

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

Погорелов Иван Сергеевич

Повышение эффективности процесса непрерывной разливки стали за счет механизации обслуживания выпускного канала сталеразливочных ковшей

2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Горбатюк Сергей Михайлович

Москва - 2026

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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 шиберных 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 шиберных 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 шиберными 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 диссертации паспорту научной специальности.** Диссертационная работа по своей цели, задачам, содержанию и научной новизне соответствует паспорту специальности 2.6.2. – Металлургия черных, цветных и редких металлов. Направление исследований 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.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений, и изложена на 169 страницах машинописного текста, включающего 76 рисунков, 7 таблиц, список использованных источников из 108 наименований 5 приложений.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность исследований, направленных на повышение эффективности процессов подготовки и реализации непрерывной разливки стали за счет совершенствования технологических режимов работы сталевыпускных систем ковшей. Сформулированы цель и задачи исследований, отмечена их научная новизна, а также теоретическая и практическая значимость.

**Глава 1** посвящена особенностям обслуживания сталевыпускной системы разливочного ковша, оборудованного шиберным затвором, которое оказывает прямое влияние на стабильность процесса непрерывной разливки и качество металла. Комплект огнеупорных изделий, формирующих выпускной канал сталеразливочного ковша, снабженного шиберным 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. Поэтому при эксплуатации шиберных систем необходимо с установленной периодичностью осуществлять замену отработанных огнеупорных элементов. 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 и существенно снизились потери тепла футеровкой в межоперационный период.

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, тем самым предотвращая недопустимое остывание ковша и нарушение температурного режима последующей плавки.

Для предотвращения попадания жидкой стали в канал разливочного стакана и верхней огнеупорной плиты во время заполнения ковша металлом при выпуске плавки, предусмотрена засыпка канала специальной (стартовой) смесью – порошкообразным или мелкозернистым материалом. Благодаря особым свойствам, стартовая смесь не спекается при температуре в пределах 1600 – 1650 °С, не смачивается жидкой сталью и обладает высокой текучестью, что обеспечивает ее незамедлительное высыпание из канала разливочного стакана при первом открывании шиберного затвора для начала разливки металла в штатном режиме без применения кислородного прожигания, являющегося источником экзогенных неметаллических включений. Для устранения потерь дорогостоящей стартовой смеси, преодоления восходящих конвективных тепловых потоков от разогретого ковша и лучшего центрирования относительно входного отверстия выпускного канала сталеразливочного ковша струи сыпучего материала, поступающего из бункера в него самотеком. необходимо выполнить исследования по совершенствованию

конструкций существующих устройств, применяемых для подачи стартовой смеси. Это позволит гарантировать высокую плотность защитной засыпки и надежную самопроизвольную открываемость затвора.

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. При этом для прижатия защитной трубы к нижней части стакана-коллектора шиберного затвора, надежного удержания в рабочей позиции и периодической ее замены в условиях серийной разливки используют специальные манипуляторы различного конструктивного исполнения. Техничко-экономические показатели применения огнеупорной трубы определяются продолжительностью выполнения ею защитной функции с момента установки до необходимой замены. Одной из причин преждевременного выхода из строя данного огнеупорного изделия является зарастание ее канала из-за налипания на поверхности его стенок твердых частиц, что нарушает гидродинамику струи и повышает риск вторичного окисления расплава. Для снижения интенсивности указанного процесса можно использовать направленное вибрационное воздействие на корпус трубы с помощью специальных устройств, возбуждающих колебания в сталевыпускной системе разливочного ковша и размещаемых на манипуляторе, удерживающем во время разливки защитное огнеупорное изделие.

