

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский технологический
университет «МИСИС»

На правах рукописи

Погорелов Иван Сергеевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ
РАЗЛИВКИ СТАЛИ ЗА СЧЕТ МЕХАНИЗАЦИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ
ВЫПУСКНОГО КАНАЛА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ**

2.6.2. Metallurgy of black, colored and rare metals.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Горбатюк Сергей Михайлович

Москва – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 НЕОБХОДИМОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ШИБЕРНЫХ СТАЛЕВЫПУСКНЫХ СИСТЕМ РАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ .	12
1.1 Влияние продолжительности обслуживания огнеупорных элементов канала на теплофизические параметры сталеразливочного ковша и порядок их замены.....	13
1.2 Обеспечение стабильности непрерывной разливки продуктов плавки: необходимость применения стартовых смесей и способы их подачи в канал шиберного затвора.....	23
1.3 Защита струи металла от вторичного окисления как важнейший элемент технологии непрерывной разливки продуктов плавки	30
1.4 Направления дальнейшего развития оборудования для обслуживания ковшовых шиберных затворов с целью повышения эффективности непрерывной разливки стали.....	34
1.5 Выводы по главе 1	37
ГЛАВА 2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ МАНИПУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ КОВШОВЫХ ШИБЕРНЫХ ЗАТВОРОВ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ ПРОДУКТОВ ПЛАВКИ	39
2.1 Разработка усовершенствованной конструкции манипулятора для механизации работ по замене отработанного разливочного стакана ковша	39
2.2 Разработка методики расчета энергосиловых параметров механизмов модернизированного манипулятора	44
2.3 Экспериментальная проверка расчетных данных	50
2.4 Порядок использования разработанного манипулятора при реализации технологии непрерывной разливки стали	59

2.5 Выводы по главе 2.....	65
ГЛАВА 3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДА РАСЧЕТА МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ПОДАЧИ СТАРТОВОЙ СМЕСИ В ВЫПУСКНОЙ КАНАЛ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОГО КОВША ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ ПРОДУКТОВ ПЛАВКИ.....	
3.1 Разработка конструкции манипулятора для подачи стартовой смеси в выпускной канал ковша	67
3.2 Функционирование манипулятора для подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша.....	71
3.3 Разработка методики расчета энергосиловых параметров механизма поворота колонны.....	74
3.4 Разработка методики расчета энергосиловых параметров механизма перемещения тележки, несущий бункер со стартовой смесью.....	77
3.5 Модельные исследования манипулятора для подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша с целью стабилизации процесса плавки	84
3.5.1 Разработка физической модели манипулятора для подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша	84
3.5.2 Разработка контрольно-измерительной аппаратуры для фиксации значений крутящего момента.....	87
3.5.3 Методика проведения экспериментальных исследований и анализ полученных результатов.....	93
3.6 Повышения точности позиционирования манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси при промышленном использовании.....	101
3.7 Выводы по главе 3.....	117
ГЛАВА 4 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДА РАСЧЕТА ВИБРАЦИОННОГО МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЗАРАСТАНИЯ КАНАЛА ЗАЩИТНОЙ ОГНЕУПОРНОЙ ТРУБЫ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ ПРОДУКТОВ ПЛАВКИ.....	
	119

4.1 Вторичное окисление стали при непрерывном литье заготовок и меры по их устранению.....	119
4.2 Физическое моделирование влияния вибрационного воздействия на скорость зарастания канала защитной огнеупорной трубы	121
4.3. Разработка конструкции манипулятора, обеспечивающего реализацию внешнего вибрационного воздействия на защитную трубу.....	131
4.4. Выводы по главе 4.....	139
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	140
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	142
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	145
ПРИЛОЖЕНИЕ А	157
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	158
ПРИЛОЖЕНИЕ В	162
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	168
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	169

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В современной металлургии обеспечение качества непрерывнолитой заготовки неразрывно связано с эффективностью проведения процессов внепечной обработки и непрерывной разливки стали. Важнейшим технологическим узлом, определяющим стабильность перелива металла из сталеплавильного ковша в промежуточный ковш МНЛ, является шиберный затвор кассетного типа. От качества и оперативности его обслуживания напрямую зависят теплофизические параметры плавки и чистота разливаемого металла. Так извлечение и замена изношенных огнеупорных стаканов традиционными способами занимает значительное время, что приводит к нежелательному остыванию футеровки ковша и нарушению его теплового баланса. Кроме того, серьезной металлургической проблемой остается процесс засыпки стартовой смеси в канал стакана: из-за восходящих конвективных потоков горячего воздуха значительная часть смеси рассеивается, что приводит к несанкционированному спеканию канала и необходимостью кислородного прожигания, в результате которого первые порции стали загрязняются неметаллическими включениями. Наконец, при самой разливке критически важным является защита струи от вторичного окисления с помощью огнеупорной трубы. Однако в процессе разливки на внутренней поверхности трубы происходит интенсивная кристаллизация и отложение оксидов алюминия, что нарушает гидродинамику потока, снижает стойкость огнеупоров и ухудшает качество марочных сталей. Таким образом, разработка и совершенствование манипуляторов не просто механизмирует ручной труд, а является необходимым условием для решения важнейших технологических задач при разливке продуктов плавки и реализации методов непрерывной разливки стали: сохранение тепловой энергии ковша, исключение вторичного окисления расплава и снижение загрязненности металла неметаллическими включениями. Создание отечественного оборудования данного класса для выполнения этих

металлургических задач в рамках программы импортозамещения является актуальной научно-практической задачей.

Степень разработанности темы. Фундаментальные основы процессов внепечной обработки, непрерывной разливки стали, а также вопросы взаимодействия металлических расплавов с огнеупорными материалами и защиты струи металла от вторичного окисления заложены в трудах многих отечественных и зарубежных ученых. Значительный вклад в изучение и совершенствование процессов подготовки сталеразливочных ковшей, гидродинамики течения расплава и конструкции шибберных систем внесли такие ученые и специалисты, как: Бигеев В.А., Точилкин В.В., Мачикин В.И., Шестопалов В.Н., Кулик А.Д., Гладилин Ю.И., Еронько С.П., Золотухин В.И., Соломин Н.П., Кононов В.А., Василенко В.П., Алпатов А.А., Топычканов В.И., Аксельрод Л.М., Куклев А.В. В опубликованных ими работах обоснованы конструктивные и энергосиловые параметры шибберных систем разных типов, манипуляторов и агрегатов, обеспечивающих прохождение жидкой стали в системе сталеразливочный ковш – защитная труба – промежуточный ковш МНЛЗ, а также выданы рекомендации по их эксплуатации и обслуживанию в сталеплавильных и литейных цехах. В настоящее время активно ведутся работы по созданию перспективных образцов манипуляционных систем, позволяющих механизировать выполнение операций по подготовке к работе сталеразливочных ковшей в условиях реализации современных технологий внепечной обработки стали и ее разливки длинными сериями на высокопроизводительных машинах непрерывного литья заготовок.

Объект исследования – технологический процесс подготовки и реализации непрерывной разливки стали из сталеразливочных ковшей, оборудованных шибберными затворами кассетного типа.

Предмет исследования – методы и технологические параметры обслуживания выпускного канала сталеразливочного ковша, включающие замену огнеупоров, подачу стартовой смеси и защиту струи металла, определяющие эффективность и стабильность процесса разливки стали.

Цель исследования – повышение эффективности процесса непрерывной разливки стали и оборачиваемости сталеразливочных ковшей за счет совершенствования технологических режимов и оборудования для подготовки выпускного канала и защиты металла от вторичного окисления.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- провести анализ существующих технологических схем подготовки к разливке сталеразливочных ковшей с кассетными затворами и выявить факторы, снижающие надежность сталевыпускной системы и качество разливаемого металла;

- разработать усовершенствованные параметры процесса механизированной замены отработанных огнеупорных элементов выпускного канала для сокращения времени подготовки ковша к плавке;

- оптимизировать технологию механизированной подачи стартовой смеси в выпускной канал ковша с целью исключения ее потерь и обеспечения гарантированного самопроизвольного истечения металла при открытии шиберного затвора, без прожигания кислородом;

- исследовать влияние внешнего вибрационного воздействия на интенсивность зарастания канала защитной огнеупорной трубы неметаллическими включениями для предотвращения вторичного окисления стали при переливе в промежуточный ковш МНЛЗ;

- выполнить физическое моделирование предложенных технологических решений и их экспериментальную проверку для внедрения в процесс подготовки и непрерывной разливки стали.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Технологический режим и способ извлечения разливочного стакана, обеспечивающее сохранение структурной целостности огнеупорного гнездового блока и теплофизических параметров футеровки сталеразливочного ковша. Переход к целенаправленному вытягивающему усилию исключает

ударные нагрузки, а сокращение времени ремонта уплотняет график оборота ковша, минимизируя потери тепла футеровки во время ремонта.

2. Способ формирования защитного слоя стартовой смеси в канале шиберного затвора. Механизированная точечная подача сыпучего материала преодолевает воздействие конвективных тепловых потоков ковша и исключает рассеивание смеси. Это предотвращает загрязнение первых порций стали неметаллическими включениями.

3. Модернизированный манипулятор для подавления кристаллизации неметаллических включений в защитной огнеупорной трубе. Наложение внешнего вибрационного воздействия на трубу разрушает формирующийся слой отложений оксидов алюминия, предотвращает зарастание канала и обеспечивает непрерывную защиту расплава от вторичного окисления при переливе в промежуточный ковш МНЛЗ.

Научная новизна полученных результатов.

1. Установлены закономерности влияния механизированного обслуживания шиберных затворов на теплофизические параметры и эксплуатационную надежность сталеразливочного ковша. Доказано, что замена пневматического инструмента на целенаправленное вытягивающее усилие разработанного манипулятора исключает повреждение стационарного огнеупорного гнездового блока. Одновременно с этим технологический цикл извлечения разливочного стакана сокращается, что уплотняет график оборота ковша и минимизирует потерю тепловой энергии его футеровкой в период ремонта.

2. Установлены технологические закономерности влияния параметров механизированной подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша на точность ее позиционирования. Это позволило разработать новый способ заполнения канала, который устраняет потери смеси и обеспечивает высокую надежность открытия шиберного затвора, что минимизирует риск загрязнения первых порций стали неметаллическими включениями.

3. Экспериментально доказана эффективность наложения внешнего вибрационного воздействия на защитную огнеупорную трубу. Установлено, что контролируемая вибрация модернизированного манипулятора существенно снижает интенсивность процесса зарастания внутреннего канала трубы, что увеличивает время ее эксплуатации, стабилизирует струю и надежно защищает сталь от вторичного окисления при подаче в промежуточных ковш МНЛЗ.

Практическая значимость работы.

1. Результаты диссертационной работы в виде методик расчёта параметров манипуляторов для обслуживания шиберных затворов сталеразливочного ковша и механизированной подачи стартовой смеси в его выпускной канал переданы для практического применения в Инженерно-технический центр ВМЗ, ООО «ХУСМАН РУС», НП "Металлургмаш", НП «ЦИГТ» для проектирования и изготовления отечественных образцов оборудования данного класса.

2. Действующие физические модели предложенных манипуляторов используются в учебном процессе при подготовке студентов по направлению «Технологические машины и оборудование» на кафедре инжиниринг технологического оборудования НИТУ «МИСИС».

3. Получили дальнейшее развитие методы расчета параметров устройств, применяемых для механизированного обслуживания сталеразливочных ковшей, оборудованных шиберными затворами кассетного типа.

4. Разработка трех лабораторных прототипов манипуляторов, позволяющих осуществлять процесс обслуживания выпускного канала сталеразливочных ковшей непосредственно в цеховых условиях.

Методы исследования и достоверности результатов работы

Теоретические исследования базируются на фундаментальных принципах механики твердого деформируемого тела и основополагающих положений физического моделирования. При анализе силовых параметров манипуляторов применялся метод тензометрии со сбором и обработкой информации на

персональном компьютере. Экспериментальные исследования проведены на физических моделях предложенных манипуляторов с применением современной контрольно-измерительной аппаратуры и вычислительной техники. При обработке полученных результатов использовали статистические методы с привлечением лицензированного программного продукта. Достоверность и обоснованность теоретических положений подтверждена данными экспериментальных исследований, выполненных с использованием современных контрольно-измерительных средств и лицензионных программных продуктов.

Личный вклад соискателя

Автор непосредственно участвовал в постановке цели и задач исследований, разработке усовершенствованных конструкций и методов расчета манипуляторов, предназначенных для обслуживания разливочного отверстия сталеразливочных ковшей, проведении лабораторных экспериментов и обработке полученных данных, а также подготовке научных публикаций. Им сформулированы основные положения и выводы.

Реализация работы.

Технические проекты разработанных образцов вспомогательного оборудования приняты для практического использования в Инженерно-технический центр ВМЗ, ООО «ХУСМАН РУС», НП "Металлургмаш", НП «ЦИГТ», а так же используются в учебном процессе кафедры ИТО ФГАОУ ВО НИТУ МИСИС.

Соответствие паспорту специальности.

Диссертационная работа по своей цели, задачам, содержанию и научной новизне соответствует паспорту специальности 2.6.2. – Metallургия черных, цветных и редких металлов. Направления исследований п. 17. Пирометаллургические процессы и агрегаты и п. 22. Разливка продуктов плавки и методы непрерывной разливки.

Апробация результатов

Основные результаты диссертационных исследований рассматривались и обсуждались на научных семинарах кафедры ИТО ФГАОУ ВО НИТУ МИСИС и 6 научно-технических конференциях. За научно-исследовательскую работу, представленную на XXVIII Международной промышленной выставке МЕТАЛЛ-ЭКСПО'2022 получил звание лауреата премии конкурса «Молодые ученые».

Публикации

Основные положения выполненных исследований отражены в 13 работах, в том числе в 5 статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах, утвержденных ВАК РФ, в 1 статье, опубликованной в рецензируемом отраслевом издании и в 6 сборниках трудов Международных конференций, а также в 1 патенте РФ.

Структура и объем диссертации.

Работа состоит из введения, четырех глав, выводов к главам, заключения, списка литературы из 108 позиций, приложений. Полный объем диссертации – 169 страниц, включая 76 рисунков, 7 таблиц и 5 приложений.

ГЛАВА 1 НЕОБХОДИМОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ШИБЕРНЫХ СТАЛЕВЫПУСКНЫХ СИСТЕМ РАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

Объем мирового производства стали постоянно увеличивается и за последнее десятилетие годовой его показатель вырос в 1,3 раза приблизившись к 2 млрд. т. [1 - 3] Устойчивое и стабильное развитие сталеплавильного производства возможно лишь с повышением уровня надежности и безотказности используемого основного и вспомогательного технологического оборудования. Особое значение при этом имеют машины и механизмы, предназначенные для реализации процессов внепечной обработки и непрерывной разливки металла. Сегодня 95 % выплавляемой стали разливают непрерывным способом с использованием различного типа машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), число которых во всем мире превысило 1750 единиц [4 - 13].

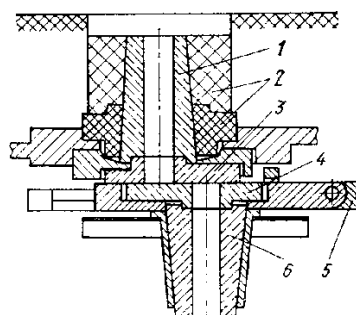
Необходимость согласованного функционирования во времени установок внепечной обработки стали и машин непрерывного литья заготовок потребовала проведения модернизации разливочных ковшей, связанной с их оборудованием скользящими шиберными затворами взамен стопорных устройств. Это позволило существенно упростить реализацию прогрессивных методов рафинирования (доводки) стали, которые предусматривали использование специальных функциональных крышек, устанавливаемых сверху на ковш (VD, VOD, VAD, AP, IP, LF-процессы).

Переоборудование разливочных ковшей шиберными системами в условиях сталеплавильных цехов металлургических предприятий было полностью завершено к концу семидесятых годов минувшего века. Уже к 1980 году все сталеразливочные ковши вместимостью от 60 до 350 тонн были оснащены шиберными затворами [14]. За прошедшие годы разливочные системы шиберного типа постоянно совершенствовались и развивались, что в

свою очередь, требовало разработки и внедрения специального оборудования, необходимого для их обслуживания с учетом особенностей эксплуатации сталеразливочных ковшей в условиях повсеместного перехода на новую технологическую схему производства стали, предполагающую получение в плавильной печи или кислородном конвертере полупродукта, доведение его до кондиции соответствующей марки стали на установках «ковш-печь» и (или) вакуумной обработки, а затем разливки на МНЛЗ методом «плавка на плавку» [15]. Такая технология производства стали позволила резко повысить производительность сталеплавильных цехов и обеспечить требуемый уровень качества выпускаемой металлопродукции.

1.1 Влияние продолжительности обслуживания огнеупорных элементов канала на теплофизические параметры сталеразливочного ковша и порядок их замены

Идея использования бесстопорных устройств для разливки стали, возникшая еще в 1884 году, предполагала закрепление снаружи ковша на его донной части специальной системы (рисунок 1.1), включающей неподвижную огнеупорную плиту 3, которая примыкает к разливочному стакану 1, установленному в гнездовой блоке 2, а также подвижную огнеупорную плиту 4 и пристыкованный к ней стакан-коллектор 6. При этом сталевыпускной канал открывается и закрывается за счет перемещения подвижной плиты относительно неподвижной с помощью тяги 5, передающей усилие от специального привода [15].



1 – разливочный стакан; 2 – гнездовой блок; 3 – подвижная огнеупорная плита; 4 – неподвижная огнеупорная плита; 5 – тяга; 6 – стакан-коллектор

Рисунок 1.1 – Схема разливочного устройства шибберного типа

Комплект огнеупорных изделий, формирующих сталевыпускной канал разливочного ковша, снабженного шибберным затвором, из-за работы в экстремальных температурных условиях имеет ограниченный срок службы, который может составлять от одной до нескольких разливок в зависимости от качества, гарантируемого производителем. Продолжительность технологической операции по замене огнеупоров оказывает критическое влияние на тепловой баланс сталеразливочного ковша. Во время простоя футеровка интенсивно теряет аккумулированное тепло за счет излучения и естественной конвекции, что приводит к значительному снижению температуры ее внутренней поверхности. Поэтому при эксплуатации шибберных систем необходимо с установленной периодичностью осуществлять замену отработанных огнеупорных элементов [16 – 19].

Порядок выполняемых операций и комплект требуемого при этом оборудования всегда зависят от типа и конструктивных особенностей ковшового затвора. При эксплуатации затворов блочного типа, в которых используют сравнительно дешевые огнеупорные плиты низкого качества, их замену выполняют в специальной мастерской, куда доставляют шибберное устройство после его снятия с разливочного ковша. В указанной мастерской находится комплекс оборудования, включающего прессы для выдавливания из металлических обойм изношенных огнеупорных плит и последующей запрессовки новых, фиксируемых с использованием огнеупорной массы. После

сушки обойм с размещенными в них плитами в специальной нагревательной печи при температуре 180 – 200°С в течение 2-х часов затвор собирают и проверяют его работу на специальном стенде, а затем вновь устанавливают на разливочный ковш, для чего используют монтажный стенд, оборудованный гидравлическим манипулятором. В этом случае процесс подготовки затвора к работе занимает не менее 2,5 – 3 часов. Такой длительный простой приводит к глубокому охлаждению рабочего слоя футеровки ковша. Для компенсации неизбежных тепловых потерь при приеме жидкого металла возникает технологическая необходимость перегрева стали в плавильном агрегате (конвертере или дуговой печи) на 10 – 20°С. В свою очередь, перегрев расплава сопровождается повышенным расходом энергоносителей, ускоренным износом огнеупоров плавильного агрегата, а также нежелательным повышением газонасыщенности стали, что крайне негативно сказывается на качестве непрерывной заготовки и повышает риск возникновения в ней внутренних и поверхностных дефектов[14].

Современные затворы кассетного типа не требуют снятия с ковша для выполнения операций по замене комплекта огнеупорных изделий. Это стало возможным благодаря применению в них качественных плит, имеющих металлическую обечайку, что позволило их фиксировать механическим способом в обоймах затвора, исключить необходимость сушки в печах и сократить длительность подготовительных операций до 20 – 30 минут, в результате чего повысилась оборачиваемость сталеразливочных ковшей.

Производителями кассетных затворов, поставляемых на рынок металлургического оборудования, в настоящее время являются компании: «Vesuvius» (Бельгия), «Knoellinger FLOCON GmbH» (Германия), «RHI Magnesita-Interstop» (Австрия), «Shinagawa» (Япония), а также российские фирмы ОАО «Шибер» и ООО НПП «Вулкан-ТМ». Указанные зарубежные и отечественные фирмы занимаются также поставками огнеупорных изделий и материалов для шиберных устройств, специального оборудования, предназначенного для их эксплуатации и обслуживания. Это объясняется

стремлением исключить унификацию шибберных систем и комплектующих к ним с целью недопущения прямого их использования конкурентами [20 – 25].

Конструктивные особенности ковшовых шибберных систем, относящихся к третьему поколению и эксплуатируемых в настоящее время практически на всех крупных металлургических предприятиях, призваны повысить надежность работы силовых узлов, обеспечивающих прижим огнеупорного комплекта и подвижных элементов для реализации перемещения обоймы с нижней огнеупорной плитой и стаканом-коллектором [20, 24]. Кроме того, в настоящее время ведутся конструкторские разработки, направленные на комплектацию шибберных ковшовых затворов специальными дополнительными системами, предназначенными для механического разрушения, при их первом открывании, корки, образующейся на входе в канал разливочного стакана [25 – 27], а также предотвращения налипания на его стенке твердых частиц [28 – 38].

При всем существующем многообразии конструктивного исполнения отдельных узлов систем кассетных ковшовых затворов их можно отнести к одному из двух типов в зависимости от направления раскрытия металлических обойм, несущих огнеупорные плиты. Для наглядного примера на рисунке 1.2 показаны кассетные затворы, раскрывающиеся в продольном и поперечном направлениях. Обслуживание каждого затвора из отмеченных типов требует наличия специального оборудования (манипуляторов или подъемников), поскольку на ковшах вместимостью 200 т. и выше масса поворотных частей шибберной системы превышает 100 кг. Кроме того, извлечение вручную из гнездового блока изношенного разливочного стакана требует значительных физических усилий и может стать причиной производственной травмы из-за необходимости разрушения отработанного огнеупорного изделия ударным механическим воздействием на него с помощью отбойного молотка. При этом возникает риск локального повреждения конической поверхности огнеупорного гнездового блока, из-за чего требуется его преждевременная замена. С целью исключения подобных ситуаций, в шибберной системе FT компании Knollinger

FLO-TEC GmbH предусмотрено размещение в разливочном узле ковша опоясывающего быстросменного защитного кольца [39].

Помимо рисков механического повреждения, нестабильность времени ручного обслуживания вносит существенные изменения в жесткий график движения сталеразливочных ковшей по технологической цепочке: сталеплавильный агрегат – установка ковш-печь – вакууматор – МНЛЗ. Любая задержка при извлечении прикипевшего стакана ручным способом нарушает ритмичность разливки металла длинными сериями методом «плавка на плавку».



а – продольное раскрытие обойм; б – поперечное раскрытие обойм.

Рисунок 1.2 – Кассетные затворы с продольным (а) и поперечным (б) раскрытием обойм, несущих огнеупорные плиты

Для облегчения условий работы персонала, обслуживающего сталеразливочные ковши и их шиберные затворы, в настоящее время ведутся работы, связанные с созданием манипуляционных систем, которые позволяют минимизировать временные и трудовые затраты на выполнение операций по замене отработанных огнеупорных изделий шиберных устройств кассетного типа. Наибольших успехов при разработке оборудования данного класса добились специалисты австрийских компаний “Veitsch-Radex GmbH Co” и “RHI AG”, поставляющих в обязательном порядке в комплекте с шиберными затворами устройства для их механизированного обслуживания [40]. На

рисунке 1.3 показан гидравлический манипулятор фирмы «RHI AG», предназначенный для извлечения отработанного разливочного стакана и запрессовку нового вместе с верхней (неподвижной) огнеупорной плитой.



Рисунок 1.3 – Гидравлический манипулятор фирмы «RHI AG» для обслуживания кассетных ковшовых затворов

В состав манипуляционной системы входит имеющая возможность передвижения вдоль кран-балки тележка, на нижней части которой закреплен параллелограммный механизм, обеспечивающий плоскопараллельное перемещение в вертикальной плоскости связанной с ним поворотной колонны, несущей горизонтально расположенный силовой механизм с клещевым захватом. Во время обслуживания кассетного шибера затвора с

использованием данной манипуляционной системы сталеразливочный ковш размещают рядом на рабочей площадке в горизонтальном положении как показано на рисунке 1.4.

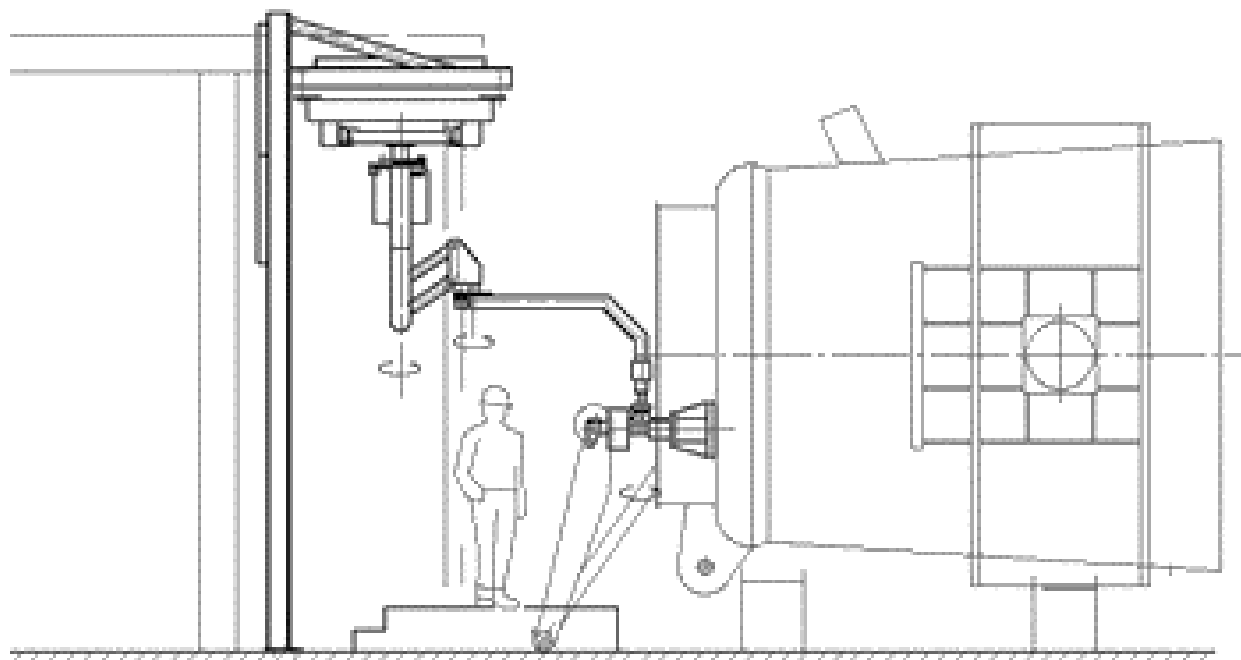
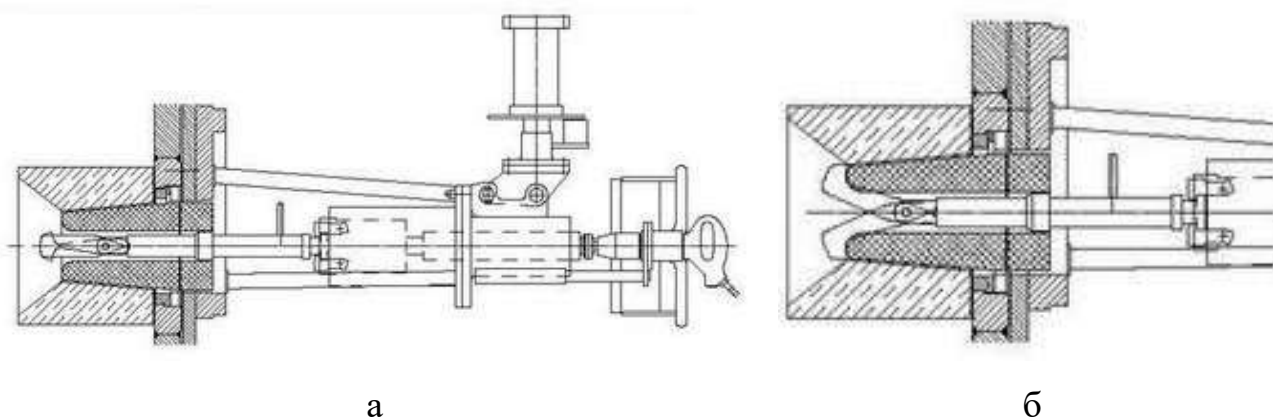


Рисунок 1.4 – Относительное расположение сталеразливочного ковша и манипуляционной системы при обслуживании с ее помощью ковшового шиберного затвора

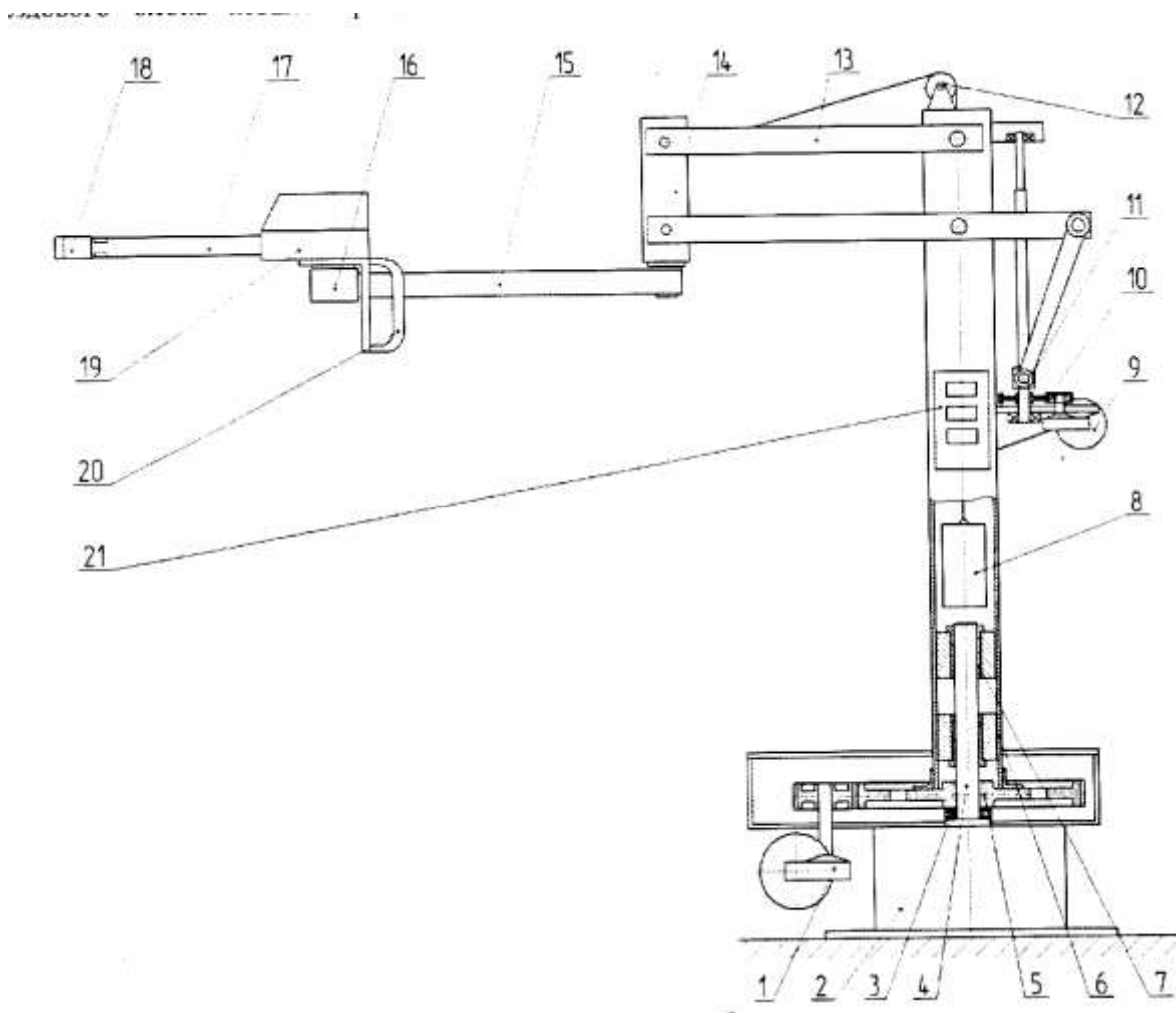
Для извлечения отработанного разливочного стакана после раскрытия шиберного затвора в выпускной канал ковша вводится штанга, несущая на конце сведенный клещевой захват (рисунок 1.5 а). После упора трех ограничителей в верхнюю металлическую обойму затвора с помощью рукоятки губки клещевого захвата разводят (рисунок 1.5 б) и затем включают в работу силовой цилиндр, который осуществляет выдавливание из гнездового блока разливочного стакана вместе с верхней огнеупорной плитой.



а – сведенный клещевой захват; б – разведенный клещевой захват

Рисунок 1.5 – Схема механизма выдавливания отработанного стакана

Высокая цена такого оборудования и его конструктивная привязка к конкретному шиберному затвору импортного исполнения обуславливают необходимость разработки отечественных аналогов, ориентированных на применение в производственных условиях сталеплавильных цехов металлургических предприятий России. В качестве базового образца может быть использован механический манипулятор, разработанный сотрудниками кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» им. В.Я. Седуша» Донецкого национального технического университета. Конструктивная схема данной манипуляционной системы показана на рисунке 1.6. Конструкция состоит из квадратной металлической плиты, формирующей основание, и массивной цилиндрической опоры 2, предназначенной для удержания опорного шарикоподшипника 3 и прочно зафиксированного вертикального стержня 4. На подшипнике установлен диск с внешним зубчатым венцом 5, поддерживающий полу четырёхгранную колонну 6, центрированную относительно стержня 4. Конструкция обеспечивает вращение колонны вокруг её продольной оси вместе с диском, благодаря наличию двух подшипников скольжения 7. Электромеханический привод, обеспечивающий поворот колонны и диска, включает в себя самотормозящийся червячный мотор-редуктор 1 с реверсивным двигателем постоянного тока и две прямозубые передачи.



1-7 – основание; 2-14 – параллелограммный механизм; 15-20 – консоль для извлечения разливочного стакана; 21 – пульт управления

Рисунок 1.6 – Конструктивная схема электромеханического манипулятора для обслуживания кассетных затворов сталеразливочных ковшей

В верхней секции поворотной колонны шарнирно соединены две пары рычагов 13, фиксирующих вертикальную подшипниковую обойму 14 осями. Указанные рычаги, совместно с подшипниковой обоймой, формируют параллелограммный механизм, обеспечивающий плоскопараллельное движение обоймы в вертикальной плоскости. Управление углом поворота рычагов осуществляется посредством механического привода, состоящего из самотормозящегося мотор-редуктора 9 с двигателем постоянного тока, зубчатой передачи 10 и винтовой передачи 11. С целью снижения нагрузки на привод, в данном механизме применено уравнивание с помощью

контргруза 8, находящегося в полости колонны 6 и связанного с параллелограммным механизмом посредством троса, переброшенного через блок 12, который закреплен на верхней торцевой части колонны.

В вертикальной раме 14, поддерживаемой подшипниками, располагается ось, к основанию которой прочно прикреплена горизонтальная консоль 15. Эта консоль служит для фиксации шарнирной опоры 16 на своем переднем крае. Шарнирная опора оборудована осью вращения, а её верхняя секция поддерживает две горизонтально ориентированные платформы. В этих опорах размещена с возможностью относительного поворота цилиндрическая оправка 17. Внутри самой оправки смонтирован винтовой механизм с клещевым захватом 18, который служит для извлечения разливочного стакана из гнездового блока ковша. Вращение ходового винта обеспечивает привод 19, включающий реверсивный мотор-редуктор и планетарную зубчатую передачу. Для поворота несущей консоли вручную в горизонтальной плоскости служит специальная рукоятка 20, закрепленная на задней части корпуса винтового механизма. Манипулятор оснащен пультом управления 21, размещенным на вертикальной колонне в средней ее части [41].

Анализ достоинств и недостатков рассмотренных манипуляционных систем свидетельствует о том, что они не отвечают в полной мере всем предъявляемым, требованиям (надежность работы, простота обслуживания и приемлемая цена), поэтому работы по их конструктивному совершенствованию должны быть продолжены. Для достижения поставленной цели необходимо проведение углубленных теоретических и экспериментальных изысканий, направленных на оптимизацию геометрических и энергосиловых характеристик структурных механизмов модернизируемых манипуляторов. Это обусловлено дефицитом общедоступной информации в специализированной литературе по данной тематике, что, вероятно, объясняется соображениями коммерческой тайны и стремлением производителей защитить интеллектуальную собственность. Таким образом, совершенствование манипуляционных систем для извлечения разливочного стакана является не просто задачей механизации

труда, а важнейшим технологическим фактором непрерывной разливки стали. Высокоскоростная и надежная работа механизмов позволяет минимизировать время ремонта, стабилизировать тепловое состояние парка сталеразливочных ковшей, отказаться от нежелательного перегрева металла в печи и, как следствие, снизить газонасыщенность расплава перед его подачей на МНЛЗ.

1.2 Обеспечение стабильности непрерывной разливки продуктов плавки: необходимость применения стартовых смесей и способы их подачи в канал шиберного затвора

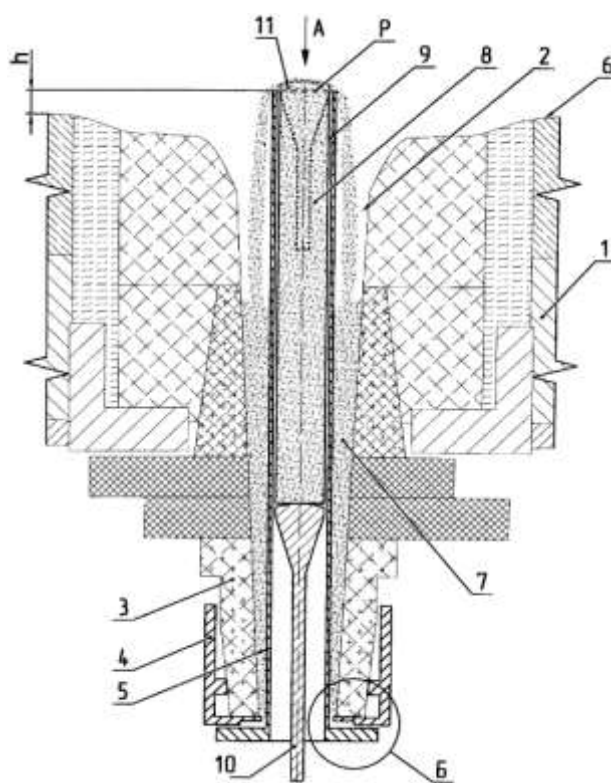
Переход к непрерывной разливке стали выявил такую проблему, как зарастание металлом литейного канала стакана, расположенного над верхней огнеупорной плитой. В контексте совершенствования методов непрерывной разливки, надежное и самопроизвольное открытие сталеразливочного ковша является критическим фактором, определяющим стабильность всего последующего технологического процесса перелива продуктов плавки. Для удаления затвердевшего металла применялся метод выжигания кислородом, практиковавшийся на начальной стадии освоения шиберных затворов, что приводило к искажению профиля выпускного канала и отрицательно сказывалось на организации истекающей из ковша струи стали, а также повышало интенсивность процесса вторичного окисления разливаемого металла и степень его загрязнения оксидными включениями [42].

Во избежание проникновения расплавленной стали в канал разливочного стакана и верхнюю огнеупорную плиту на этапе наполнения ковша в процессе выпуска плавки, были предложены разнообразные методы. Наиболее рациональным и эффективным оказался метод, основанный на заполнении канала специализированной стартовой смесью – материалом в виде порошка или мелких гранул. Эта смесь, благодаря своим уникальным характеристикам, сохраняет сыпучесть при температурах 1600 – 1650°C, демонстрирует устойчивость к смачиванию жидкой сталью и обладает повышенной

текучестью. Данные свойства обеспечивают оперативное удаление стартовой смеси из канала разливочного стакана при инициации процесса разлива металла посредством открытия шиберного затвора в штатном режиме [43]. Применение данных материалов является неотъемлемой частью технологии подготовки агрегатов для бесперебойной разлива продуктов плавки на высокопроизводительных МНЛЗ. За прошедшее десятилетие были запатентованы разнообразные составы стартовых смесей, призванных добиться желаемого успеха в достижении максимального их соответствия предъявляемым требованиям. При этом предлагалось в качестве заполнителя канала стакана использовать различные материалы, начиная с отходов огнеупорного производства и кончая природными высокоглиноземистыми порошками и дорогостоящим ставролитовым концентратом [44 – 49].

Ввод стартовой смеси в канал разливочного стакана после завершения этапа подготовки шиберного затвора ковша в большинстве случаев выполняется оператором вручную, посредством специализированных инструментов и приспособлений, осуществляющих подачу сверху или снизу.

