудования T_{cc} :

$$N_a = \frac{1}{T_{cc}} \quad (4)$$

Результаты расчета амортизации оборудования представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Цена	Срок службы, лет	Срок использования в НТИ, кал. дни	$N_a, \%$	N , руб.
1.	Автоматический монтажный пресс ETOS-100	161 000	10	0,1	10	882,19
2.	Автоматический шлифовальный станок Vainpol-Auto	315 230	10	0,1	10	1727,29
3.	Ручной двухдисковый шлифовально-полировальный станок Vainpol VTD Individual Drive	57 520	10	0,1	10	315,18
4.	Автоматическая машина для испытания на растяжение-сжатие TLS-S5000II	1 750 000	15	0,07	6,67	1598,17
5.	Маятниковый копер JB-W300	663 852	15	0,07	6,67	606,26
6.	Микроскоп MicroOptix MX-1150T (тринокулярный, стереоскопический)	3 960 000	10	0,1	10	3254,79
7.	СЭМ микроскоп ZEISS GeminiSEM 360	13 451 000	10	0,1	10	921,30
8.	Ультразвуковая ванна «LaboSonic»	16 980	5	0,2	20	65,13
9.	Шкаф вытяжной лабораторный ЛК1800ШВ	170 000	20	0,05	5	465,75
Итого:						9836,07

3.4.2.3 Основная заработная плата

В данном разделе рассчитана заработная плата инженера и руководителя с учетом расходов по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада на месте проведения НИР. В таблице 23 указано рабочее время затраченного на выполнение НИР с учетом того, что инженер был трудоустроен на место проведения НИР на время своей учебной, производственной и преддипломной практике. Заработная плата руководителя рассчитана из его реальных затрат рабочего времени на выполнение данного проекта.

Таблица 23 – Затраты рабочего времени участниками проекта

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	3	98
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	0	20
- праздничные дни	0	3
Потери рабочего времени		
- отпуск	0	0
- невыходы по болезни	0	0
Действительный фонд рабочего времени, затраченный на выполнение проекта его участниками	3	75

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_6 \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (5)$$

где Z_6 – базовый оклад, руб.;

$k_{пр} = 1,3$ – премиальный коэффициент (определяется положением об оплате труда);

$k_d = 1,3$ – коэффициент доплат и надбавок (для работников Приморского края – «дальневосточная надбавка, других надбавок положением об оплате труда ССК «Звезда» не предусмотрено);

$k_p = 1,3$ – районный коэффициент для г. Большой Камень.

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 24.

Таблица 24 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	T _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	42563	1,3	1,3	1,3	88531	4426,5	3	13 280
Инженер	36702				76340	3817	75	286 275
Итого:								299 555

3.4.2.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.). Исследование выполнялось на ССК «Звезда» при нормальных условиях труда, на котором не предусмотрены другие выплаты, кроме надбавок, которые были учтены при расчете основной заработной платы. Поэтому дополнительная заработная плата в данном случае не будет учтена при дальнейших расчетах.

3.4.2.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Данная статья расходов содержит обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Размер выплат находится по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot k_{\text{внеб}} \quad (6)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды.

Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ), откуда $k_{\text{внеб}}=0,3$.

Затраты на отчисления приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	З _{внеб}
Руководитель	3 984
Инженер	44549
Итого:	85 882

3.4.2.6 Накладные расходы на проведение НИР

Накладными расходами в данном проекте учитывались затраты на доставку персонала (инженера-лаборанта) к месту проведения НИР в г. Большой Камень на ССК «Звезда». Общая сумма затрат, которая включает в себя билеты на самолет и трансфер в/из аэропорта составила 102 538 руб. Накладные расходы взял на себя НИТПУ согласно договору.

3.4.2.7 Бюджетная стоимость НИР

Определение бюджета затрат на НИР приведено в таблице 26.

Таблица 26 – Стоимость НИР

№	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Материалы, сырье и т.д.	48 447,08
2	Амортизация оборудования	9 836,07
3	Основная заработная плата	299 555
4	Отчисления во внебюджетные фонды	85 882
5	Накладные расходы	102 538
Итого:		546 258,15

В расчет бюджета затрат на НИР не учитывалась стоимость необходимого оборудования для реализации данного проекта, так как оборудование является ОФП предприятия инициатора проведения НИР, поэтому в бюджетную стоимость включены только затраты на его амортизацию.

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы 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. Таким образом, расчетные затраты не превышают запланированную сумму в 550 000 тыс. руб. Согласно таблице, наибольшие затраты по проведению НИР формируются за счёт затрат на заработную плату и накладные расходы.

3.5 Оценка рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 27 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Производственные	2	1	5	Низкий	Обучение кадров, внедрении культуры ОТиБЖД	Невыполнение планов по производству продукции
2	Страховые	3	1	5	Низкий	Страхование финансовых рисков	Возникновение внештатных ситуаций (пожар, землетрясение)
3	Конкурентные силы	1	1	3	Низкий	Наблюдение за конкурентами	Возникновение новых производственных предприятий в данной области

Для эффективного управления возникшими рисками необходимо проводить исследования причин их возникновения и анализ рисков, на основе полученных результатов принимать соответствующие управленческие решения.

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

3.6.1 Интегральный показатель финансовой эффективности

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (7)$$

где Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения.

$$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 268150 \text{ руб.}, \quad \Phi_{\text{исп.2}} = 384257 \text{ руб.}, \quad \Phi_{\max} = 500000 \text{ руб.}$$

$$I_{\Phi}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\max}} = \frac{268150}{500000} = 0,54;$$

$$I_{\Phi}^{\text{исп.2.}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2.}}}{\Phi_{\max}} = \frac{384257}{500000} = 0,77;$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по двум вариантам разработки проектируемый вариант считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

3.6.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра, таблица 28.

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 5,6;$$

$$I_{p1} = 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 5,05.$$

Таблица 28 – Сравнительная оценка характеристик всех вариантов

Объекты исследования Критерии	Весовой ко- эффициент параметра	Текущий проект	Исп. 2
1. Удобство в эксплуатации (соответствие требованиям потребителей)	0,3	5	5
2. Стабильность работы	0,15	4	4
3. Технические характеристики	0,2	5	4
4. Механические свойства	0,2	5	4
5. Материалоёмкость	0,15	5	5
ИТОГО	1	5,6	5,05

3.6.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{\text{р-исп.}i}}{I_{\text{исп.}i}^{\text{финр}}}; \quad (8)$$

$$I_{\text{исп.}1} = \frac{5,6}{0,54} = 10,4; I_{\text{исп.}2} = \frac{5,05}{0,77} = 6,6.$$

Интегральный показатель эффективности определяет расчетную сравнительную эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{I_i}{I_1}; \quad (9)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{10,4}{10,4} = 1; \mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{6,6}{10,4} = 0,6.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта, таблица 29.

Таблица 29 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,54	0,77
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	5,6	5,05
3	Интегральный показатель эффективности	10,4	6,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,6

Сравнение значений интегральных показателей эффективности показало, что более эффективным вариантом решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

3.7 Заключение по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 75 рабочих и 98 календарных дней;

Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 546 258,15 руб.;

Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,54, что является показателем того, что ИР является относительно выгодной по сравнению с аналогами;

Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 5,6, по сравнению с 5,05;

Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 10,4, по сравнению с 6,6, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.