Повсеместная эксплуатация в сталеплавильном производстве разливочных ковшей, оборудованных шиберными затворами кассетного типа, требует проведения комплексных исследований, связанных с разработкой нового вспомогательного оборудования, которое обеспечит высокое качество обслуживания ковшовых затворов и за счет этого повысить технико-экономические показатели эффективности их работы (продолжительность подготовки ковша к разливке, кратность разливок одним комплектом огнеупорных изделий ковшового затвора, стабильность перелива и снижение брака по неметаллическим включениям). Подготовительные участки по обслуживанию сталеразливочных ковшей в ближайшие годы будут оборудованы роботизированными комплексами, позволяющими минимизировать трудоемкость выполняемых персоналом операций по замене отработанных огнеупорных изделий шиберных затворов и подаче стартовой смеси в канал разливочного стакана во время подготовки ковша к приему жидкой стали, а также при осуществлении ее защиты от вторичного окисления во время непрерывной разливки. Внедрение усовершенствованного оборудования, напрямую определяющего технологические параметры и качество непрерывнолитой заготовки, потребует теоретического обоснования его конструктивных и энергосиловых параметров и последующей практической проверки правильности принятых технических решений и корректности полученных расчетных зависимостей.

**В главе 2** представлена методика расчета энергосиловых параметров оборудования, применяемого при подготовке к работе ковшовых затворов. Переход к механизированному обслуживанию имеет не только механическое, но и важнейшее технологическое значение: он позволяет существенно сократить время ремонта и тем самым обеспечить минимизацию тепловых потерь футеровки ковша во время межплавочного простоя. Это стабилизирует температурный режим стали при последующей разливке и повышает энергоэффективность плавки. Для обслуживания шиберных затворов кассетного типа предложен модернизированный манипулятор, схематично представленный на рисунке 1, а. 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. 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 рычажный механизм, позволяющий реализовать ее плоскопараллельное перемещение 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. 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 разливного стакана из гнездового блока ковша.

На основании конструктивной схемы, приведенной на рисунке 1, *а*, составили расчетную кинематическую схему (рисунок 2), в соответствии с которой на элементы механизма поворота колонны действуют силы тяжести колонны с опорным диском  $G_{\text{кд}}$ , рычажной системы  $G_{\text{рс}}$ , несущей консоли  $G_{\text{к}}$ , механизма извлечения отработанного разливного стакана  $G_{\text{м}}$ , стакана  $G_{\text{ог}}$ , силового гидроцилиндра  $G_{\text{ц}}$  и контргруза  $G_{\text{кг}}$ .

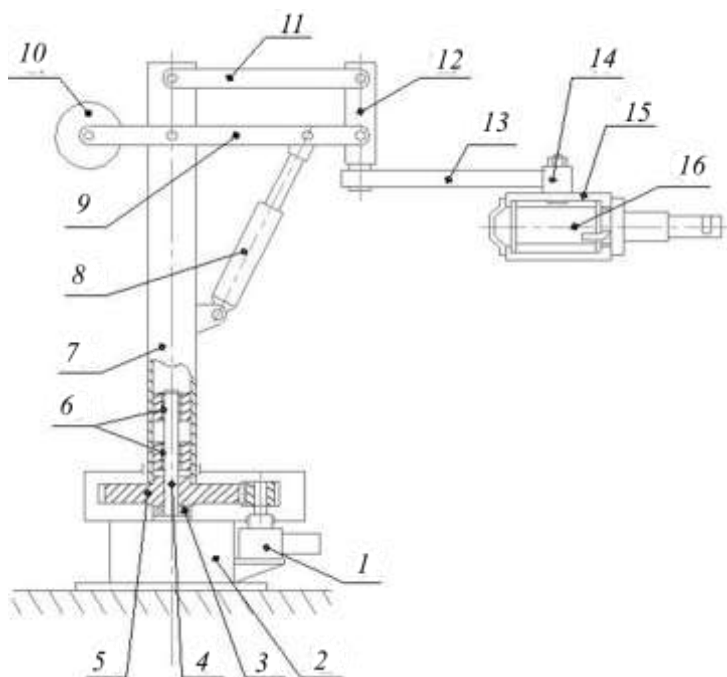
*а**б*

Рисунок 1– Конструктивная схема (*а*) и экспериментальный образец (*б*) модернизированного манипулятора для извлечения отработанного разливного стакана:  
 1 - привод, 2 – тумба, 3 – опорный шарикоподшипник, 4 - вертикальный стержень, 5 – диск (зубчатое колесо?), 6 - подшипники скольжения, 7 – колонна, 9 – рычаг, 10 – контргруз, 11 – рычаг, 12 – обойма, 13 – консоль, 14 – шарнирная опора, 15 – подвеска.  
 16 – гидравлический механизм