Нижняя подача смеси (рисунок 1.7), осуществляемая с помощью направляющей втулки 4, трубы 5 и толкателя 10 требует тщательной очистки поверхности стенок канала ковшового стакана 2 от остатков затвердевшего металла и шлака после окончания разлива стали предыдущей плавки, а также наличия специального герметичного контейнера 9 для самой смеси 8, которая при силовом воздействии снизу толкателя 10 пересыпается через верхнюю кромку трубы 5 и заполняет полость 7, образованную стенками канала 2 и трубы 5. При этом требуется согласованная работа двух рабочих, один из которых выполняет в установленной последовательности несколько операций, а второй управляет работой привода затвора при переведении его подвижной плиты в положение «закрывается» в момент выведения из разливочного канала использовавшихся приспособлений [50]. Поэтому на практике отдается предпочтение верхней подаче стартовой смеси, не требующей выполнения указанных операций.



1 – ковш; 2 – стенки стакана; 3 – стакан-коллектор; 4 – втулка; 5 – кромка трубы; 6 – жидкий металл; 7 – полость; 8 – стартовая смесь; 9 – контейнер; 10 – толкатель

Рисунок 1.7 – Схема подачи стартовой смеси в канал разливочного стакана
снизу

Введение стартовой смеси непосредственно в канал сталеразливочного стакана при обслуживании ковшей значительной емкости, осуществляемое оператором вручную, сопряжено не только с существенными физическими усилиями, но и с воздействием высоких температур на персонал, находящийся в непосредственной близости от оборудования. Данная проблема обусловлена существующими методами внесения смеси в канал разливочного стакана, установленного в посадочном месте футеровки донной части предварительно нагретого ковша. В настоящее время применяются два основных способа: использование трубы диаметром 40-50 мм и длиной 4-6 м, которую оператор удерживает над входным отверстием канала стакана, либо применение специализированной емкости, погружаемой в полость ковша и опрокидываемой посредством механизма, управляемого штангой с крюком (рисунок 1.8) [51].

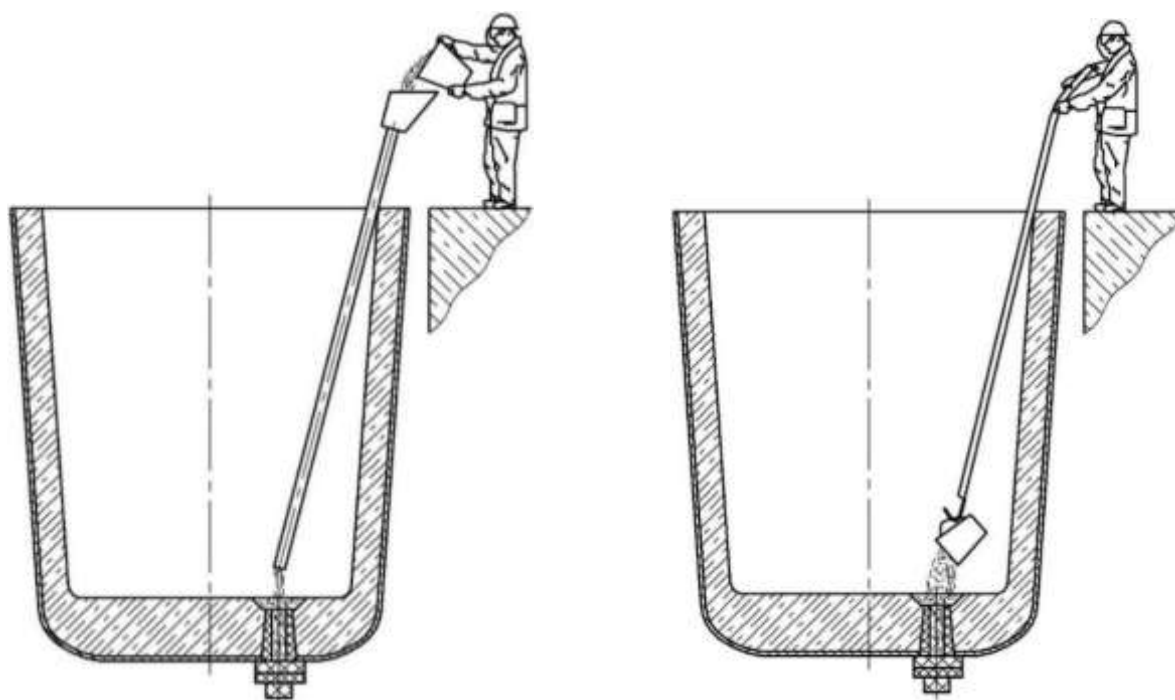


Рисунок 1.8 – Заполнение канала разливочного стакана стартовой смесью сверху вручную

Следует также отметить, что предпринимаемые попытки реализации механизированной подачи стартовой смеси [52 – 54] пока не увенчались полным успехом. На рисунке 1.9 представлена конструктивная схема устройства дозированной подачи порошкообразного материала. Система включает в себя бункер с дозирующей заслонкой в основании, смонтированный на поворотной платформе, ось вращения которой совпадает с осью разливочного ковша. После раскрытия заслонки происходит истечение порошка непосредственно в приемную зону выпускного канала ковша. Однако, вследствие влияния восходящих конвективных потоков, образующихся из-за высокой температуры внутри ковша, на вертикальный поток дисперсного материала, выходящего из бункера, возникает частичное рассеивание материала. Данный эффект, приводит к увеличению расхода используемой стартовой смеси.

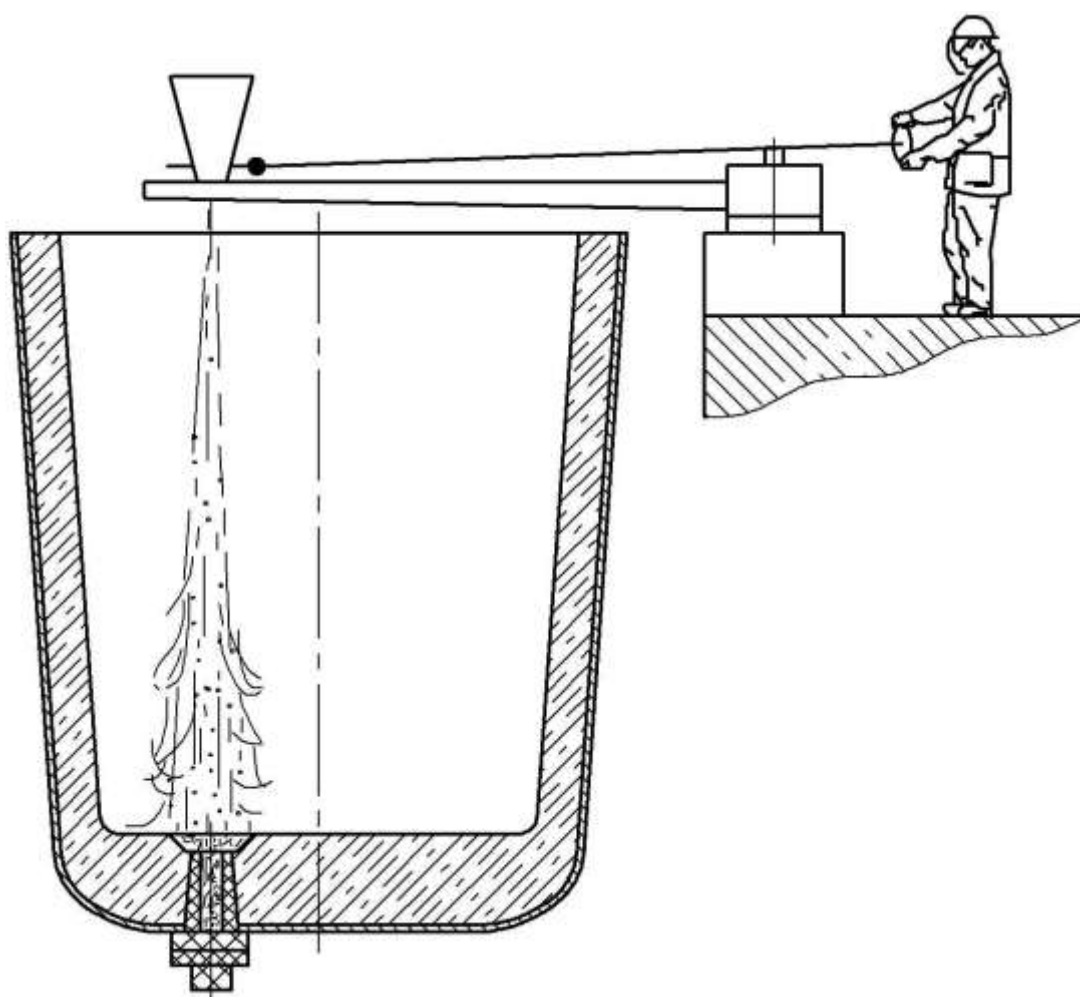


Рисунок 1.9 – Подача стартовой смеси в канал разливочного стакана из питающего бункера

Для минимизации неблагоприятного воздействия рассматриваемого фактора, было разработано решение по защите потока материала посредством применения вертикальной цилиндрической камеры (рисунок 1.10). Данное устройство, устанавливаемое соосно выпускному каналу на футерованной поверхности дна ковша, обуславливает необходимость использования грузоподъемной техники [53].

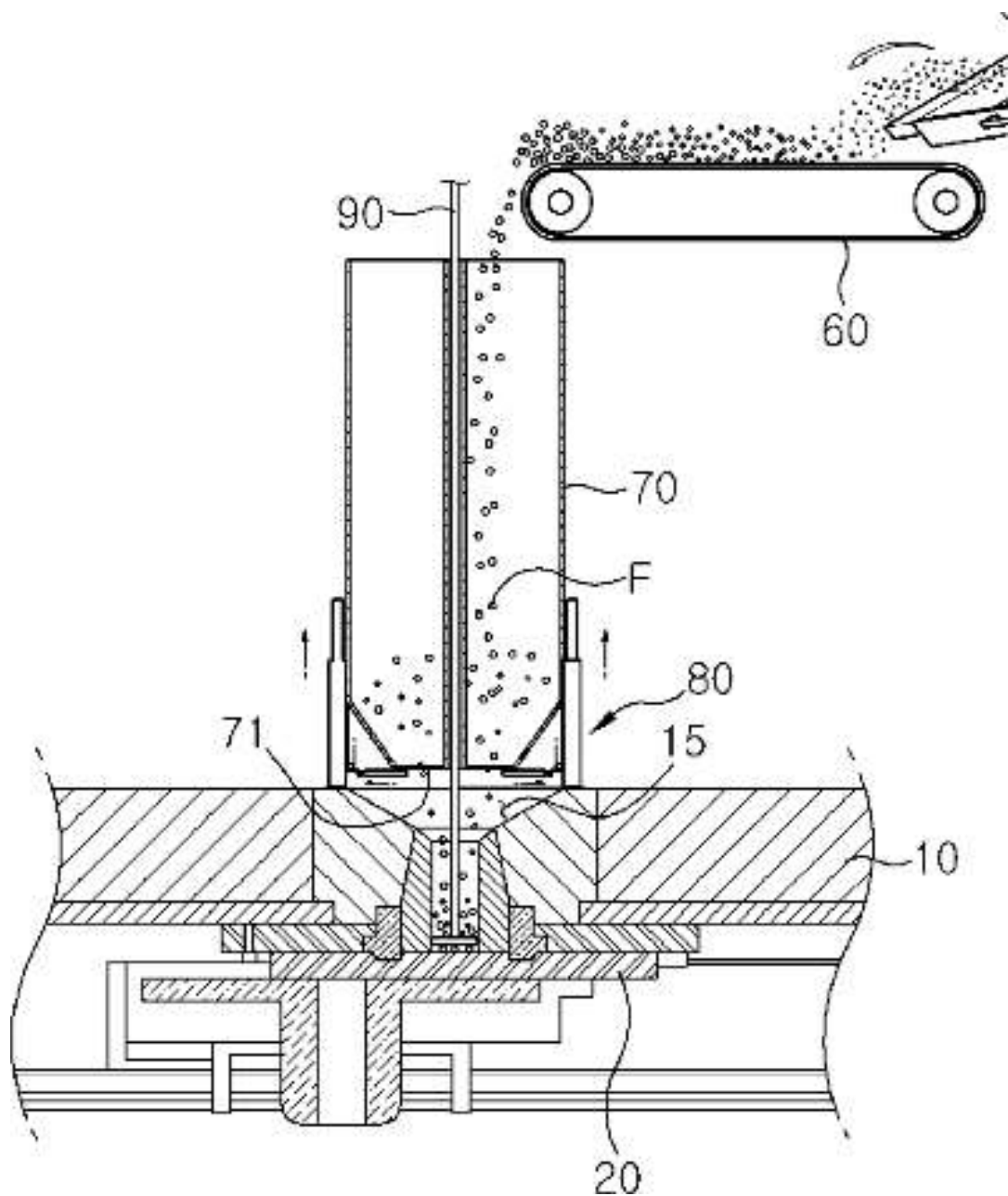


Рисунок 1.10 – Способ подачи стартовой смеси сверху с экранированием ее струи вертикальной цилиндрической камерой

Известен также способ заполнения канала ковшового разливочного стакана из бункера, удерживаемого на весу мостовым краном и снабженного коллектором, к нижней части которого прикреплен подвижный раструб с установленным внутри толкателем, приподнимающим при контакте с футеровкой донной части ковша коническую заглушку выпускного канала бункера для истечения из него стартовой смеси (рис. 1.11).

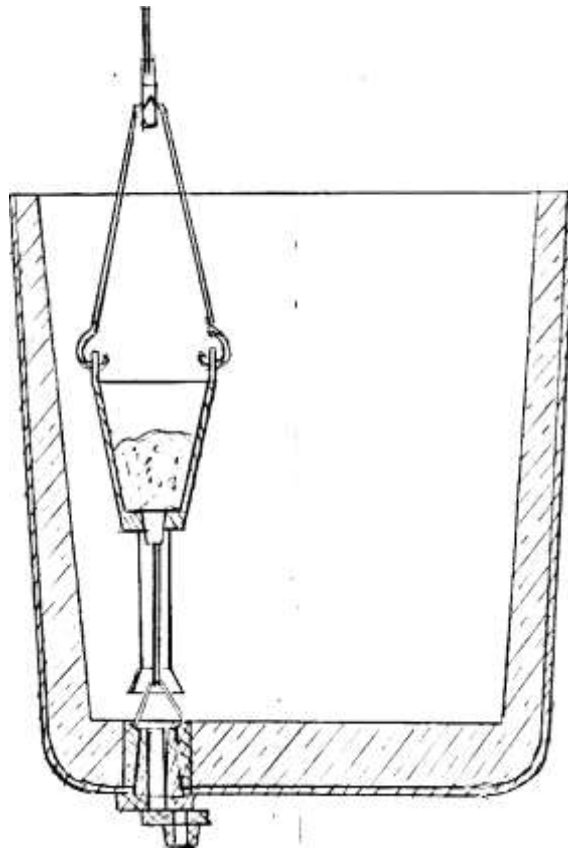


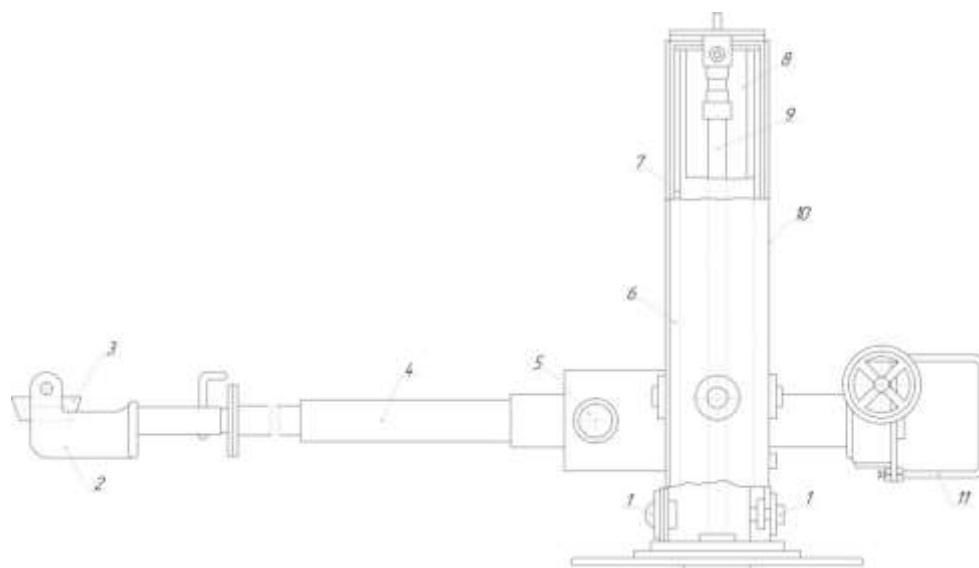
Рисунок 1.11 – Верхняя подача стартовой смеси в канал ковша из подвешного бункера

Применение такого способа подачи стартовой смеси в канал ковшового стакана обуславливает дополнительную загрузку кранового оборудования сталеплавильного цеха [54].

Из приведенной выше информации можно сделать вывод о том, что все перечисленные способы заполнения канала ковшового разливочного стакана стартовой смесью не отвечают по разным критериям в полной мере предъявляемым к ним требованиям. Недостатки существующих методов загрузки напрямую влияют на эффективность непрерывной разливки, так как сбои при открытии ковша нарушают ритмичность серийной разливки продуктов плавки. Поэтому работы по созданию новой загрузочной системы требуют продолжения.

1.3 Защита струи металла от вторичного окисления как важнейший элемент технологии непрерывной разливки продуктов плавки

Защита стали от вторичного окисления на участке сталеразливочный ковш – промежуточный ковш МНЛЗ с использованием огнеупорной трубы является обязательной технологической операцией, способствующей обеспечению требуемого качества отливаемой заготовки, а также определяющей эффективность современных методов разливки продуктов плавки [1- 4]. При этом для прижатия защитной трубы к нижней части стакана-коллектора шибера затвора, надежного удержания в рабочей позиции и периодической ее замены в условиях серийной разливки применяют специальные манипуляторы различного конструктивного исполнения. На рисунке 1.12 показана конструкция стационарного манипулятора, состоящего из подвижной каретки 10, имеющей возможность перемещения вдоль вертикальной колонны 8 с помощью гидроцилиндра 9, консольной штанги 4 с вилкой 2 и приемным кольцом 3 для огнеупорной трубы.



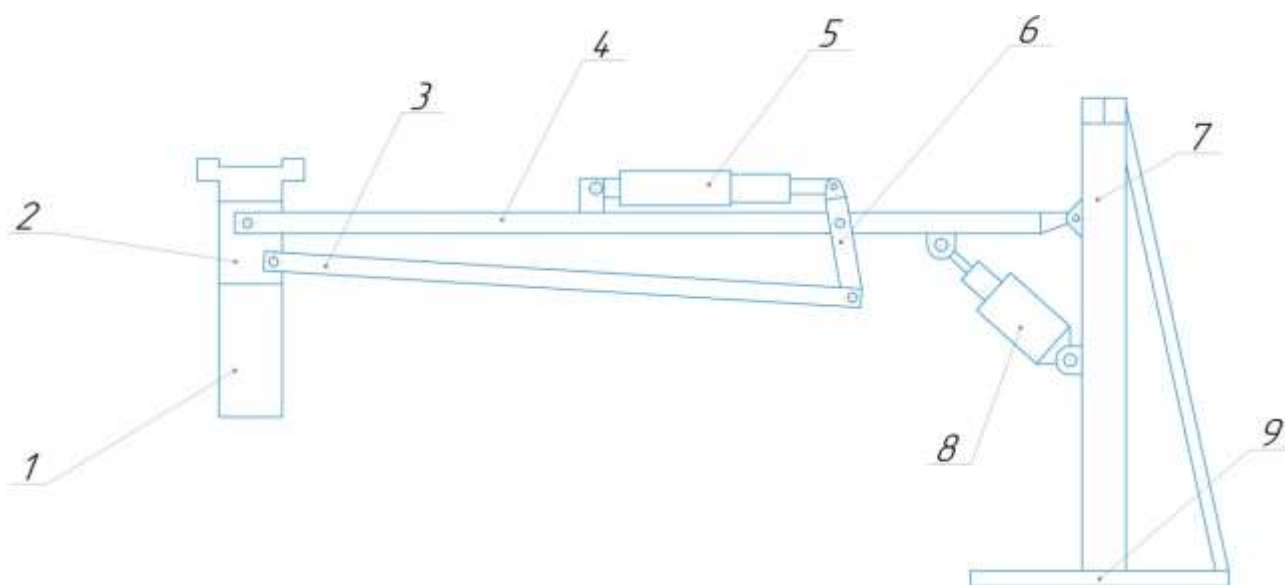
1 – ролики; 2 – вилка; 3 – приемное кольцо; 4 – консоль; 5-11 – основание

Рисунок 1.12 – Стационарный манипулятор для установки и удержания защитной огнеупорной трубы в поджатом состоянии к стакану-коллектору шибера затвора сталеразливочного ковша

При включении гидроцилиндра 9 каретка 10 благодаря роликам 1 перемещается вверх по рельсам 7 коробки 6 прямоугольного сечения и прижимает через консольную штангу 4 огнеупорную трубу к нижнему торцу стакана-коллектора ковшового затвора [15].

Конструкция данного манипулятора отличается громоздкостью и требует наличия свободного места на рабочей площадке для стационарного размещения.

На рисунке 1.13 приведена конструкция пневматического манипулятора, предложенная сотрудниками кафедры «Механического оборудования заводов черной металлургии им. В.Я. Седуша» Донецкого национального технического университета.



1 – огнеупорная труба; 2 – гильза; 3 – тяга; 4 – консоль; 5 – пневмоцилиндр;
6 – рычаг; 7 – поворотная колонна; 8 – пневмоцилиндр; 9 – плита

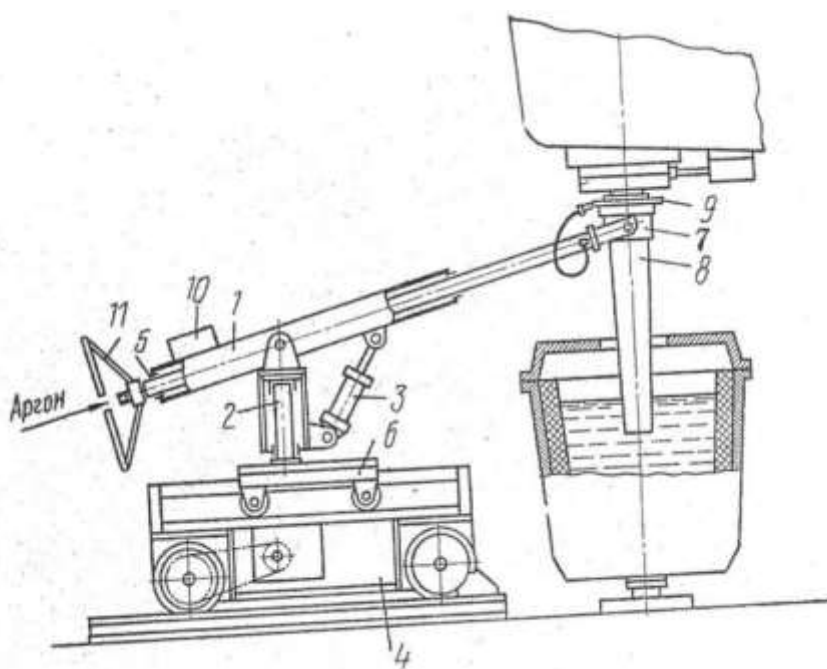
Рисунок 1.13 – Конструкция стационарного пневматического манипулятора

Он включает установленную на монтажной плите 9 поворотную колонну 7, несущую консольную штангу 4, которая может поворачиваться в вертикальной плоскости с помощью пневмоцилиндра 8. Штанга снабжена вилкой, на цапфах которой размещена гильза 2 для удержания огнеупорной трубы 1. Гильза посредством тяги 3 и двуплечего рычага 6 с помощью второго

пневмоцилиндра 5 имеет возможность поворота в вертикальной плоскости относительно штанги на угол 90° , т.е. занимать горизонтальное положение [15].

Данная конструктивная схема манипулятора позволила снизить материалоемкость системы, но, как и в предыдущем варианте, требует дополнительного места для стационарного размещения вблизи промежуточного ковша.

Отмеченных недостатков лишена конструкция манипулятора [5], представленная на рисунке 1.14. В его состав входит несущий рычаг 1, механизмы его подъема 2, наклона 3, перемещения 4 и поворота вокруг собственной оси 5, а также дополнительных механизмов возвратно-поступательного перемещения каретки 6, корпуса 7 защитной трубы 8, коллектора подачи аргона 9, противовеса 10 и штурвала управления 11.



- 1 – рычаг; 2-4 – механизмы подъема, наклона, поворота; 5 – ось; 6 – каретка;
7 – корпус; 8 – защитная труба; 9 – коллектор; 10 – противовес;
11 – штурвал управления

Рисунок 1.14 – Конструкция передвижного манипулятора для обслуживания разливочного узла промежуточного ковша

Технико-экономические показатели применения защитной огнеупорной трубы определяются продолжительностью выполнения ею защитной функции с момента установки до необходимой замены. Длительность функционирования данного огнеупорного изделия зависит от физико-химических свойств его материала. С учетом химического состава разливаемой стали в настоящее время применяют кварцевые, высокоглиноземистые, шамотные и цирконовые защитные трубы [6 - 9].

Кварцевые трубы обладают высокой термостойкостью, однако быстро разрушаются при разливке марганцовистой стали (содержание Mn до 0,7 %). Вместе с этим такие трубы хорошо противостоят воздействию агрессивного шлака.

Высокоглиноземистые огнеупорные трубы обычно используют при разливке стали с повышенным содержанием марганца. При этом они не разрушаются жидким металлом, но разъедаются шлаком, а при наличии в разливаемой стали повышенного содержания неметаллических включений часто наблюдается затягивание их каналов.

Наилучшие результаты по стойкости обеспечивают цирконовые трубы, материал которых содержит до 72 % ZrO_2 .

Как видно, большая часть защитных огнеупорных изделий при их использовании требует своевременной замены из-за эрозии корпуса или зарастания канала, что обуславливает необходимость поиска эффективных способов ослабления негативного влияния указанных факторов на работу сталевыпускной системы разливочного ковша, включающей шиберный затвор и связанную с ним трубу, удерживаемую специальным манипулятором. Устранение данных негативных явлений является приоритетной задачей для повышения качества разливки продуктов плавки и обеспечения ритмичной бесперебойной работы современных машин непрерывного литья заготовок. Поэтому исследования, связанные с разработкой новых и совершенствованием существующих манипуляторов, имеют на данный момент важное научно-практическое значение [31, 32].

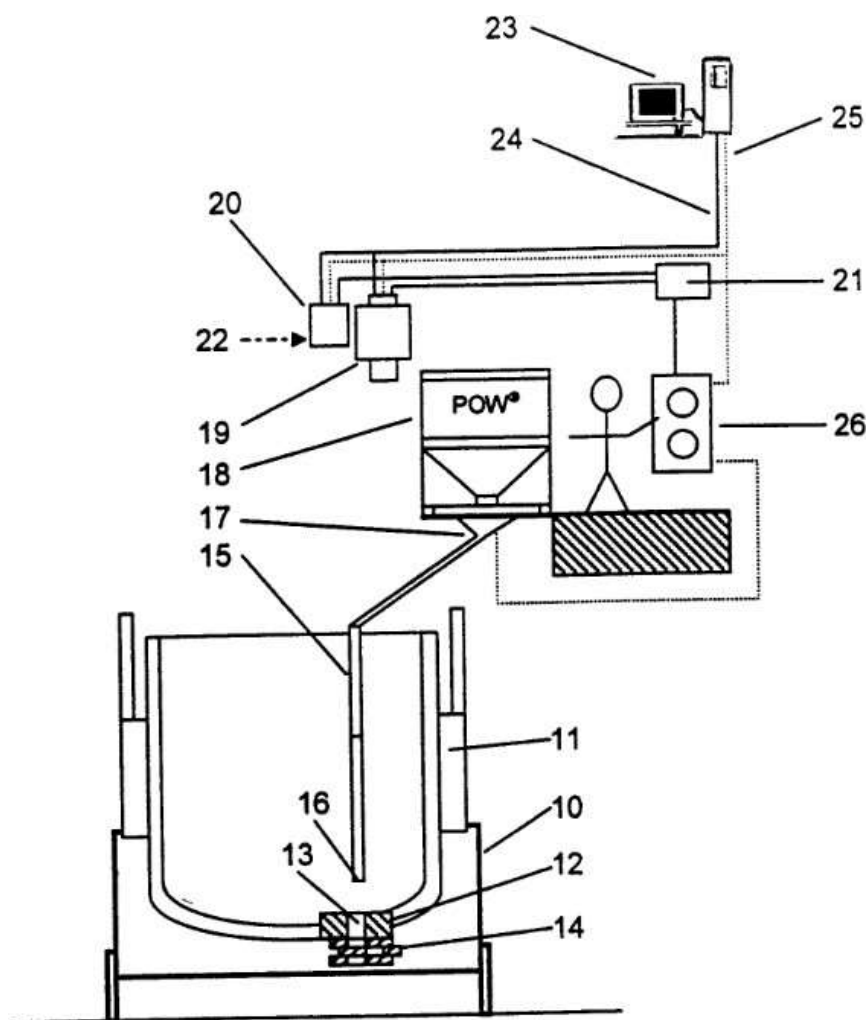
1.4 Направления дальнейшего развития оборудования для обслуживания ковшовых шиберных затворов с целью повышения эффективности непрерывной разливки стали

Дальнейшее развитие вспомогательного оборудования, предназначенного для обслуживания шиберных затворов разливочных ковшей, эксплуатируемых в сталеплавильных цехах современных зарубежных и отечественных металлургических предприятий, как показал выполненный анализ публикаций в технической литературе за последнее десятилетие, будет обусловлено разработкой и освоением роботизированных комплексов, облегчающих работу персонала при осмотре, очистке и замене огнеупорных элементов ковшовых затворов, а также в ходе последующего выполнения операций, связанных с заполнением канала разливочного стакана стартовой смесью, что является важным условием для обеспечения стабильности методов непрерывной разливки продуктов плавки.

По данным зарубежных источников, в настоящее время ведущие европейские металлургические компании совместно со специалистами технических университетов активно инициируют научные изыскания, связанные с практическим использованием так называемых роботизированных ячеек, а также систем технического зрения и интеллектуального человеко-машинного интерфейса (ЧМИ), под которым понимают набор технических средств, предназначенных для обеспечения непосредственного двухстороннего взаимодействия оператора с оборудованием и позволяющих ему одновременно управлять этим оборудованием и контролировать его функционирование [55]. Такой прогрессивный подход будет способствовать не только улучшению качества и воспроизводимости операций, выполняемых обслуживающим персоналом, но и обеспечивать безопасность его труда при подготовке к работе ковшовых затворов перед приемом продуктов плавки [56 - 62].

Наряду с этим, в ближайшее время следует ожидать появления новых систем подачи стартовой смеси в канал разливочного стакана, обладающих

улучшенными конструктивными и техническими характеристиками, что позволит при их эксплуатации не только исключить необходимость применения мостовых кранов сталеплавильного цеха, но и сократить расход дорогостоящих смесей за счет устранения потерь, обусловленных несовершенством способов верхней подачи сыпучих смесей в канал разливочного ковшового стакана. В качестве наглядного примера на рисунке 1.15 приведена структурная схема автоматизированной системы механизированной подачи стартовой смеси в канал ковшового стакана, запатентованной в Германии [63].



10-16 – оборудование в области разливочного ковша; 17-26 – область управления автоматизированной системы

Рисунок 1.15 – Структурная схема автоматизированной системы механизированной подачи стартовой смеси в канал ковшового стакана

Указанная система предназначена для механизированной подачи стартовой смеси из питающего бункера 18, снабженного в нижней своей части дозатором 17, по вертикальной направляющей трубе 15 в канал 13 гнездового блока 12 сталеразливочного ковша 11, размещенного на тележке 10 и оборудованного шибберным затвором 14. Отличительной особенностью данной системы является то, что она укомплектована контрольно-измерительным комплексом, включающим камеру 19 для наблюдения за процессом истечения смеси из выходного отверстия 16 направляющей трубы 15, лазерный дистанционный измеритель 20, блок питания 21, устройство воздушного охлаждения 22, а также блок контроля 23, пульт управления 26 и соединительные кабели 24, 25.

Данная система обеспечивает в автоматическом режиме остановку тележки 10 с ковшом 11 в положении, при котором выходное отверстие 16 направляющей трубы 15 будет находиться над каналом 13 гнездового блока 12. Одновременно с этим с помощью камеры 19 ведется запись изображения относительного положения трубы и канала гнездового блока, а также обработка полученной видеoinформации с использованием программного продукта с целью корректировки последующей работы системы подачи стартовой смеси с учетом состояния и степени износа сталевыпускного канала ковша.

Создание новых систем механизированной подачи стартовых смесей потребует разработки методик расчета конструктивных и энергосиловых параметров их структурных механизмов, учитывающих специфику подготовки агрегатов для высокопроизводительной непрерывной разливки жидкого металла. При этом необходимо использовать передовые методы, включая теорию решения изобретательских задач, позволяющей из множества возможных вариантов найти наиболее рациональный [64]. К критериям рациональности следует отнести стоимость предлагаемой системы, простота ее эксплуатации и технического обслуживания, надежность работы и срок службы механизмов, входящих в ее состав.

Еще одним перспективным направлением развития вспомогательного оборудования для обслуживания скользящих шиберных затворов можно считать разработку манипуляторов, снабженных специальным устройством вибрационного воздействия на удерживаемую во время разливки защитную огнеупорную трубу [32], которое позволит снизить интенсивность процесса зарастания ее канала и повысить продолжительность выполнения ею экранирующей функции. Это в конечном итоге гарантирует высокое качество получаемой непрерывнолитой заготовки и полностью отвечает современным требованиям к методам разливки продуктов плавки.

1.5 Выводы по главе 1

1. Проведенный анализ показал, что широкое внедрение процессов непрерывной разливки стали требует принципиально нового подхода к обслуживанию шиберных затворов. Ручной труд и устаревшие механизмы приводят к потере тепловой энергии ковшем и нарушают стабильность перелива продуктов плавки из сталеразливочного ковша в промежуточный. Разработка усовершенствованного механизированного оборудования является необходимым условием для повышения оборачиваемости ковшей и обеспечения бесперебойных методов непрерывной разливки.

2. Установлено, что существующие ручные и полумеханизированные способы подачи стартовой смеси в выпускной канал не гарантируют надежного самопроизвольного открытия шиберного затвора. Рассеивание смеси конвективными потоками приводит к спеканию канала, необходимости его кислородного прожигания и, как следствие, загрязнению первых порций разливаемого расплава. Для решения этой проблемы требуется создание новой механизированной системы точечной подачи стартовой смеси, адаптированной под жесткие требования подготовки агрегатов к разливке продуктов плавки.

3. Выявлено, что интенсивное зарастание канала защитной огнеупорной трубы неметаллическими включениями нарушает гидродинамику

потока жидкого металла и снижает защиту струи от вторичного окисления. Это является критическим фактором, ухудшающим качество непрерывной заготовки. Обоснована необходимость модернизации удерживающих манипуляторов путем внедрения внешнего вибрационного воздействия.

4. Дальнейшее развитие вспомогательного металлургического оборудования должно быть направлено на создание комплексных систем механизации, теоретическое обоснование их энергосиловых параметров и практическую проверку работоспособности. Такой подход обеспечит соответствие оборудование современным методам непрерывной разливки продуктов плавки, повысит безопасность труда и позволит получать металлопродукцию требуемого качества.

ГЛАВА 2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ МАНИПУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ КОВШОВЫХ ШИБЕРНЫХ ЗАТВОРОВ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ ПРОДУКТОВ ПЛАВКИ

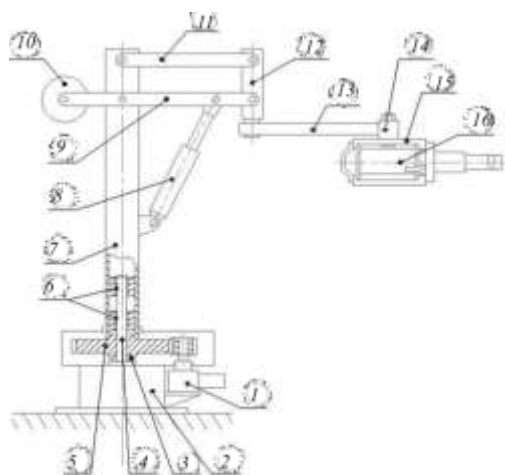
Создание усовершенствованной или новой машины предполагает учет многовариантности возможного решения поставленной задачи [64] и выбор рационального варианта достижения намеченной цели. При этом на всех этапах творческого процесса должны использоваться соответствующие программные продукты [65 - 70].

2.1 Разработка усовершенствованной конструкции манипулятора для механизации работ по замене отработанного разливочного стакана ковша

В современных условиях металлургического производства эффективность методов непрерывной разливки стали во многом определяется качеством и оперативностью подготовки сталеразливочных ковшей к приему жидкого металла. Надежное функционирование ковшовых шиберных затворов является базовым условием для стабильного истечения продуктов плавки. Любые задержки при обслуживании выпускного канала приводят к нарушению температурно-временного графика, что негативно сказывается на процессе кристаллизации непрерывной разливки. Таким образом, в соответствии с соглашением о научно-техническом сотрудничестве между кафедрами «Механического оборудования заводов черной металлургии им. В.Я. Седуша» Донецкого национального технического университета и «Инжиниринг технологического оборудования» Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», их специалистами в течение последних пяти лет выполнен комплекс работ, связанных с созданием образцов

вспомогательного оборудования для механизированного выполнения подготовительных операций при обслуживании сталеразливочных ковшей.

С учетом имеющегося опыта в данной области исследований [41], была предложена конструкция модернизированного манипулятора [71], схематично представленная на рисунке 2.1. Он включает основание в виде квадратной металлической пластины с массивной цилиндрической тумбой 2, удерживающей опорный шарикоподшипник 3 и жестко закрепленный соосно с ним вертикальный стержень 4. На подшипник опирается диск 5 с наружным зубчатым венцом, несущий четырехгранную пустотелую колонну 7, центрируемую относительно стержня 4 и имеющую возможность вращения на нем совместно с диском благодаря наличию двух подшипников скольжения 6. Вращательное движение колонны совместно с диском обеспечивается приводом 1, включающим гидродвигатель, понижающий редуктор с закрепленной на хвостовике его тихоходного вала зубчатой шестерней, которая находится в зацеплении с венцом диска 5.



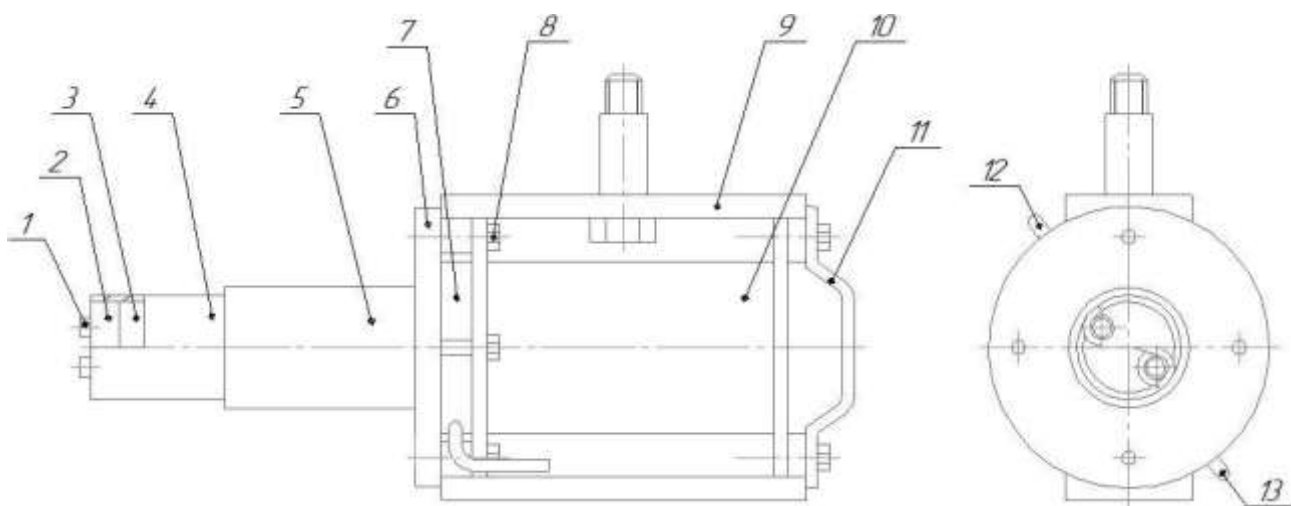
- 1 – привод; 2 – тумба; 3 – опорный шарикоподшипник; 4 – стержень; 5 – диск;
6 – подшипники скольжения; 7 – колонна; 8 – гидроцилиндр; 9 – рычаг;
10 – контргруз; 11 – рычаг; 12 – обойма; 13 – консоль; 14 – шарнирная опора;
15 – подвеска; 16 – фиксирующая планка

Рисунок 2.1 – Модернизированный манипулятор для обслуживания кассетных ковшовых затворов

На верхней части пустотелой колонны с помощью шарниров закреплены две пары несущих рычагов 9 и 11, удерживающих на осях вертикальную подшипниковую обойму 12 и образующих совместно с нею параллелограммный механизм, позволяющий реализовать ее плоскопараллельное перемещений в вертикальной плоскости. Поворот рычагов 9 и 11 на требуемый угол обеспечивает гидроцилиндр 8, нижняя часть корпуса которого посредством проушины шарнирно закреплена на колонне, а шток с помощью оси связан с нижней парой рычагов 9 параллелограммного механизма.