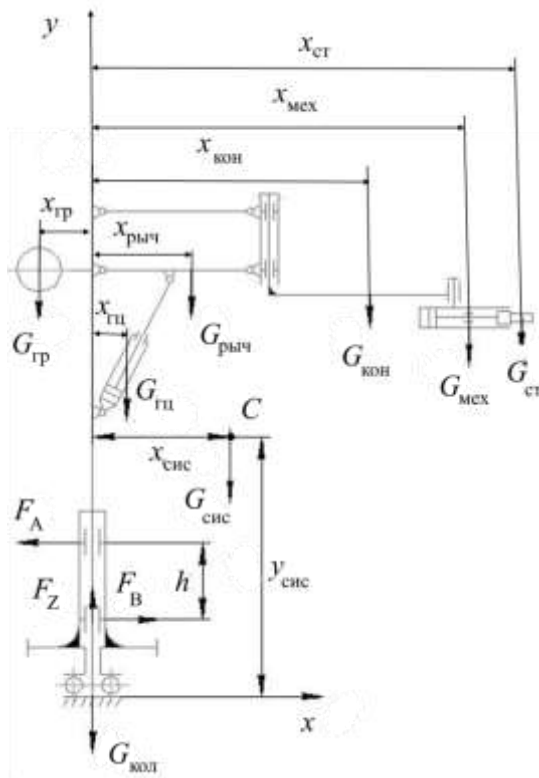


Рисунок 2 – Расчетная схема механизма поворота колонны

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

$$x_{\text{сис}} = \frac{\sum G_i \cdot x_i}{G_{\text{сис}}}; \quad y_{\text{сис}} = \frac{\sum G_i \cdot y_i}{G_{\text{сис}}}; \quad )$$

где  $x_i, y_i$  – координаты центров тяжести составных элементов, м;  
 $G_{\text{сис}}$  – общая сила тяжести поворотного механизма системы, Н, равная  
 $G_{\text{сис}} = \sum G_i = G_{\text{кол}} + G_{\text{рыч}} + G_{\text{кон}} + G_{\text{мех}} + G_{\text{ст}} + G_{\text{гц}} + G_{\text{гр}}$ .

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

$$F_z = G_{\text{сис}}.$$

Горизонтальные реакции в радиальных подшипниках скольжения  $A$  и  $B$

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

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

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

где  $r_A, r_B, r_{\text{уп}}$  – соответственно, радиусы цапф опор  $A, B$  и упорного подшипника, м;  
 $\mu_1$  – коэффициент трения в радиальных подшипниках;  
 $\mu_2$  – коэффициент трения в упорном подшипнике.

Статическая мощность привода

$$P_{\text{КОЛ}} = \frac{M_{\text{СТАТ}} \cdot \omega_{\text{КОЛ}}}{\eta_{\text{КОЛ}}},$$

где  $\omega_{\text{КОЛ}}$  – заданная угловая скорость поворота колонны;

На составные части механизма подъема несущей консоли действуют силы тяжести рычажной системы  $G_{\text{РЫЧ}}$ , несущей консоли  $G_{\text{КОН}}$ , механизма извлечения отработанного разливающего стакана  $G_{\text{МЕХ}}$  самого стакана  $G_{\text{СТ}}$ , а также контргруза  $G_{\text{ГР}}$  (рисунок 2.5).