Для снижения нагрузки, преодолеваемой гидроцилиндром 8, рычажный механизм манипулятора уравновешен за счет контргруза 10, закрепленного на горизонтальной оси, которая соединяет задние концы нижней пары рычагов 9. В вертикальной обойме 12 в двух подшипниках скольжения установлена ось, к нижней части которой жестко прикреплен задний конец консоли 13. На своем конце консоль несет шарнирную опору 14 с поворотной осью, удерживающей нижнюю часть подвеску 15, внутри которой размещен гидравлический механизм 16, предназначенный для извлечения отработанного разливочного стакана из гнездового блока ковша. Указанный механизм (рисунок 2.2) включает жестко зафиксированный внутри подвески 9 силовой гидроцилиндр 10, к корпусу которого со стороны передней торцевой части с помощью четырех болтов 8 прикреплен фланец 6, снабженный направляющей гильзой 5. Внутри этой гильзы соосно с нею размещена с возможностью относительного поворота труба 4, задний конец которой жестко связан с фланцем 7, расположенным с зазором между фланцем 6 и передней торцевой частью гидроцилиндра 10, а передний конец выполнен в виде двух лопастей. Данные лопасти охватывают наружные поверхности двух зацепов 2, закрепленных с помощью болтов 1 с возможностью относительного поворота на передней торцевой части цилиндрического ползуна 3, жестко связанного своей задней частью со штоком 19 гидроцилиндра 10. С целью исключения проворота штока при его осевом перемещении на нем установлена фиксирующая планка 16, концы которой

сопряжены с двумя направляющими стержнями 15, симметрично закрепленными на передней торцевой части гидроцилиндра 10 вдоль его штока. Для обеспечения поворота трубы 4 на угол 60 градусов относительно цилиндрического ползуна 3 ее фланец 7 снабжен двумя диаметрально расположенными ручками 12 и 13. На задней торцевой части гидроцилиндра 10 расположена ручка 11, используемая при его ориентации в горизонтальной плоскости относительно выпускного канала ковша.

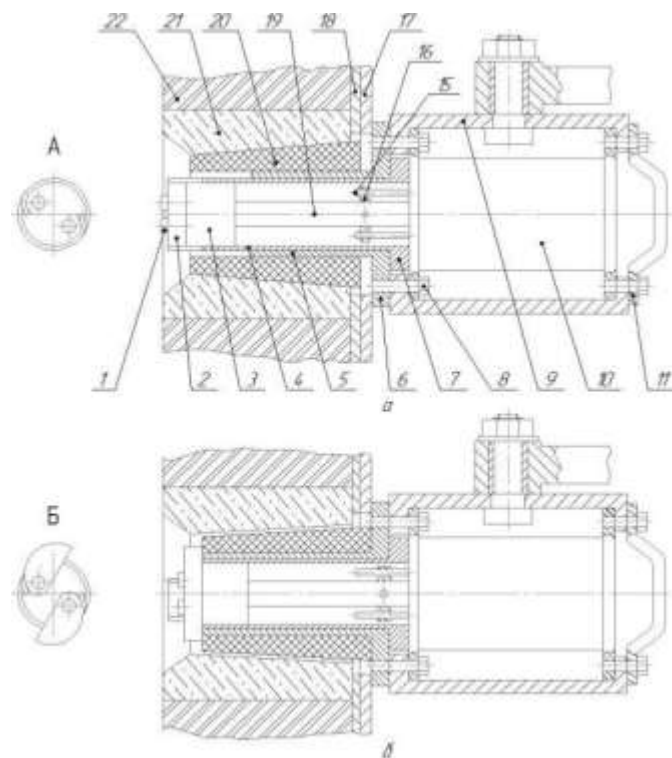


- 1 – болт; 2– зацепы; 3 – ползун; 4 – труба; 5 – гильза; 6 – фланец; 8 – болт;
 9 – подвеска; 10 – гидроцилиндр; 11 – ручка; 11-13 – ручки

Рисунок 2.2 – Конструкция гидравлического механизма для извлечения отработанного разливочного стакана

Выполнение операции замены разливочного стакана осуществляют в следующей последовательности. После выжигания кислородом остатков застывшего металла в выпускном канале ковша и его размещения в горизонтальном положении на площадке подготовительного участка осуществляют раскрытие кассетного затвора и удаление из него верхней огнеупорной плиты. Затем, приводя в необходимой последовательности в действие механизмы поворота колонны и перемещения несущей консоли в вертикальной плоскости, а также используя возможность одновременного поворота вручную в горизонтальной плоскости консоли и подвески

извлекающего механизма, рабочие элементы последнего, как показано на рисунке 2.3 а, размещают в канале разливочного стакана 20, зафиксированного в гнездовом блоке 21, который встроен в футеровку 22 металлического днища 18 ковша. При этом фланец 6 направляющей гильзы 5 находится в контакте с поверхностью металлической верхней обоймы 17 кассетного затвора, закрепленной на днище 18 разливочного ковша, а зацепы 2 располагаются в сомкнутом положении и имеет зазор с верхней торцевой частью отработанного разливочного стакана 20. Перед началом его удаления из гнездового блока 21 необходимо с помощью двух ручек 12 и 13 повернуть в нужном направлении фланец 7 совместно с трубой 4 относительно цилиндрического ползуна 3. При этом лопасти на переднем конце трубы 4, воздействуя на плоские части зацепов 2, повернут их на болтах 1 относительно цилиндрического ползуна 3, в результате чего максимальный внешний их размер в разведенном положении превысит диаметр канала разливочного стакана 20. При подаче под давлением в полость гидроцилиндра 10 рабочей жидкости его шток 19 вместе с ползуном 3 и разведенными зацепами 2 начнет перемещение в сторону наружной поверхности 18 днища ковша. Во время этого перемещения разведенные зацепы окажут силовое воздействие на верхнюю торцевую часть разливочного стакана 20 и сдвинут его вдоль направляющей гильзы 5 относительно гнездового блока 21, разрушив слой затвердевшего раствора между посадочными коническими поверхностями указанных огнеупорных элементов (рисунок 2.3 б). Благодаря образовавшемуся зазору между сопрягаемыми поверхностями, отработанный разливочный стакан 20 можно беспрепятственно извлечь из гнездового блока 21 и после смыкания зацепов снять его с направляющей гильзы 5.



1-13 – корпус механизма; 14 – опора; 15 – стержни; 16 – планка; 17 – затвор;
 18 – ковш; 19 – шток; 20 – стакан; 21 – гнездовой блок; 22 – футеровка

Рисунок 2.3 – Относительное положение звеньев гидравлического механизма при извлечении отработанного разливочного стакана

Таким образом, применение разрабатываемой конструкции манипулятора позволяет не только снизить трудоемкость ремонтных операций, но и минимизировать тепловые потери ковша, что является важным фактором для предотвращения температурных колебаний расплава перед его подачей в промежуточный ковш МНЛЗ и обеспечения стабильности разливки длянными сериями.

2.2 Разработка методики расчета энергосиловых параметров механизмов модернизированного манипулятора

Для проведения проектных работ, связанных с конструированием опытного образца усовершенствованного манипулятора, предварительно

получили расчетные зависимости, позволяющие определить значение энергосиловых параметров его структурных механизмов: поворота колонны, подъема консоли и извлечения разливочного стакана.

В соответствии с расчетной схемой, приведенной на рисунок 2.4, на элементы механизма поворота колонны действуют силы тяжести колонны с опорным диском $G_{кд}$, рычажной системы $G_{рс}$, несущей консоли $G_{к}$, механизма извлечения отработанного разливочного стакана $G_{м}$, самого стакана $G_{ог}$, силового гидроцилиндра $G_{ц}$ и контргруза $G_{кг}$.

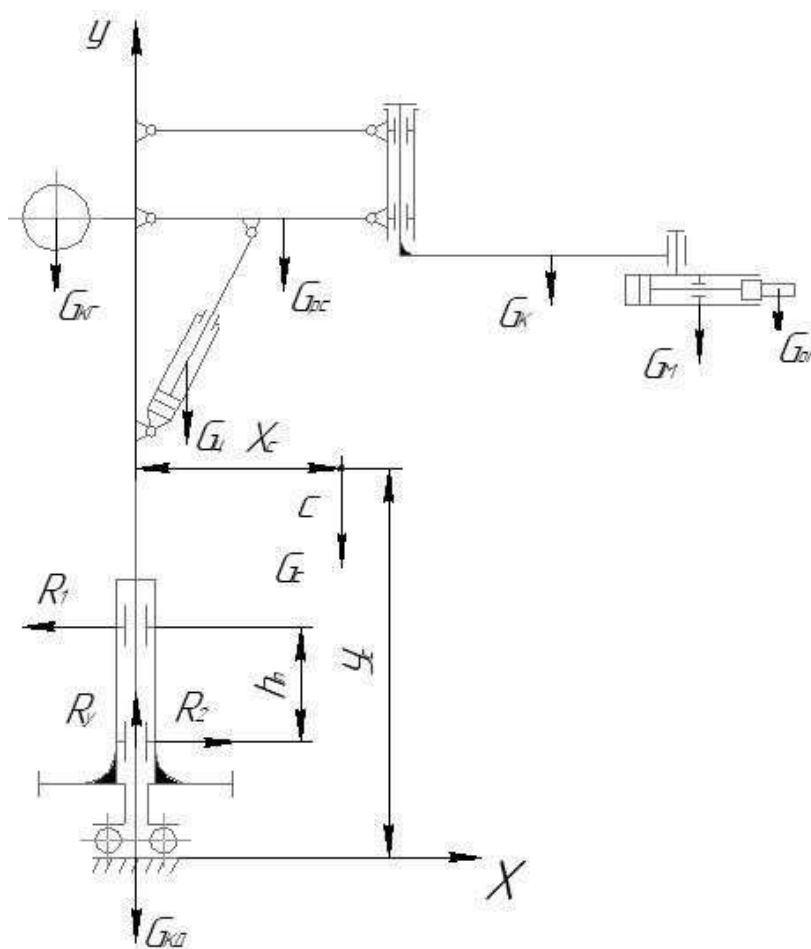


Рисунок 2.4 – Расчетная схема механизма поворота колонны

По заранее определенным координатам центров тяжести указанных элементов можно рассчитать координаты центра тяжести всей поворотной системы манипулятора используя формулы:

$$X_c = (\sum x_i \cdot m_i) / M, y_c = (\sum y_i \cdot m_i) / M, \quad (2.1)$$

где x_i и y_i – координаты центров тяжести составных элементов поворотной системы; m_i – массы элементов; M – общая масса поворотной системы.

Тогда вертикальная сила реакции в упорном подшипнике

$$R_y = G_c = G_{кд} + G_{рс} + G_k + G_m + G_{ог} + G_{ц} - G_{кг}. \quad (2.2)$$

Горизонтальные силы реакции в опорах подшипников скольжения

$$R_1 = R_2 = (G_c \cdot x_c) / h_{п}, \quad (2.3)$$

где x_c – расстояние от центра тяжести поворотной системы до вертикальной оси колонны; $h_{п}$ – расстояние между осями подшипниковых опор.

Статический момент сопротивления повороту колонны, вызванный действием сил трения в опорных узлах

$$M_1 = (R_1 \cdot r_1 + R_2 \cdot r_2) \cdot \mu_1 + R_y \cdot r_k \cdot \mu_2, \quad (2.4)$$

где r_1 и r_2 – внутренние радиусы втулок подшипников скольжения; r_k – радиус дорожки качения упорного подшипника; μ_1 – коэффициент трения скольжения для соответствующей пары материалов трущихся тел; μ_2 – условный коэффициент трения качения.

Статическая мощность привода механизма поворота колонны

$$N = (M_1 \cdot \omega_k) / \eta, \quad (2.5)$$

где ω_k – заданная угловая скорость поворота колонны; η – коэффициент полезного действия механизма поворота колонны.

На составные части механизма подъема несущей консоли (рисунок 2.5) действуют силы тяжести параллелограммной рычажной системы $G_{рс}$, несущей консоли G_k , механизма извлечения отработанного разливного стакана G_m , самого стакана $G_{ог}$, а также контргруза $G_{кг}$

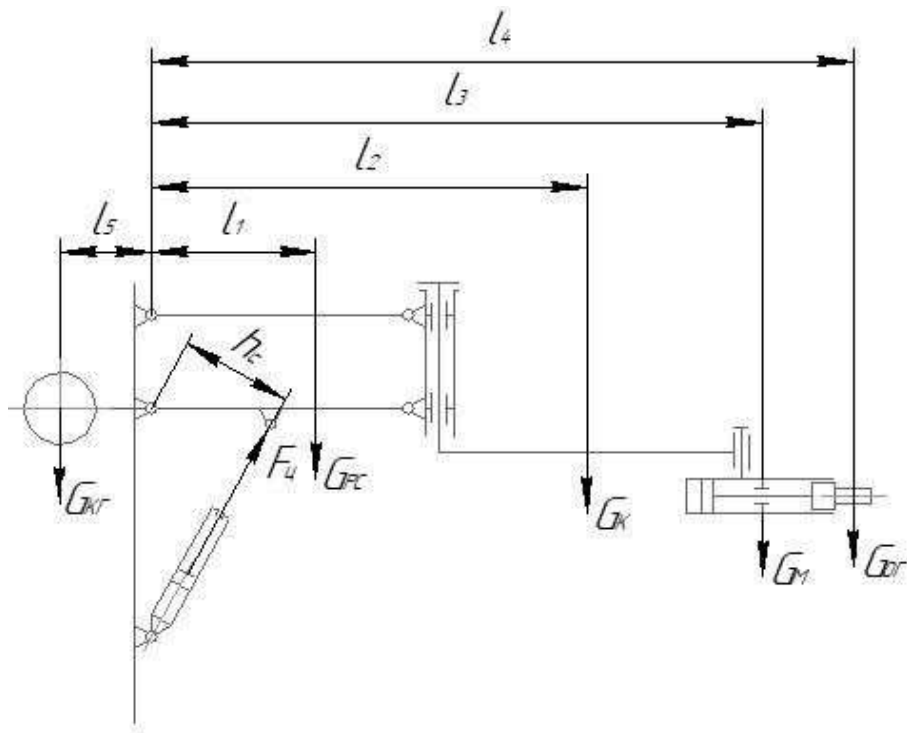


Рисунок 2.5 – Расчетная схема механизма подъема несущей консоли

Расчет движущей силы $F_{ц}$, которую должен развивать приводной гидроцилиндр, выполняли без учета сил трения, считая звенья механизма абсолютно твердыми телами. Предварительно, с учетом размеров звеньев манипулятора и масштаба построенной расчетной схемы, определили координаты центров тяжести каждого звена.

Тогда уравнение суммы моментов сил, преодолеваемых гидроцилиндром, имеет вид:

$$F_{ц} h_{ц} = G_{к} l_1 + G_{к} l_2 + G_{м} l_3 + G_{ог} l_4 - G_{кр} l_5. \quad (2.6)$$

Откуда

$$F_{ц} = (G_{к} l_1 + G_{к} l_2 + G_{м} l_3 + G_{ог} l_4 - G_{кр} l_5) / h_{ц}. \quad (2.7)$$

Диаметр поршня гидроцилиндра

$$d_{п} = (4 \cdot F_{ц} / \pi p)^{0.5}, \quad (2.8)$$

где p – давление из стандартного ряда, развиваемое насосом выбранной маслостанции.

При расчете параметров привода механизма извлечения отработанного разливного стакана в качестве технологической нагрузки, преодолеваемой гидравлическим приводом, является сила $F_{\text{изв.}}$, достаточная для разрушения слоя затвердевшего раствора между посадочными коническими поверхностями самого стакана и гнездового блока ковша. Указанную силу можно рассчитать по формуле:

$$F_{\text{изв.}} = S_{\text{пс}} \cdot \tau_{\text{сд}}, \quad (2.9)$$

где $S_{\text{пс}}$ – общая площадь сдвигаемого слоя затвердевшего раствора; $\tau_{\text{сд}}$ – допустимое напряжение сдвига материала раствора.

С учетом того, что контактная поверхность находящихся в контакте разливного стакана и гнездового блока представляет собой усеченный конус, значение искомой площади можно получить по формуле:

$$S_{\text{пс}} = (R_{\text{н}} + R_{\text{в}}) \cdot L \quad (2.10)$$

где $R_{\text{н}}$ – наружный радиус нижнего торца разливного стакана; $R_{\text{в}}$ – наружный радиус верхнего торца разливного стакана; L – длина образующей усеченной конической поверхности разливного стакана.

Размер L находят из выражения:

$$L = [(R_{\text{н}} - R_{\text{в}})^2 + H_{\text{ст}}^2]^{0,5} \quad (2.11)$$

где $H_{\text{ст}}$ – высота разливного стакана.

Тогда

$$S_{\text{пс}} = (R_{\text{н}} + R_{\text{в}}) [(R_{\text{н}} - R_{\text{в}})^2 + H_{\text{ст}}^2]^{0,5} \quad (2.12)$$

Значение напряжения сдвига огнеупорного раствора, затвердевшего при температуре 700 – 1100 °С, по данным работ [72 - 74], рекомендуется принимать равным 0,3 – 0,5 МПа. В таблице 2.1 приведены результаты расчета

значений силы, требуемой для извлечения отработанных разливочных стаканов при различной вместимости обслуживаемых ковшей.

Соблюдая пропорции относительно диаметра канала разливочного стакана, конструктивно принимают геометрические параметры приводного цилиндра: диаметров его корпуса. D_k , поршня d_p и штока $d_{ш}$. Тогда требуемое давление, развиваемое насосом маслостанции при работе цилиндра на втягивание штока:

$$p = (4 \cdot F_{и}) / \pi \cdot (d_p^2 - d_{ш}^2) \quad (2.13)$$

Для обеспечения эксплуатационной надежности манипулятора выполняется проверка его наиболее нагруженных узлов – несущей консоли и поворотной колонны.

Условие прочности несущей консоли по нормальным напряжениям при совместном действии изгиба и растяжения/сжатия:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{изг}}{W_x} + \frac{N}{S_{сеч}} \leq [\sigma], \quad (2.14)$$

где: $M_{изг}$ – максимальный изгибающий момент в опасном сечении консоли, Н·мм; W_x – момент сопротивления сечения при изгибе, мм³; N – продольная сила в сечении, Н; $S_{сеч}$ – площадь поперечного сечения консоли, мм²; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала консоли, Мпа.

Проверка несущей колонны манипулятора на устойчивость и прочность под действием приложенной нагрузки осуществляется по формуле:

$$\sigma_{кол} = \frac{N_{кол}}{\varphi \cdot S_{кол}} + \frac{M_{кол}}{W_{кол}} \leq [\sigma], \quad (2.15)$$

где: $N_{кол}$ – суммарная продольная нагрузка на колонну, Н; φ – коэффициент продольного изгиба (снижения допускаемого напряжения), зависящий от гибкости колонны; $S_{кол}$, $W_{кол}$ – геометрические характеристики поперечного сечения колонны (площадь и момент сопротивления соответственно); $M_{кол}$ – изгибающий момент, действующий на колонну, Н·мм.

Помимо прочности, важнейшим критерием точности работы манипулятора является его жесткость. Оценка жесткости конструкции

производится путем определения суммарного смещения (упругой деформации) точки захвата стакана (Δ):

$$\Delta = f_{\text{кол}} + f_{\text{конс}} + \delta_{\text{люфты}} \leq [\Delta], \quad (2.16)$$

где: $f_{\text{кол}}$ – линейное перемещение за счет изгиба колонны, мм; $f_{\text{конс}}$ – прогиб несущей консоли, мм; $\delta_{\text{люфты}}$ – суммарное смещение, вызванное конструктивными зазорами (люфтами) в шарнирных соединениях механизма, мм; $[\Delta]$ – предельно допустимое смещение рабочего органа, не нарушающее кинематику процесса извлечения стакана.

Предложенная методика определения значений энергосиловых параметров разработанной манипуляционной системы [75, 76], послужила основой для создания программы автоматизированного их расчета, которая позволит существенно сократить продолжительность проектирования промышленных образцов указанной системы с учетом типоразмера сталеразливочного ковша, обслуживаемого с ее использованием.

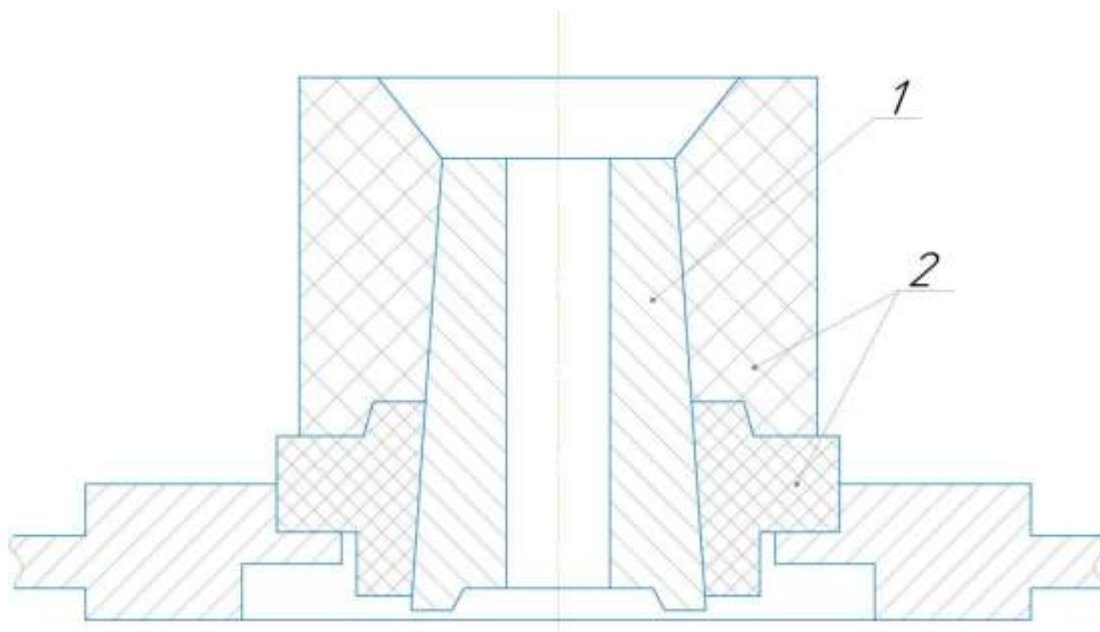
Таблица 2.1 – Результаты расчета значений силы, развиваемой гидроцилиндром механизма извлечения отработанного разливочного стакана

Вместимость ковша, т	Размеры разливочного стакана, мм			$S_{\text{пс}}$, мм ²	$\tau_{\text{сд}}$, МПа	$F_{\text{и}}$, Н
	$R_{\text{н}}$	$R_{\text{в}}$	$H_{\text{ст}}$			
100	90	75	300	155400	0,3	46620
150	100	85	300	174200	0,3	52260
250	115	100	370	250000	0,3	75000

2.3 Экспериментальная проверка расчетных данных

Для проверки корректности полученных расчетных данных, приведенных в таблице 2.1, провели лабораторный эксперимент на основе предварительно подготовленной материально-технической базы. С этой целью, в соответствии

со стандартной схемой установки разливочного стакана в футеровке днища ковша, приведенной на рисунке 2.6, подобрали комплект огнеупорных изделий (фото на рисунке 2.7), включавший разливочный стакан, верхний и нижний гнездовые кирпичи. Указанный комплект соответствовал размерам сталевыпускного узла 150-тонного разливочного ковша [74].



1 – разливочный стакан; 2 – составной гнездовой кирпич.

Рисунок 2.6 – Схема оформления гнездового блока ковша

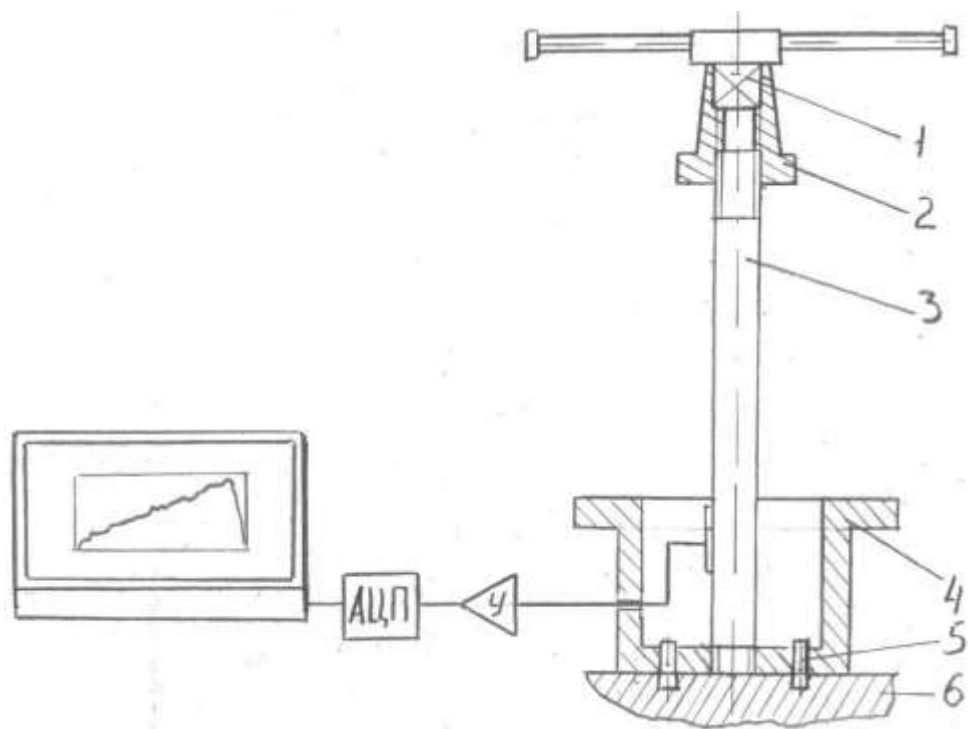


Рисунок 2.7 – Подготовленный к эксперименту комплект огнеупорных изделий гнездового блока 150-тонного разливочного ковша

С соблюдением требований технических инструкций, действующих в настоящее время в сталеплавильных цехах отечественных металлургических предприятий, осуществили сборку гнездового блока, для чего на очищенную коническую поверхность разливочного стакана нанесли равномерный слой затворенной на воде огнеупорной массы, включавшей в своем составе 75 % мертеля и 25 % песка. Затем стакан запрессовали в полость соединенных между собой верхнего и нижнего гнездовых кирпичей, после чего собранный огнеупорный блок поместили в нагревательную печь для сушки при температуре 200° С в течение 2 часов.

Для получения практических данных о значении силы, требуемой для извлечения разливочного стакана из полости гнездовых кирпичей использовали испытательный стенд, конструктивная схема которого приведена на рисунке 2.8. Он включал силовой и контрольно-измерительный блоки. В состав силового блока входит опорный цилиндр 4, к днищу которого посредством резьбового соединения крепится нижний конец вертикально расположенного стержня 3, имеющего верхнюю резьбовую часть. На эту часть навинчена профилированная гайка 2, в верхней торцевой части которой выполнено посадочное место для хвостовика рычага 1. Для фиксации цилиндра 4 относительно базового основания 6 служат два штифта 5.

Контрольно-измерительный блок содержит тензорезисторный преобразователь, функцию которого выполняют наклеенные на поверхность стержня два рабочих тензодатчика, ориентированные вдоль направления действия нагрузки, и два компенсационных, расположенные перпендикулярно рабочим. Датчики соединены по мостовой схеме, подключённой с помощью разъема и экранированного кабеля (на рисунке 2.9) к входу усилителя, электрически связанного с аналого-цифровым преобразователем, выходной сигнал с которого подается в системный блок компьютера для обработки и последующего визуального представления.



1 – рычаг; 2– гайка; 3 – стержень; 4 – цилиндр; 5 – штифты; 6 – основание

а



б

а – конструктивная схема; б – внешний вид

Рисунок 2.8 – Схема и внешний вид испытательного стенда

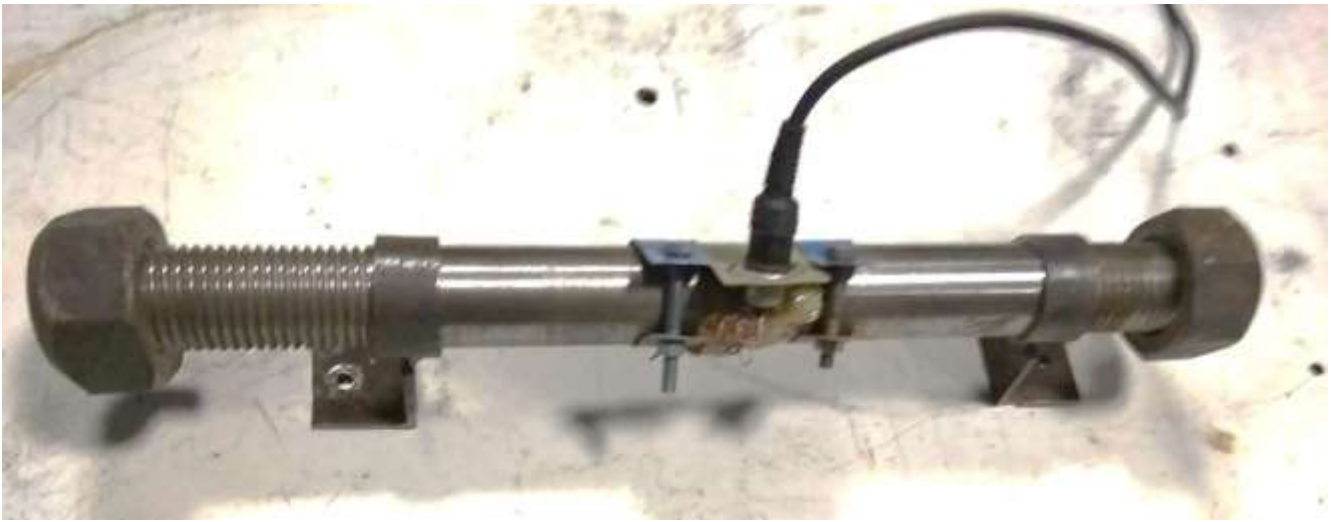


Рисунок 2.9 –Стержень с наклеенными тензодатчиками для контроля передаваемой нагрузки

Перед началом проведения лабораторного эксперимента провели тарировку тензорезисторного преобразователя на специальном поверочном стенде (фото на рисунке 2.10), включающем опорную раму с закрепленными фиксирующими упорами, динамометр и винтовой механизм.



Рисунок 2.10 – Схема тарировки тензорезисторного преобразователя стержня

Тарировку подключенного к усилителю тензорезисторного преобразователя провели путем последовательного дискретного силового нагружения стержня и фиксацией соответствующих амплитуд выходного сигнала в кодах АЦП (рисунок 2.11).

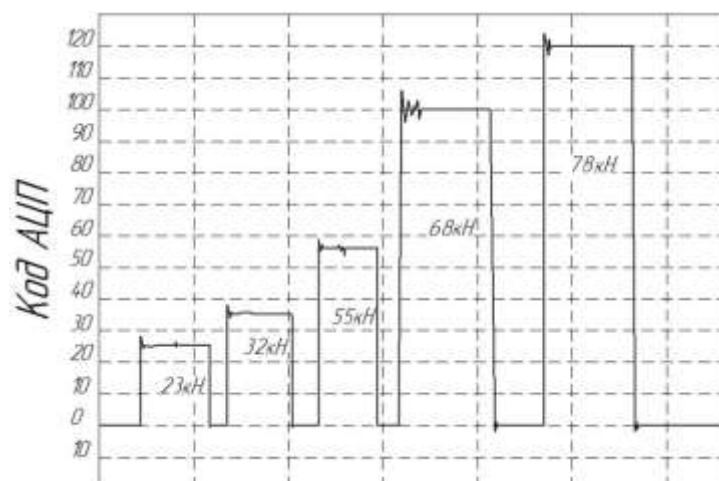


Рисунок 2.11 – Значения амплитуд сигнала, снимаемого с моста сопротивлений при различных нагрузках на стержень

Нагрузку на стержень обеспечивали с помощью винтового механизма, а ее значение контролировали по показаниям соединявшего их динамометра. По полученным результатам построили график тарировочной зависимости (рисунок 2.12) и оценили обеспечиваемую точность измерений. Статистическая обработка результатов тарировки показала, что погрешность измерений силы, действующей в стержне, составляет 7 %.

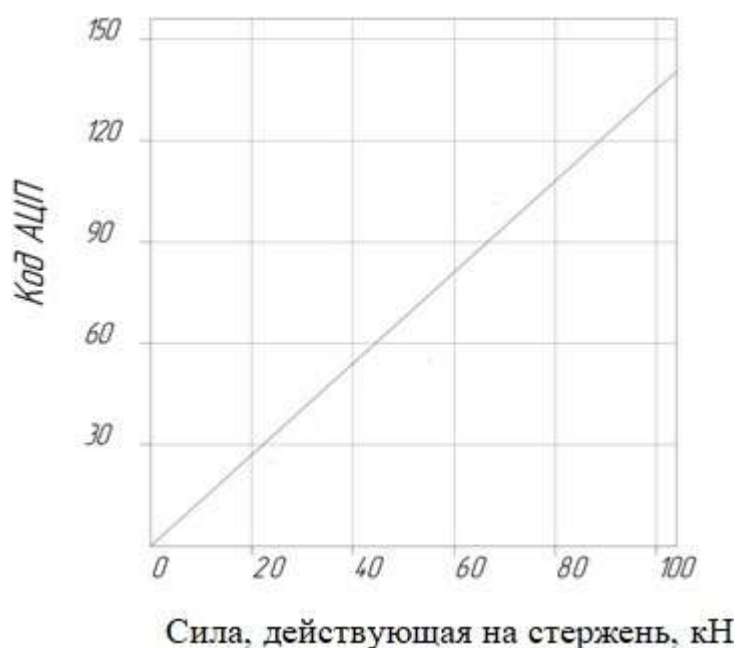


Рисунок 2.12 – График тарировочной зависимости

После завершения тарировки тензорезисторного преобразователя стержень нижним концом ввинчивали в резьбовое отверстие днища опорного цилиндра и пропускали через отверстие в его корпусе соединительный экранированный кабель тензорезисторного преобразователя. Затем соосно со стержнем на опорном цилиндре размещали ранее собранный огнеупорный блок, на верхнюю торцевую поверхность огнеупорного разливочного стакана укладывали стальную шайбу, на резьбовой конец стержня навинчивали до упора в шайбу профилированную гайку и в ее посадочное место помещали стержень рычага (фото на рисунке 2.13).



Рисунок 2.13 – Подготовленный к тестовым испытаниям стенд

После подключения тензорезисторного преобразователя к контрольно-измерительному комплексу проверяли его функционирование, а также выполняли балансировку моста сопротивлений.

Измерение значения силы, при котором происходил сдвиг разливочного огнеупорного стакана относительно комплекта гнездовых кирпичей, провели в следующей последовательности. Осуществляли запуск измерительной системы и с помощью рычага профилированную гайку проворачивали на верхнем

резьбовом хвостовика, вызывая тем самым вертикальную нагрузку на верхнюю торцевую часть огнеупорного разливочного стакана. Сила реакции вызывала в стержне пропорциональные ей деформации растяжения, под действием которых изменяли сопротивление рабочие тензодатчики моста сопротивлений и с его выхода снимался электрический сигнал, подававшийся на вход усилителя. В момент сдвига огнеупорного разливочного стана вниз относительно гнездовых кирпичей останавливали запись сигнала и выводили его визуальное изображение на экран монитора (рисунок 2.14)

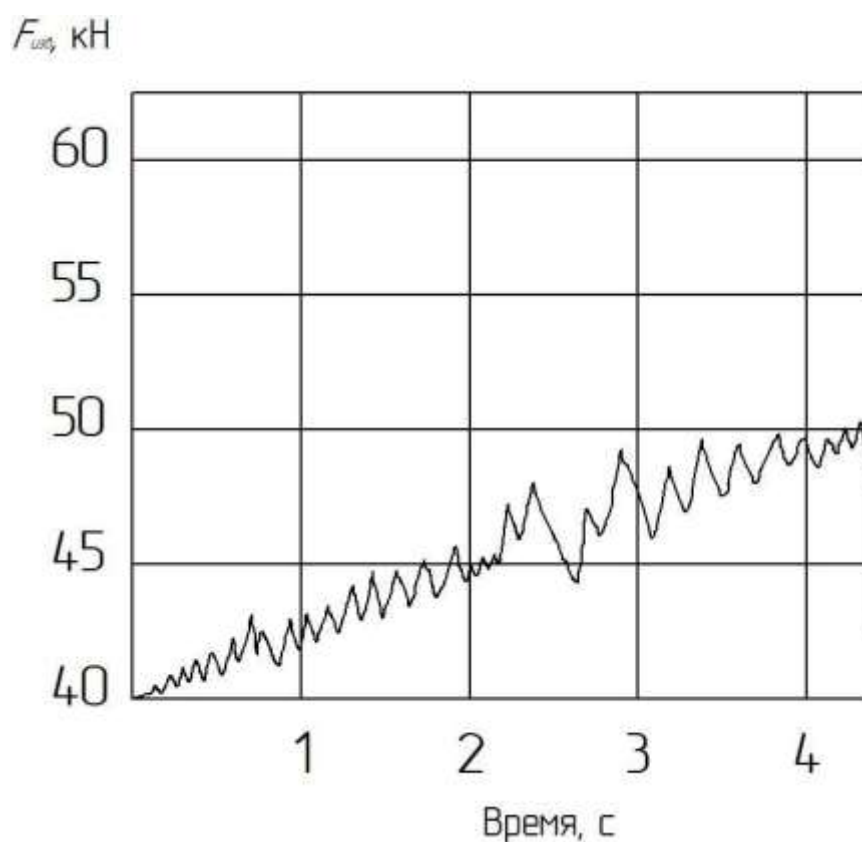


Рисунок 2.14 – Сигнал, зарегистрированный при контроле силы страгивания разливочного стакана при его извлечении из гнездового блока

Для определения фактического усилия извлечения разливочного стакана из гнездового блока сталеразливочного ковша были проведены натурные экспериментальные исследования. Известно, что результаты единичных измерений содержат случайные погрешности, вызванные влиянием внешних и внутренних факторов. Для исключения этих погрешностей и повышения

достоверности результатов, в соответствии с классической теорией экспериментальных исследований, опыт по извлечению стакана был проведен серией из 10 наблюдений ($n=10$). Полученные в ходе тензометрирования значения усилия извлечения (x_i), а также промежуточные расчеты для их статистической обработки приведены в таблице 2.2

Таблица 2.2 – Статистическая обработка экспериментальных значений усилия извлечения стакана

Число результатов измерений n	Результат наблюдений x_i	Разница $x_i - A$	Квадрат разницы $(x_i - A)^2$
1	50,32	-2,12	4,49
2	54,46	2,02	4,08
3	51,39	-1,05	1,10
4	53,27	0,83	0,68
5	53,32	0,88	0,77
6	52,97	0,53	0,28
7	51,51	-0,93	0,86
8	52,83	0,39	0,15
9	54,24	1,8	3,24
10	50,13	-2,31	5,33

Для оценки истинного значения измеряемой величины производилась статистическая обработка массива данных по следующему алгоритму:

1) Определение результата измерения среднего арифметического:

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{524,44}{10} = 52,44 \text{ кН}; \quad (2.17)$$

2) Оценка среднего квадратического отклонения результата измерения:

$$S(A) = \sqrt{\frac{20,98}{10}} = 1,45 \text{ кН}; \quad (2.18)$$

3) Определение доверительного интервала, где доверительная вероятность принята равной 0,95, таким образом $t = 2,26215716274$, получаем:

$$\varepsilon = t \cdot S(A) = 3,28 \text{ кН}. \quad (2.19)$$

Проведенная статистическая обработка позволяет с доверительной вероятностью 95% утверждать, что фактическое усилие, необходимое для извлечения отработанного разливного стакана, составляет:

$$F_{и} = 52,44 \pm 3,28 \text{ кН.}$$

Полученные экспериментальные данные обладают высокой степенью достоверности, а итоговое значение усилия извлечения, с учетом доверительного интервала, подтверждает правомерность заложенных в конструкцию манипулятора энергосиловых параметров [77].

2.4 Порядок использования разработанного манипулятора при реализации технологии непрерывной разливки стали

Внедрение нового оборудования в действующий производственный цикл требует четкой регламентации. Порядок использования разработанного манипулятора должен быть строго адаптирован под жесткие временные рамки современных методов непрерывной разливки стали, где каждая минута простоя сталеразливочного ковша ведет к нежелательному остыванию футеровки и снижению качества разливного металла. Для проверки работоспособности усовершенствованной конструкции манипулятора и корректности полученных расчетных зависимостей с их использованием спроектировали и изготовили лабораторный образец исследуемой манипуляционной системы, показанный на рисунке 2.15.



Рисунок 2.15 – Лабораторный образец усовершенствованного манипулятора для обслуживания кассетных ковшовых затворов

Порядок использования предложенного манипулятора при замене отработанного разливочного стакана был отработан на испытательном стенде, включавшем промышленный образец кассетного затвора 100-тонного сталеразливочного ковша, фото которого показано на рисунке 2.16. В состав стенда входил также специальный подъемник, предназначенный для перевода опорной части с подвижной обоймой затвора в горизонтальное положение при его раскрытии.