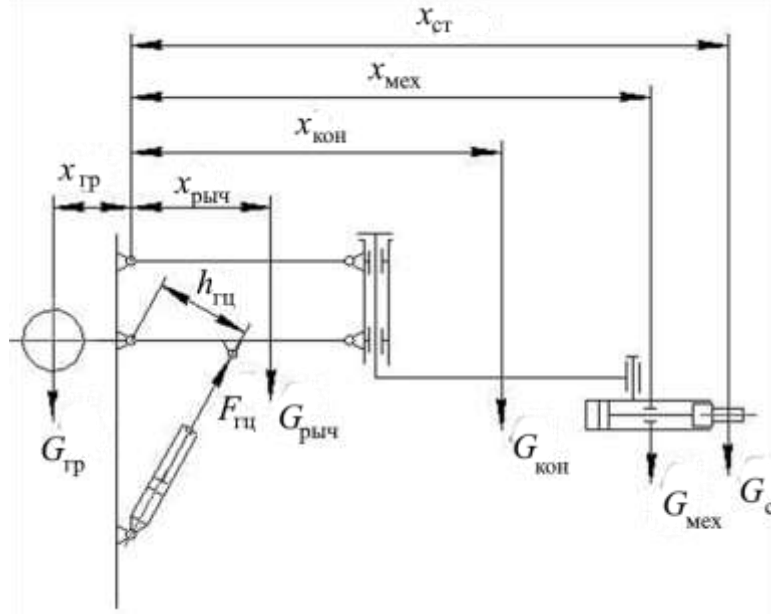


Рисунок 3 – Расчетная схема механизма подъема несущей консоли

Расчет движущей силы  $F_{\text{ГЦ}}$ , которую должен развивать силовой 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:

$$F_{\text{ГЦ}} \cdot h_{\text{ГЦ}} = G_{\text{РЫЧ}} \cdot x_{\text{РЫЧ}} + G_{\text{КОН}} \cdot x_{\text{КОН}} + G_{\text{МЕХ}} \cdot x_{\text{МЕХ}} + G_{\text{СТ}} \cdot x_{\text{СТ}} - G_{\text{ГР}} \cdot x_{\text{ГР}}.$$

Откуда получим значение требуемого усилия гидроцилиндра

$$F_{\text{ГЦ}} = (G_{\text{РЫЧ}} \cdot x_{\text{РЫЧ}} + G_{\text{КОН}} \cdot x_{\text{КОН}} + G_{\text{МЕХ}} \cdot x_{\text{МЕХ}} + G_{\text{СТ}} \cdot x_{\text{СТ}} - G_{\text{ГР}} \cdot x_{\text{ГР}}) / h_{\text{ГЦ}}.$$

При расчете параметров привода механизма извлечения отработанного разливающего 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. Использование рассчитанного, плавно нарастающего усилия вытягивания вместо агрессивных ударных нагрузок (характерных для демонтажа ручным пневмоинструментом) гарантирует полное сохранение структурной целостности стационарного огнеупорного гнездового блока. Исключение риска образования микротрещин и механических повреждений в этом узле является определяющим фактором для предотвращения аварийных прорывов металла, что напрямую влияет на безопасность процесса разливки. Указанную силу можно рассчитать по формуле:

$$F_{\text{ИЗВ}} = \tau_{\text{СДВ}} \cdot A_{\text{ЗР}},$$

где  $\tau_{\text{СДВ}}$  – допустимое напряжение сдвига материала раствора;

$A_{\text{ЗР}}$  – общая площадь сдвигаемого слоя затвердевшего раствора.

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

$$A_{зр} = \frac{R_1 + R_2}{L},$$

где  $R_1$  – наружный радиус нижнего торца разливочного стакана;  
 $R_2$  – наружный радиус верхнего торца разливочного стакана;  
 $L$  – длина образующей конической поверхности разливочного стакана.  
 Размер  $L$  находят из выражения:

$$L = \sqrt{(R_1 - R_2)^2 + H_{ст}^2},$$

где  $H_{ст}$  – высота разливочного стакана.

Тогда

$$A_{зр} = \frac{R_1 + R_2}{\sqrt{(R_1 - R_2)^2 + H_{ст}^2}}.$$

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.

Таблица 1 – Результаты расчета значений силы, развиваемой гидроцилиндром механизма извлечения отработанного разливочного стакана

Вместимость ковша, т	Размеры разливочного стакана, мм			$S_{пс},$ мм <sup>2</sup>	$\tau_{сд},$ МПа	$F_{и},$ Н
	$R_{н}$	$R_{в}$	$H_{ст}$			
100	90	75	300	155400	0,25	38850
150	100	85	300	174200	0,25	43550
250	115	100	370	250000	0,25	62500

По вычисленным значениям силы  $F_{изв}$ , необходимой для извлечения отработанного разливочного стакана, и хода поршня, который можно принять равным удвоенной высоте разливочного стакана, выбирают стандартный гидроцилиндр. Предложенная методика определения значений энергосиловых параметров разработанной манипуляционной системы, 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.

**Глава 3** Рассмотрены вопросы создания компоновок манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси в разливочное отверстие сталеразливочного ковша, что является критически важной технологической операцией для защиты первых порций стали от экзогенных неметаллических включений. 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. На этапе технического задания, которые позволили разработать 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.

Для обеспечения стабильного металлургического процесса на всех последующих стадиях проектирования при разработке и внедрении опытных и серийных образцов, был сформирован комплекс требований к создаваемым изделиям: безопасность обслуживания при подаче стартовой смеси в разливочное отверстие сталеразливочного ковша; точность позиционирования рабочего инструмента манипулятора относительно оси разливочного отверстия (для преодоления восходящих конвективных тепловых потоков ковша и исключения рассеивания материала); исключение кранового оборудования, работающего над сталеразливочным ковшом; рациональное распределение стартовой смеси в целях получения эффективной корочки, гарантирующей самопроизвольное истечение металла при открытии шиберного затвора без применения кислородного прожигания; защита механизмов манипулятора от воздействия высоких температур.

На рисунке 4 показана конструктивная схема предложенной системы, отвечающей комплексу предъявляемых металлургических и механических требований (безопасность обслуживания, исключение применения кранового оборудования, минимизация потерь смеси).

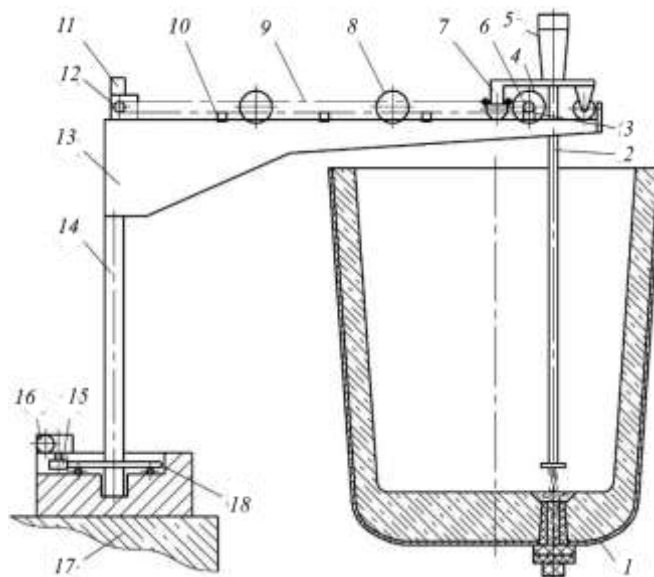


Рисунок 4 – Конструктивная схема разработанной системы механизированной подачи стартовой смеси в канал разливочного стакана:

- 2- ковш, 2 – металлический рукав, 3 – поперечина, 4 – шкив, 5 – бункер, 6 – ведомая звездочка. 7 – тележка, 8 – ролики, 9 – цепь, 10 – скользуны, 11 – мотор-редуктор, 12 – ведущая звездочка, 13 – консоль, 14 – колонна, 15 – шестерня, 16 – мотор-редуктор, 17 – основание, 18 – диск.

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 металлорукавом 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 металлорукава 2. Причем диаметр шкива по максимальному углублению продольной канавки равен диаметру ходового колеса тележки. Вдоль консольной балки в одной вертикальной плоскости с одинаковым шагом установлены несколько свободно вращающихся на осях

направляющих роликов 8, препятствующих провисанию металлорукава 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.

На основании конструктивной схемы, приведенной на рисунке 4, составили расчетную кинематическую схему (рисунок 5), 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  $G_5 = G_{\text{рук}}$ .

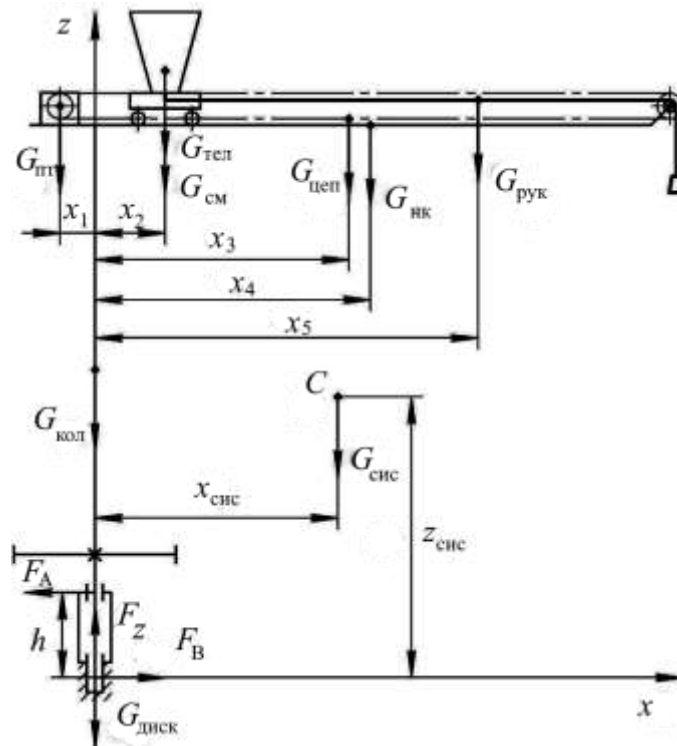


Рисунок 5 – Расчетная схема привода механизма поворота колонны

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

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

где  $x_i, z_i$  – координаты центров тяжести составных элементов, м;  
 $G_{\text{сис}}$  – общая сила тяжести поворотного механизма системы, Н, равная

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

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

$$F_z = G_{\text{сис}}.$$

Горизонтальные реакции в радиальных подшипниках скольжения  $A$  и  $B$

$$F_A = F_B = \frac{G_{\text{сис}} \cdot x_{\text{сис}}}{h},$$

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

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

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

$\mu_1$  – коэффициент трения в радиальных подшипниках;

$\mu_2$  – коэффициент трения в упорном подшипнике.

Статическая мощность привода

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

где  $\eta_{\text{кол}}$  – коэффициент полезного действия привода попорота колонны;

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 6, а), при этом большая часть металлорукава находится в горизонтальном положении;

2) тележка с порожним бункером начинает движение из рабочей позиции в положение парковки (рисунок 6, б), при этом металлорукав находится в вертикальном положении. При движении тележки из положения парковки в рабочую позицию минимальное натяжение цепи будет в точке 1.

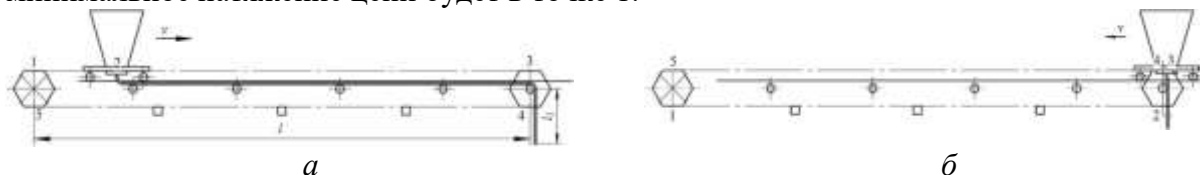


Рисунок 6 – Расчетная схема механизма перемещения бункера в положении парковки (а) и в рабочей позиции (б)

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  $F_{\text{мин}} = 1 \dots 3$  кН (не менее 0,5 кН на одну цепь); тогда  $F_1 = F_{\text{мин}}$

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:

$$F_0 = F_{\text{нб}} - F_{\text{сб}} = F_5 - F_1.$$

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

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

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;

$\eta$  – коэффициент полезного действия механизма передвижения тележки.

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.

Полученные зависимости использовали при расчете и конструировании опытных образцов предложенной системы механизированной подачи стартовой смеси в канал ковшового разливочного стакана для ковшей различной вместимости (таблица 2).

Спроектирован и изготовлен натурный образец предложенного манипулятора в масштабе 1:5, соответствующий условиям обслуживания 100-тонного сталеразливочного ковша. Экспериментально доказана работоспособность предложенного манипулятора для механизированной подачи стартовой смеси в выпускной канал сталеразливочного ковша и обеспечение точности позиционирования металлического рукава, при которой сыпучий материал без потерь поступает в выпускной канал ковша. Это гарантирует формирование качественного буферного слоя, защищающего металл от вторичного окисления при открытии шиберного затвора.

Таблица 2 – 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
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

**Глава 4** посвящена модернизации манипуляционной системы, обеспечивающей реализацию защиты стали от вторичного окисления при функционировании ковшового затвора, и содержит результаты исследований, направленных на повышение эффективности защиты струи металла на участке сталеразливочный ковш – промежуточный ковш МНЛЗ, обеспечиваемой за счет использования огнеупорной трубы, пристыкованной к стакану-коллектору ковшового шиберного затвора и удерживаемой специальным манипулятором.

Главным фактором, ограничивающим ресурс работы трубы и нарушающим целостность струи, является зарастание ее внутреннего канала неметаллическими включениями (преимущественно тугоплавки оксидами алюминия  $Al_2O_3$ ). Налипание включений искажает гидродинамику потока и приводит к турбулизации расплава. Продление срока службы трубы за счет снижения интенсивности процесса зарастания ее канала можно достичь сообщением ей вертикальных колебаний благодаря внешнему вибрационному воздействию, что нашло практическое подтверждение на экспериментальной установке, показанной на рисунке 7. В качестве модельной жидкости служил расплав тиосульфата натрия, нагретый до температуры 85 – 90 °С, 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. При симуляции разливки с применением внешнего вибрационного воздействия на модель огнеупорной трубы, включали вибратор, закрепленный на вилке модели манипулятора, и с помощью акселерометра контролировали виброускорение возбуждавшихся в системе

вертикально направленных колебаний. На рисунке 8 показан характерный вид регистрировавшихся сигналов при заданных условиях эксперимента, а рисунок 9 отображает зафиксированное влияние вибрации на процесс зарастания канала модели защитной огнеупорной трубы.

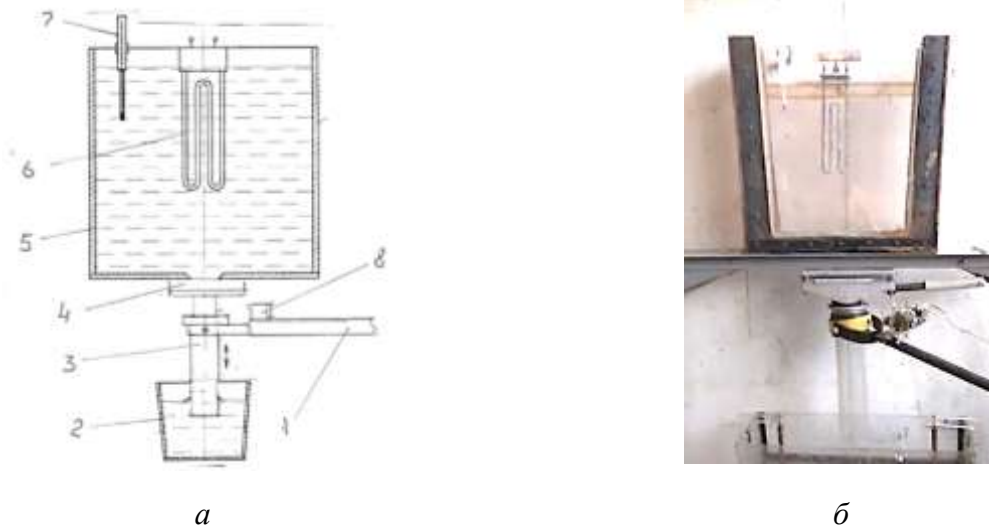


Рисунок 7 – Схема (а) и общий вид (б) экспериментальной установки для моделирования процесса зарастания канала защитной огнеупорной трубы: 1 – манипулятор, 2 – приемная емкость, 3 – защитный огнеупорный стакан, 4 – шиберный затвор, 5 – модель ковша, 6 – нагреватель, 7 – термометр, 8 – вибратор

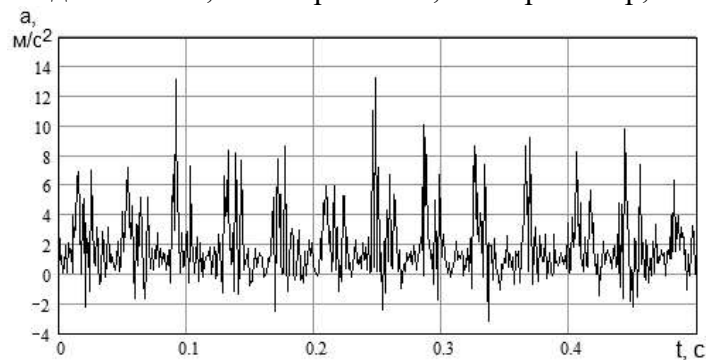


Рисунок 8 – Виброускорение, развиваемое вибратором при общей массе дисбалансов 45 г и частоте их вращения  $100 \text{ с}^{-1}$



Рисунок 9 – Форма и толщина слоев имитатора настыли, образовавшихся в нижней части модели защитной трубы при симуляции разливки в случаях отсутствия (а) и наличия вибрационного воздействия (б)

С учетом данных лабораторных исследований предложен модернизированный манипулятор (рисунок 10), снабженный вибрационной системой, включающей два пневматических вибратора (рисунок 11), которые возбуждают вертикально направленные колебания защитной трубы, сообщая ей виброускорение (рисунок 12), благодаря чему снижается скорость зарастания ее канала, что стабилизирует поток расплава и обеспечивает непрерывную, высокоэффективную защиту стали от вторичного окисления в процессе серийной разливки.

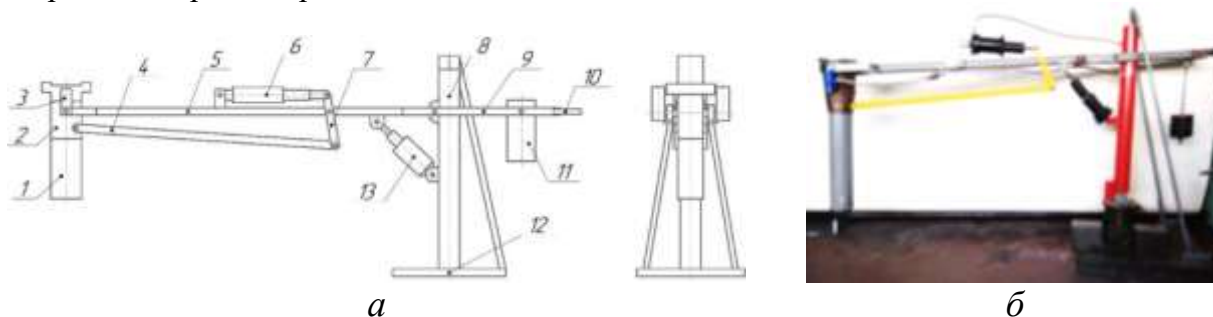


Рисунок 10 – Конструктивная схема (а) и опытный образец (б)

модернизированного манипулятора для смены и удержания защитных огнеупорных труб при непрерывной разливке стали: 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



Рисунок 11 – Положение пневматических вибраторов относительно защитной огнеупорной трубы: вид спереди (а); вид сбоку (б)

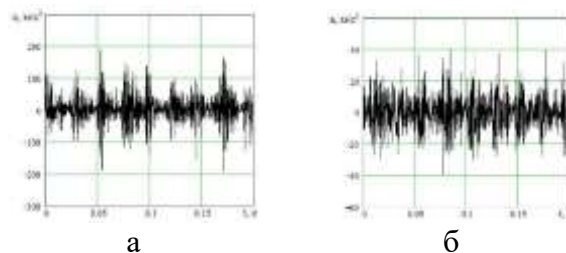


Рисунок 12 – Значения виброускорения, возбуждаемого пневматическими вибраторами в месте их размещения (а), и на нижней торцевой поверхности огнеупорной трубы (б)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

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 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/1a8ZLCzCdxoNTky55ijpqqouCHaM5adLk>
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/1a8ZLCzCdxoNTky55ijpqqouCHaM5adLk>
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.