Рисунок 2.16 – Промышленный образец кассетного ковшового затвора, размещенный на испытательном стенде

Процесс замены отработанного комплекта огнеупорных изделий кассетного шиберного затвора включал пять стадий. Первая стадия предполагает выполнение операций по раскрытию затвора, последовательность выполнения которых демонстрирует рисунок 2.17. При этом посредством пальца к опорной части затвора подсоединяют штангу подъемника (рисунок 2.17 а) после чего с использованием ключа последовательно выкручивают из гаек два стяжных винта (рисунок 2.17 б и в) и затем переводят опорную часть затвора с его подвижной обоймой в горизонтальное положение (рис.2.17 г).



а



б



в



г

а – присоединение штанги; б, в– выкручивание гаек; г – раскрытие обоймы

Рисунок 2.17 – Последовательность операций при раскрытии кассетного затвора

Вторая стадия реализуемого процесса связана с извлечением из металлических обойм затвора нижней (подвижной) огнеупорной плиты (рисунок 2.18 а и б), стакана-коллектора (рисунок 2.18 в) и верхней (неподвижной) огнеупорной плиты (рисунок 2.18 г), для чего предварительно необходимо ослабить крепежные винты, фиксирующие каждую из плит в соответствующих металлических обоймах шибера затвора.



а



б



в



г

а, б – извлечение нижней плиты; в – извлечение стакан-коллектора;
г – извлечение верхней плиты

Рисунок 2.18 – Последовательность операций по извлечению отработанных огнеупорных плит и стакана-коллектора

Очередная (третья) стадия предусматривает извлечение разливочного стакана из гнездового блока с использованием манипулятора (рисунок 2.19) в соответствии с его принципом действия, ранее описанном в подразделе 2.1.



Рисунок 2.19 – Извлечение с помощью манипулятора отработанного разливочного стакана из гнездового блока сталеразливочного ковша

Четвертая стадия рассматриваемого процесса требуется для запрессовки с помощью манипулятора нового разливочного стакана в гнездовой блок (рисунок 2.20 а), последовательной установки и фиксации в обоймах затвора стакана-коллектора (рисунок 2.20 б), а также нижней (рисунок 2.20 в) и верхней (рисунок 2.20 г) огнеупорных плит.



а



б



в



г

а – запрессовка с помощью манипулятора; б – установка стакан-коллектора;

в – установка нижней плиты; г – установка верхней плиты

Рисунок 2.20 – Установка нового комплекта огнеупорных изделий ковшового шиберного затвора

Заключительная стадия включает операции, связанные непосредственно со сборкой самого шиберного затвора, закрепленного на днище сталеразливочного ковша, находящегося в горизонтальном положении. Для этого с помощью подъемника осуществляют поворот опорного узла с подвижной обоймой и перевод их в вертикальное положение (рис. 2.21 а и б),

последовательную затяжку с помощью динамометрического ключа с контролируемым моментом обоих стяжных винтов (рисунок 2.21 в) и отсоединение штанги подъемника от корпуса собранного затвора (рисунок 2.21 г).



а



б



в



г

а, б – поворот опорного узла; в – затяжка винтов; г – отсоединение штанги

Рисунок 2.21 – Операции по сборке кассетного затвора

Рассмотренная последовательность операций по обслуживанию кассетных затворов с использованием разработанного манипулятора рекомендована для практического применения в промышленных условиях при подготовке сталеразливочных ковшей перед их подачей к плавильной печи или кислородному конвертеру для приема жидкой стали.

2.5 Выводы по главе 2

1. Обоснована необходимость совершенствования механизмов обслуживания ковшовых шиберных затворов как важнейшего условия

повышения эффективности методов непрерывной разливки стали. Доказано, что механизация и сокращение времени на замену огнеупорных элементов позволяет оптимизировать потери тепловой энергии сталеразливочного ковша, что стабилизирует температурный режим расплава и обеспечивает требуемое количество отливаемой непрерывной заготовки.

2. Разработана усовершенствованная конструкция манипулятора для извлечения отработанного разливочного стакана. Внедрение данного устройства в технологический процесс подготовки агрегатов к приему продуктов плавки исключает ударные механические нагрузки на огнеупорный гнездовой блок, повышая структурную надежность сталевыпускной системы перед началом серийной разливки металла на МНЛЗ.

3. Предложена и обоснована методика расчета энергосиловых параметров механизмов модернизированного манипулятора. Адекватность расчетных зависимостей подтверждена результатами экспериментальных исследований, что позволяет использовать предложенные математические модели для проектирования надежного отечественного оборудования, гарантирующего бесперебойную разливку жидкой стали.

4. Регламентирован порядок промышленного использования разработанного манипулятора, адаптированный под строгие требования современных методов непрерывной разливки длинными сериями.

ГЛАВА 3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДА РАСЧЕТА МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ПОДАЧИ СТАРТОВОЙ СМЕСИ В ВЫПУСКНОЙ КАНАЛ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОГО КОВША ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ ПРОДУКТОВ ПЛАВКИ

3.1 Разработка конструкции манипулятора для подачи стартовой смеси в выпускной канал ковша

Процесс подготовки сталеразливочного ковша к приему расплава напрямую определяет успешность последующей непрерывной разливки продуктов плавки. Одной из критических операций является засыпка стартовой смеси в канал шиберного затвора, от качества которой зависит гарантированное самопроизвольное истечение жидкой стали из МНЛЗ без применения кислородного прожигания. В связи с этим, многие основные и вспомогательные операции сталеплавильного производства, выполнявшиеся до определенного момента времени вручную, механизуются и автоматизируются. К таким операциям относится также подача дорогостоящей, стойкой к воздействию высоких температур стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша перед заполнением его жидкой сталью с целью предотвращения образования на стенках разливочного стакана настывлей [8-15].

Сталеразливочный ковш, оборудованный пористым продувочным блоком и шиберным затвором, является металлургической емкостью, которая обеспечивает согласованное функционирование во времени установок, реализующих прогрессивные методы рафинирования (доводки) стали (VD, VOD, VAD, AP, IP, LF), и машин непрерывного литья заготовок.

Одной из обязательных операций, выполняемых во время подготовки к работе разливочного ковша, является засыпка канала его стакана специальной стартовой смесью, которую осуществляют при закрытом шиберном затворе

[16]. Для механизированной подачи этой смеси в выпускной канал сталеразливочных ковшей большой вместимости требуется применение специальных установок, разработку которых в настоящее время ведут специалисты известных зарубежных компаний.

Как ранее отмечалось в первом разделе диссертационной работы, известные образцы устройств, нашедшие практическое применение для подачи стартовой смеси в канал ковшового стакана на отечественных и зарубежных металлургических предприятиях, не отвечают в полной мере комплексу предъявляемых требований (надежность работы, безопасность обслуживания, исключение применения кранового оборудования, минимизация потерь смеси).

Ниже рассмотрены вопросы создания компоновок манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси в разливочное отверстие сталеразливочного ковша. На основе общих методов конструирования машин и их развития, определяемых особенностями работы элементов манипулятора для подачи стартовой смеси, а также математического описания геометрии конструкций элементов систем, определены требования, предъявляемые к конструкциям компоновок манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси в разливочное отверстие сталеразливочного ковша.

Разработаны основные положения построения компоновок систем и конструкций её элементов, которые должны выполняться при создании элементов сталеразливочных ковшей и манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси в разливочное отверстие сталеразливочного ковша, среди которых: безопасность обслуживания при подаче стартовой смеси в разливочное отверстие сталеразливочного ковша; точность позиционирования рабочего инструмента манипулятора относительно оси разливочного отверстия; исключение кранового оборудования, работающего над сталеразливочным ковшом; рациональное распределение стартовой смеси в целях получения эффективной корочки для защиты отверстия от жидкого металла при перемещении сталеразливочного ковша; защита механизмов манипулятора от воздействия высоких температур.

В частности в работе предложена система механизированного ввода стартовой смеси в канал разливочного ковша, схематично показанная на рисунке 3.1.

Она включает поворотную колонну 14, установленную на основании 17 и несущую консоль, выполненную из двух балок 13, жестко связанных поперечиной 3. Вдоль балок расположены направляющие для колесных пар подвижной тележки 7, поддерживающей бункер 5 с прикрепленным к его нижней части гибким металлическим рукавом 2.

Привод перемещения тележки, состоящий из реверсивного червячного мотор-редуктора 11 с закрепленной на его выходном валу ведущей звездочкой 12, посредством пластинчатой цепи 9 передает через ведомую звездочку 6 вращение валу, установленному в подшипниковых опорах на поперечине 3. При этом пластинчатая цепь, обвивающая звездочки 6 и 12, своими концами связана с рамой тележки с помощью натяжных винтов. Нижняя ветвь пластинчатой цепи 9 поддерживается несколькими скользунами 10, что уменьшает ее провисание.

Между подшипниковыми опорами на валу ведомой звездочки 6 в средней его части жестко закреплен шкив 4, имеющий кольцевую канавку, форма которой соответствует половинному поперечному сечению металлического рукава 2. Причем диаметр шкива по максимальному углублению продольной канавки равен диаметру ходового колеса тележки.

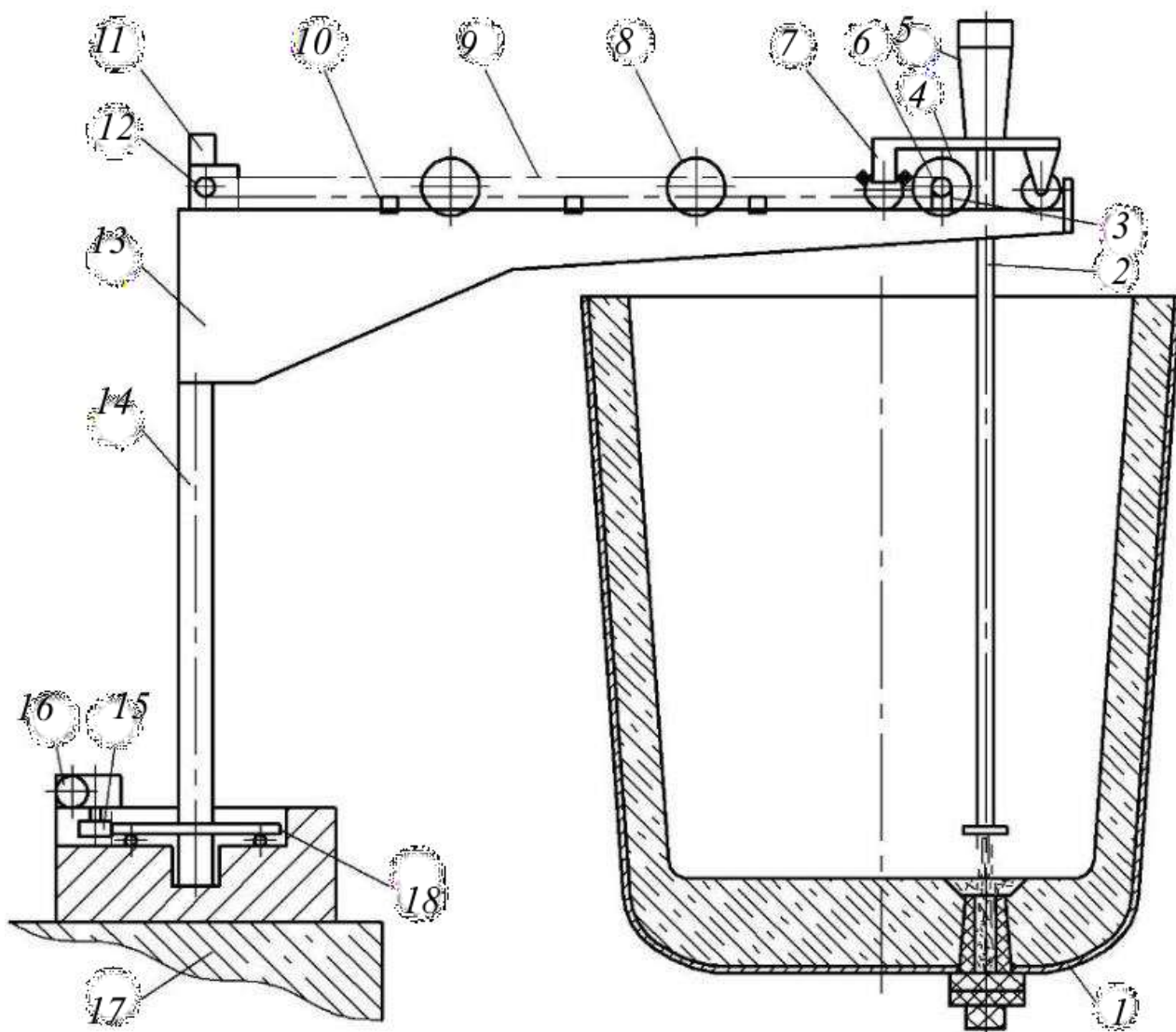


Рисунок 3.1 – Конструктивная схема разработанной системы механизированной подачи стартовой смеси в канал разливочного стакана: 1- ковш, 2 – металлический рукав, 3 – поперечина, 4 – шкив, 5 – бункер, 6 – ведомая звездочка. 7 – тележка, 8 – ролики, 9 – цепь, 10 – скользяны, 11- мотор-редуктор, 12 – ведущая звездочка, 13 – консоль, 14 – колонна, 15 – шестерня, 16 – мотор-редуктор, 17 – основание, 18 – диск.

Вдоль консольной балки в одной вертикальной плоскости с одинаковым шагом установлены несколько свободно вращающихся на осях направляющих роликов 8, препятствующих провисанию металлического рукава при нахождении его в горизонтальном положении.

Для поворота всей системы относительно сталеразливочного ковша 1 служит электромеханический привод, состоящий из червячного мотора-редуктора 16 с вертикальным валом, на хвостовике которого закреплена прямозубая шестерня 15, находящаяся в зацеплении с зубчатым венцом опорного диска 18, удерживающего поворотную колонну 14.

3.2 Функционирование манипулятора для подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша

Система размещается на участке обслуживания сталеразливочных ковшей и функционирует следующим образом. Сталеразливочный ковш по завершению операций, связанных с осмотром и обслуживанием его разливочного узла (промывка кислородом выпускного канала для удаления застывших остатков шлака и металла, закрытия затвора), устанавливают краном в обозначенном месте возле поворотной колонны при отведенной в сторону консоли и находящейся в исходном положении тележки с заполненным бункером. Затем колонну поворачивают на требуемый угол и останавливают с таким расчетом, чтобы продольная ось симметрии консоли проходила над центром выпускного канала ковша (рисунок 3.2, а).

Далее с помощью цепного привода тележку переводят в рабочую позицию. Во время поступательного движения тележки, благодаря равенству диаметров ее ходового колеса и шкива в месте контакта с огибающим его металлическим рукавом, последний будет перемещаться синхронно с тележкой. В результате этого свободный конец металлического рукава совершает вертикальное движение вниз и в момент перехода тележки в рабочую позицию окажется непосредственно над входным отверстием канала разливочного

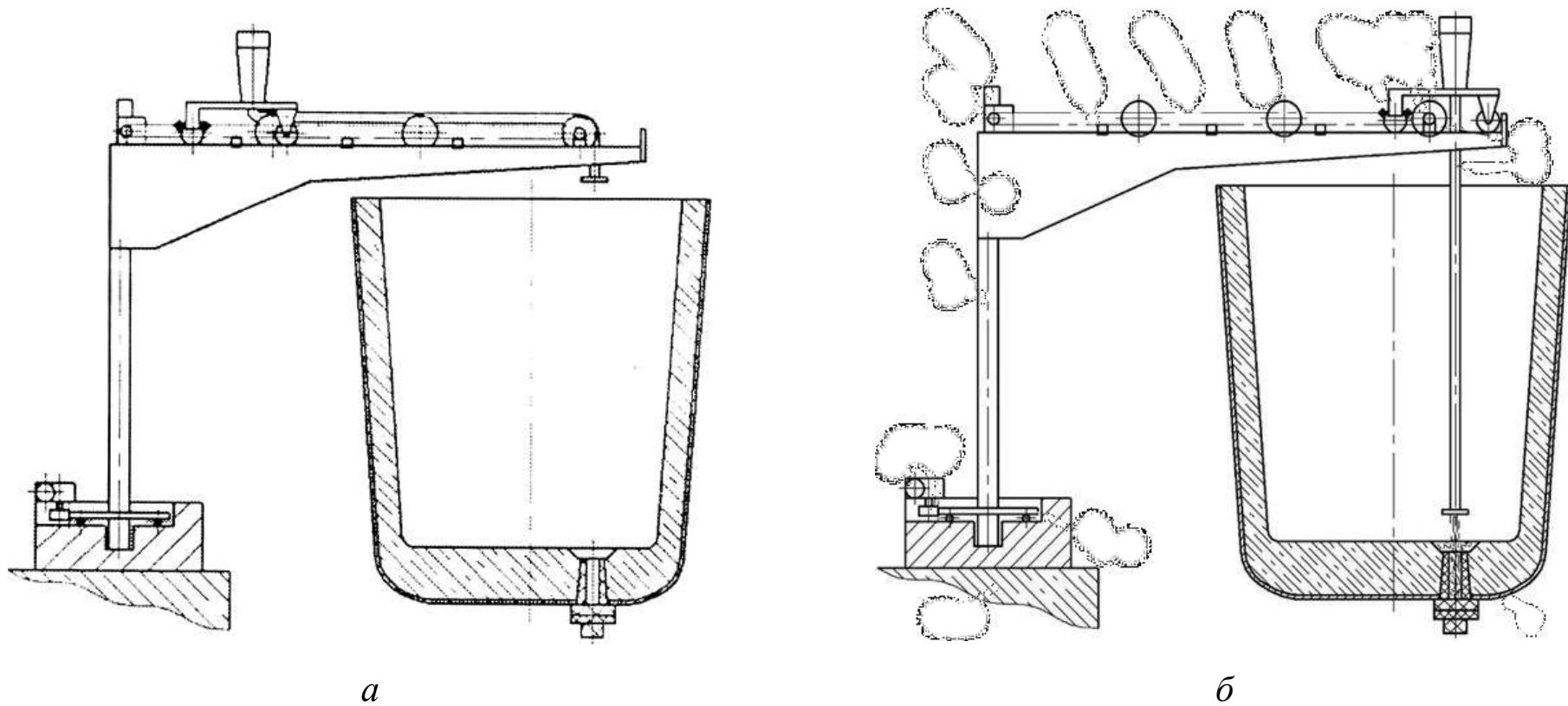
ковша. При этом металлический рукав выпрямится (рисунок 3.2, б) образуя вертикальный подающий тракт, по которому стартовая смесь, обладающая высокой текучестью, начнет ссыпаться из бункера в выпускной канал ковша, не подвергаясь воздействию воздушных конвективных потоков. Как только бункер опорожнится, тележку переводят в положение парковки и металлический рукав, связанный верхним концом с бункером, окажется уложенным на направляющие ролики. Перед началом транспортировки ковша краном к сталеплавильному агрегату для приема металла очередной плавки необходимо отвернуть консоль в исходное положение [79].

Создание опытно-промышленного образца предложенного манипулятора для подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша требует предварительной разработки методики расчета энергосиловых параметров входящего в него механизмов, а также проведения тестовых (лабораторных) испытаний на действующих (натурных) моделях правильности принятых технических решений и корректности полученных расчетных зависимостей.

Как уже отмечалось, предложенная манипулятор для механизированной подачи стартовой смеси включает два механизма:

- 1) механизм поворота колонны:
- 2) механизм перемещения тележки, на которой устанавливается бункер со стартовой смесью.

Для разработки и конструирования опытно-промышленного образца указанной системы предварительно требуется получение расчетных зависимостей, позволяющих определить значения основных параметров приводов механизмов, входящих в ее состав.



a – стартовое положение тележки; *б* – рабочее положение тележки

Рисунок 3.2 – Положение манипулятора в исходном рабочем положении перед началом подачи стартовой смеси (*a*) и в момент начала подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша (*б*).

3.3 Разработка методики расчета энергосиловых параметров механизма поворота колонны

На основании конструктивной схемы, приведенной на рисунке 3.1, составлена расчетная кинематическая схем (рисунок 3.3), в соответствии с которой на элементы механизма поворота колонны действуют силы тяжести: самой колонны $G_{\text{кол}}$, опорного диска $G_{\text{диск}}$, привода механизма перемещения тележки $G_1 = G_{\text{пт}}$, тележки с бункером и находящейся в нем стартовой смеси $G_2 = G_{\text{тел}} + G_{\text{см}}$, пластинчатой цепи $G_3 = G_{\text{цеп}}$, несущей консоли $G_4 = G_{\text{нк}}$ и металлического рукава $G_5 = G_{\text{рук}}$.

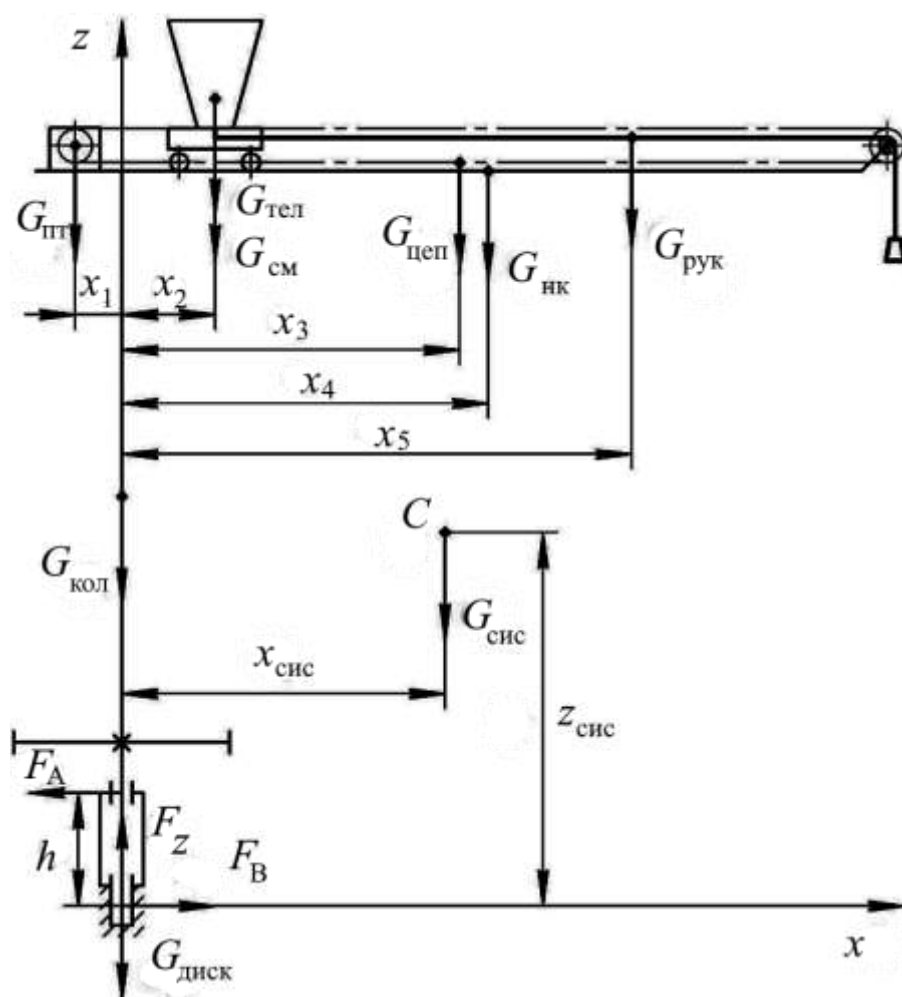


Рисунок 3.3 – Расчетная схема привода механизма поворота колонны для положения манипулятора в исходном рабочем положение перед началом подачи стартовой смеси.

Предварительно необходимо определить координаты центров тяжести отдельных узлов, а затем – общие координаты центра тяжести всего поворотного механизма системы:

$$x_{\text{сис}} = \frac{\sum G_i \cdot x_i}{G_{\text{сис}}}; \quad z_{\text{сис}} = \frac{\sum G_i \cdot z_i}{G_{\text{сис}}}; \quad (3.1)$$

где x_i, z_i – координаты центров тяжести составных элементов, м;

$G_{\text{сис}}$ – общая сила тяжести поворотного механизма системы, Н, равная

$$G_{\text{сис}} = \sum G_i = G_{\text{кол}} + G_{\text{диск}} + G_{\text{пт}} + G_{\text{тел}} + G_{\text{см}} + G_{\text{цеп}} + G_{\text{нк}} + G_{\text{рук}}. \quad (3.2)$$

Вертикальная реакция в подпятнике F_z равна общей силе тяжести (веса) $G_{\text{сис}}$ поворотной системы манипулятора, Н, т.е.

$$F_z = G_{\text{сис}}. \quad (3.3)$$

Горизонтальные реакции в радиальных подшипниках скольжения A и B

$$F_A = F_B = \frac{G_{\text{сис}} \cdot x_{\text{сис}}}{h}, \quad (3.4)$$

где $x_{\text{сис}}$ – расстояние от оси центра тяжести системы C до оси вращения колонны, м;

h – расстояние между подшипниковыми опорами A и B , м.

Статический момент от сил трения в опорах относительно оси колонны

$$M_{\text{стат}} = F_A \cdot r_A \cdot \mu_1 + F_B \cdot r_B \cdot \mu_1 + F_z \cdot r_{\text{уп}} \cdot \mu_2, \quad (3.5)$$

где $r_A, r_B, r_{\text{уп}}$ – соответственно, радиусы цапф опор A, B и упорного подшипника, м;

μ_1 – коэффициент трения в радиальных подшипниках;

μ_2 – коэффициент трения в упорном подшипнике.

Динамический момент при пуске привода

$$M_{\text{дин}} = J_{\text{сис}} \cdot \varepsilon, \quad (3.6)$$

где $J_{\text{сис}}$ – суммарный момент инерции системы относительно оси Z ;

ε – угловое ускорение системы при времени ее разгона t_p .

Суммарный момент инерции системы относительно оси Z

$$J_{\text{сис}} = \sum (J_i + m_i \cdot x_i^2), \quad (3.7)$$

где J_i – момент инерции элемента системы относительно оси, проходящей через его центр массы.

Угловое ускорение системы

$$\varepsilon = \frac{\omega_{\text{кол}}}{t_{\text{пов}}}, \quad (3.8)$$

где $\omega_{\text{кол}}$ – заданная угловая скорость поворота колонны, с^{-1} ;

$t_{\text{пов}}$ – время поворота колонны, с .

Статическая мощность привода

$$P_{\text{кол}} = \frac{M_{\text{стат}} \cdot \omega_{\text{кол}}}{\eta_{\text{кол}}}, \quad (3.9)$$

где $\eta_{\text{мол}}$ – коэффициент полезного действия привода поворота колонны;

Общее передаточное число привода механизма поворота колонны

$$i_{\text{кол}} = i_{\text{зп}} \cdot i_{\text{ред}} = \frac{\omega_{\text{дв}}}{\omega_{\text{кол}}}, \quad (3.10)$$

где $i_{\text{зп}}$ – передаточное число прямозубой зубчатой передачи;

$i_{\text{ред}}$ – передаточное число червячного редуктора;

$\omega_{\text{дв}}$ – угловая скорость вала электродвигателя, с^{-1} .

Выбранный по каталогу двигатель следует проверить на пусковую способность

$$\lambda = \frac{M_{\text{стат}} + M_{\text{дин}}}{M_{\text{ном}} \cdot i_{\text{кол}}} \leq [\lambda], \quad (3.11)$$

где $M_{\text{ном}}$ и $[\lambda]$ – паспортное значение номинального момента и средняя кратность пускового момента выбранного двигателя.

Полученные зависимости использовали при расчете и конструировании опытных образцов предложенного манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси в выпускной канал для сталеразливочных ковшей различной вместимости (таблица 3.1) [79].

Таблица 3.1 – Расчетные параметры механизмов манипулятора подачи стартовой смеси системы в выпускной канал сталеразливочного ковша

Параметр	Вместимость ковша, т		
	50	100	250
Механизм поворота колонны			
Скорость поворота, рад/с	0,26	0,26	0,26
Мощность привода, кВт	0,3	0,5	1,0
Масса, кг	600	1200	2200

3.4 Разработка методики расчета энергосиловых параметров механизма перемещения тележки, несущий бункер со стартовой смесью

Для расчета энергосиловых параметров привода передвижения тележки следует рассмотреть два положения механизма.

1) Тележка с загруженным стартовой смесью бункером начинает движение из положения парковки в рабочую позицию (рисунок 3.4), при этом большая часть металлического рукава находится в горизонтальном положении.

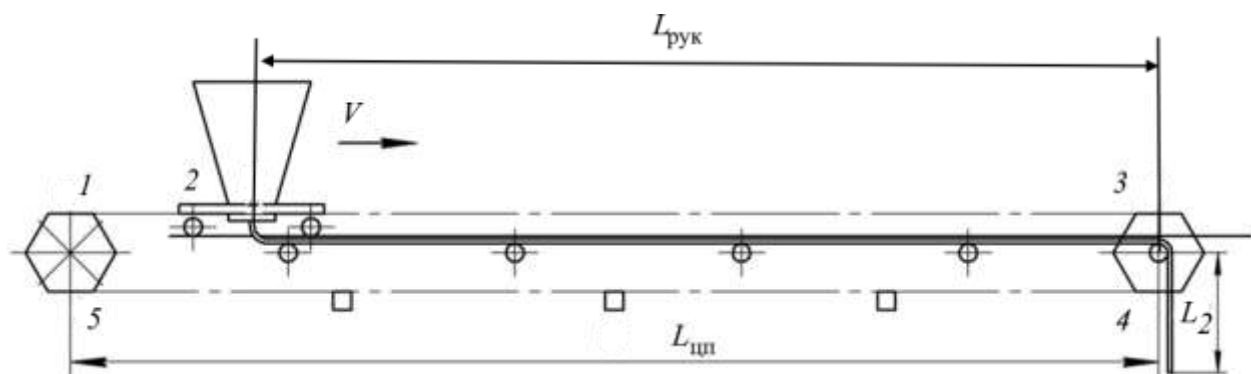


Рисунок 3.4 – Расчетная схема механизма перемещения тележки для первого (стартового) положения

2) Тележка с порожним бункером начинает движение из рабочей позиции в положение парковки (рисунок 3.5), при этом металлический рукав находится в вертикальном положении.

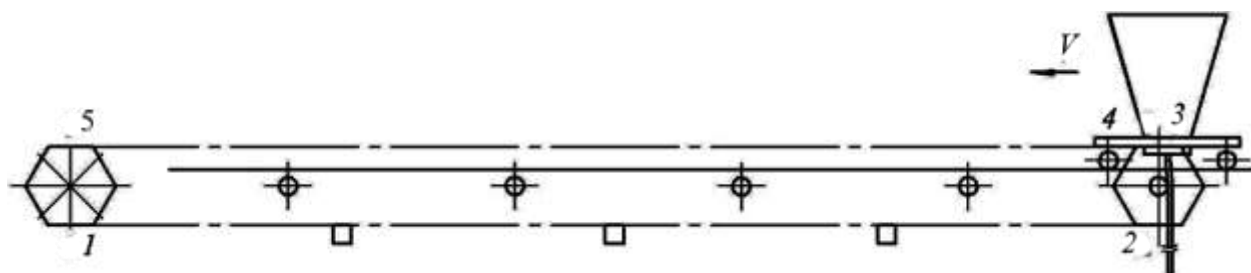


Рисунок 3.5 – Расчетная схема механизма перемещения тележки для второго (рабочего) положения

Принимаем следующие обозначения:

- $q_{цеп}$ – вес 1 м приводной цепи, Н/м;
- $q_{рук}$ – вес 1 м металлического рукава, Н/м;
- $G_{см}$ – сила тяжести стартовой смеси, загруженной в бункер, Н;
- $G_{тел}$ – сила тяжести тележки, Н;
- $L_{цеп}$ – расстояние между осями приводной и натяжной звездочек, м;
- $L_{рук}$ – длина горизонтальной части металлорукава в первом положении механизма, м;

L_2 – длина вертикальной части металлорукава в первом положении механизма, м.

При определении полной тяговой силы транспортирующих машин непрерывного действия обычно используют метод последовательного обхода по контуру, в соответствии с которым всю трассу разбивают на отдельные участки, на которых характер сопротивления движению одинаков [78]. Границы участков нумеруют, начиная с точки сбегания тягового органа с приводного элемента, и последовательно вычисляют натяжения во всех точках, используя следующее общее правило.

Натяжение F_{i+1} тягового элемента в каждой последующей $(i + 1)$ -й точке контура (по ходу обхода) складывается из натяжения F_i в предыдущей i -й точке и сопротивления движению $W_{i,(i+1)}$ на этом участке:

$$F_{i+1} = F_i + W_{i,(i+1)}, \quad (3.12)$$

где F_i и F_{i+1} – натяжения в двух соседних точках контура соответственно;

$W_{i,(i+1)}$ – сопротивление движению тягового органа на участке между этими точками.

В ходе тягового расчета механизма перемещения тележки определяют силы сопротивления и натяжения цепей на отдельных участках трассы. Тяговый расчет выполняют методом обхода контура, начиная с точки минимального натяжения цепей (точка 1) до точки с максимальным натяжением (точка 5). Наименьшее натяжение принимают в пределах $F_{\min} = 1 \dots 3$ кН (не менее 0,5 кН на одну цепь); тогда $F_1 = F_{\min}$ [78].

При движении тележки из положения парковки в рабочую позицию (см. рисунок 3.4) минимальное натяжение цепи в точке 1. По рекомендациям работы [78] можно принять $F_1 = F_{\min} = 2000$ Н.

Натяжение цепи в точках 2 и 3 из-за небольшого расстояния между точками 1 и 2 можно считать одинаковыми и равными:

$$F_5 = F_4 + q_{\text{цеп}} \cdot L_{\text{цеп}} \cdot w_{\text{ск}}, \quad (3.16)$$

где $w_{\text{ск}}$ – коэффициент сопротивления движению цепи по опорным скользящим.

После проведения расчетов строится диаграмма натяжений и определяются натяжения на сбегающей $F_{\text{сб}} = F_1$ и набегающей $F_{\text{нб}} = F_5$ ветвях тягового органа на приводном элементе. При известных значениях натяжения на сбегающей и набегающей ветвях общее тяговое усилие на приводном элементе механизма перемещения тележки:

$$F_0 = F_{\text{нб}} - F_{\text{сб}} = F_5 - F_1. \quad (3.17)$$

Необходимая мощность P_0 , кВт, на валу приводной звездочки определяется по формуле

$$P_0 = \frac{K_{\text{зап}} \cdot (F_0 + F_{\text{ин}}) \cdot V}{1000 \cdot \eta}, \quad (3.18)$$

где $K_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса мощности, $K_{\text{зап}} = 1,15 \dots 1,25$;

F_0 – тяговое усилие (окружная сила) на приводной звездочке, Н;

$F_{\text{ин}}$ – сила инерции, действующая на систему в период пуска, Н;

V – скорость перемещения тележки, м/с;

η – коэффициент полезного действия механизма передвижения тележки.

Сила инерции, действующая на систему в период пуска, можно оценить по формуле

$$F_{\text{ин}} = \frac{G_{\text{тел}} + G_{\text{см}} + G_{\text{рук}}}{g} \cdot a, \quad (3.19)$$

где g – ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

a – ускорение при пуске, которое можно принять равным $0,2 \text{ м/с}^2$ как для мостовых кранов общего назначения при гибкой подвеске груза [80].

При движении тележки из рабочей позиции в парковочную (рисунок 3.5) минимальное натяжение цепи, принимаемое равным $F_1 = F_{\min} = 2000 \text{ Н.}$, будет в точке 1.

Натяжение цепи в точке 2:

$$F_2 = F_1 + q_{\text{цеп}} \cdot L_{\text{цеп}} \cdot w_{\text{ск}}. \quad (3.20)$$

Натяжение цепи в точке 3:

$$F_3 = K_{\text{огиб}} \cdot F_2. \quad (3.21)$$

Натяжение цепи в точках 4 и 5 равны:

$$F_4 = F_3 + \left(\frac{q_{\text{цеп}} \cdot L_{\text{цеп}}}{2} + G_{\text{тел}} \right) \cdot w_{\text{тел}} + q_{\text{рук}} \cdot L_{\text{рук}} \cdot w_{\text{рук}}, \quad (3.22)$$

где $w_{\text{рук}}$ – коэффициент увеличения сопротивления движению при огибании металлическим рукавом крайнего направляющего ролика на угол до 90° , $k_{\text{рук}} = 1,03$ [78].

Тяговое усилие F_0 на приводной звездочке механизма перемещения тележки определяется по формуле (3.16), а необходимая мощность P_0 по формуле (3.17), но при этом сила инерции, действующая на систему в этот период, можно оценить по формуле

$$F_{\text{ин}} = \frac{G_{\text{тел}} + G_{\text{рук}}}{g} \cdot a, \quad (3.23)$$

По наибольшему из рассчитанных значений мощности привода для каждого из двух положений механизма и учитывая повторно-кратковременный режим работы механизма, выбирают из каталога электродвигатель, который необходимо проверить на пусковую способность и нагрев.

Передаточное число редуктора привода:

$$i_{ред} = \frac{\omega_{дв}}{\omega_{зв}}, \quad (3.24)$$

здесь $\omega_{дв}$ – угловая скорость вала двигателя;

$\omega_{зв}$ – угловая скорость приводной звездочки, определяемая по формуле

$$\omega_{зв} = \frac{2 \cdot V}{D_{зв}}, \quad (3.25)$$

где V – скорость движения тележки, м/с;

$D_{зв}$ – диаметр делительной окружности приводной звездочки, м.

Полученные зависимости использовали при расчете и конструировании опытных образцов предложенного манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси в выпускной канал для сталеразливочных ковшей различной вместимости (таблица 3.2) [80].

Таблица 3.2 – Расчетные параметры механизмов манипулятора подачи стартовой смеси системы в выпускной канал сталеразливочного ковша

Параметр	Вместимость ковша, т		
	50	100	250
Механизм перемещения тележки			
Скорость движения, м/с	0,3	0,4	0,5
Мощность привода, кВт	0,12	0,15	0,2
Абсолютная погрешность позиционирования, мм	10	15	20
Относительная погрешность позиционирования, %	0,3	0,4	0,5
Масса, кг	120	200	320

3.5 Модельные исследования манипулятора для подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша с целью стабилизации процесса плавки

3.5.1 Разработка физической модели манипулятора для подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша

С целью практической проверки правильности принятых технических решений, заложенных в конструкцию предложенной системы механизированной подачи стартовой смеси в канал разливочного стакана ковша, и оценки корректности полученных зависимостей для расчета энергосиловых параметров входящих в ее состав механизмов, с учетом рекомендаций, приведенных в работах [81 - 85], спланировали и провели лабораторный эксперимент по описанной ниже методике.

Для проведения лабораторных исследований рассчитали, спроектировали и с учетом рекомендации работ [86 - 88], изготовили натуральный образец предложенного манипулятора в масштабе 1:5, соответствующем условиям обслуживания 100-тонного разливочного ковша (рисунок 3.6).

В состав предложенного манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси системы в выпускной канал сталеразливочного ковша входили механизм поворота колонны, механизм перемещения тележки и сама тележка с расходным бункером, к нижней части которого прикреплен гибкий трубопровод.

На рисунках 3.7 - 3.9 показано конструктивное исполнение соответственно тележки, несущей расходный бункер со стартовой смесью; цепной передачи механизма перемещения тележки, а также узлов ее ведущей и ведомой звездочек.



Рисунок 3.6 – Действующий натуральный образец манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси в канал разливного стакана ковша



Рисунок 3.7 – Общий вид тележки с размещенным на ней бункером

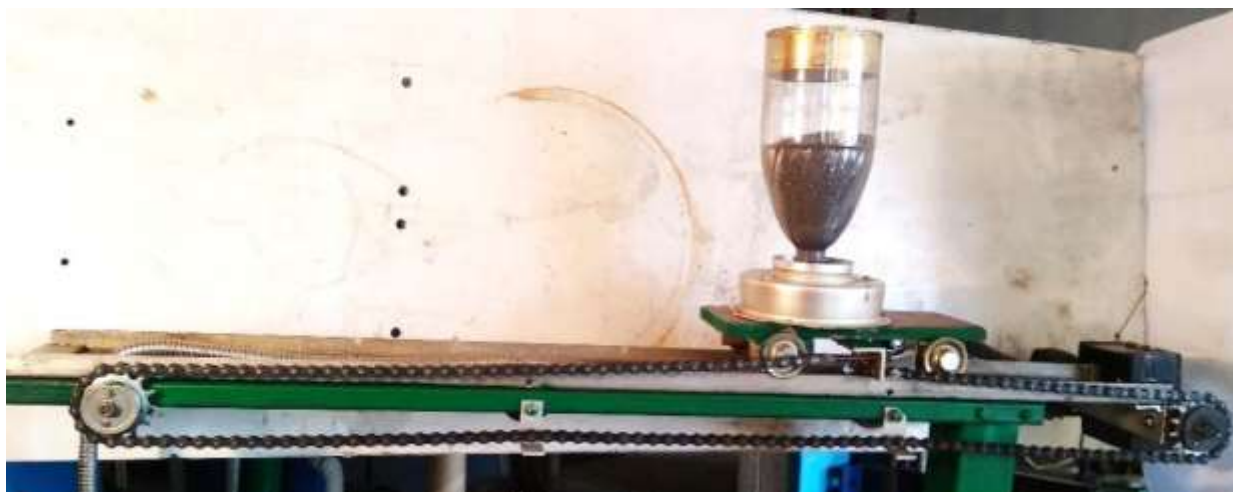


Рисунок 3.8 – Цепная передача механизма перемещения тележки, несущей расходный бункер со стартовой смесью



а



б

Рисунок 3.9 – Узлы ведущей (а) и ведомой (б) звездочек цепной передачи

3.5.2 Разработка контрольно-измерительной аппаратуры для фиксации значений крутящего момента

Для фиксации значений крутящих моментов, развиваемых приводами механизмов предложенной системы механизированной подачи стартовой смеси во время ее работы, использовали контрольно-измерительный комплекс, который позволял реализовать тензометрический метод исследования напряженно-деформированного состояния нагруженных деталей машин как в лабораторных, так и в промышленных условиях [89 - 95].

В случае контроля крутящего момента или вызываемой им деформации кручения относительное расположение тензодатчиков на поверхности объекта должно соответствовать приведенному на рисунке 3.10.

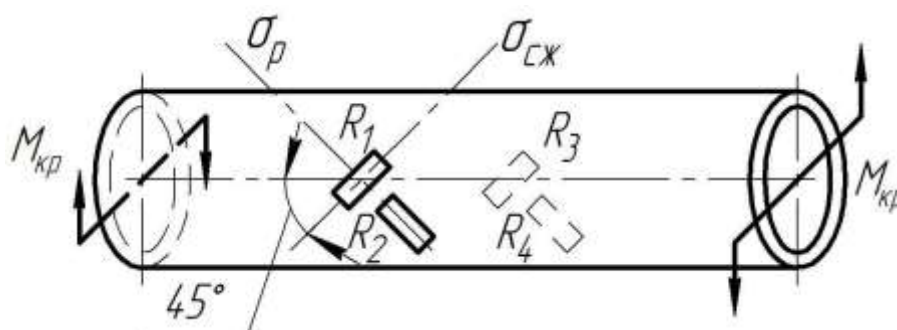


Рисунок 3.10 – Схема расположения тензодатчиков при контроле крутящего момента

При этом необходимо соблюдать условие относительно выбора сопротивления тензодатчиков, включаемых в мостовую схему:

$$R_1 \cdot R_2 = R_3 \cdot R_4 \quad (3.26)$$

В соответствии с отмеченными условиями, для проведения экспериментальных исследований использовали тензорезисторный преобразователь, который конструктивно выполнен в виде гильзы, установленной в подшипниках скольжения и помещенной в металлическую коробку с прозрачной передней стенкой (фото на рисунке 3.11).

На поверхность гильзы под углом 45° к ее продольной оси наклеены тензорезисторы, включенные в мостовую схему. Сопротивление фольговых датчиков 200 Ом. Крутящий момент определяется путем измерения деформаций кручения, поскольку главные нормальные напряжения при этом направлены под углом 45° к оси гильзы. Для съема электрического сигнала с измерительной диагонали моста сопротивлений и подключения к нему источника питания на гильзе установлены изолированные от ее корпуса медные кольца, контактирующие своей наружной поверхностью с токопроводящими

шинами, концы которых соединены с разъемом, вмонтированным в боковую стенку коробки.

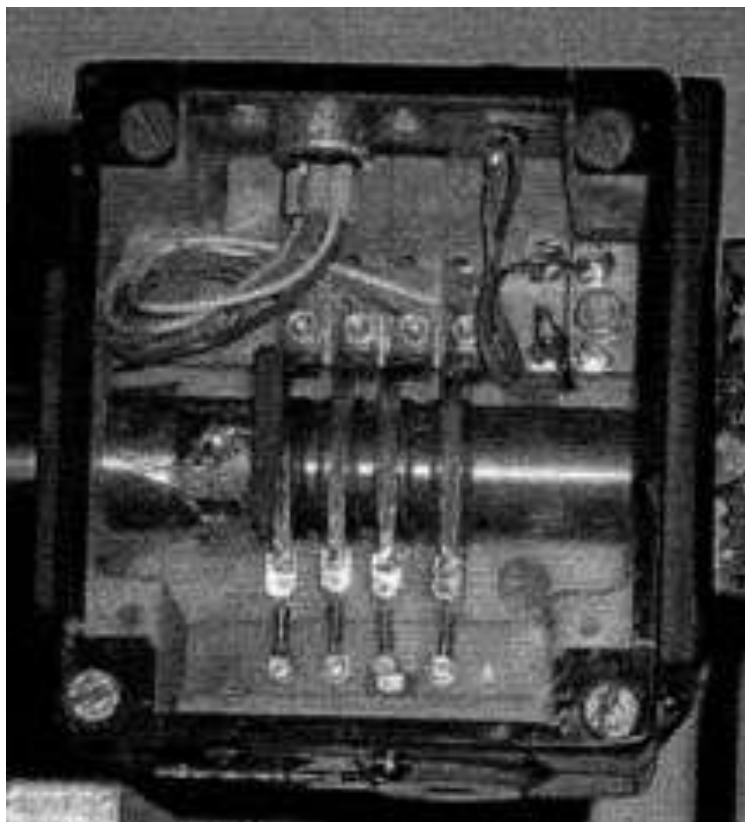


Рисунок 3.11 – Конструктивное исполнение тензорезисторного преобразователя для контроля крутящего момента

С учетом рекомендаций работы [96], сопряжение датчиков данного тензорезисторного преобразователя с компьютером IBM PC осуществляли с помощью экранированного кабеля, подключаемого к измерительной системе, в состав которой входили 4-х канальный усилитель переменного тока, аналого-цифровой преобразователь и компьютер (рисунок 3.12). Электрический сигнал, снимаемый с выхода моста сопротивлений, после усиления и преобразования в цифровой код поступал в системный блок для обработки и последующей распечатки. Обработку осуществляли при помощи прикладной программы OSCILLOSCOPE фирмы L-CARD, поставляемой в комплексе с АЦП. Частота дискретизации аналогового сигнала, в соответствии с рекомендациями работы [97], составляла 10 кГц.

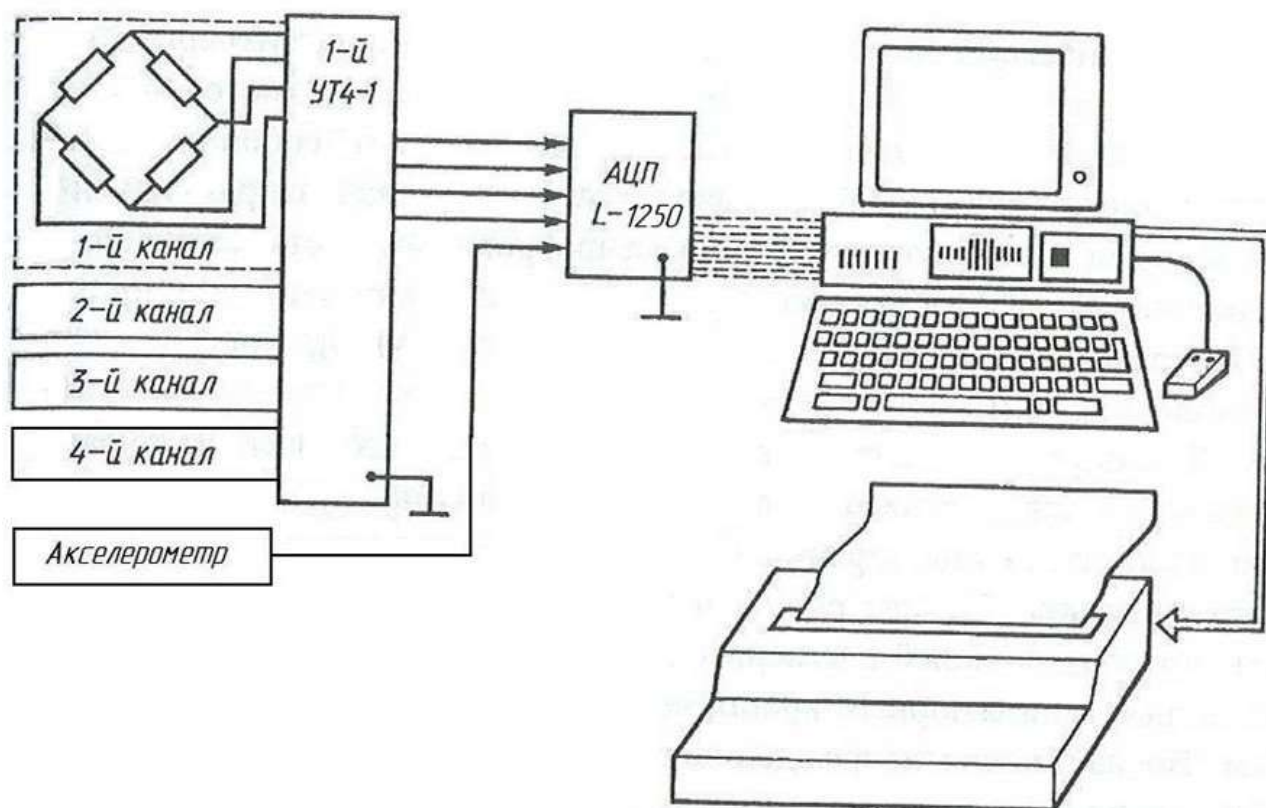


Рисунок 3.12 – Контрольно-измерительный комплекс для фиксации значений крутящего момента

Предварительно перед началом проведения измерений выполнили тарировку преобразователей. При тарировке один конец гильзы преобразователя, как показано на рис. 3.13, жестко закрепляли на консоли, а к другому ее концу с плечом R прикладывали крутящий момент при помощи прикрепленного к нему рычага и навешиваемых на него грузов с известной массой m .

Рассчитанное значение момента $M_{кр} = m \cdot g \cdot R$ заносилось в компьютер, где также сохранялся соответствующий ему сигнал в виде цифрового кода $\Pi_{АЦП}$. Результаты измерений при выполнении тарировки преобразователя приведены в таблице 3.2.



Рисунок 3.13 – Схема тарировки тензорезисторного преобразователя

Таблица 3.3 – Результаты измерений при выполнении тарировки преобразователя

$M_{кр}, Н \cdot м$	0,12	0,42	1,28	2,12	5,14	5,99	6,82
$\Pi_{АЦП}$	25	87	263	435	1050	1230	1400

По полученным данным, которые приведены в таблице 3.1, построили график тарировочной зависимости, показанный на рисунке 3.14.

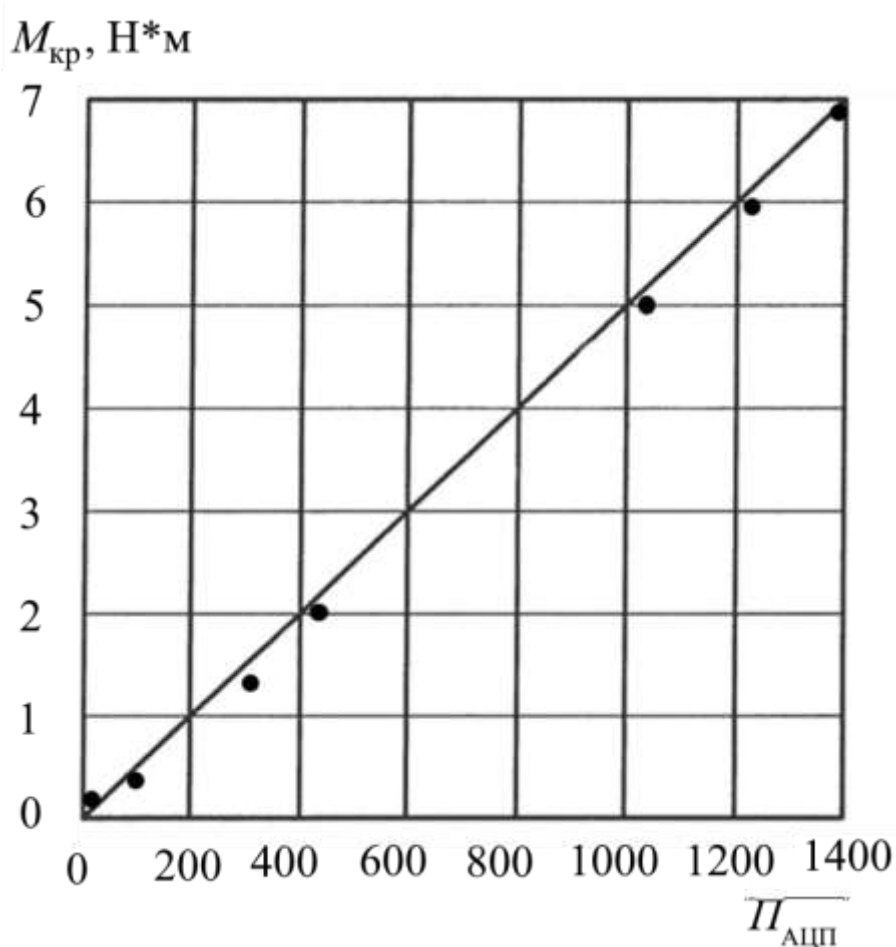


Рисунок 3.14 – График тарировочной зависимости, точками отмечены экспериментальные данные

По методике, приведенной в работе [98]. определили эмпирическую зависимость между входной величиной X (крутящий момент M) и выходной величиной Y ($\Pi_{АЦП}$ - коды АЦП). В качестве математической зависимости

использована линейная функция $Y = a_0 + a_1 \cdot X$, где a_0 и a_1 – коэффициенты регрессии. После математической обработки получили следующее уравнение

$$M_{кр} = 0,00488 \cdot P_{\text{АЦП}} - 0,0017. \quad (3.27)$$

Обработка результатов тарировки преобразователя по методике, приведенной в работах [99, 100], показала, что погрешность измерений при его применении не превышает 5%.

3.5.3 Методика проведения экспериментальных исследований и анализ полученных результатов

Запланированный эксперимент предполагал проведение измерений крутящих моментов, развиваемых приводами механизмов поворота колонны и перемещения тележки исследуемого манипулятора для подачи стартовой смеси, а также оценку обеспечиваемой точности позиционирования.

Для контроля крутящих моментов тензорезисторный преобразователь последовательно устанавливали в местах, показанных на рисунках 3.15 и 3.16.

При тестировании привода механизма поворота колонны тензорезисторный преобразователь выполнял функцию муфты, передающей крутящий момент от выходного вала червячного мотора-редуктора вертикальному валу-шестерни, находящемуся в зацеплении с зубчатым венцом опорного диска.

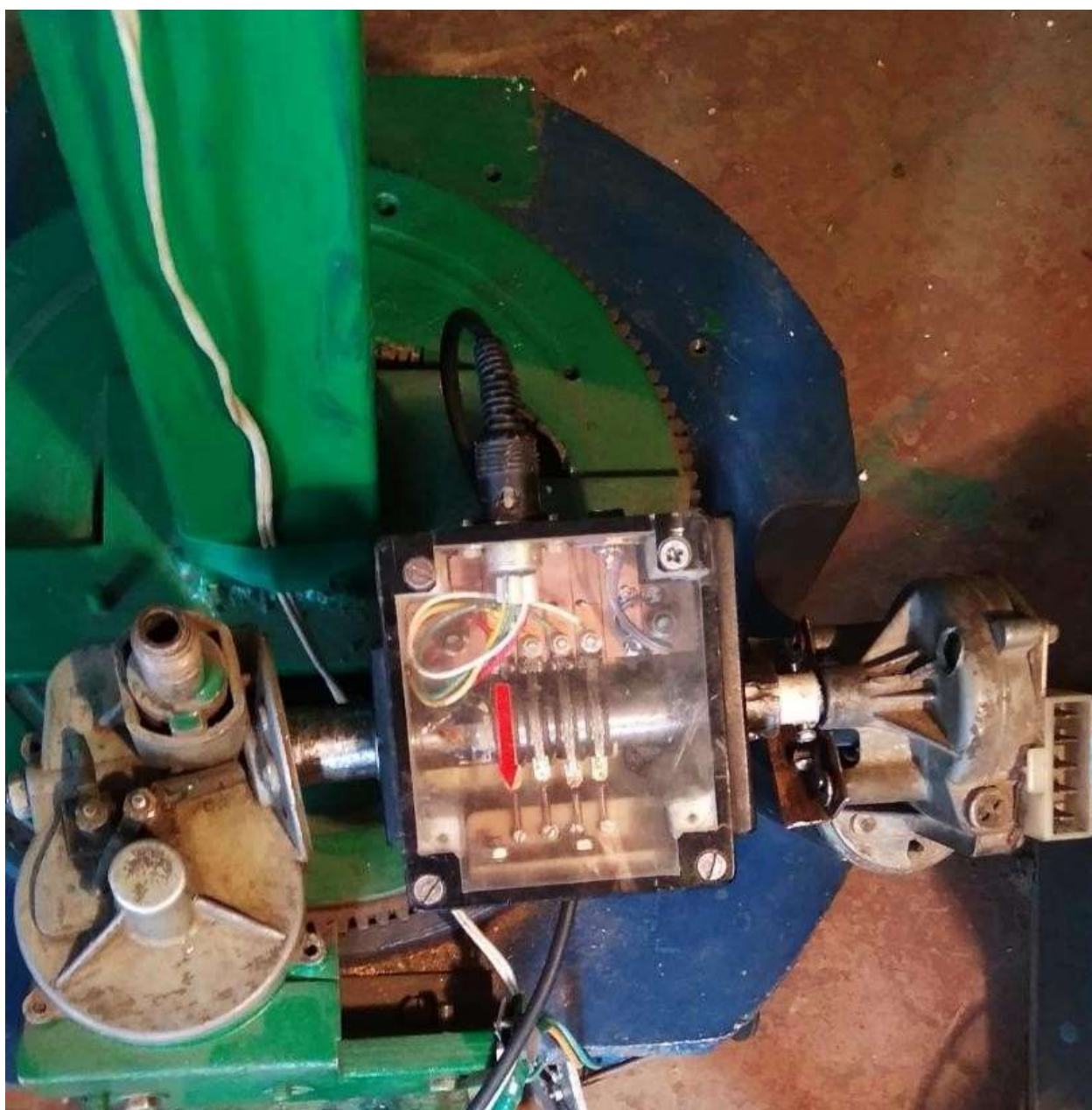


Рисунок 3.15 – Место размещения тензорезисторного преобразователя при измерении крутящего момента, развиваемого приводом механизма поворота
КОЛОННЫ

Во время тестирования привода механизма перемещения тележки преобразователь размещали между червячным редуктором и ведущей звездочкой цепной передачи как показано на рисунке 3.16. При этом гильза преобразователя выполняла функцию муфты, передающей крутящий момент от вала червячного мотора-редуктора к валу ведущей звездочки цепной передачи.

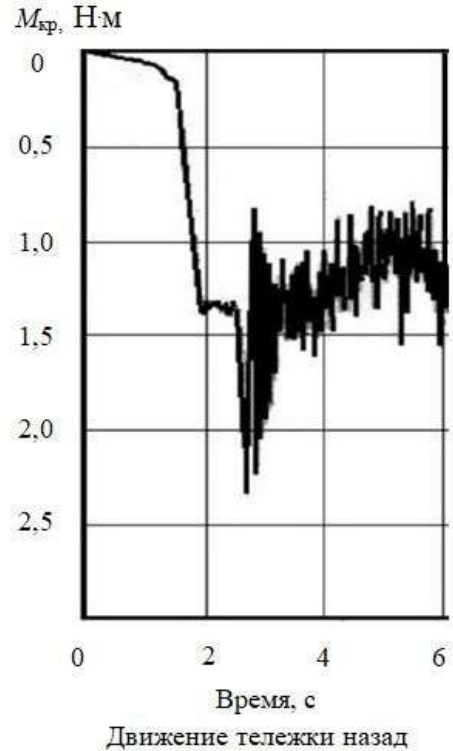
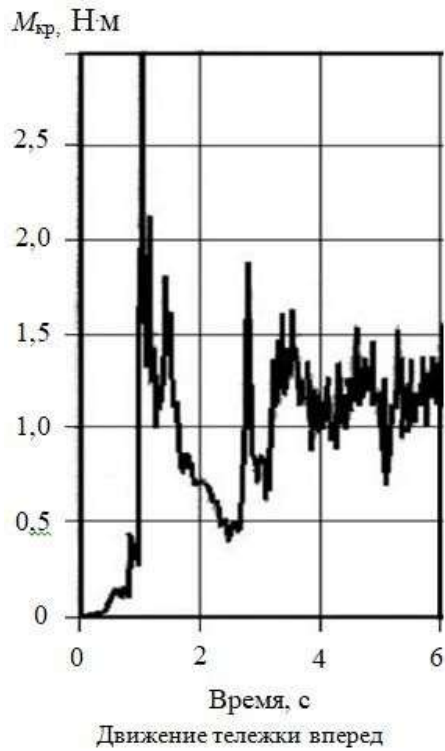


Рисунок 3.16 – Место установки тензорезисторного преобразователя при тестировании работы механизма перемещения тележки системы подачи стартовой смеси

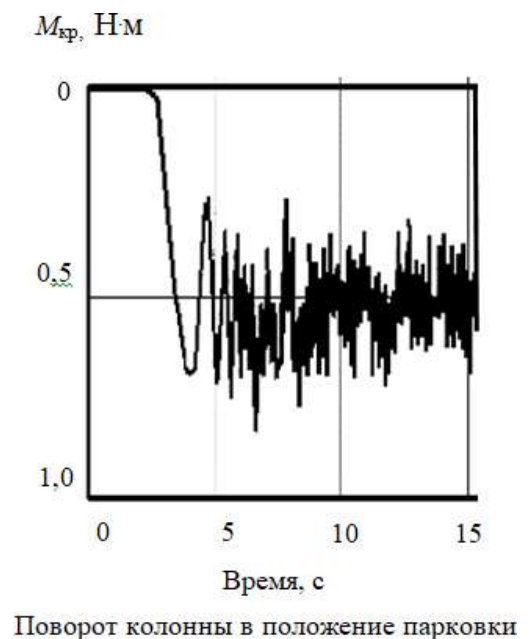
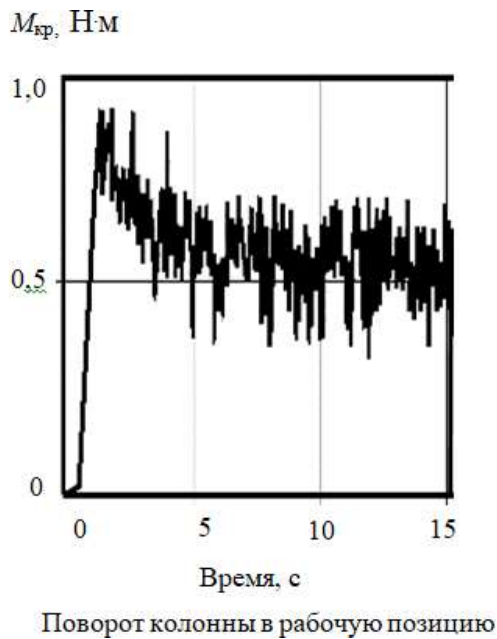
Измерение крутящих моментов, обеспечиваемых приводами соответствующих механизмов, проводили в следующей последовательности. После балансировки моста сопротивлений тензорезисторного преобразователя включали режим записи сигнала и осуществляли пуск привода тестируемого механизма лабораторного образца разработанной системы подачи стартовой смеси, осуществляя в режиме реального времени визуальный контроль

изменения амплитуды регистрируемого сигнала по его изображению на экране монитора. Запись сигнала прекращали в момент остановки механизма в нужном положении. При этом система контроля в автоматическом режиме осуществляла обработку записи сигнала и выводила на экран его визуальное представление, которое можно было распечатать на принтере (рисунок 3.17).

Данные статистической обработки результатов экспериментальных исследований сопоставили со значениями крутящих моментов, которые развивались приводами соответствующих механизмов лабораторного образца манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси, в соответствии с предложенной методикой расчета ее энергосиловых параметров [101]. Расхождение между рассчитанными и экспериментальными данными для механизмов поворота колонны и перемещения тележки лабораторного образца находилось соответственно в пределах 10–12 % и 1315%, что свидетельствует о возможности использования разработанной методики для инженерных расчетов промышленного оборудования данного класса.



а

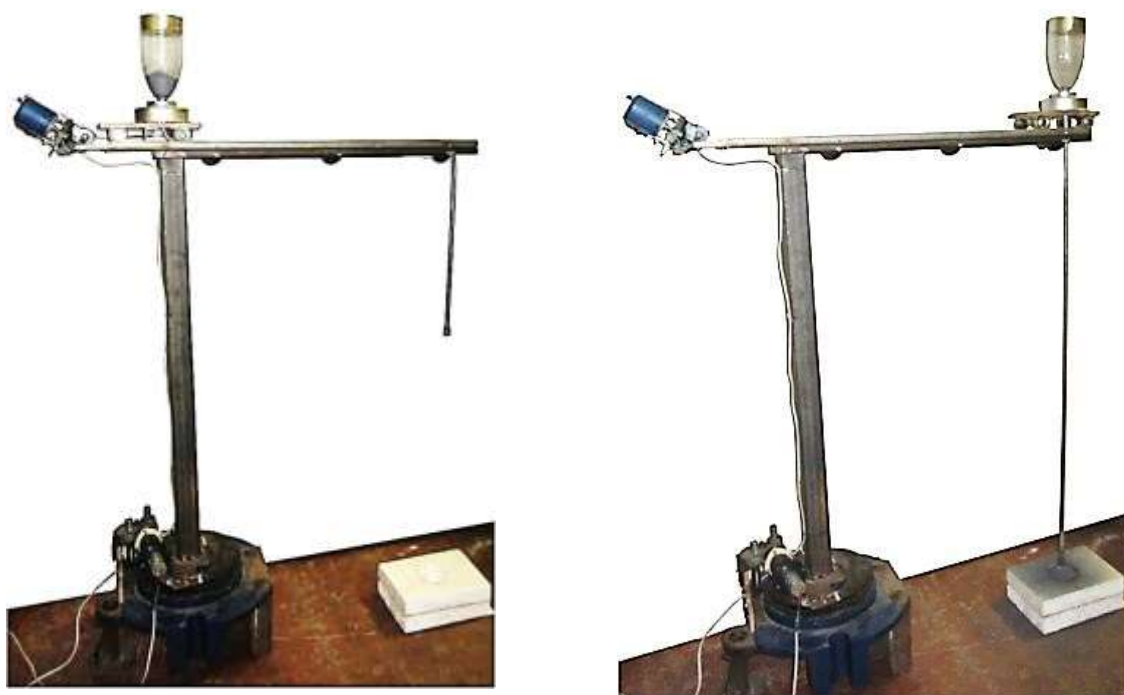


б

Рисунок 3.17 – Характерные виды регистрировавшихся сигналов при контроле крутящего момента, развиваемого приводами механизмов поворота колонны (а) и перемещения каретки (б)

Второй этап лабораторных исследований был связан с оценкой точности позиционирования металлического рукава относительно центральной продольной оси модели выпускного канала сталеразливочного ковша, а также стабильности процесса его заполнения сыпучим материалом.

При этом проверили последовательное функционирование механизмов поворота колонны и передвижения тележки и оценили вносимую ими долю погрешности позиционирования металлического рукава относительно выпускного канала ковша. С этой целью предварительно выполнили настройку конечных выключателей, обеспечивающих остановку подвижных элементов исследуемой системы в нужных положениях (рисунок 3.18) относительно емкости, имитирующей верхнюю часть выпускного канала сталеразливочного ковша.



a

б

a – исходное положение; *б* – конечное положение

Рисунок 3.18 – Лабораторный образец манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси в канал ковшового затвора в исходном (*a*) и конечном (*б*) положениях

Затем многократно осуществили перевод манипулятора из исходного положения в рабочее и визуально контролировали процесс взаимодействия подвижно сопряженных деталей и точность подачи сыпучего материала в полость модели выпускного канала ковша. За абсолютную погрешность позиционирования принимали измеренное смещение оси металлического рукава относительно оси выпускного канала. Для обеспечения наглядности и облегчения проведения измерений на поверхность модели гнездового кирпича размещали покрытую белой краской пластину с нанесенными на нее тремя окружностями, обозначающими в плане соответственно контуры входного отверстия канала разливочного стакана, его верхней торцевой поверхности, а также верхнее отверстие конической горловины гнездового блока разливочного узла ковша (рисунок 3.19).



Рисунок 3.19 – Гнездовой блок выпускного канала модели сталеразливочного ковша заполненный смесью

В центре выходного отверстия металлорукава закрепляли капилляр с красителем. После этого осуществляли позиционирование металлорукава относительно центра пластины поочередно поворачивая колонну и затем перемещая тележку вдоль консоли в конечные положения. При этом металлорукав автоматически опускался вниз до момента касания размещенного в его выходном отверстии капилляра с поверхностью белой пластины, в результате чего на ней появлялась отметина в виде точки. Расстояние между этой точкой и центром окружностей, нанесенных на пластине, являлось абсолютной погрешностью позиционирования металлического рукава относительно центральной оси сталевыпускного канала ковша. В указанной последовательности выполнили 10 циклов позиционирования металлического рукава относительно центра входного отверстия разливочного стакана.

После изъятия пластины осуществили измерения значений абсолютной погрешности позиционирования $\Delta_{\text{абс}}$ и установили их пределы изменения (рисунок 3.20).

Относительную погрешность позиционирования $\Delta_{\text{отн}}$ рассчитывали, как отношение абсолютной погрешности $\Delta_{\text{абс}}$ к минимальному расстоянию L_{min} от оси ближайшей к основанию системы кинематической пары (т.е. поворотной колонны) до границы рабочей зоны:

$$\Delta_{\text{отн}} = \frac{\Delta_{\text{абс}}}{L_{\text{min}}} \cdot 100\%, \quad (3.28)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 3.3.

Осредненное значение относительной погрешности позиционирования при моделировании определяли, как среднеарифметическое по результатам 10 измерений, составившее 1,54 %.

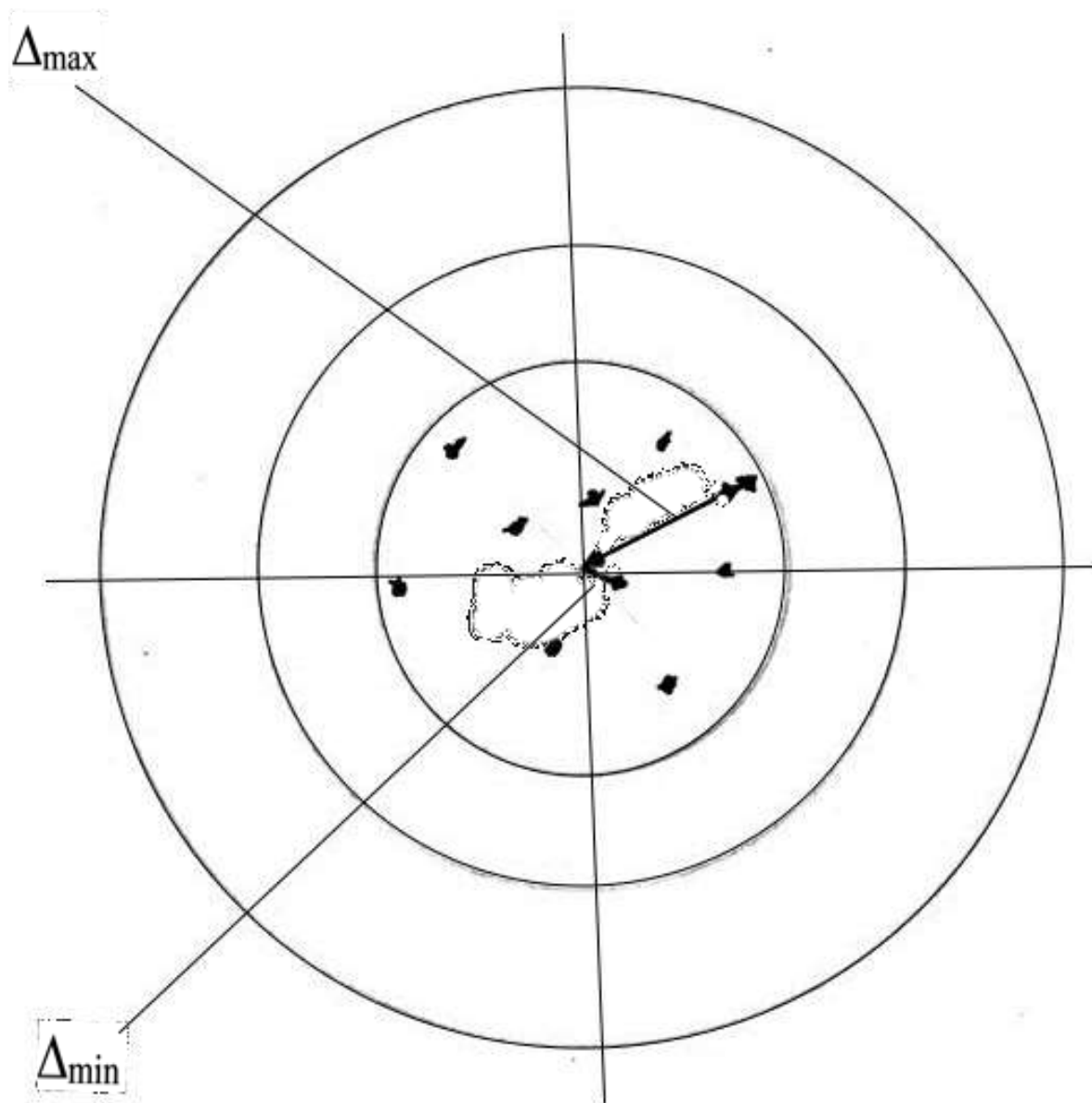


Рисунок 3.20 – Визуальное отображение результатов контроля абсолютной погрешности позиционирования металлорукава относительно центра канала модели разливочного стакана

3.6 Повышения точности позиционирования манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси при промышленном использовании

В условиях промышленного применения методов непрерывной разливки стали длинными сериями малейшие отклонения при засыпке стартовой смеси недопустимы, так как они ведут к несанкционированному спеканию канала и

последующему загрязнению стали неметаллическими включениями при вынужденном прожигании. Повышение точности позиционирования манипулятора выступает абсолютной гарантией стабильности начального этапа разлива продуктов плавки. В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований удалось не только обосновать рациональные параметры механизмов, входящих в состав предложенного манипулятора, но и выявить так называемое «узкое место» при ее эксплуатации.

Таблица 3.4 Погрешности позиционирования, полученные для лабораторного образца системы подачи стартовой смеси

№ опыта	Абсолютная погрешность позиционирования $\Delta_{\text{абс}}$, мм	Значение L_{min} , мм	Относительная погрешность позиционирования $\Delta_{\text{отн}}$, %
1	4	800	0,5
2	14	800	1,75
3	11	800	1,38
4	9	800	1,12
5	21	800	2,62
6	12	800	1,5
7	20	800	2,5
8	9	800	1,13
9	15	800	1,88
10	8	800	1

Значения абсолютной погрешности позиционирования для промышленного манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси,

полученные путем пересчета данных лабораторного эксперимента с учетом масштаба использовавшейся действующей натурной модели, свидетельствовали о том, что точная подача сыпучего материала в выпускной канал сталеразливочного ковша может быть обеспечена только при четко зафиксированных координатах вертикальной оси этого канала. Однако в производственных условиях при установке ковша на стенд этого добиться невозможно, поскольку по ряду причин координаты центра входного отверстия выпускного канала ковша во время его размещения на монтажном стенде будут постоянно меняться, что потребовало внесения изменений в конструкцию ранее предложенной системы механизированной подачи стартовой смеси. Эти изменения с учетом рекомендаций, приведенных в работах [102 - 105], были направлены на обеспечение возможности проведения предварительной коррекции относительно центра входного отверстия выпускного канала ковша блока системы, удерживающего гибкий металлический рукав.

С целью минимизации срока выполнения разработки модернизированного манипулятора прибегли к комплексному использованию компьютерного и физического моделирования, в ходе которого оперативно выполняли проверку правильности принимаемых технических решений еще на стадии проектирования опытного образца.

Суть конструктивных изменений поясняет рисунок 3.21, на котором показана схема модернизированной системы. Она располагается рядом с размещенным на подготовительном стенде сталеразливочным ковшом 1 и включает колонну 2, установленную на основании с возможностью поворота с помощью привода 3 и несущую консоль, выполненную из двух жестко связанных между собой поперечиной 4 балок 5. На этих балках смонтированы две продольные направляющие 6, жестко связанные между собой перемычками 7, 8 и имеющие возможность относительного перемещения с помощью винтового механизма, закрепленного на жестко связанной с поворотной колонной 2 раме 9. Он включает мотор-редуктор 10 с винтовой передачей, винт 43 которой установлен в опорах 11, 12, а гайка 13 закреплена снизу на

перемычке 8. На продольных направляющих 6 установлены колесные пары тележки 14, поддерживающей бункер 15 с сыпучей стартовой смесью.

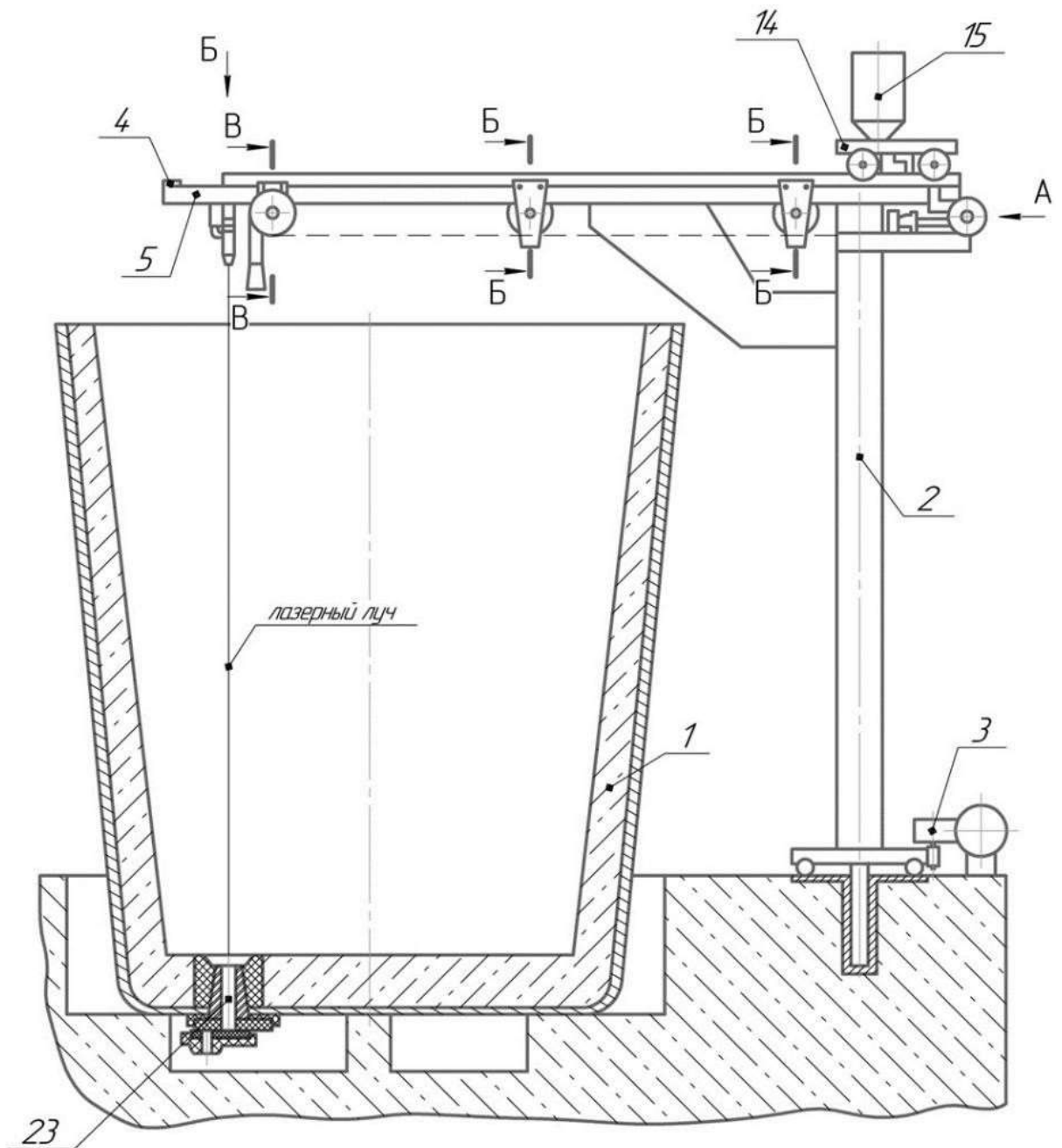


Рисунок 3.21 Конструктивная схема модернизированного манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша (начало).

Примечание. Расшифровка позиций приведена в тексте.

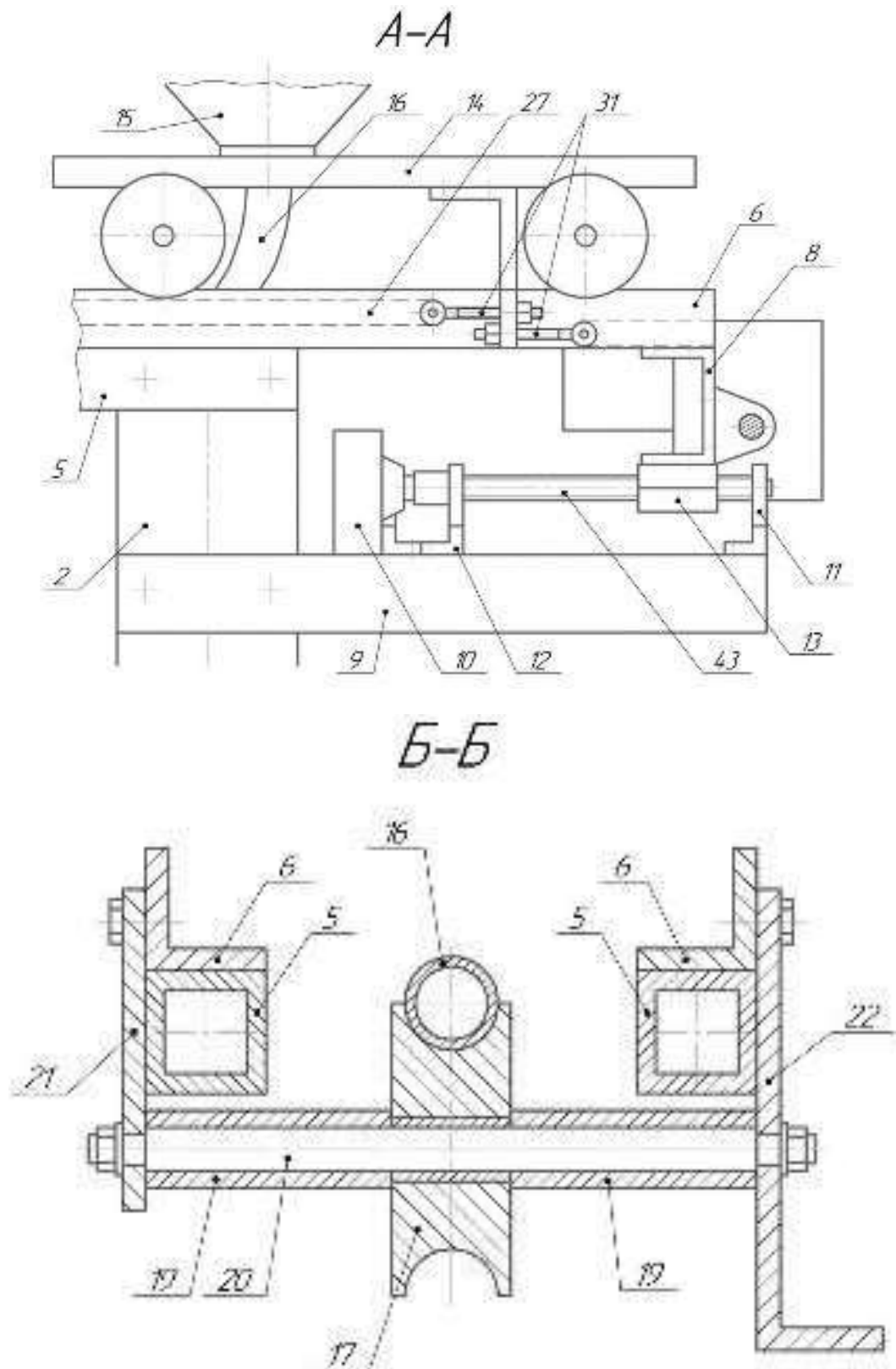


Рисунок 3.21 Конструктивная схема модернизированной системы механизированной подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша (продолжение)

Примечание. Расшифровка позиций приведена в тексте.

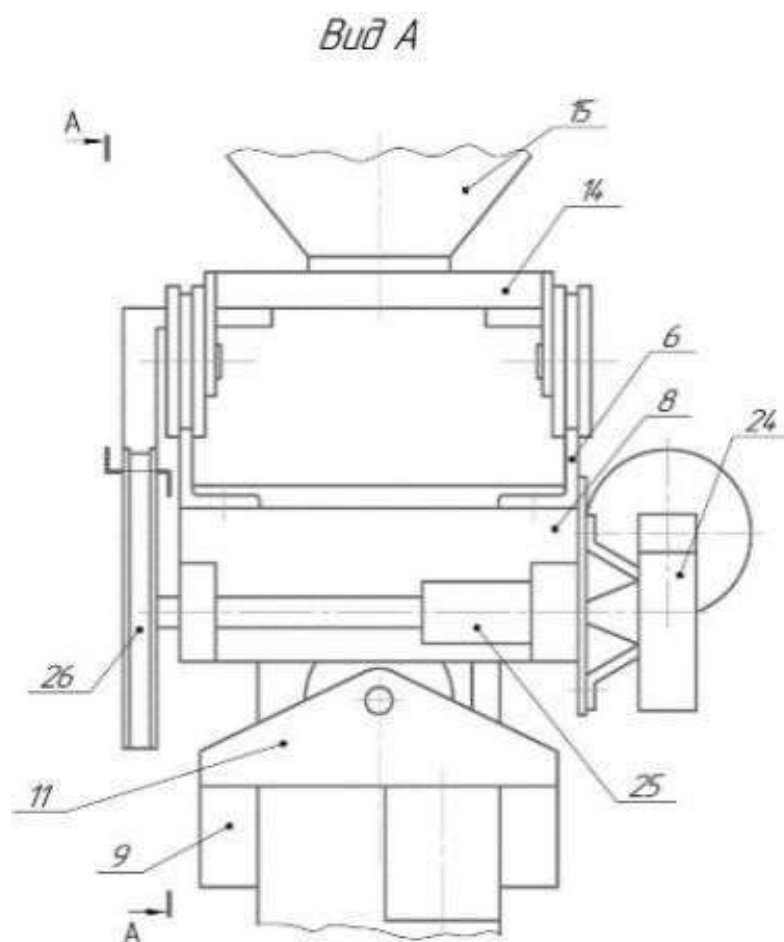
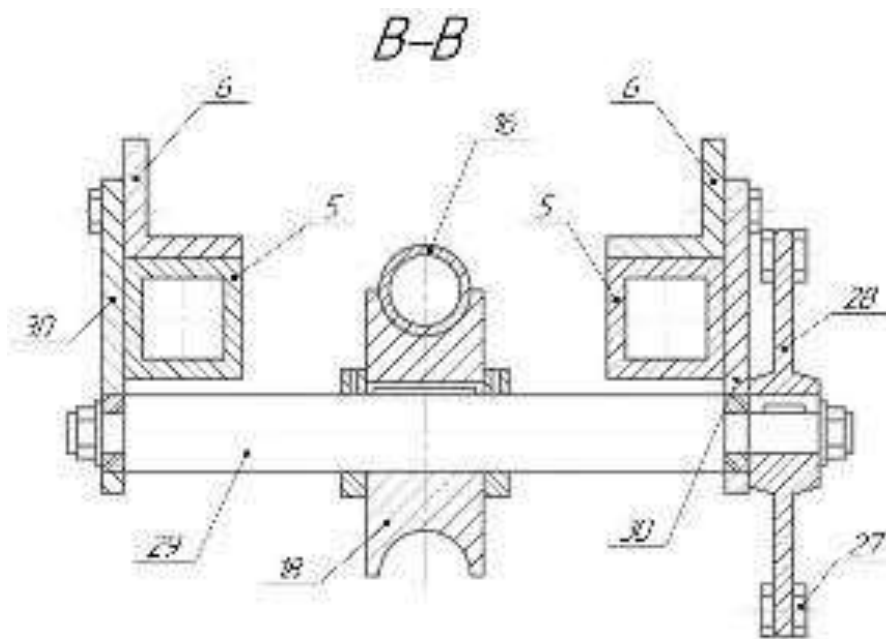


Рисунок 3.21 Конструктивная схема модернизированной системы механизированной подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша (продолжение)

Примечание. Расшифровка позиций приведена в тексте.

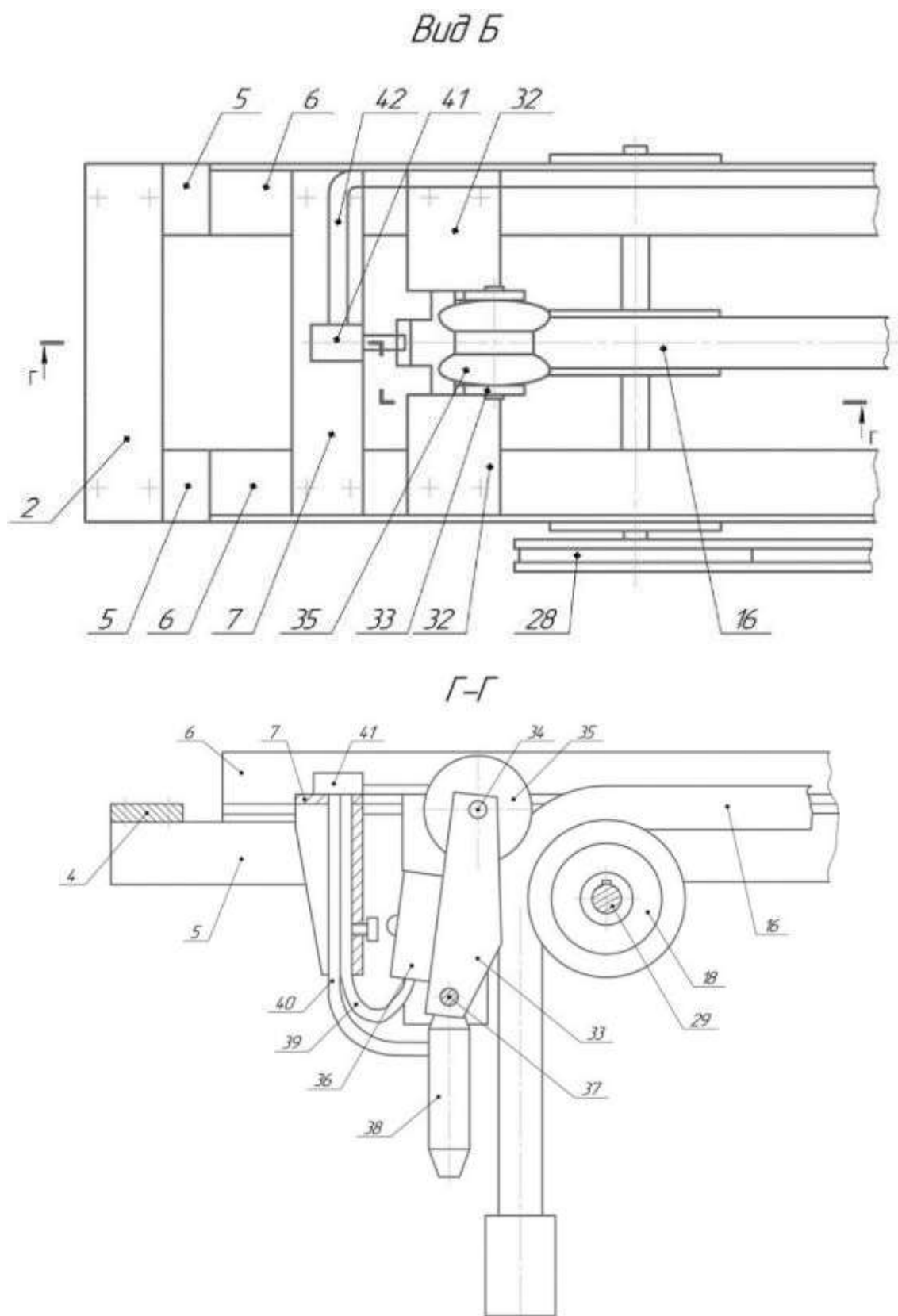


Рисунок 3.21 Конструктивная схема модернизированной системы механизированной подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша (окончание)

Примечание. Расшифровка позиций приведена в тексте.

К нижней части бункера прикреплен гибкий металлический рукав 16, располагаемый в горизонтальном положении на двух опорных роликах 17 и огибающий своей передней частью шкив 18. Каждый из опорных роликов центрируется втулками 19 на оси 20, концы которой закреплены на двух вертикально расположенных пластинах 21, 22, жестко связанных с продольными направляющими 6 и контактирующими с наружными боковыми поверхностями балок 5 консоли. При этом тележка 15 имеет возможность перемещения по продольным направляющим 6 с помощью цепного привода в положение, в котором гибкий металлический рукав 16 может занять вертикальное положение и обеспечить пересыпание по нему самотеком стартовой смеси из бункера 15 в выпускной канал 23 сталеразливочного ковша. Конструктивные особенности цепного привода тележки 14 отображены на рисунке 3.21. Он включает червячный мотор-редуктор 24, выходной вал которого связан с трансмиссионным валом 25, несущим на конце ведущую звездочку 26, передающую посредством пластинчатой цепи 27 вращение ведомой звездочке 28. Эта звездочка жестко связана с хвостовиком вала 29, подшипниковые опоры которого установлены на вертикально расположенных пластинах 30, смонтированных на передних частях продольных направляющих 6. Между этими пластинами на валу 29 посредством шпоночного соединения жестко закреплен шкив 18, находящийся в одной вертикальной плоскости с опорными роликами 17 гибкого металлического рукава 16. Шкив 18 имеет кольцевую канавку, форма которой соответствует половинному поперечному сечению гибкого металлического рукава 16, а диаметр шкива по максимальному углублению кольцевой канавки равен диаметру опорной части ходового колеса тележки 14. Пластинчатая цепь 27, обвивающая звездочки 26 и 28, своими концами связана с рамой тележки 14 с помощью натяжных винтов 31, а ее нижняя ветвь поддерживается пластинами 22, уменьшающими ее провисание.

Натурное исполнение механизма перемещения платформы относительно удлиненной верхней консоли показано на рисунке 22.



Рисунок 3.22 – Натурное исполнение механизма перемещения платформы относительно удлиненной верхней консоли

Для управления согласованной работой механизмов перемещения жестко связанных между собой продольных направляющих 6 и тележки 14 служит система автоматики (рисунок 3.21, сечение Г-Г), включающая установленный в закрепленных на продольных направляющих 6 опорах поворотный рычаг 33, несущий на оси 34 профилированный ролик 35 и прижимающий им гибкий металлический рукав 16 к шкиву 18. На наружной части поворотного рычага 33 установлен конечный выключатель 36, а к горизонтальной оси 37 рычага прикреплен с обеспечением самоустановки в вертикальном положении помещенный в теплозащитный корпус лазерный визир-дальномер 38. Электрическая связь конечного выключателя и лазерного визира-дальномера осуществляется посредством защищенных от перегрева кабелей 39 и 40, подключенных к распределительной коробке 41, которая закреплена на перемычке 7 и стыкуется с защитным трубопроводом 42, экранирующим электрическую проводку.

Натурное исполнение механизма перемещения платформы относительно удлиненной верхней консоли показано на рисунке 3.23.

Принцип работы предложенного устройства следующий. Перед началом проведения операции по заполнению стартовой смесью выпускного канала 23 сталеразливочного ковша 1 поворотная колонна 2 балками 5 несущей консоли отвернута в сторону для возможности его установки краном на монтажный стенд. После размещения ковша на стенде по команде оператора с помощью механизма 3 колонну 2 поворачивают на требуемый угол относительно сталеразливочного ковша 1 и останавливают в положении, при котором продольная ось несущей консоли будет проходить через центр входного отверстия его выпускного канала 23, продольные направляющие 6 и тележка 14, поддерживающая заполненный стартовой смесью бункер 15, находятся в исходной позиции как показано на рисунке 3.23.

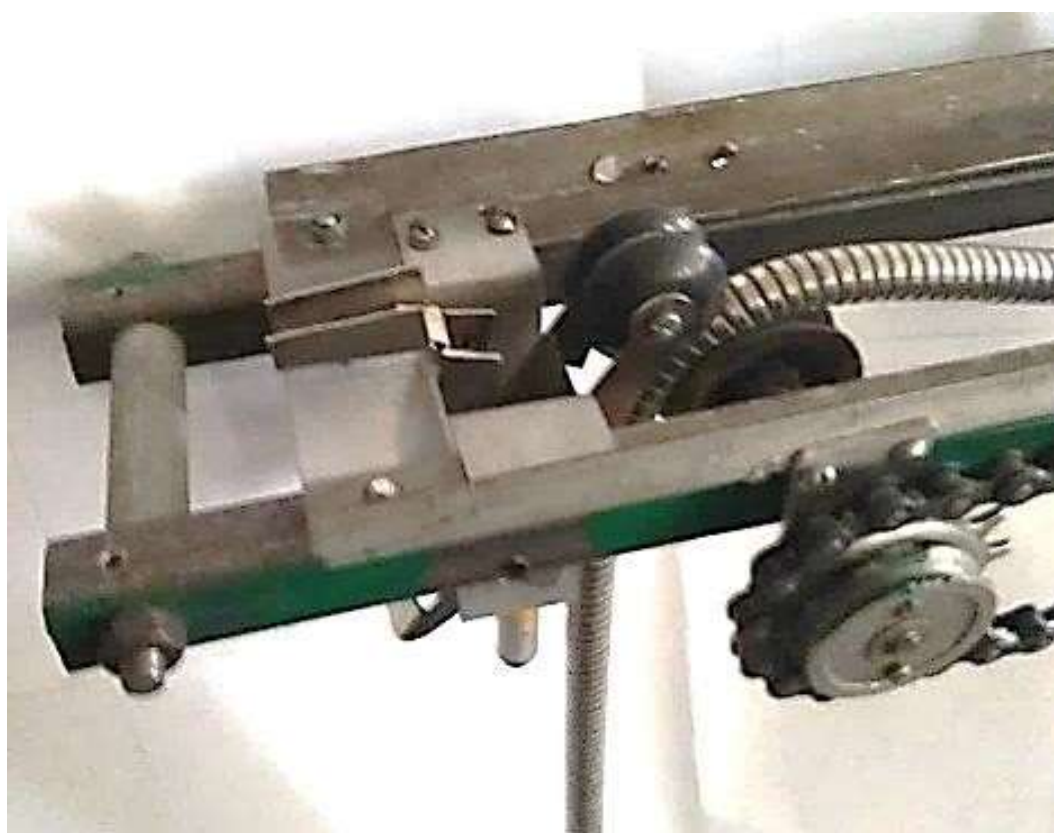


Рисунок 3.23 – Натурное исполнение элементов системы автоматизации, регулирующей работу механизма перемещения платформы

Гибкий металлический рукав 16, соединенный задним концом с нижней частью бункера 15, располагается в горизонтальном положении на опорных роликах 17. Передняя его часть, огибающая шкив 18, прижимается к нему профилированным роликом 35, удерживаемым поворотным рычагом 33. После этого включают лазерный визир-дальномер 38 и запускают винтовой механизм, размещенный на горизонтальной раме 10. Его мотор-редуктор 10, вращая ходовой винт 43, находящийся в зацеплении с гайкой 13, закрепленной снизу на задней перемычке 8, обеспечивает перемещение продольных направляющих 6 по балкам 5 несущей консоли в сторону выпускного канала 23 сталеразливочного ковша 1, о чем будет свидетельствовать движущаяся по поверхности футеровки его днища светящаяся точка от лазерного луча визира-дальномера 38.

В момент попадания лазерного луча в сам выпускной канал 23 путь его прохождения до отражающей поверхности резко увеличится на длину канала, что послужит командой на остановку винтового механизма перемещения продольных направляющих 6 и к одновременному пуску привода цепного механизма перемещения тележки 14, поддерживающей бункер 15 со стартовой смесью.

Ведущая звездочка 26, установленная на трансмиссионном валу 25, вращаемом мотором-редуктором 24, создаст тяговое усилие в пластинчатой цепи 27, под действием которого ее нижняя ветвь, поддерживаемая пластинами 22, приведет во вращение ведомую звездочку 28 совместно с валом 29, размещенным в подшипниковых опорах на вертикальных пластинах 30 и несущим жестко закрепленный на нем шкив 18.

При одновременном вращении обеих звездочек пластинчатая цепь 27 соединенная посредством натяжных винтов 31 с тележкой 14 обеспечит ее перемещение по продольным направляющим 6. Благодаря тому, что диаметр опорной части ходовых колес тележки равен диаметру шкива 18 по максимальному углублению его кольцевой канавки, в которой находится поджимаемый к нему профилированным роликом 35 гибкий металлический

рукав 16, горизонтально располагаемый на последовательно установленных опорным роликах 17, поступательное перемещение тележки и рукава будет происходить с одинаковой скоростью относительно продольных направляющих 6 без его провисания.

Когда тележка 14 с бункером 15 достигнет рабочей позиции, в которой гибкий металлический рукав 16 займет вертикальное положение (рисунок 3.24) и, воздействуя через профилированный ролик 35, повернет на оси 37 рычаг 33, в результате чего сработает размещенный на его наружной части концевой выключатель 36 для остановки цепного механизма.

Натурное положению элементов системы в момент срабатывания концевой выключателя показано на рисунке 3.25.

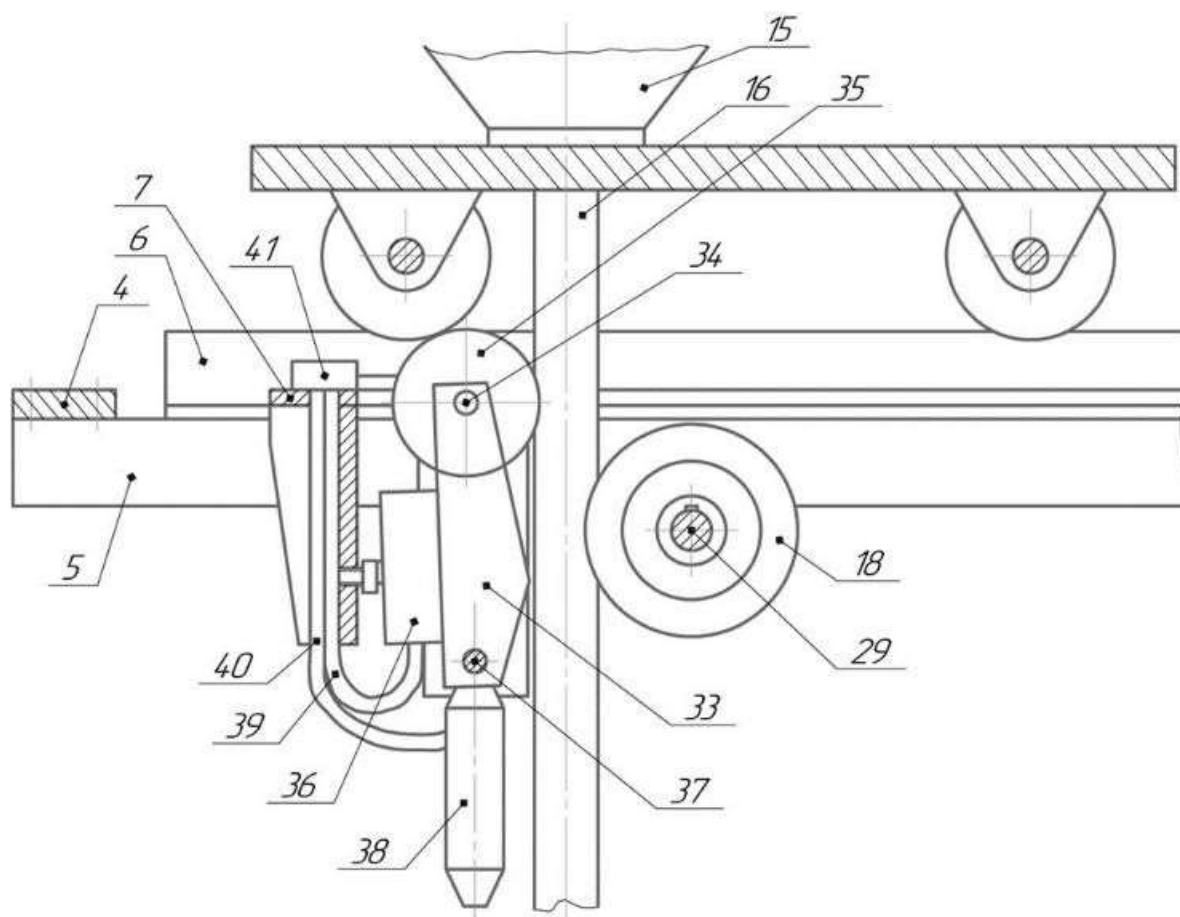


Рисунок 3.24 – Схема механизма перемещения, соответствующая положению элементов системы в момент срабатывания концевой выключателя.

Примечание. Расшифровка позиций приведена в тексте.



Рисунок 3.25 – Натурное положению элементов системы в момент срабатывания концевого выключателя

По каналу вертикально расположенного гибкого металлического рукава 11 (рисунок 3.26), положение которого контролируется с помощью лазерного визир-дальномера 10, стартовая смесь беспрепятственно самотеком из полости бункера 8 попадет в выпускной канал 12 сталеразливочного ковша. Во время движения вниз струи сыпучего материала по защищенному каналу исключается его рассеивание восходящими потоками нагретого воздуха.

После полного высыпания стартовой смеси из бункера осуществляют реверс цепного механизма (звездочки 4 и 9) для перемещения тележки 7 по направляющим 6, установленных на балках 5, в исходное положение. Затем несущую консоль отводят в сторону путем поворота в нужном направлении колонны 3, чтобы освободить пространство для подачи подъемным краном сталеразливочного ковша 1 к плавильному агрегату [106].

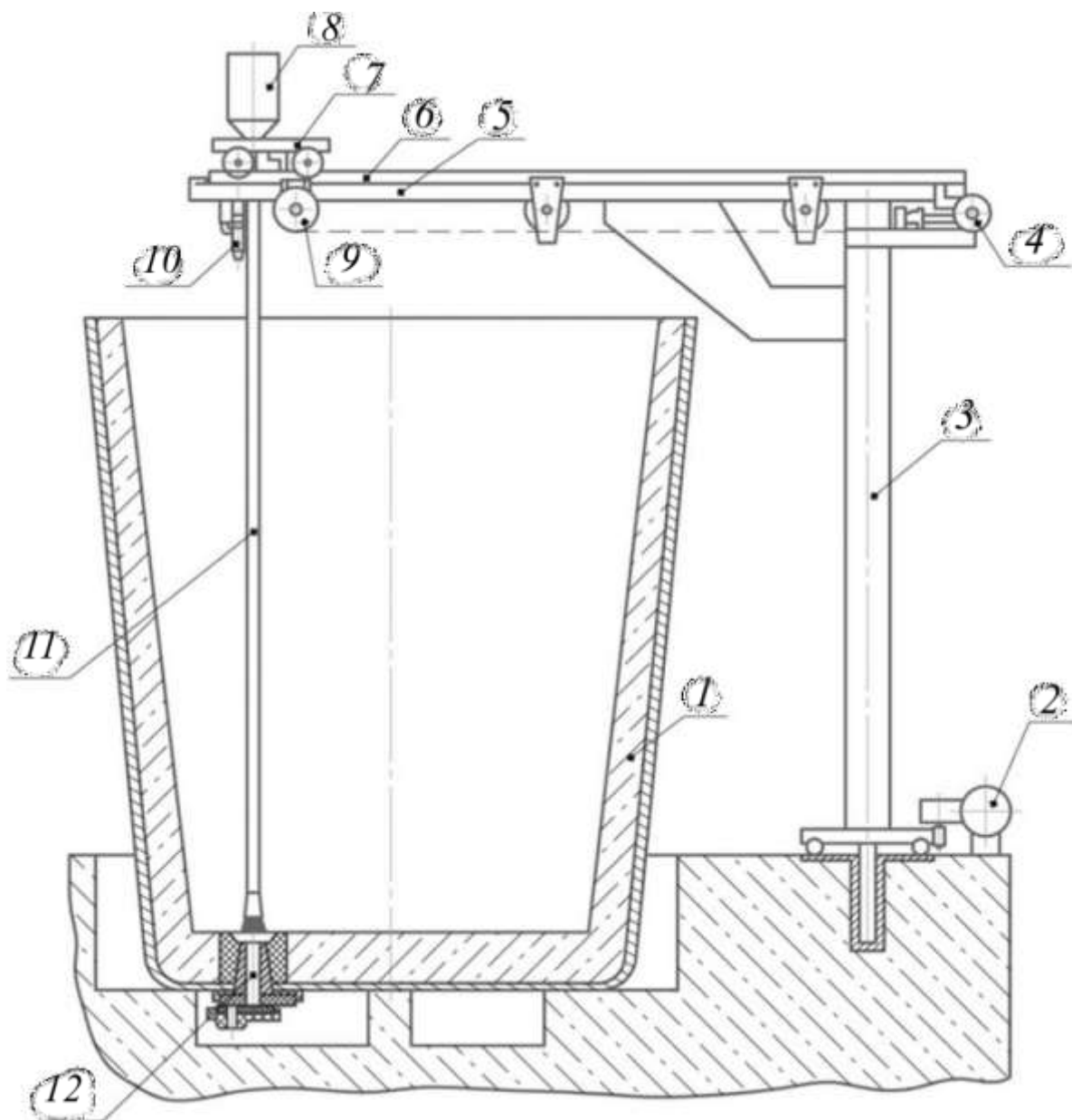


Рисунок 3.24 – Положение манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси во время ее высыпания самотеком из питающего бункера в выпускной канал сталеразливочного ковша: 1 – ковш, 2 – привод вращения колонны, 3 – колонна, 4 – ведущая звездочка, 5 – балки, 6 – направляющие, 7 – тележка, 8 – бункер, 9 – ведомая звездочка, 10 – лазерный визир-дальномер, 11 – металлический рукав, 12 – выпускной канал

Техническим результатом предложенной конструкции манипулятора является повышение эффективности функционирования за счет устранения потерь дорогостоящей стартовой смеси благодаря исключению ее рассеивания

восходящими конвективными потоками горячего воздуха, а также лучшему центрированию относительно входного отверстия выпускного канала разливочного ковша струи, поступающего в него самотеком сыпучего материала.

Технический результат достигается за счет того, что манипулятор включает в себя поворотную колонну, установленную на основании, и несущую консоль, выполненную из двух жестко связанных поперечиной между собой балок с продольными направляющими для колесных пар тележки, удерживающей бункер с сыпучим материалом, расположенный в горизонтальном положении на опорных роликах гибкий металлический рукав, задний конец которого соединен с нижней частью бункера, а передняя его часть огибает шкив и находится в вертикальном положении, причем тележка имеет возможность перемещения с помощью цепного привода в позицию, в которой гибкий металлический рукав по всей своей длине переходит в вертикальное положение для обеспечения пересыпания по нему самотеком стартовой смеси из бункера в выпускной канал сталеразливочного ковша. В предложенной конструкции манипулятора, продольные направляющие колесных пар тележки жестко связаны между собой двумя поперечинами и имеют возможность перемещения относительно балок консоли и удерживают в опорах поворотный рычаг, прижимающий посредством профилированного ролика гибкий металлический рукав к шкиву и снабженный лазерным визиром-дальномером, а также концевым выключателем.

Модельное тестирование работы модернизированной системы механизированной подачи стартовой смеси подтвердили правильность принятых технических решений, обеспечивших повышение точности позиционирования гибкого металлического рукава относительно центра входного отверстия выпускного канала сталеразливочного ковша перед началом его заполнения сыпучим материалом.

Таким образом, технические решения, направленные на модернизацию системы механизированной подачи стартовой смеси в выпускной канал

сталеразливочного ковша во время его подготовки к приему жидкого металла очередной плавки в условиях работы сталеплавильного цеха позволят повысить эффективность использования дорогостоящего порошкообразного материала за счет обеспечения точного центрирования относительно входного отверстия выпускного канала ковша струи сыпучей смеси и устранения ее рассеивания восходящими конвективными потоками горячего воздуха.

3.7 Выводы по главе 3

1. Доказано, что совершенствование конструкции манипулятора для подачи стартовой смеси является необходимым условием повышения качества непрерывнолитой заготовки. Механизированная точечная подача сыпучего материала преодолевает воздействие тепловых потоков ковша, исключает рассеивание смеси и гарантирует самопроизвольное открытие шиберного затвора, предотвращая загрязнение первой порций разливаемого расплава неметаллическими включениями при непрерывной разливке.

2. Разработаны научно обоснованные методики расчета энергосиловых параметров поворота колонны и перемещения тележки бункера. Установленные закономерности обеспечивают плавность кинематики и высокую точность позиционирования оборудования, что важно для соблюдения строгих временных регламентов подготовки ковшей к переливу продуктов плавки на МНЛЗ.

3. Проведенные модельные и экспериментальные исследования физического прототипа манипулятора подтвердили адекватность предложенных конструктивных и расчетных решений. Доказана эффективность механизированного способа формирования защитного слоя в канале, способствующего стабилизации начального этапа истечения жидкой стали.

4. Предложены инженерные решения по повышению точности позиционирования манипулятора при его промышленной эксплуатации. Их внедрение в действующие комплексы непрерывной разливки стали

минимизируют риски аварийных ситуаций, связанных с нераскрытием сталевыпускного канала, и повышает общую надежность технологической цепочки внепечной обработки литья.

ГЛАВА 4 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДА РАСЧЕТА ВИБРАЦИОННОГО МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЗАРАСТАНИЯ КАНАЛА ЗАЩИТНОЙ ОГНЕУПОРНОЙ ТРУБЫ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ ПРОДУКТОВ ПЛАВКИ

4.1 Вторичное окисление стали при непрерывном литье заготовок и меры по их устранению

В соответствии с результатами работ, проведенным зарубежными и отечественными исследователями с целью определения источников окисления и загрязнения стали неметаллическими включениями, основной прирост содержания в ней кислорода обусловлен процессами, протекающими при контакте струи металла с воздухом в процессе разливки. Так, захват воздуха при разливке стали на МНЛЗ открытой струей, производит повышение концентрации кислорода в заготовках на 0,0015 - 0,009 % [1-3].

В настоящее время существует две точки зрения на механизм вторичного окисления металла, истекающего из разливочного ковша в промежуточный. Первая из них предполагает, что основное количество кислорода во время непрерывной разливки попадает в металл за счет непосредственного окисления его поверхностных слоев в струе.

Согласно второй точке зрения, причина увеличения содержания кислорода в стали обусловлена процессом инжекции воздуха струей металла. Утолщенная часть струи во время проникновения в жидкий металл оставляет за собой кольцевую воздушную полость, которая захлопывается и разбивается на множество мелких пузырей, являющихся дополнительными источниками загрязнения стали кислородом [4]. Результаты модельных исследований, приведенные в работе [16], свидетельствуют о том, что отмеченные механизмы перехода кислорода из воздушной атмосферы в разливаемую сталь действуют

одновременно, а соотношение объемов кислорода, попадающего в металл за счет его окисления в поверхностном слое струи, а также захвата воздуха зависит от реализуемого способа разливки и конструктивных схем эксплуатируемых при этом разливочных систем и входящих в их состав защитных устройств. Наиболее эффективная защита струи металла на участке сталеразливочный ковш – промежуточный ковш МНЛЗ может быть обеспечена с использованием огнеупорной трубы, прикрепленной к стакану-коллектору шиберного затвора сталеразливочного ковша и удерживаемой специальным манипулятором.

Немаловажным фактором, способствующим сокращению времени нормального функционирования защитной огнеупорной трубы, следует признать необходимость ее периодического отсоединения от стакана-коллектора ковшового затвора и отведения в сторону для удаления с помощью кислорода отложений на стенках сталевыпускного канала. Во время проведения такой операции происходит повреждение контактных поверхностей и попадание на них брызг металла, что нарушает герметичность их стыка при последующем сочленении и способствует проникновению в полость трубы значительного количества воздуха, т.е. интенсификации процесса вторичного окисления разливаемой стали.

Решение отмеченных проблем требует комплексного подхода, предусматривающего проведение работ по конструктивному совершенствованию существующих манипуляционных систем с целью обеспечения снижения интенсивности затягивания канала огнеупорных труб, применяемых для экранирования струи стали на участке разливочный ковш – промежуточный ковш МНЛЗ. Одним из возможных способов устранения налипания частиц на стенку канала защитной трубы можно считать сообщение ей вертикальных колебаний за счет внешнего вибрационного воздействия [32].

4.2 Физическое моделирование влияния вибрационного воздействия на скорость зарастания канала защитной огнеупорной трубы

Для качественной оценки возможности снижения интенсивности процесса отложений твердых частиц на стенках каналов защитных огнеупорных труб, используемых в комплексе с ковшовыми затворами, использовали метод физического моделирования. В соответствии с рекомендациями, подробно описанными в работе [90], изготовили экспериментальную установку, схема которой представлена на рисунок 4.1.

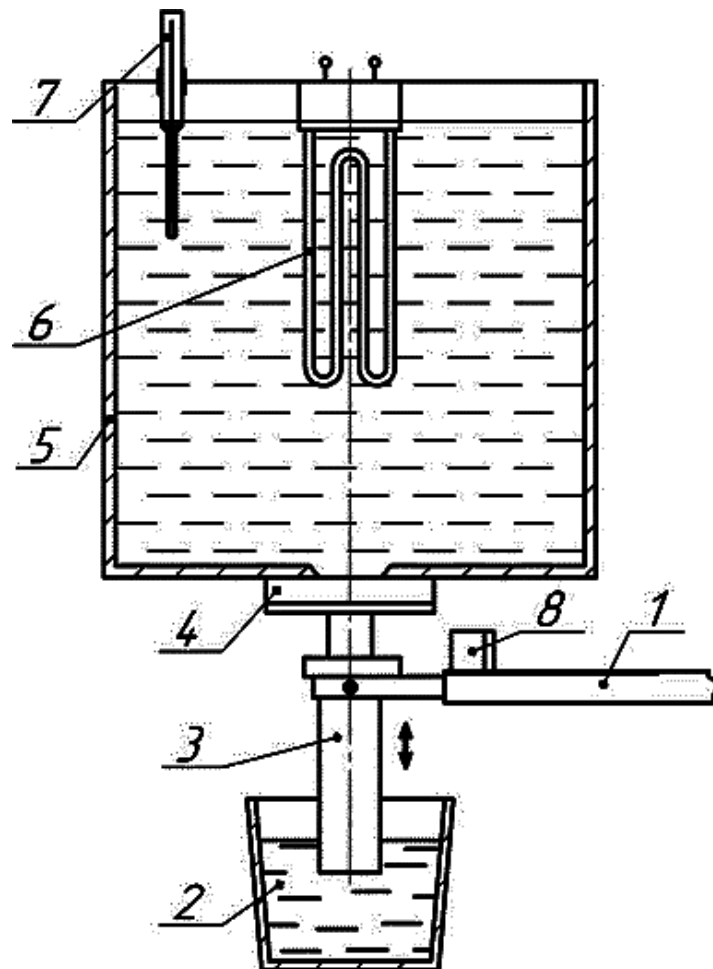


Рисунок 4.1 – Схема экспериментальной установки для моделирования процесса зарастания канала защитной огнеупорной трубы: 1 – манипулятор, 2 – приемная емкость, 3 – защитный огнеупорный стакан, 4 – шиберный затвор, 5 – модель ковша, 6 – нагреватель, 7 – термометр, 8 – вибратор

Установка содержит объемную прозрачную модель ковша 5 с шиберным затвором 4, к стакану-коллектору которого с помощью манипулятора 1 поджимается модель прозрачной защитной огнеупорной трубы 3. Несущая консоль манипулятора снабжена электромеханическим вибратором направленного действия 8 для сообщения вертикальных колебаний модели защитной трубы.

Имитатором жидкого металла служил расплав тиосульфата натрия, нагретый до температуры 85–90°C, которую поддерживали в указанных пределах вмонтированным электрическим элементом 6 и контролировали с помощью ртутного термометра 7. Указанный реактив при остывании кристаллизуется подобно жидкой стали, а процесс налипания образующихся при этом его твердых частиц на стенки модели защитной трубы по сути аналогичен моделируемому процессу зарастания выходного отверстия огнеупорного изделия, используемого в комплекте с шиберным затвором [90].

Натурное исполнение экспериментальной установки для моделирования процесса зарастания канала защитной огнеупорной трубы показано на рис. 4.2.

Для осуществления внешнего вибрационного воздействия на модель защитной трубы использовали электромеханический вибратор (рисунок 4.3), включавший два параллельных вала 1, установленных в подшипниковых опорах вала, синхронизированных между собой парой зубчатых колес 2 и 8 с одинаковым числом зубьев и несущих на своих консольных хвостовиках дисбалансы 7.

Натурное исполнение электромеханического вибратора направленного действия показано на рисунке 4.4.



Рисунок 4.2 – Фотография экспериментальной установки для моделирования процесса зарастания канала защитной огнеупорной трубы

Крутящий момент каждому валу передавался посредством клиноременной передачи 4 от отдельного микродвигателя постоянного тока 3 с регулируемой частотой вращения.

Вибратор укомплектован набором съемных дисбалансов с целью возможности ступенчатого изменения обеспечиваемой им возмущающей силы за счет варьирования количества закрепляемых на его валах грузов со смещенным центром массы.

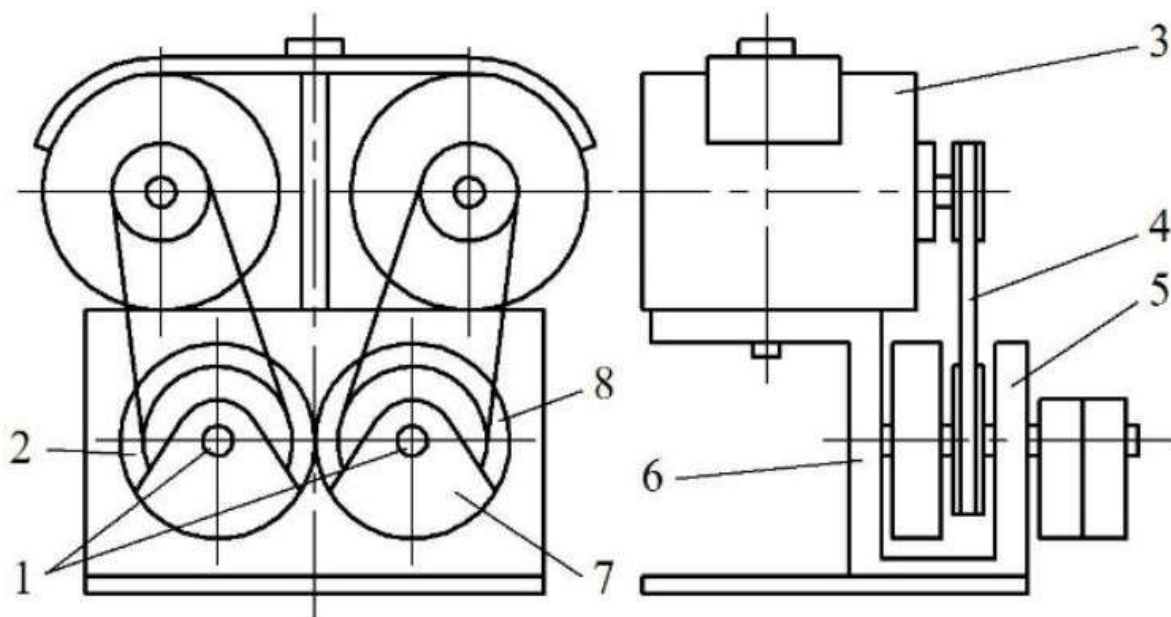


Рисунок 4.3 – Схема электромеханического вибратора направленного действия: 1 – валы; 2 и 8 – зубчатые колеса; 3 – микроэлектродвигатель; 4 – клиноременная передача; 5 – основание; 6 – корпус; 7 – дисбалансы

Натурное исполнение электромеханического вибратора направленного действия показано на рисунке 4.4

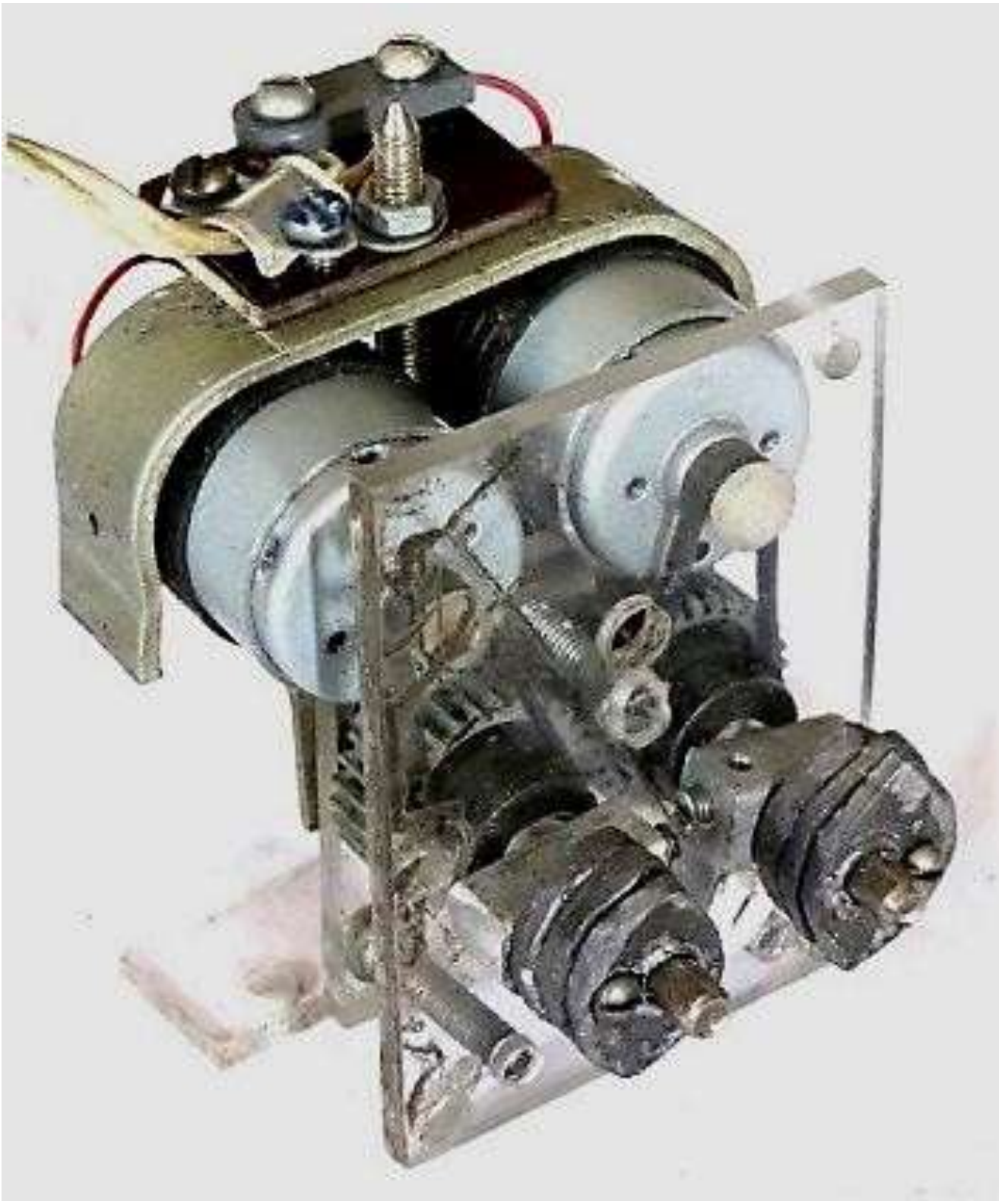


Рисунок 4.4 – Фотография натурального исполнения электромеханического вибратора направленного действия

Развиваемую вибраторами вибрационную нагрузку задавали частотой колебаний и амплитудой. Амплитуду A вычисляли, используя выражение:

$$A = \frac{m_{\text{дис}} \cdot e_{\text{дис}}}{m_{\text{виб}}}, \quad (4.1)$$

где $m_{\text{дис}}$ – масса дисбалансов вибратора;

$e_{\text{дис}}$ – эксцентриситет дисбаланса;

$m_{\text{виб}}$ – масса вибратора.

Интенсивность вибрационного воздействия, оцениваемую виброускорением, определяли по формуле:

$$a = A \cdot \omega_{\text{дис}}^2, \quad (4.2)$$

где $\omega_{\text{дис}}$ – угловая скорость дисбалансов.

Для фиксации параметров исследуемого вибрационного процесса применили контрольно-измерительный комплекс, включавший двухкоординатный акселерометр ADX 1. 210 фирмы ANALOG DEVICES и IBM-совместимый компьютер с установленной на его шине платой L – 154 12-разрядного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) фирмы L-CARD.

Акселерометр позволял фиксировать линейное виброускорение в пределах от - 10g до + 10g при частоте записи сигнала 1 – 10 кГц.

Модельный эксперимент включал два этапа для получения информации об интенсивности процесса зарастания канала модели защитной трубы соответственно без и с применением вибрационного воздействия на нее с помощью вибратора, закрепленного на несущей штанге манипулятора (фото на рисунке 4.5). Перед началом исследования изучаемого процесса в специальной металлической емкости нагревом на электроплите получали требуемый объем расплава тиосульфата натрия, которым заполняли модель сталеразливочного ковша.



Рисунок 4.5 – Место размещения электромеханического вибратора направленного действия при моделировании разливки с использованием вибрационного воздействия на защитную трубу

Во время проведения модельных экспериментов имитатор жидкой стали, истекавший из канала модели затвора через защитную трубу, накапливался в приемном желобе, откуда его с помощью сменных емкостей порциями переливали обратно в модель ковша. При этом нижняя часть модели защитной трубы была заглублена на 80 мм под уровень имитатора жидкой стали, находящейся в сливном желобе.

При симуляции разливки с применением внешнего вибрационного воздействия на модель огнеупорной трубы включали электромеханический вибратор и с помощью акселерометра контролировали виброускорение возбуждавшихся в системе вертикально направленные колебаний. На рисунке 4.6 показан характерный вид регистрировавшихся сигналов при заданных условиях эксперимента.

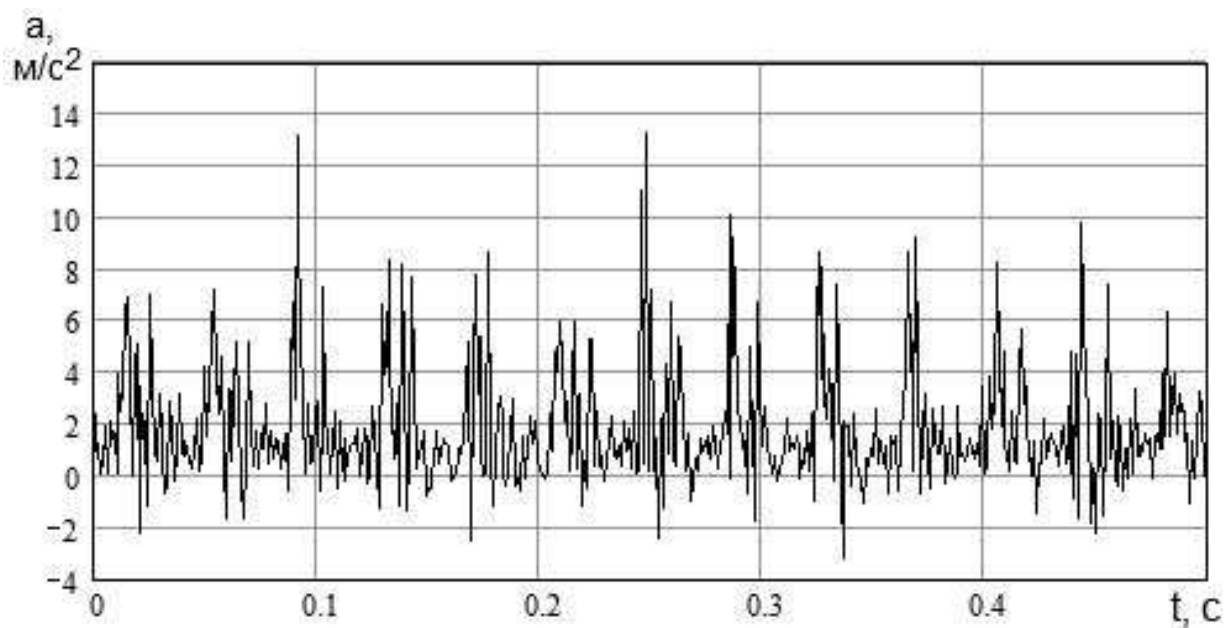


Рисунок 4.6 – Виброускорение, развиваемое вибратором при суммарной массе дисбалансов 45 г и частоте их вращения 100 с^{-1}

Каждый из двух опытов продолжался в течение 30 минут. Для обеспечения корректности экспериментальных данных опыты повторили трижды в указанной последовательности. По завершении каждого из них модель защитной трубы извлекали для визуального осмотра и замера толщины слоя и массы отложений, образовавшихся в нижней части ее канала. На рисунке 4.7 приведены фотографии слоев частиц, налипших на нижнюю часть модели защитной трубы в условиях симуляции разливки при обычной схеме и в случае воздействия на модель трубы вертикально направленных колебаний. Затем отложения соскабливали с корпуса модели защитной для контроля их массы с помощью электронных весов КС-6505 с точностью 1 г. Результаты замеров толщин и массы отложений приведены в таблице 4.1.



a



б

а - отсутствия вибрационного воздействия; б - наличия вибрационного воздействия
Рисунок 4.7 – Форма и толщина слоев имитатора настывли, образовавшихся в нижней части модели защитной трубы при симуляции разливки в случаях отсутствия (*a*) и наличия вибрационного воздействия (*б*)

Таблица 4.1 – Толщина и масса отложений в нижней части модели защитной трубы, зафиксированные при имитации двух вариантов разливки

Вариант имитации разливки	№ опыта	Параметры вибрационного воздействия			Толщина слоя отложений, мм	Масса отложений, г
		A, мм	ω , с ⁻¹	a, м/с ²		
Без вибрационного воздействия на защитную трубу	1	-	-	-	7 - 10	72
	2	-	-	-	6 - 12	80
	3	-	-	-	8 - 11	75
С вибрационным воздействием на защитную трубу	4	0,5	100	5	2 - 5	35
	5	0,7	100	7	1 - 3	23
	6	1,0	100	10	0,5 - 1	15

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что внешнее вибрационное воздействие на защитную трубу, экранирующую струю при ее истечении из разливочного ковша в промежуточный ковш, будет способствовать снижению интенсивности процесса зарастания канала огнеупорного изделия, прижимаемого к стакану-коллектору ковшового затвора. Для реализации такого технического решения потребуется модернизация самой системы манипулятора, предусматривающая размещение в его опорном узле одного или двух вибраторов. При этом вместо электромеханического вибратора, использовавшегося во время лабораторного эксперимента, в промышленных условиях рационально применить пневматический вибратор, поскольку подвод к разливочному устройству электрической энергии не только усложнит его эксплуатацию и обслуживание, но и потребует принятия дополнительных мер по обеспечению безопасности работы разливщиков стали.

Вибратор, работающий от сжатого воздуха, в данном отношении обладает тем преимуществом, что он не потребует подвода дополнительного энергоносителя [107 - 109]. Как известно, у современных ковшовых затворов кассетного типа для прижатия огнеупорных плит применяют блоки тарельчатых или витых пружин, в обязательном порядке охлаждаемых во время разлива стали воздухом, подаваемым по трубопроводу под избыточным давлением от цеховой магистрали [10 - 12]. Этот воздух целесообразно одновременно использовать в качестве энергоносителя и для приведения в действие возбудителя колебаний в опорном узле манипулятора, удерживающем защитную огнеупорную трубу. При этом параметры реализуемого колебательного процесса можно регулировать путем изменения в нужных пределах давления воздуха, подаваемого к вибратору, а также выбирая соответствующую жесткость его пружин.

Количество таких вибраторов и геометрические размеры их подвижных элементов, возбуждающих вертикально направленные колебания, должны быть рассчитаны на основе положений теории динамики машин с последующей экспериментальной проверкой на натурном образце разливочного устройства, укомплектованного защитной огнеупорной трубой.

4.3. Разработка конструкции манипулятора, обеспечивающего реализацию внешнего вибрационного воздействия на защитную трубу

Интеграция вибрационного воздействия в реальные промышленные условия требует создания специального оборудования, способного функционировать в среде сталеплавильного цеха. Разработка конструкции модернизированного манипулятора направлена на поддержание стабильного гидродинамического истечения плавки, что напрямую влияет на увеличение времени эксплуатации защитной трубы и повышение чистоты разливаемой стали.

В качестве базового образца манипулятора, подлежащего модернизации в соответствии с поставленными целями, был выбран образец, ранее разработанный сотрудниками кафедры Механического оборудования заводов черной металлургии Донецкого национального технического университета и эксплуатировавшийся на вертикальной слябовой МНЛЗ в мартеновском цехе Донецкого металлургического завода (конструктивная схема приведена на рисунке 1.13).

Для решения задачи, связанной с усовершенствованием выбранного прототипа, в его конструкцию внесены два принципиальных изменения, суть которых поясняет рисунок 4.8.

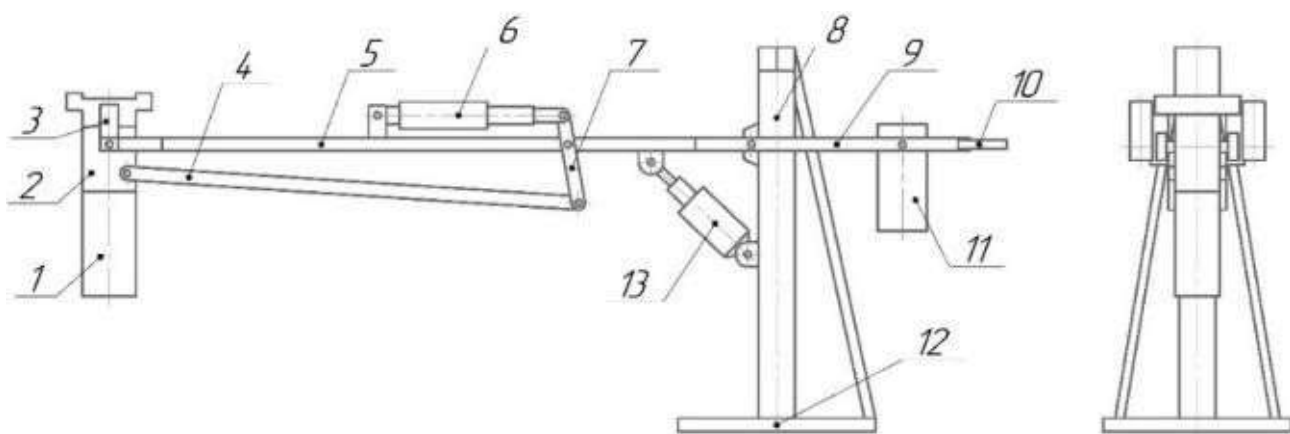


Рисунок 4.8 – Конструктивное исполнение модернизированного манипулятора:

1 – огнеупорная труба; 2 – гильза; 3 – вибратор; 4 – тяга; 5 – консоль; 6 – пневмоцилиндр; 7 – рычаг; 8 – колонна; 9 – рычаги; 10 – поперечина; 11 – контргруз; 12 – основание; 13 – пневмоцилиндр

С целью снижения нагрузки на пневмоцилиндр 13, осуществляющего поворот в вертикальной плоскости относительно несущей колонны 8 консольной штанги 5, применили ее уравнивание за счет крепления к ней двух рычагов 9, удерживающих на цапфах цилиндрическую подвеску 11 с размещенным внутри набором грузов.

Второй отличительный признак касается опорного узла, включающего вилку, закрепленную на конце консольной штанги 5 и удерживающую гильзу 2, имеющую возможность относительного поворота на 90° при силовом воздействии второго пневмоцилиндра 6, передаваемого посредством

двуплечего рычага 7 и тяги 4. Для обеспечения во время разливки стали внешнего вибрационного воздействия на защитную огнеупорную трубу 1 на цапфах, удерживающих гильзу 2, жестко закреплены два пневматических вибратора направленного действия 3. Решение о применении пневматических вибраторов принято в связи с тем, что эксплуатируемые в настоящее время ковшовые затворы кассетного типа требуют воздушного охлаждения пружинных узлов прижатия огнеупорных плит, поэтому подаваемый под давлением воздух можно последовательно использовать в качестве энергоносителя для приведения в действие вибраторов и охладителя корпуса затвора.

Для экспериментальной проверки принятых технических решений спроектировали и изготовили опытный образец модернизированного манипулятора (фото на рисунке 4.9), снабженного системой вибрационного воздействия на удерживаемую им во время разливки стали защитную огнеупорную трубу.



Рисунок 4.9 – Опытный образец модернизированного манипулятора для смены и удержания защитных огнеупорных труб при непрерывной разливке стали

Вибрационное воздействие на огнеупорную трубу, экранирующую струю стали, осуществляли посредством двух спроектированных и изготовленных воздушных вибраторов поршневого типа (устройство которых поясняет конструктивная схема, приведенная на рисунке 4.10).

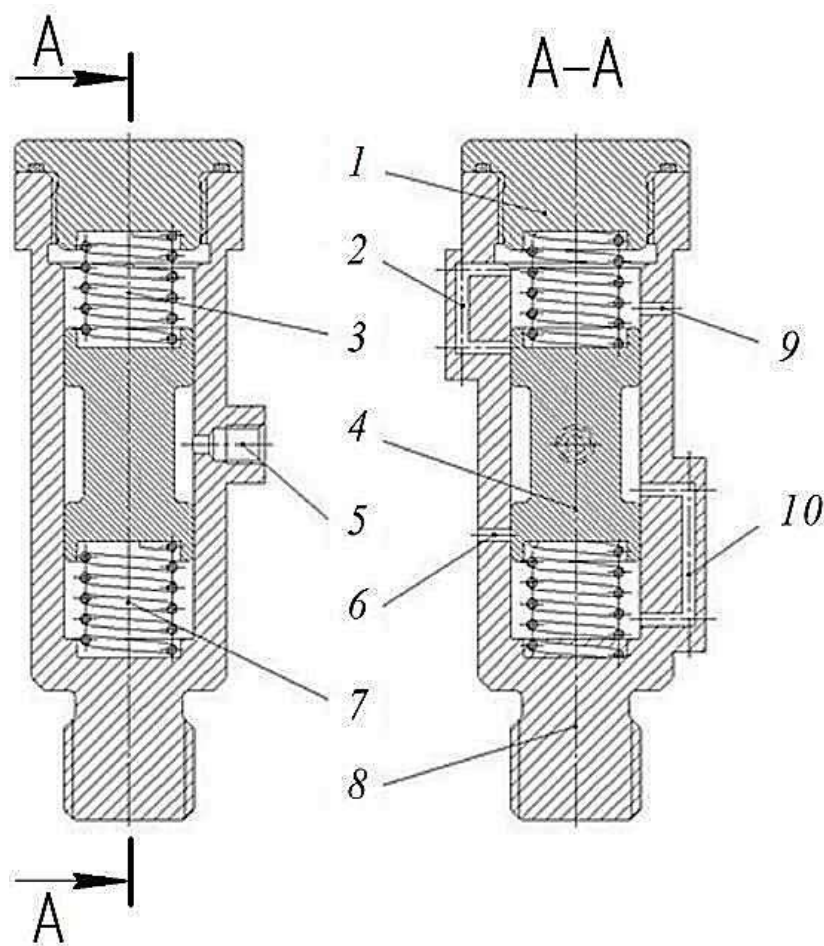


Рисунок 4.10 – Конструктивная схема пневматического вибратора поршневого типа:

1 – крышка; 2 – верхний перепускной канал; 3 – верхняя пружина; 4 – сдвоенный поршень; 5 – трубопровод; 6 – нижнее выпускное отверстие; 7 – нижняя пружина; 8 – цилиндрический корпус; 9 – верхнее выпускное отверстие; 10 – нижний перепускной канал

Вибратор включает пустотелый цилиндрический корпус 8 с ввинченной в него крышкой 1 и резьбовым хвостовиком. Внутри корпуса размещен с возможностью относительного продольного перемещения сдвоенный поршень

4, удерживаемый в среднем положении частично сжатыми пружинами 7 и 3. В стенке пустотелого цилиндрического корпуса имеются два перепускных канала 10 и 2, а также два выпускных отверстия 9 и 6. При подаче сжатого воздуха по трубопроводу 5 в среднюю часть рабочей полости он по каналу 10 поступает под сдвоенный поршень 4, который под воздействием давления перемещается вверх, сжимая пружину 3 и вытесняя находящийся под ним воздух через отверстие 9 в атмосферу. Вблизи своего крайнего положения сдвоенный поршень 4 перекрывает выпускное отверстие 9 и перепускной канал 10 и одновременно открывает выпускное отверстие 6 и перепускной канал 2, в результате чего происходит реверсирование движения самого поршня. Под действием давления воздуха теперь уже на верхнюю часть поршня он перемещается вниз, сжимая пружину 7 и вытесняя воздух через отверстие 6 из полости в атмосферу. Достигнув своего нижнего положения, поршень открывает выпускное отверстие 9 и перепускной канал 10, т.е. начинает совершать колебания, частота и амплитуда которых зависит от давления воздуха и жесткости пружин 7 и 3.

Натурное исполнение комплект пневматических вибраторов поршневого типа для модернизированного манипулятора предназначенного для смены и удержания защитных огнеупорных труб при непрерывной разливке стали, показано на рисунке 4.11.

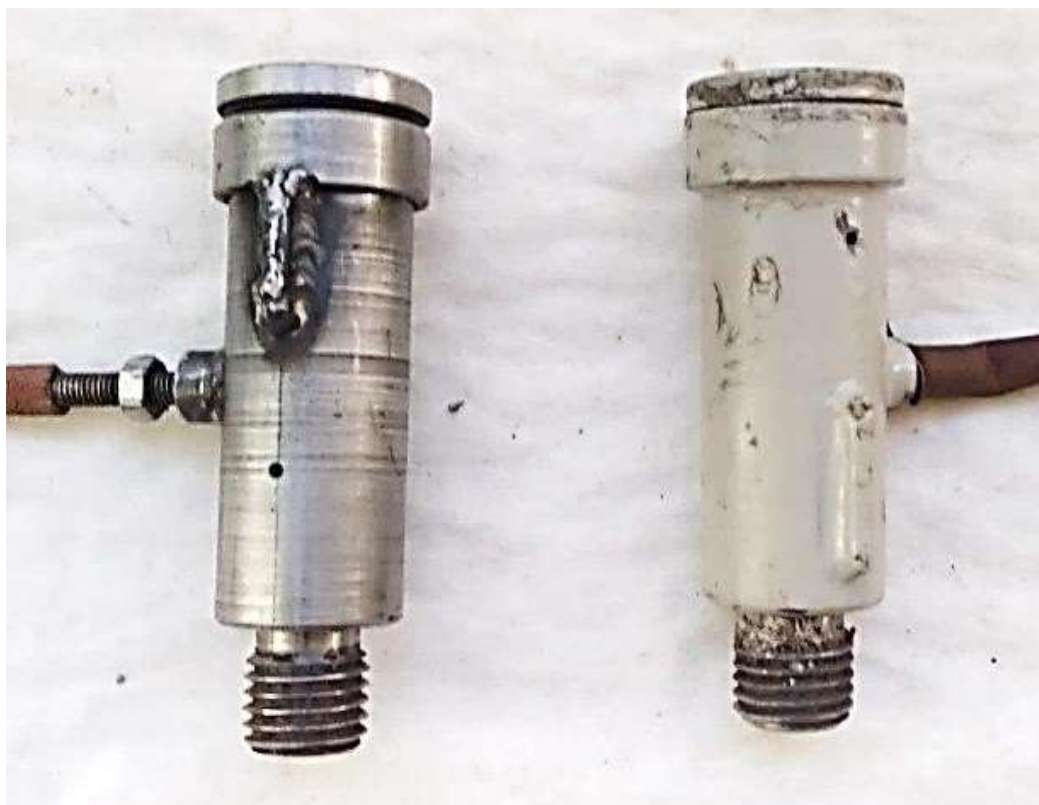


Рисунок 4.11 – Изготовленный комплект пневматических вибраторов поршневого типа для модернизированного манипулятора

Во время тестовых испытаний предполагалось получение информации о степени ослабления виброускорения при прохождении упругой волны через защитную огнеупорную трубу. Данную информацию получили в следующей последовательности. На цапфах вилки опорного узла манипулятора жестко закрепляли пневматические вибраторы таким образом, чтобы их продольные оси были параллельны продольной оси защитной огнеупорной трубы, вертикально установленной в гильзе как показано на рисунке 4.12. Затем трубу с помощью манипулятора поджимали к нижнему торцу стакана-коллектора шиберного затвора и от компрессора по гибким трубкам при фиксированных значениях давления и расхода, которые контролировали по показаниям аппаратных средств, подавали воздух в рабочие полости пневматических вибраторов, возбуждавших колебательный процесс. После этого с помощью анализатора вибрации марки 795М контролировали значения виброускорения вблизи верхнего и на нижнем торцах защитной огнеупорной трубы.



а



б

Рисунок 4.12 – Положение пневматических вибраторов относительно защитной огнеупорной трубы: вид спереди (*а*); вид сбоку (*б*)

Данные замеров значений виброускорения в контрольных точках при различной интенсивности вибрационного воздействия, зависящей от давления и расхода воздуха, поступающего в рабочие камеры пневматических вибраторов, после обработки использовали для оценки степени ослабления возбуждаемых колебаний при распространении в теле защитной огнеупорной трубы вдоль ее канала. В качестве примера, иллюстрирующего изменения виброускорения при прохождении упругой волны через огнеупорную трубу, на рисунке 4.13 приведены записи сигналов, зафиксированных при разной интенсивности колебательного процесса, возбуждаемого пневматическими вибраторами.

Сопоставление значений коэффициента затухания вибрационного сигнала при прохождении упругой волны вдоль корпуса трубы позволило сделать заключение о том, что интенсивность процесса колебаний, возбуждаемых вибраторами в керамической трубе, практически не влияет на показатель ослабления энергии упругой волны. Сравнив значения сигналов, приведенных на рисунке 4.13, установили почти пятикратное ослабление возмущающей силы, действующей на защитную огнеупорную трубу, что потребует в производственных условиях повышения энергии колебаний, возбуждаемых вибраторами. В связи с этим вибраторы должны при давлении воздуха 0,2 – 0,6

МПа, подаваемого с расходом 100 л/мин, развивать силу в пределах 1500 – 3000 Н, что позволит компенсировать ее затухание по мере распространения упругой волны в защитном огнеупорном элементе вдоль его канала. Причем струи воздуха, истекающие из выхлопных патрубков пневматических вибраторов, целесообразно использовать для охлаждения элементов ковшового затвора, подвергающегося интенсивному тепловому воздействию в процессе разливки стали. При этом в качестве возбудителя колебаний предполагается использование вибраторов серии ВР с жестким ударом, выпуск которых освоен российскими предприятиями, что будет способствовать решению задач импортозамещения в металлургическом производстве.

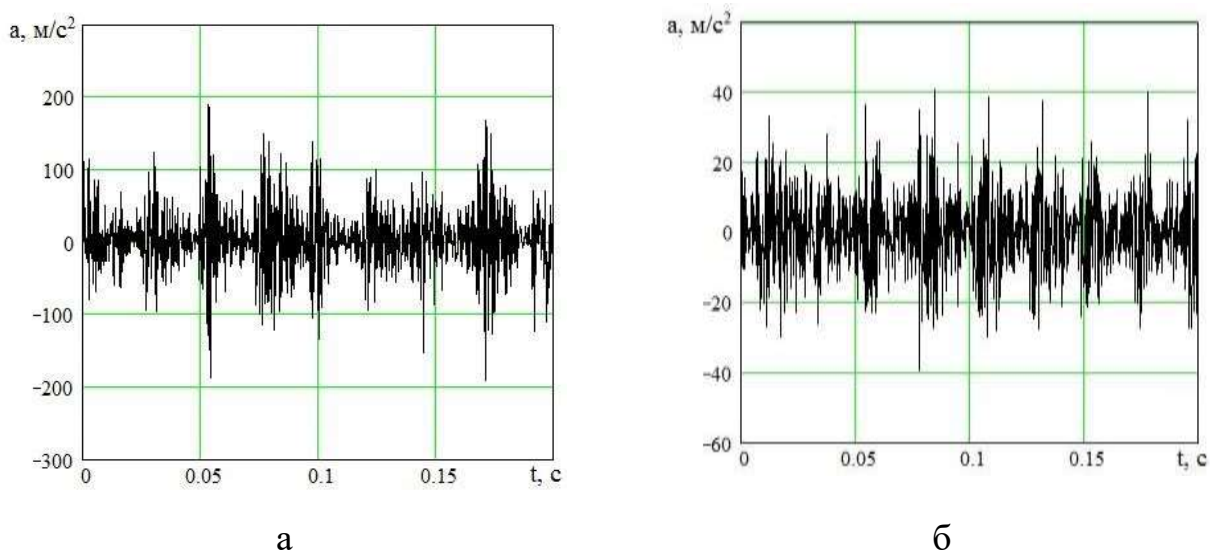


Рисунок 4.13 – Значения виброускорения, возбуждаемого пневматическими вибраторами в месте их размещения (а), и измеренное на нижней торцевой поверхности защитной огнеупорной трубы (б)

Результаты проведенных экспериментальных исследований учтены при разработке технической документации, необходимой освоения выпуска сменного модернизированного опорного узла защитной огнеупорной трубы, который может быть использован без существенных доработок на любом из манипуляторов, эксплуатируемых в настоящее время на машинах

непрерывного литья заготовок металлургических предприятий Донецкого региона и Российской Федерации.

4.4. Выводы по главе 4

1. Выявлено, что интенсивное зарастание внутреннего канала защитной огнеупорной трубы неметаллическими включениями является существенным фактором, снижающим эффективность методов непрерывной разливки стали. Нарушение гидродинамики потока при переливе продуктов плавки в промежуточный ковш МНЛЗ приводит к преждевременному износу огнеупоров.

2. На основе физического моделирования доказана высокая эффективность наложения внешнего вибрационного воздействия на защитную огнеупорную трубу. Экспериментально установлено, что контролируемая вибрация разрушает кристаллизующийся слой отложений оксидов алюминия, существенно снижая скорость зарастания канала и обеспечивая стабильных перелив жидкой стали.

3. Разработана усовершенствованная конструкция вибрационного манипулятора, адаптированная для применения в современных комплексах непрерывной разливки продуктов плавки.

4. Внедрение разработанного вибрационного манипулятора в технологический процесс непрерывной разливки увеличивает эксплуатационный ресурс защитных труб, стабилизирует струю жидкого металла и надежно защищает сталь от вторичного окисления. Это создает технологические предпосылки для увеличения длительности серийной разливки методом «плавка на плавку» и повышения общего качества металлопродукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная научно-практическая задача повышения эффективности непрерывной разливки стали и оборачиваемости сталеразливочных ковшей путем совершенствования конструкций и методов расчета манипуляторов для обслуживания выпускного канала. На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований сделаны следующие выводы:

1. На основе анализа технологических схем подготовки сталеразливочных ковшей с кассетными затворами установлено, что основными факторами, снижающими эффективность сталевыпускной системы, являются неконтролируемые тепловые потери футеровки и, как следствие, металла при ручной замене огнеупоров, рассеивание стартовой смеси конвективными потоками горячего воздуха и интенсивное зарастание канала защитной трубы неметаллическими включениями.

2. Обоснованы кинематические и энергосиловые параметры усовершенствованного манипулятора для извлечения отработанного разливочного стакана. Доказано, что переход от агрессивных ударных нагрузок ручного пневмоинструмента к целенаправленному вытягивающему усилию (от 38 до 62 кН в зависимости от емкости) исключает образование микротрещин, гарантирует сохранение структурной целостности стационарного гнездового блока и существенно сокращает время межплавочного простоя ковша.

3. Оптимизированы технологические параметры механизированной подачи стартовой смеси. Разработанная конструкция манипулятора обеспечивает высокоточное позиционирование металлического рукава (с погрешностью не более 0,3-0,5%) непосредственно над разливочным отверстием. Это преодолевает восходящие тепловые потоки ковша, исключает потери материала и гарантирует формирование плотного буферного слоя для надежного самопроизвольного открытия затвора без использования кислородного прожигания.

4. Экспериментально доказана эффективность внешнего вибрационного воздействия на защитную огнеупорную трубу. Создан модернизированный манипулятор, оснащенный пневматическими вибраторами, контролируемое воздействие которых разрушает формирующийся слой оксидов алюминия, предотвращает зарастание канала, стабилизирует струю и защищает сталь от вторичного окисления при подаче воздуха в промежуточный ковш МНЛЗ.

5. Выполнено физическое (натурное) моделирование работы предложенных манипуляционных систем, в том числе в масштабе 1:5 для условий 100-тонного ковша, с применением расплава-имитатора. Результаты испытаний полностью подтвердили адекватность предложенных математических моделей и корректность разработанных инженерных методик расчета.

6. Действующие физические модели предложенных манипуляторов используются в учебном процессе при подготовке студентов по направлению «Технологические машины и оборудование» на кафедре инжиниринг технологического оборудования НИТУ «МИСИС».

7. Методики расчёта параметров манипуляторов для обслуживания шиберных затворов сталеразливочного ковша и системы механизированной подачи стартовой смеси в разливочное отверстие приняты НП "Металлургмаш" для практического применения при проектировании и изготовлении отечественных образцов оборудования данного класса.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Научные работы в изданиях, входящих в перечень ВАК Российской Федерации

1. Модернизированный манипулятор для обслуживания кассетных затворов сталеразливочных ковшей / С.П. Еронько, Горбатюк С.М., Кобелев О.А., **И.С. Погорелов** // *Металлург.* - 2022.- № 6.- С. 90 – 95.
2. Натурное моделирование работы системы механизированной подачи стартовой смеси в канал ковшового затвора / С.П. Еронько, С.М. Горбатюк, О.А. Кобелев, **И.С. Погорелов** // *Металлург.* - 2024. № 4. С.82 – 86
3. Моделирование влияния вибрационного воздействия на зарастание канала защитной огнеупорной трубы при истечении стали в промежуточный ковш / С.П. Еронько, С.М. Горбатюк, О.А. Кобелев, **И.С. Погорелов** // *Металлург.* - 2024.- № 10.- С. 110 – 114.
4. Модернизация системы механизированной подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша / С.П. Еронько, С.М. Горбатюк, О.А. Кобелев, **И.С. Погорелов** // *Черные металлы.* 2025. №5. С. 17-22.
5. Совершенствование конструкции манипулятора для стыковки защитной огнеупорной трубы со стаканом-коллектором ковшового затвора / С.П. Еронько, Е.В. Ошовская, С.М. Горбатюк, О.А. Кобелев, **И.С. Погорелов** // *Сталь.* 2025. №3. С.5-8

В патентах

6. Пат. 2832293 РФ, МПК В 22 D 41/16. Устройство для механизированной подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша / С.М. Горбатюк, О.А. Кобелев, О.Н. Чиченева, **И.С. Погорелов**, С.П. Еронько. ФГАОУ ВО НИТУ «МИСИС». - 20214104102. 19.02.2024.

В публикациях других изданий

7. Разработка системы механизированной подачи стартовой смеси в канал ковшового затвора / С.П. Еронько, С.В. Мечик, М.Ю. Ткачев, **И.С.**

Погорелов, Е.С. Саркисян // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. - 2017.- № 3.- С. 54 – 59.

8. Еронько, С.П. Модернизация манипулятора для обслуживания кассетных ковшовых затворов / С.П. Еронько, С.В. Мечик, **И.С. Погорелов** // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса», г. Донецк, 24 – 26 мая 2022 г.- Донецк: ДОННТУ, 2022. Т. 3. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. - С. 63 – 67.

9. Еронько С.П., Концепция системного построения мини-конвертера для переработки некачественной шихты и металлосодержащих отходов / С.П.Еронько, С.П., Стародубцев Б.И., Горбатюк С.М., **Погорелов И.С.** // Международный форум "Диалог металлургов: прогноз развития отрасли до 2030 года. Ценовые и технологические решения." 21-22 апреля 2022 года г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, стр.1
<https://drive.google.com/drive/folders/1a8ZLCzCdxoNTky55ijpqqoauCHaM5adLk>

10. Горбатюк С.М., Модельные исследования эффективности функционирования систем отсечки конечного шлака при выпуске стали из кислородного конвертера / С.П. Еронько, С.П., Стародубцев Б.И., Горбатюк С.М., **Погорелов И.С.** // Международный форум "Диалог металлургов: прогноз развития отрасли до 2030 года. Ценовые и технологические решения." 21-22 апреля 2022 года г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, стр.1
<https://drive.google.com/drive/folders/1a8ZLCzCdxoNTky55ijpqqoauCHaM5adLk>

11. Горбатюк С.М., **Погорелов И.С.** Исследование и совершенствование технологии выпуска стали из сталеразливочных ковшей. В сборнике: Физико-химические основы металлургических процессов (ФХОМП 2022). сборник трудов международной научной конференции имени академика А.М. Самарина, посвященной 120-летию со дня рождения выдающегося ученого-металлурга, академика АН СССР Самарина А.М., 265-летию со дня основания Выксунского металлургического завода и 20-летию Выксунского филиала НИТУ «МИСиС». Выкса, 2022. С. 228-234.

12. Разработка комплекса оборудования для обслуживания ковшовых кассетных затворов / С.П. Еронько, С.М. Горбатюк, О.А. Кобелев, **И.С. Погорелов** // Материалы X Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса» г. Донецк, 28 – 30 мая 2024 г.- Донецк: ДонНТУ, 2024. Т. 3: Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. - С. – 40 – 44.

13. Еронько, С.П. Методика и результаты проведения лабораторного эксперимента по удалению огнеупорного стакана из гнездового блока сталеразливочного ковша / С.П. Еронько, **И.С. Погорелов** // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса», г. Донецк, 27 – 29 мая 2025 г.- Донецк: ДонНТУ, 2025. Т. 3: Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. - С. 51 – 55.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Амелинг, Д. Новые разработки в производстве стали на европейских металлургических заводах с полным циклом // Черные металлы.- 2001.- № 5.- С. 16 – 23.
2. Минаев, А.А. Инновационные процессы в производстве и разливке стали / А.А. Минаев, А.Н. Смирнов // Научные труды ДонГТУ. Металлургия.- Донецк: ДонГТУ.- 2004.- Вып. 73.- С. 3 – 9.
3. Смирнов, А.Н. Современные тенденции развития процессов производства и разливки стали // Металл и литье Украины.- 2006.-№ 1.- С. 7 – 11.
4. Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчет / Л.В. Буланов [и др.].- Екатеринбург: Урал. Центр ПР и рекламы «Марат», 2004.- 320 с.
5. Бровман, М.Я. Непрерывная разливка металлов.- М.: Экомет, 2007.- 484 с.
6. Дюдкин, Д.А. Производство стали. Т. 4. Непрерывная разливка стали / Д.А. Дюдкин, В.В. Кисиленко, А.Н. Смирнов.- М.: Теплотехника, 2009.- 528 с.
7. Еланский, Г.Н. Разливка и кристаллизация стали.- М.: МГВМИ, 2010.- 192 с.
8. Куклев, А.В. Практика непрерывной разливки стали / А.В. Куклев, А.В. Лейтес. – М.: Металлургиздат, 2011. – 432 с.
9. Смирнов, А.Н. Непрерывная разливка стали А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, Е.В. Штепан. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.
10. Вдовин, К.Н. Непрерывная разливка стали. Гидромеханика машин непрерывного литья заготовок / К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, И.М. Ячиков.- Магнитогорск: Изд. Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2014.- 348 с.

11. Валуев, Д.В. Непрерывная разливка стали и сплавов: учебное пособие / Д.В. Валуев, Р.А. Гизатулин.- Томск: Изд. Томского политехн. ун-та, 2014.- 406 с.
12. Проектирование цехов сталеплавильного производства: учебник / К.Н. Вдовин [и др.]- Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. Гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2016.- 505.
13. Столяров, А.М. Непрерывная разливка стали. Машины непрерывного литья заготовок: учебное пособие / А.М. Столяров, В.Н. Селиванов.- Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020.- 192 с.
14. Пилюшенко, В.Л. Бесстопорная разливка стали / В.Л. Пилюшенко, С.П. Еронько, В.Н. Шестопалов.- К.: Техніка, 1991.- 179 с.
15. Еронько, С.П. Разливка стали. Оборудование. Технология / С.П. Еронько, С. В. Быковских. – К.: Техніка, 2003. – 216 с.
16. Шевченко, В.П. Исследование взаимодействия жидкого металла с огнеупором сталеразливочных стаканов / В.П. Шевченко, М.В. Самборский // Научные труды ДонГТУ. Metallургия.- Донецк: ДонГТУ.-1999.- Вып. 1.- С. 91 – 100.
17. Смирнов, А.Н. Гармонизация элементов футеровки ковшей для агрегата «печь-ковш» в зависимости от технологических условий производства и разливки стали / А.Н. Смирнов, А.Я. Минц, Р.В. Гиниятуллин // Научные труды ДонГТУ. Metallургия.- Донецк: ДонГТУ.-2000.- Вып. 18.- С. 79 – 88.
18. Огурцов, А.П. Расчет температурного состояния ковшового шиберного затвора при различных способах разливки стали / А.П. Огурцов, И.И. Жульковская, А.Д. Кулик // Известия узв. Черная металлургия.- 2001.- № 4.- С. 11 – 15.
19. Кулик, А.Д. Основные проблемы шиберной разливки стали // Сталь.- 2001.- № 2.- С. 13 – 15.
20. Золотухин, В.И. Шиберные системы нового поколения / В.И. Золотухин, Н.П. Соломин, С.Г. Полубесов // Metallург.- 2000.-№ 1.- С. 40 – 42.

21. Отечественные системы разливки стали и огнеупорные комплектующие производства НПП «Вулкан-ТМ» / В.И. Золотухин [и др.] // Новые огнеупоры.- 2015.- № 10.- С. 13 - 17.
22. Кононов, В. А. Эффективность внедрения шиберной разливки в литейном производстве // Литейщик России. — 2010. — № 11. — С. 23–26.
23. Кононов, В.А. Разработка шиберных систем для разливки мелких слитков и фасонного литья. Новые огнеупоры / В.А. Кононов, В.П. Василенко, А.А. Алпатов // Новые огнеупоры.- 2013.- №. 5.-С. 18-24.
24. Бигеев, В. А. Научно-педагогическое направление подготовки "Металлургия черных металлов" в МГТУ им. Г. И. Носова: прошлое и настоящее / В. А. Бигеев, В. В. Филатов, А. С. Харченко // Гуманитарно-педагогические исследования. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 24-33. – EDN WABMFP.
25. Теоретические и модельные исследования прочностных параметров перемычки, образующейся на входе в канал ковшового затвора / С.П. Еронько [и др.] // Сборник научных трудов ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ». - 2020.- № 20 (63). - С. 86 - 92.
26. Разработка новой конструкции и модельные исследования функционирования катапульты для ковшового затвора / С.П. Еронько, Б.И. Стародубцев, Е.А. Понамарева, Е.С. Цыхмистро // Черная металлургия: Бюлл. ин-та «Черметинформация». - 2021. - Т 77, № 5.- С. 540 - 546.
27. Обоснование энергосиловых параметров катапульты шиберного затвора сталеразливочного ковша / С.П. Еронько [и др.] // Черная металлургия: Бюлл. ин-та «Черметинформация».- 2022. - Т78. - № 10.- С. 858 – 864.
28. Модельные исследования параметров работы вибрационных устройств для систем ковшовых затворов / С.П. Еронько [и др.] // Сборник научных трудов ГОУ ВО ЛНР «ДонГТУ» 2018. № 11 (54). С. 119 - 128.
29. Еронько, С.П. Модельные исследования влияния вибрационного воздействия на процесс застывания канала ковшового затвора / С.П. Еронько, М.Ю. Ткачев, Е.А. Понамарева // Черная металлургия: Бюлл. ин-та «Черметинформация». - 2018. - № 11. - С. 51 - 57.

30. Оценка интенсивности поглощения упругих волн огнеупорами ковшового затвора в процессе вибрационного воздействия / С.П. Еронько [и др.] // Сборник научных трудов ГОУ ВО ЛНР «ДонГТУ». - 2019.- № 16 (59). - С. 69 - 77.

31. Модернизация и модельные исследования манипулятора для замены защитной огнеупорной трубы при непрерывной разливке стали / С.П. Еронько [и др.] // Metallurg. - 2020. - № 4. - С. 30 - 35.

32. Еронько, С.П. Совершенствование опорного узла манипулятора для замены защитных огнеупорных труб при непрерывном литье заготовок / С.П. Еронько, Е.С. Цыхмистро. Д.В. Попов // Материалы ВУЗовской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов по направлению «Машиноведение» . - Донецк: ДонНТУ, 2020.- С. 16 – 19.

33. Понамарева, Е.А. Повышение эффективности функционирования затворов сталелитейных ковшей. // Главный механик, издательский дом "Панорама". - 2021. - №3. – С. 14 - 21.

34. Понамарева, Е.А. Проектирование пружинных узлов для условий экстремально высоких температур / Е.А. Понамарева, А.В. Анастасьев // Конструкторское бюро. - 2021. - № 1.- С. 23 - 31.

35. Понамарева, Е.А. Проектирование узлов скольжения в системах шибберных затворов для разливки стали / Е.А. Понамарева, А.В. Анастасьев// Конструкторское бюро. - 2021. - № 5. - С. 36 - 45.

36. Simulating Interaction of Liquid Steel with Gate Wall at Harmonic Motion / S.N. Tsarenko [e. a.] // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 988 (2022) 052013 doi:10.1088/1755-1315/988/5/052013.

37. Еронько, С.П. Разработка вибрационной системы снижения интенсивности процесса затягивания выпускного канала сталеразливочного ковша/ С.П. Еронько, Е.А. Понамарева, Е.С. Цыхмистро // Черная металлургия: Бюлл. ин-та «Черметинформация». - 2021. - Т 77.- № 2.- С. 165 - 174.

38. Еронько, С.П. Обоснование рабочих параметров вибрационной системы, обеспечивающей снижение интенсивности зарастания канала

ковшового затвора / С.П. Еронько, Е.В. Ошовская, Е.А. Понамарева // Сборник научных трудов ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ».- 2022.- № 29 (72).- С. 99 - 106.

39. Хайнен, А. Внедрение новой системы ковшовых затворов на фирме “Saarstahl AG”/ А. Хайнен, К. Акерман, Р. Бюльман // Сталь.- 2007.- № 5.- С. 49 – 52.

40. Первый в мире монтаж ковшового затвора Interstop CS 80 откидного типа на фирме GSW / Э. Бильбао [и др.] // Сталь.- 2007.- № 11.- С. 69 – 70.

41. Расчет и конструирование манипуляционной системы для обслуживания кассетных затворов сталеразливочных ковшей / С.П. Еронько [и др.] // Metallургические процессы и оборудование.- 2010.- № 3 (21).- С. 26 – 33.

42. Предотвращение застывания металла в канале скользящего шиберного затвора сталеразливочного ковша до начала разливки / В.И. Баптизманский [и др.] // Metallург.- 1984.- № 8.- С. 20 – 21.

43. Россихина, Г.С. Разработка составов стартовых смесей для шиберных затворов сталеразливочных ковшей / Г.С. Россихина, Т.И. Золотарева // Материалы Международной конференции «Технологии и оборудование для производства огнеупоров. Использование новых видов огнеупорных изделий в металлургической промышленности», 15 – 16 февраля 2006 г., Москва.- М., 2006.- С. 73 – 78.

44. Вислогузова, Э.А. Стартовые смеси для шиберных затворов – необходимое условие производства качественного металла / Э.А. Вислогузова, Л.В. Серова, М.А. Хороших // Сталь.- 2008.- № 6.- С. 33 – 34.

45. Земляной, К.Г. Стартовые смеси нового поколения / К.Г. Земляной, А.А. Куровский // Новые огнеупоры.- 2008.- № 1.- С. 23 – 24.

46. Особенности новых разработок в области основных огнеупоров / Л.М. Аксельрод [и др.] // Новые огнеупоры.- 2008.- № 9.- С. 23 – 28.

47. Голоперов, Ю.Л. Неформованные огнеупоры ООО «Метпромснаб» для металлургических предприятий России и СНГ / Ю.Л. Голоперов, Л.М. Антонов // Новые огнеупоры.- 2008.- № 11.- С. 33 – 34.
48. Chromium-bearing starting mixture for filling the steel-discharge channel of casting ladles / L.M. Akselrod [et. al.] // Steel in translation.- 2010.- № 3.- Vol. 40.- P. 265 – 267.
49. Пат. 2381088 РФ, МПК В22D 41/46. Огнеупорная смесь для засыпки канала сталеразливочного ковша / В.В. Смертин [и др.] ООО «Группа «Магнезит».- № 2008139714/02; заявл. 06.10.2008; опубл. 10.02.2010.
50. Пат. 2569198 РФ. С 2. Способ подготовки металлургического ковша / Шаталов П.К. ООО «ПРОМНОВАЦИЯ».- № 2013158218/02; заявл. 26.12.2013; опубл. 20.11.2015.
51. Еронько, С.П. Система механизированной подачи стартовой смеси в канал сталеразливочного ковша / С.П. Еронько, М.Ю. Ткачев, П.М. Матеко // Вестник Донецкого национального технического университета.- 2019.- № 1. (15).- С. 59 – 64.
52. Pat. 2015009249 Japan. B22D 41/46. 11/10. Filler casting apparatus and filler casting method / S. Norio [et. al.] JFE steel corp.- № 2013-135282; filed 27.06.2013\$ published 19.01.2015.
53. Pat. 20110108970 Korea. B22D 41/46. 11/10. Apparatus and method for trowing filler into the nozzle of ladle / К.Н. Gon [et. al.]. Hyundai steel CO.- № 10-2010-0028494; filed 30.03.2010; published 06.10.2011.
54. Pat. 2002361404 Japan. B22D 41/46. 11/10. Bucket for charging sand and method for filling packing sand / T. Shimazaki [et. al.]; Kurosaki harima corp. nisshin steel CO LTD.- № 2001-170145; filed 05.06/2001; published 18.12.2002.
55. Основные направления развития человеко-машинных интерфейсов и примеры их использования / С.А. Шептунов [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета.- 20

56. Использование робота для обслуживания шиберных затворов разливочных ковшей / В. Колла [и др.] // Черные металлы.- 2020.- № 3.- С. 32 – 38.
57. Coradeschi, S. Symbiotic robotic systems: humans, robots, and smart Environments / S. Coradeschi, A. Saffiotti // IEEE Intelligent Systems.- 2006.- Vol. 2 (3).- P. 82 – 84.
58. Malm, T. Safety assessment process for human-robot handling tasks / T. Malm, T. Heikkila, J.M. Ahola // Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference.- 2015.- Vol. 9.- P. 109 – 112.
59. Introduction of symbiotic human-robot-cooperation in the steel sector: an example of social innovation / V. Colla [et. all.] // Materias. Techniques.- 2017.- Vol. 105.- P. 5 – 6.
60. New concept of safety to realize improvement of higher productivity and safety in an environment of humanrobot collaboration, and proposal of the concept of Collaboration Safety Level / I. Maeda [et all.] // 50th International Symposium on Robotics.- ISR.- 2018.- P. 468 – 471.
61. Flexible human-robot cooperation models for assisted shop-floor tasks / K. Darvish [et. all.] // Mechatronics.- 2018.- Vol. 15.- P. 97 – 114.
62. Application of Axiomatic Design for the Design of a Safe Collaborative Human-Robot Assembly Workplace / MATEC Web of Conferences.- 2018.- Vol. 223. P. 45 – 53.
63. Pat. 0002688 Germany. B22D41/46. Method for optimising the opening rate of steel-casting ladles / M. Dislich [et. al.]; Siemens AG, Schulz Egon.- № PCT/EP99/04671; filed 06.07.1999; published 20.01.2000.
64. Точилкин, В.В. Создание агрегатов и устройств технологических машин / В.В. Точилкин, О.А. Филатова.- Магнитогорск: Изд-во. Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2020.- 136 с.
65. Хубка, И. Теория технических систем.- М.: Мир, 1987.- 208 с.

66. Еронько, С.П. Расчет и конструирование оборудования для внепечной обработки и разливки стали / С.П. Еронько, С.В. Быковских, Е.В. Ошовская .- К.: Техніка, 2007.- 344 с.
67. Погребинский, А. Сравнительный анализ САД/САМ-систем // САПР и графика.- 2000.- № 8.- С. 75 – 77.
68. Берлинер, Э. Актуальность применения САПР в машиностроении // САПР и графика.- 2000.- № 9.- С. 11 – 112.
69. Шимкович, Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows.- М.: ДМК Пресс, 2001.- 448 с.
70. Комплексное внедрение программных решений SolidWorks на ЗАО «НКМЗ» / А.П. Листопад [и др.] // САПР и графика.- 2003.- № 8.- С. 12 – 14.
71. Еронько, С.П. Модернизация манипулятора для обслуживания кассетных ковшовых затворов / С.П. Еронько, С.В. Мечик, **И.С. Погорелов** // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса», г. Донецк, 24 – 26 мая 2022 г.- Донецк: ДОННТУ, 2022. Т. 3. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов.- С. 63 – 67.
72. Стрелов, К.К. Технический контроль производства огнеупоров / К.К. Стрелов, И.Д. Кащеев.- М.: Металлургия, 1986.- 240 с.
73. Стрелов, К.К. Технология огнеупоров / К.К. Стрелов, И.Д. Кащеев, П.С. Мамыкин.- М.: Металлургия, 1988.- 528 с.
74. Футеровка сталеразливочных ковшей / Б.А. Великин [и др.].- М.: Металлургия, 1990.- 248 с.
75. Модернизированный манипулятор для обслуживания кассетных затворов сталеразливочных ковшей / С.П. Еронько, **И.С. Погорелов** // Metallurg.- 2022.- № 6.- С. 90 – 95.
76. Improved manipulator for maintenance of the cassette gates of steel-pouring ladles / S.P. Eron'ko, S.M. Gorbatyuk, O.A. Kobelev, **I.S. Pogorelov**, // Metallurgist.- 2022.- № 6.- P. – 90 – 95.

77. Еронько, С.П. Методика и результаты проведения лабораторного эксперимента по удалению огнеупорного стакана из гнездового блока сталеразливочного ковша / С.П. Еронько, И.С. Погорелов // Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин / Ф.К. Иванченко [и др.] – К.: Вища школа, 1978. – 576 с.
78. Разработка системы механизированной подачи стартовой смеси в канал ковшового затвора / С.П. Еронько, С.В. Мечик, М.Ю. Ткачев, **И.С. Погорелов**, Е.С. Саркисян // Черная металлургия. Бюллетень научной-технической и экономической информации.- 2017.- № 3.- С. 54 – 59.
79. Винарский, М.С. Планирование экспериментов в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье.- Киев: Техніка, 1975.- 168 с.
80. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Пер. с англ. / Н. Джонсон, Ф. Лион.- М.: Мир, 1981.- 520 с.
81. Митропольский, А.К. Техника статистических вычислений.- М.: Наука , 1971.- 576 с.
82. Болтян, А.В. Теория инженерных исследований: учебное пособие / А.В. Болтян, И.А. Горобец.- Севастополь: Вебер, 2001.- 139 с.
83. Тимошенко, Г.М. Теория инженерного эксперимента / Г.М. Тимошенко, П.Ф. Зима.- Киев: УМК ВО, 1991.- 124 с.
84. Формализация математического эксперимента при исследованиях технических систем / Н.В. Нижник [и др.] // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов.- 2001.- Вып. 15.- С. 218 – 224.
85. Берлинер, Э. Актуальность применения САПР в машиностроении // САПР и графика.- 2000.- № 9.- С. 111 – 112.
86. Комплексное внедрение программных решений Solid Works на ЗАО «НКМЗ» / А.П. Листопад [и др.] // САПР и графика.- 2003.- № 8.- С. 12 – 14.
87. Еронько, С.П. Физическое моделирование процессов внепечной обработки и разливки стали / С.П. Еронько, С.В. Быковских.- К.: Техніка, 1998.- 136 с.

88. Физическое моделирование технических систем сталеплавильного производства: учебное пособие / С.П. Еронько [и др.]- Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021.- 324 с.
89. Инновационное металлургическое оборудование. Сталеплавильное производство: учебное пособие / С.П. Еронько [и др.]- Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023.- 276 с.
90. Измерения в промышленности: справ. изд. В 3 кн. Кн. 1. Теоретические основы; пер. с нем; под ред. П Профоса.- М.: Металлургия, 1990.- 492 с.
91. Измерения в промышленности: справ. изд. В 3 кн. Кн. 2. Способы измерения и аппаратура; пер. с нем; под ред. П Профоса.- М.: Металлургия, 1990.- 384 с.
92. Измерения в промышленности: справ. изд. В 3 кн. Кн. 3. Способы измерения и аппаратура; пер. с нем; под ред. П Профоса.- М.: Металлургия, 1990.- 344 с.
93. Бриндли, К. Измерительные преобразователи: справочное пособие; пер. с англ. / К. Бриндли.- Москва: Энергоатомиздат, 1991.- 144 с.
94. Томпкинс, У. Сопряжение датчиков устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: Пер. с англ. / У. Томпкинс, Дж. Уэбстер.- М.: Мир, 1992.- 529 с.
95. Ткачев, М.Ю. Контрольно-измерительные приборы и автоматизация металлургического производства: учебное пособие / М.Ю. Ткачев, С.П. Еронько.- Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023.- 256 с.
96. Большаков, В.Д. Теория ошибок наблюдений: учебник для вузов / В.Д. Большаков.-Москва: Недра, 1983.- 223 с.
97. Румшинский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента.- М.: Наука, 1971.- 192 с.
98. Тюрин, Ю.Н. Статистический анализ данных на компьютере / Ю.Н. Тюрин, А.А. Макаров.- М.: ИНФРА-М, 1998.- 528 с.

99. Натурное моделирование работы системы механизированной подачи стартовой смеси в канал ковшового затвора / С.П. Еронько, С.М. Горбатюк, О.А. Кобелев, **И.С. Погорелов** // *Металлург.*- 2024.- № 4.- С. 82 – 86.
100. Поезжаева, Е.В. Повышение точности позиционирования манипулятора / Е.В. Поезжаева, А.С. Васенин, А.Г. Шумков // *Молодой ученый.*- 2014.- № 21 (80).- С. 208 – 210.
101. Белянин, П.Н. Состояние и развитие техники роботов // *Проблемы машиностроения и точность машин.* РАН.- 2002.- № 2.- С. 85 – 96.
102. Коловский, М.З. О точности механизмов промышленных роботов // *Технология легкой промышленности.*- 1986.- № 1.- С. 109 – 114.
103. Притыкин, Ф.Н. О точности позиционирования при построении движений шестизвенной плоской манипуляционной системы / Ф.Н. Притыкин, Е.В. Чукреев // *Омский научный вестник.*- 2000.- № 5.- С. 69 – 71.
104. Модернизация системы механизированной подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша / С.П. Еронько, С.М. Горбатюк, О.А. Кобелев, **И.С. Погорелов** // *Черные металлы .* – 2025 . – N 5 . – С. 17-22 .
105. Совершенствование конструкции манипулятора для стыковки защитной огнеупорной трубы со стаканом-коллектором ковшового затвора / С.П. Еронько, Е.В. Ошовская, С.М. Горбатюк, О.А. Кобелев, **И.С. Погорелов** //
106. Разработка комплекса оборудования для обслуживания ковшовых кассетных затворов / С.П. Еронько [и др.] // *Материалы 10-й Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса» г. Донецк, 28 – 30 мая 2024 г.- Донецк: ДонНТУ, 2024. Т. 3: Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов.*- С. 40 – 44.
107. Full-scale simulation of mechanized feeding of filler sand to the ladle slide-gate nozzle / S.P. Eron'ko, S.M. Gorbatyuk, O.A. Kobelev, **I.S. Pogorelov**, // *Metallurgist.*- 2024.- № 8.- P. – 82 – 86.
108. Моделирование влияния вибрационного воздействия на зарастание канала защитной огнеупорной трубы при истечении стали в промежуточный

ковш / С.П. Еронько, С.М. Горбатюк, О.А. Кобелев, **И.С. Погорелов**, Б.Ф. Белелюбский // *Металлург.* - 2024. - № 10. - С. 110 – 114.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акт об использовании в учебном процессе




Директор Института технологий
НИТУ МИСИС
А.Я.Травянов
«30» мая 2025 г.

Акт

об использовании в учебном процессе материалов диссертации аспиранта кафедры инжиниринга технологического оборудования Погорелова И.С. на тему: «Разработка усовершенствованной конструкции и обоснование энергосиловых параметров манипуляционной системы для обслуживания ковшовых шибберных затворов»

Настоящий Акт подтверждает, что на кафедре ИТО при подготовке бакалавров по направлению 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» по программе «Инжиниринг технологического оборудования» используются результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в рамках диссертационной работы Погорелова И.С.

Действующие физические модели и опытные образцы предложенных гидравлических и механических систем используются в учебном процессе при проведении практических и лабораторных занятий по курсу «Инжиниринг гидропривода технологических машин».

Заведующий кафедрой Инжиниринг технологического оборудования		А.О. Карфидов
Ученый секретарь кафедры Инжиниринг технологического оборудования		А.А. Герасимова
Научный руководитель		С.М. Горбатьюк

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акты технических внедрений



Совершенство
продуманных
решений

Акционерное общество
«Выксунский
металлургический завод»



УТВЕРЖДАЮ:
Директор инженерно -
технологического центра, к.т.н.


А.В. Мунтин
«24» 03 2026

Акт

об использовании результатов диссертационной работы

Отдельные результаты и элементы диссертационной работы Погорелова И.С., посвященной повышению эффективности процесса непрерывной разливки стали за счет механизации обслуживания выпускного канала сталеразливочных ковшей, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в деятельности инженерно-технологического центра АО «Выксунский металлургический завод» в виде:

- конструкции и метода расчета манипулятора для извлечения отработанного разливочного стакана шиберного затвора сталеразливочного ковша;
- конструкции и метода расчета манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша перед его подачей к плавильному агрегату;
- конструкция и метод расчета манипулятора, обеспечивающего реализацию внешнего вибрационного воздействия на защитную огнеупорную трубу, связанную со стаканом-коллектором шиберного затвора сталеразливочного ковша.

Использование перечисленных выше результатов позволило повысить эффективность эксплуатации и ремонтов оборудования литейно-прокатного комплекса Выксунского металлургического завода.

Начальник управления по
металлургическим процессам и
технологиям, к.т.н.

В.В. Кислица

Начальник центра исследовательских
лабораторий ИТЦ, к.т.н.

И.В. Ганошенко



ИПКОН РАН ООО «ГАН»
ООО «ТНМ»

Ассоциация
субъектов инновационной деятельности в горной отрасли
"Инновационные горные технологии"

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д.4, стр.1А, этаж 3, помещ.П
Тел. 8(495) 953-72-96 E-mail: cigt@mail.ru ИНН 7706592697 КПП 770601001

Исх. № 6/ЦИГТ от 26 марта 2026 года

АКТ

Об использовании результатов работы Погорелова И.С. на тему:
«Повышение эффективности процесса непрерывной разливки стали за счет механизации обслуживания выпускного канала сталеразливочных ковшей»

Настоящий Акт подтверждает использование результаты научно-исследовательской работы инженера И.С. Погорелова, посвященной разработке и исследованию конструкций манипуляторов, предназначенных для обслуживания сталеразливочных ковшей и представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук в виде:

- конструкции усовершенствованного манипулятора по обслуживанию кассетных затворов, поставляемых отечественными производителями, что способствует решению государственной программы импортозамещения в области горно-металлургического машиностроения.
- манипуляционной системы для обслуживания сталеразливочных ковшей позволяющая исключить случаи разрушения его гнездового блока при использовании отбойного молотка с целью механического разрушения удаляемого отработанного разливочного стакана.
- системы механизированной подачи стартовой смеси позволяющая повысить надежность работы и исключить применение кранового оборудования и минимизировать потери стартовой смеси.

С учетом мнения отраслевых экспертов, данная инновация представляет практический интерес и будет использована при реализации инновационных программ по модернизации сталелитейных производств ряда горно-металлургических компаний РФ.

Генеральный директор, к.т.н



П.П. Ананьев



«Утверждаю»

А.В. Наливайко

Генеральный директор
Общество с ограниченной ответственностью
«Инжиниринговый технологический центр
металлургического машиностроения»
(ООО «ИТЦ МЕТМАШ»)

«30» августа 2025 г.

АКТ

технического внедрения результатов работы Погорелова И.С. по теме:
«Совершенствование конструкции и разработка методов расчета параметров
оборудования для обслуживания кассетных затворов сталеразливочных ковшей»

На предприятии ООО "ИТЦ МЕТМАШ", совместно с НИТУ МИСИС проведен комплекс научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ, направленных на создание усовершенствованного технологического оборудования для обслуживания ковшовых шиберных затворов, а также обоснование конструктивных и силовых параметров с учетом типоразмера обслуживаемого ковшового затвора.

Одним из ответственных исполнителей этих работ от НИТУ МИСИС является Погорелов И.С., личный вклад которого заключается в разработку конструкции усовершенствованного манипулятора, которая обеспечивает механизацию работ по обслуживанию кассетных затворов, поставляемых отечественными производителями, что способствует решению государственной программы импортозамещения в области металлургического машиностроения.

Применение манипуляционной системы для обслуживания сталеразливочных ковшей позволит исключить случаи разрушения его гнездового блока при использовании отбойного молотка с целью механического разрушения удаляемого отработанного разливочного стакана.

Ожидаемый экономический эффект будет достигнут за счет повышения срока службы огнеупорных гнездовых блоков.

Начальник отдела
ООО «ИТЦ МЕТМАШ»

Иванов Антон Алексеевич

Шифр темы: 1022031

Исполнитель: НИТУ МИСИС

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д.4 стр.1
ИНН7706019535 / КПП770601001
УФК по г. Москве (НИТУ МИСИС, л/с 30736U55720)
Единый казначейский счет:
40102810545370000003
Казначейский счет:
03214643000000017300
БИК: 004525988, ГУ БАНКА РОССИИ ПО ЦФО/УФК
ПО Г.МОСКВЕ

Заказчик: ООО "ХУСМАНН РУС"
129090, Москва г, пл. Малая Сухаревская, дом
3, АНТРЕС 1 ПОМ III КОМ 2 ОФ 7

ИНН 5003096050 КПП 770201001
БИК: 044525225, ПАО СБЕРБАНК г. Москва
р/с 40702810138000155002,
к/с 30101810400000000225

Акт № 3 от 31.08.2023 г.
сдачи-приёмки научно-технической продукции
по договору 018/22-501 от 01.12.2022 г. за 3 этап

Совершенствование оборудования для обслуживания ковшовых шибберных затворов

Мы, нижеподписавшиеся, представитель исполнителя Проректор Филонов М.Р. с одной стороны и представитель заказчика Генеральный директор Щетинин П.С. с другой стороны составили настоящий акт о том, что научно-техническая продукция удовлетворяет условиям договора, требованиям технического задания и календарного плана.

Договорная цена составила по договору 200 000,00 руб. Не облагается НДС в соответствии с подпунктом 16 пункта 3 статьи 149 НК РФ.

Выполнено с начала работ 200 000,00 руб., в том числе за 3 этап - 100 000,00 руб.

Общая сумма аванса, перечисленная по договору, составила 100 000,00 руб.

Удержано с начала работ 100 000,00 руб., в том числе за 3 этап - 100 000,00 руб.

Следует к перечислению 0,00 руб.

Работу сдал:
От Исполнителя


Проректор
Филонов М.Р.



Работу принял:
От Заказчика

Генеральный директор
Щетинин П.С.



Руководитель кассы работ  С.М. Горбачук

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Расчет экономической эффективности

«Утверждаю»



Валенсия школа финансов (факультет)
Директор Ордов Контагин Василий
д. экон. наук, доцент

» _____ 2025 г.

Расчет ожидаемого экономического эффекта от внедрения в производство результатов НИР «Совершенствование конструкции и разработка методов расчета параметров оборудования для обслуживания кассетных затворов сталеразливочных ковшей»

Внедрение предложенной разработки позволит не только улучшить условия труда персонала сталеплавильных цехов, занятого подготовкой разливочных ковшей к приему жидкой стали, но и повысить качество выполнения необходимых операций, а также обеспечить рациональное использование дорогостоящих стартовых смесей.

Применение манипуляционной системы для обслуживания сталеразливочного ковша позволит исключить случаи разрушения его гнездового блока при использовании отбойного молотка с целью механического разрушения удаляемого отработанного разливочного стакана.

Благодаря этому экономический эффект \mathcal{E}_1 от повышения срока службы огнеупорных гнездовых блоков может составить:

$$\mathcal{E}_1 = [Q/(M_k n_6)] k c_6,$$

где Q – годовое производство стали, т;

M_k – вместимость сталеразливочного ковша, т;

n_6 – количество разливок, обеспечиваемых гнездовым блоком;

k – доля гнездовых блоков, разрушаемых при извлечении вручную отработанных разливочных стаканов с использованием отбойного молотка;

c_6 – стоимость огнеупорного гнездового блока, руб.

В таблице 5.1 приведены данные об устраняемых потерях при исключении разрушений 10 % гнездовых блоков благодаря применению разработанной манипуляционной системы для механизированного обслуживания сталеразливочных ковшей различной вместимости.

Таблица 5.1 – Устраняемые потери при обслуживании сталеразливочных с использованием разработанной манипуляционной системы

Q , т	M_k , т	n_0	κ	c_6 , руб.	\mathcal{E}_1 , руб.
1 млн.	150	12	0,1	1000	55 556
3 млн.	300	12	0,1	1500	125 000

Улучшение показателей технико-экономической эффективности работ оборудования, задействованного при подготовке ковша к приему и последующей разливке стали, за счет использования предложенной системы механизированной подачи стартовой смеси обусловлено сокращением продолжительности работы кранового оборудования, а также устранением потерь самой смеси.

В сравнении с известными аналогами, разработанная система не требует выполнения дополнительных операций, связанных с подъемом, транспортировкой и опусканием в полость разливочного ковша с помощью кранов емкостей со смесью. Благодаря этому будут снижены затраты на электроэнергию, необходимой для работы цеховых кранов.

Общее сокращение времени работы кранового оборудования T составит:

$$T = [t(Q/M_k)]/60,$$

где t – продолжительность операций, выполняемых с использованием крана при заполнении стартовой смесью выпускного канала одного

В таблице 5.1 приведены данные об устраняемых потерях при исключении разрушений 10 % гнездовых блоков благодаря применению разработанной манипуляционной системы для механизированного обслуживания сталеразливочных ковшей различной вместимости.

Таблица 5.1 – Устраняемые потери при обслуживании сталеразливочных с использованием разработанной манипуляционной системы

Q , т	M_k , т	n_b	k	c_b , руб.	\mathcal{E}_1 , руб.
1 млн.	150	12	0,1	1000	55 556
3 млн.	300	12	0,1	1500	125 000

Улучшение показателей технико-экономической эффективности работ оборудования, задействованного при подготовке ковша к приему и последующей разливке стали, за счет использования предложенной системы механизированной подачи стартовой смеси обусловлено сокращением продолжительности работы кранового оборудования, а также устранением потерь самой смеси.

В сравнении с известными аналогами, разработанная система не требует выполнения дополнительных операций, связанных с подъемом, транспортировкой и опусканием в полость разливочного ковша с помощью кранов емкостей со смесью. Благодаря этому будут снижены затраты на электроэнергию, необходимой для работы цеховых кранов.

Общее сокращение времени работы кранового оборудования T составит:

$$T = [t(Q/M_k)]/60,$$

где t – продолжительность операций, выполняемых с использованием крана при заполнении стартовой смесью выпускного канала одного

сталеразливочного ковша, составляющая не менее 10 минут. В этом случае снижение расходов на электроэнергию \mathcal{E}_2 можно определить из выражения

$$\mathcal{E}_2 = T \cdot N \cdot C,$$

где N – усредненная суммарная мощность электродвигателей крана, кВт;

C – стоимость кВтч электроэнергии, руб.

С использованием приведенных зависимостей выполнены расчеты сокращения затрат на электроэнергию, результаты которых приведены в таблице 5.2

Таблица 5.2 – Снижение затрат на электроэнергию при использовании разработанной системы механизированной подачи стартовой смеси

Q , т	M_k , т	t , мин.	T , ч	N , кВт	C , руб.	\mathcal{E}_2 , руб.
1 млн.	150	10	1112	98	4,9	533 982
3 млн.	300	12	2000	98	4,9	960 400

2 Устранение потерь стартовой смеси при ее подаче в канал ковшового стакана

При эксплуатации разработанной системы механизированной подачи стартовой смеси ее расход в сравнении с вводом сверху самотеком в канал разливочного стакана ковша минимизируется, благодаря устранению потерь сыпучего материала, вызываемых воздействием конвективных потоков воздуха на сыпавшуюся струю. Экономия средств при этом составит:

$$\mathcal{E}_3 = (Q / M_k)(q_1 - q_2)C_{см},$$

где q_1 – расход смеси на одну разливку при подаче сверху самотеком, кг;

q_2 – расход смеси на одну разливку при ее подаче с использованием разработанной системы, кг;

$C_{см}$ – стоимость подаваемой смеси, руб./кг.

Результаты расчетов снижения затрат на стартовую смесь при использовании выполненной разработки приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Сокращение затрат на стартовую смесь при подаче ее с использованием разработанной системы

Q , т	M_k , т	q_1 , кг	q_2 , кг	$C_{см}$, руб/кг	\mathcal{E}_3 , руб.
1 млн.	150	6,6	5,5	84	616 000
3 млн.	300	8,4	7	84	1 176 000

3 Снижение частоты замены защитных огнеупорных труб из-за зарастания их канала

При промышленном применении модернизированного манипулятора, снабженного системой вибрационного воздействия на удерживаемую им защитную, увеличится длительность ее службы до замены с 1,5 до 2 разливок, благодаря снижению интенсивности процесса зарастания канала данного огнеупорного изделия, что позволит сократить его расход. За счет этого экономия средств составит:

$$\mathcal{E}_4 = [Q / (M_k z_1) - Q / (M_k z_2)] C_{ст},$$

где z_1 – число плавов, в течение которых служит защитная огнеупорная труба при отсутствии вибрационного воздействия на нее;

z_2 – число плавов, в течение которых служит защитная огнеупорная труба при вибрационном воздействии на нее;

$C_{ст}$ – стоимость защитной огнеупорной трубы.

Результаты расчетов снижения затрат за счет увеличения продолжительности работы защитной огнеупорной трубы при использовании модернизированного манипулятора приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Сокращение затрат на использование защитных огнеупорных труб при использовании вибрационного воздействия на них

Q , т	M_k , т	z_1	z_2	$C_{см}$, руб.	\mathcal{E}_4 , руб.
1 млн.	150	1,5	2	2000	2 222 222
3 млн.	300	1,5	2	2000	3 333 333

Совокупный экономический эффект от использования выполненной разработки при годовом производстве стали 1 млн.т:

$$\mathcal{E}_{с1} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 = 3\,427\,760 \text{ руб.}$$

Совокупный экономический эффект от использования выполненной разработки при годовом производстве стали 3 млн.т:

$$\mathcal{E}_{с3} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 = 5\,594\,733 \text{ руб.}$$

Ожидаемый годовой экономический эффект от промышленного применения результатов диссертационной работы, обусловленный устранением потерь дорогостоящей стартовой смеси, а также увеличением длительности работы гнездового блока сталеразливочного ковша и защитной огнеупорной трубы, составит 3 427 760 рублей при годовом производстве стали в 1 000 000 т и 5 594 733 рубля при 3 000 000 т.

Получаемый экономический эффект в полной мере окупает первоначально вложенные инвестиции для внедрения в производство результатов НИР «Совершенствование конструкции и разработка методов расчета параметров оборудования для обслуживания кассетных затворов сталеразливочных ковшей». Реализация рассматриваемой научно-исследовательской работы направлена на обеспечение технологического суверенитета металлургической отрасли.

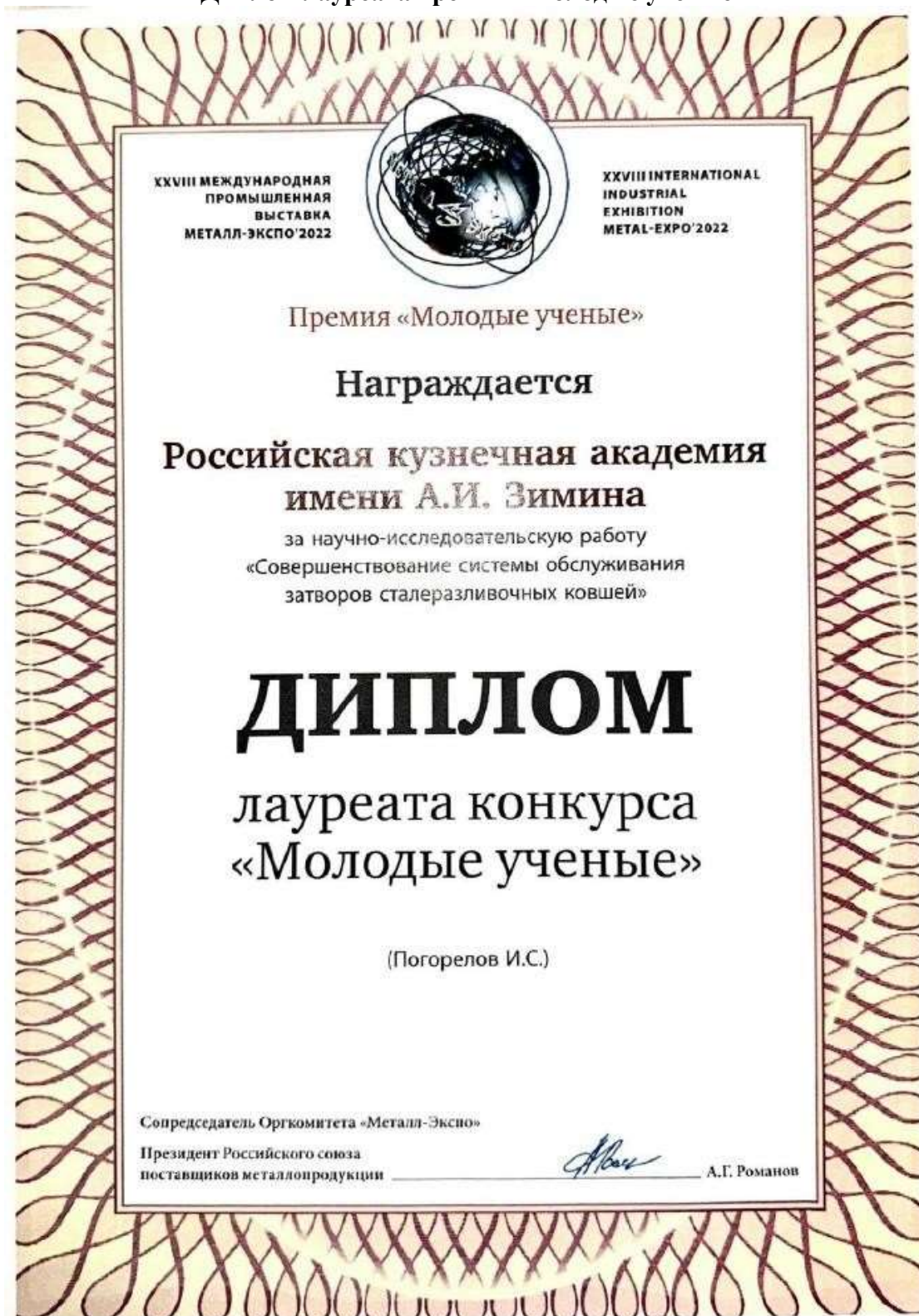
Профессор кафедры финансов
устойчивого развития
РЭУ им Г.В. Плеханова,
Профессор, д.э.н.

А.Ф. Лещинская



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Диплом лауреата премии «Молодые ученые»



ПРИЛОЖЕНИЕ Д
Патент на изобретение

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2832293

Устройство для механизированной подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша

Патентообладатель: *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСИС" (RU)*

Авторы: *Горбатов Сергей Михайлович (RU), Кобелев Олег Анатольевич (RU), Чиченева Ольга Николаевна (RU), Погорелов Иван Сергеевич (RU), Еронько Сергей Петрович (RU)*

Заявка № 2024104102

Приоритет изобретения 19 февраля 2024 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 23 декабря 2024 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 19 февраля 2044 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов