

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ»  
ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к проведению лабораторных работ по дисциплине вариативной части  
по выбору вуза профессионального цикла**

## **МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

## **МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ (часть 2)**

**для студентов всех форм обучения  
направления подготовки 15.03.02  
«Технологические машины и оборудование»**

**Донецк  
ДОННТУ  
2017**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ  
МЕТАЛЛУРГИИ» ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к проведению лабораторных работ по дисциплине вариативной части  
по выбору вуза профессионального цикла**

## **МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

## **МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ (часть 2)**

**для студентов всех форм обучения  
направления подготовки 15.03.02  
«Технологические машины и оборудование»**

Рассмотрены на заседании  
кафедры «Механическое оборудование  
заводов черной металлургии»  
им. проф. Седуша В.Я.  
Протокол № 11 от 03.04.2017 г.

Утверждены на заседании  
учебно-издательского совета ДОННТУ  
Протокол № \_\_ от \_\_.\_\_. 20\_\_ г.

**Донецк  
ДОННТУ  
2017**

УДК 53.083

Методические указания к проведению лабораторных работ по дисциплине вариативной части по выбору вуза профессионального цикла «Механическое оборудование металлургических производств (часть 2)» для студентов всех форм обучения направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» / Сост. С. П. Еронько, М. Ю. Ткачев, Б. И. Стародубцев. – Донецк: ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2017. – 49 с.

Отражены цели и задачи лабораторного практикума по дисциплине «Механическое оборудование металлургических производств (часть 2)» для студентов очной формы обучения по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование». Описаны структура лабораторных работ, порядок подготовки к ним, последовательность операций и действий, направленных на выполнение поставленных задач, указаны форма представления результатов работы и порядок защиты отчетов по выполненным заданиям, даны рекомендации по использованию теоретического материала.

*Составители:* Еронько С.П., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Механическое оборудование заводов черной металлургии» им. проф. Седуша В.Я.; Ткачев М.Ю., ассистент кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» им. проф. Седуша В.Я., Стародубцев Б.И., аспирант кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» им. проф. Седуша В.Я.

*Рецензенты:* д.т.н., профессор А.П. Кононенко  
к.т.н., профессор В.А. Сидоров

Ответственный за выпуск:

к. т. н., профессор А. Л. Сотников

© С. П. Еронько, М. Ю. Ткачев, Б. И. Стародубцев

## СОДЕРЖАНИЕ

1 ОРГАНИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ .....	5
2 ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА .....	6
3 ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	
Лабораторная работа № 1. Исследование на физической модели влияния условий проведения замены погружных стаканов на гидродинамику потоков металла в кристаллизаторе слябовой МНЛЗ .....	7
Лабораторная работа № 2. Моделирование функционирования манипулятора для обслуживания системы быстрой смены погружных стаканов промежуточного ковша слябовой МНЛЗ .....	16
Лабораторная работа № 3. Исследование влияния конструкции опорно-прижимного узла разливочного устройства промежуточного ковша МНЛЗ на нагрузку, действующую на привод его переталкивающего устройства .....	25
Лабораторная работа № 4. Исследование энергосиловых параметров привода системы быстрой смены погружных стаканов .....	33
Лабораторная работа № 5. Изучение на физических моделях особенностей работы различных стопорных систем промежуточного ковша МНЛЗ .....	43
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	48

## 1 ОРГАНИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Каждую лабораторную работу выполняет группа студентов в количестве 6...8 человек. График проведения лабораторных работ студенты получают заранее на кафедре у преподавателя (руководителя работ).

Выполнение лабораторного практикума включает следующие этапы:

- внеаудиторная подготовка к лабораторной работе;
- контроль степени готовности студентов к выполнению задания;
- выдача индивидуального задания;
- подготовка материальной части;
- выполнение индивидуального задания;
- обработка полученных результатов;
- оформление отчета;
- защита отчета о выполненной лабораторной работе.

При внеаудиторной подготовке к лабораторным работам студенты изучают настоящие методические указания, а также теоретический материал, указанный в каждой работе. При этом помимо конспекта лекций надлежит использовать рекомендуемые учебники, учебные пособия, акцентируя внимание на выделенных в методических указаниях ключевых моментах.

Контроль степени готовности студентов к выполнению лабораторного задания проводится путем устного опроса по материалу, имеющему непосредственное отношение к предстоящей работе. При этом считаются подготовленными только те студенты, которые знают цель поставленного задания; задачи, стоящей перед исполнителями работы и методы их решения; физическую сущность изучаемого явления; содержание осваиваемой методики; назначение всех выполняемых элементарных операций; основные требования техники безопасности и санитарии при выполнении индивидуальных заданий; структуру и содержание отчета о выполненной работе.

При выдаче индивидуального задания из группы студентов, допущенных к выполнению лабораторной работы, формируют подгруппы по 3...4 человека. Задание каждой подгруппе определяют с учетом содержания работы и факторов, влияющих на ее результаты.

Подготовка материальной части к выполнению индивидуального задания состоит в подборе, проверке и приведении в рабочее состояние контрольных и измерительных приборов, приспособлений, а также материалов, перечисленных в настоящих методических указаниях.

Защищают отчет о лабораторной работе в течение семестра или при сдаче зачета. Преподаватель при этом оценивает содержание отчета и качество его оформления.

## 2 ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

Причины травматизма студентов при выполнении лабораторного практикума могут быть самыми различными, но основными из них являются пренебрежение правилами внутреннего распорядка и поведения, игнорирование правил техники безопасности, умышленное нарушение трудовой или технологической дисциплины, использование неисправного оборудования, приборов, инструментов и приспособлений. Целям предупреждения травматизма служат вводный инструктаж для ознакомления студентов с внутренним распорядком в учебных помещениях университета, первичный инструктаж для разъяснения специфических особенностей поражающих факторов в предметных аудиториях и лабораториях кафедры, а также повторный инструктаж, направленный на предупреждение травматизма при выполнении конкретного задания.

При выполнении лабораторных работ необходимо строго соблюдать следующие правила:

- неукоснительно выполнять правила внутреннего распорядка в учебных помещениях университета и кафедры;
- детально ознакомиться с настоящим разделом методических указаний;
- знать самые распространенные виды поражений и поражающих факторов в лаборатории и уметь оказывать первую помощь пострадавшему;
- приступая к выполнению задания, принять меры по предупреждению наиболее вероятных поражений;
- пользоваться только исправными приспособлениями, оборудованием и приборами;
- запрещается включать лабораторные установки без разрешения руководителя занятия;
- запрещается находиться в рабочей зоне включенной установки;
- на рабочие установки нельзя опираться и без надобности трогать их руками;
- не загромождать рабочее место и подходы к нему;
- запрещается уходить со своего рабочего места и переходить на другое без разрешения преподавателя;
- категорически запрещается прикасаться к проводам, клеммам, открывать дверцы электрошкафов, находящихся под напряжением;
- при возникновении аварийной ситуации в лаборатории все студенты должны быть немедленно эвакуированы в безопасную зону;
- при получении травмы студентом преподаватель обязан оказать ему первую медицинскую помощь, а в случае необходимости направить в ближайшее медицинское учреждение;
- по окончании работы необходимо тщательно убрать рабочее место и аккуратно уложить инструмент и приспособления в отведенные для них места;
- после проведения работы необходимо отключить электрооборудование от источников питания.

### **3 ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

#### **Лабораторная работа № 1**

#### **Исследование на физической модели влияния условий проведения замены погружных стаканов на гидродинамику потоков металла в кристаллизаторе слябовой МНЛЗ**

##### **Постановка задачи**

Известно, что скорость и траектория потоков жидкой стали в полости кристаллизатора слябовой машины непрерывного литья заготовок при использовании погружных стаканов, экранирующих струю металла, истекающего из промежуточного ковша, в значительной мере влияют на качество поверхности, структуру прилегающего к ней слоя и количество внутренних дефектов формирующегося слитка. Поэтому задача обеспечения стабильности потоков стали в кристаллизаторе при серийной разливке весьма актуальна и для ее успешного решения за последние годы проводились исследования, связанные с поиском оптимальных геометрических параметров погружных стаканов, улучшающих равномерность скоростей слоев металла в прилегающих к ним областях жидкой фазы; а также с разработкой систем электромагнитного перемешивания и торможения потоков расплава в одной или нескольких зонах кристаллизатора. Наряду с этим в технической литературе нет никаких сведений о влиянии на картину распределения потоков металла в полости кристаллизатора возмущений, вызываемых погружными стаканами во время их смены в ходе непрерывной разливки стали длинными и серхдлинными сериями [1].

##### **Цель исследования**

Продолжительность процесса замены отработанного огнеупорного изделия, как показали результаты хронометража, составляет 1,5–2 минуты, то есть в течение данного временного промежутка формирование слябовой заготовки может происходить в нестабильных гидродинамических условиях. Поэтому получение информации о траекториях потоков жидкой стали в верхней части кристаллизатора слябовой МНЛЗ, формируемых при различных вариантах реализации замены вышедшего из строя погружного стакана, является актуальной задачей. Такая информация должна обязательно использоваться в качестве исходных данных для расчета и конструирования систем, обеспечивающих выполнение комплекса необходимых операций по замене погружного стакана в автоматическом режиме с минимальными затратами времени.

##### **Материальное обеспечение**

В качестве метода исследования используют физическое моделирование, проводимое на лабораторной установке, схема которой

приведена на рис. 1. Она включает прозрачные плоские модели промежуточного ковша 5 и кристаллизатора 8, закрепленные на металлоконструкции 15. Разливочная система модели промежуточного ковша состоит из механизма 3 управления положением стопора–моноблока 4, обеспечивающего дозированный перелив жидкости, симулирующей расплав, а также устройство 12 для замены отработанного погружного стакана 11 резервным 7 с помощью специального толкателя 6. Конструктивной особенностью модели кристаллизатора слябовой МНЛЗ является то, что отток из нее жидкости происходит через многочисленные отверстия малого диаметра, равномерно распределенные в ее днище, благодаря чему устраняется возможное искажение картины потоков, формируемой в зоне расположения моделей погружных стаканов. Модельная жидкость, собираемая с помощью штуцеров 9 в общую емкость, затем по трубопроводу подается насосом 10 в канал модели шибберного затвора 14, снабженного защитной трубой 13.

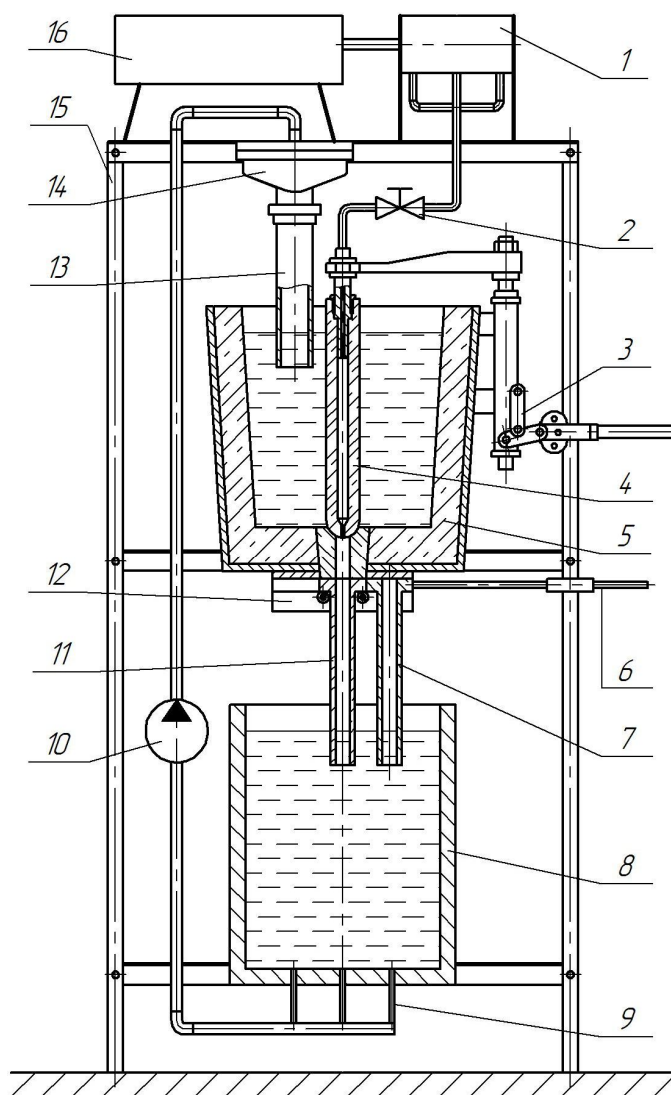


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки для моделирования процесса смены погружных стаканов



Для вдувания воздуха, имитирующего аргон, в выпускной канал модели промежуточного ковша служит компрессор 16 и ресивер 1. Регулирование расхода подаваемого воздуха обеспечивают с помощью крана 2.

Масштабы моделирования разливки слябовой заготовки сечением  $1000 \times 250$  мм, вытягиваемой со скоростью 1–1,2 м/мин, определены с учетом автомодельности относительно числа подобия Рейнольдса ( $Re$ ), значение которого составляет  $Re = 1220$ . Масштаб линейных размеров модели (число Боде) составляет 2,5.

При исследовании процесса замены погружных стаканов использованы два варианта их моделей, схематично показанных на рис. 2. Один комплект включает модели прямооточных стаканов, а другой – модели безнапорных стаканов с двумя боковыми отверстиями, расположенными в нижней части и разделенными рассекателем.

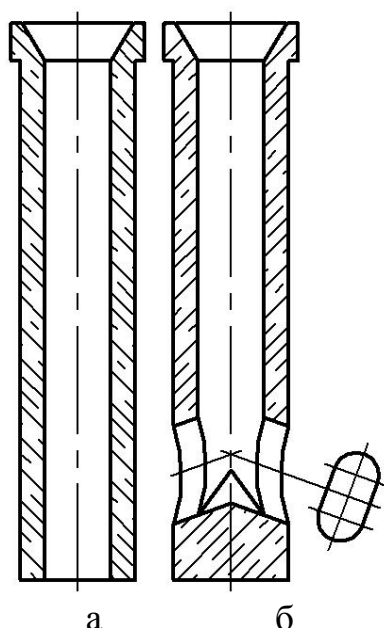


Рисунок 2 – Схемы моделей прямооточного (а) и безнапорного глухондонного с рассекателем (б) погружных стаканов

### Задание 1

Изучить влияние комплекта погружных стаканов, находящегося в полости кристаллизатора, на траекторию жидкостных потоков вблизи его стенок

#### Ход выполнения задания и полученные результаты

Опыты на гидравлической модели проводят в следующей последовательности. Предварительно в направляющих устройства 12 соосно с выпускным каналом модели промежуточного ковша 5 размещают модель погружного стакана 11, подлежащего замене. Затем при опущенном в нижнее положение стопоре–моноблоке 4 и выключенном насосе 10 модели промежуточного ковша 5 и кристаллизатора 8 заполняют водой до заданных уровней. После одновременного поднятия с помощью механизма 3 стопора–

моноблока 4 и пуска насоса 10 путем регулирования его производительности добиваются поддержания постоянства уровней жидкости в моделях промежуточного ковша и кристаллизатора, а также включают компрессор 16, закачивающий воздух в ресивер 1, из которого он через регулировочный кран 2 нагнетается в полость стопора–моноблока 4 и далее увлекается потоком жидкости, истекающей через погружной стакан 11 в модель кристаллизатора. Благодаря тому, что при попадании вдуваемого воздуха в струе жидкости в кристаллизатор происходит образование мельчайших пузырьков, обеспечивается визуализация траекторий движения увлекающих их потоков воды.

Наблюдаемые картины зон циркуляции потоков фиксируют с использованием скоростной видеосъемки с помощью камеры, установленной на штативе на некотором удалении от лабораторной установки. В ходе проводимых наблюдений симулируют процесс смены погружного стакана. Для этого с помощью специального клещевого захвата модель сменного огнеупорного элемента плавно заводят в полость модели кристаллизатора и устанавливают в направляющие рядом со стаканом, подлежащим замене. После этого, используя толкатель, осуществляют перемещение обоих стаканов на заданное расстояние, в результате чего резервный огнеупор занимает позицию разливки, а отработанный затем убирают из полости кристаллизатора. Опыты в указанной последовательности выполнения операций по замене моделей огнеупорных стаканов проводят для их обоих типов. Просмотр отснятого видеоматериала в динамике и в режиме «стоп–кадр» позволяет установить характерные изменения в картинах распределения потоков жидкости в модели кристаллизатора, связанные с воздействием на зону циркуляции имитатора расплава моделей погружных стаканов, последовательно совершающих перемещения в пространстве, необходимые для их смены. Выявленные при этом возмущения, вносимые движущимися погружными стаканами, иллюстрируют кадры видеосъемки, приведенные ниже.

При разливке с использованием прямого стакана под уровень (рис. 3 а) наблюдаются каплевидной формы основной нисходящий поток с глубиной проникновения 300–400 мм и восходящие вдоль стенок кристаллизатора потоки, изменяющие направление к погружному стакану при достижении свободной поверхности модельной жидкости, на которой не образуются стоячие волны. В момент начала заглубления в жидкую ванну модели кристаллизатора сменного погружного стакана (рис. 3 б) каплевидная форма нисходящего потока претерпевает изменение под действием завихрений, вызванных отраженным от его наклоненной цилиндрической поверхности восходящим потоком.

После завершения размещения сменного погружного стакана рядом с заменяемым (рис. 3 в) симметрия формы основного нисходящего потока нарушается и он частично смещается от центральной вертикальной оси модели кристаллизатора в сторону его левой узкой стенки, что на практике вызовет дестабилизацию условий формирования корочки отливаемой

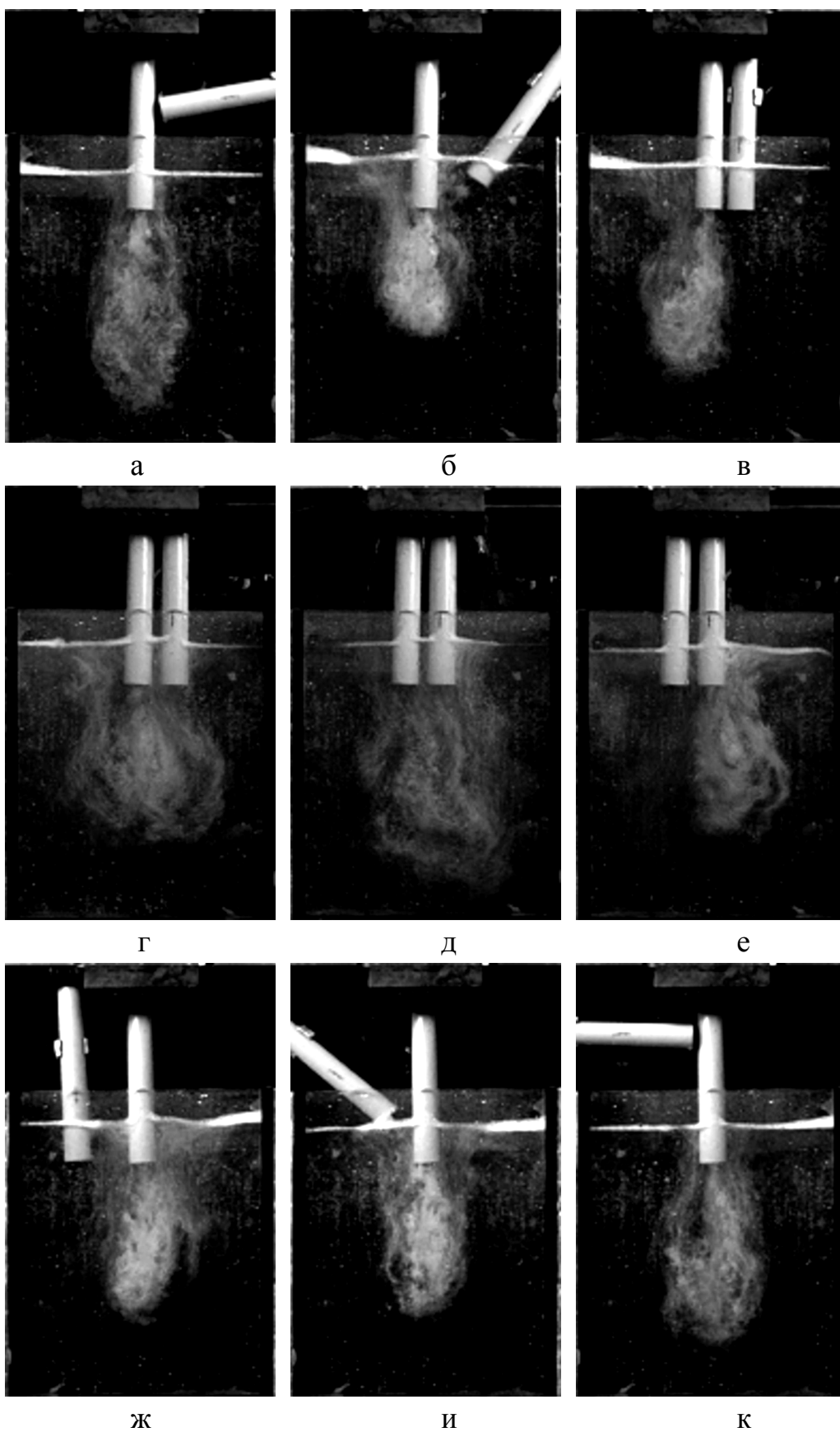


Рисунок 3 – Картины распределения жидкостных потоков в модели кристаллизатора, наблюдавшиеся при смене проточного погружного стакана

заготовки. В момент проталкивания комплекта стаканов, зафиксированный на рис. 3 г и 3 д, происходит раздвоение нисходящего жидкостного потока, имеющего в течение долей секунды криволинейную траекторию, а также образование на мениске стоячих волн в случае, если смена происходит быстрее 0,4 с.

По завершении перевода в позицию разливки резервного погружного стакана (рис. 3 е) находящийся слева от него замененный стакан вносит возмущение в зону циркуляции, в результате чего наблюдается смещение контура основного нисходящего потока от центральной вертикальной оси кристаллизатора теперь уже к правой его узкой стенке, приводящее к нарушению стабильности условий формирования корочки заготовки. Во время удаления отработанного погружного стакана из полости кристаллизатора (рис. 3 ж и 3 и) основной нисходящий поток начинает восстанавливать симметрию своих очертаний и приобретает в конечном счете вновь каплевидную форму (рис. 3 к).

При использовании безнапорных погружных стаканов с боковыми отверстиями наблюдается иная структура гидравлических потоков, обусловленная наличием выше и ниже выходных отверстий вихрей с однонаправленной обратной друг к другу циркуляцией с потоками вдоль образующей цилиндрической поверхности стакана и восходящими потоками вдоль узких стенок кристаллизатора (рис. 4 а).

Введение в полость кристаллизатора второго (резервного) погружного стакана сразу же вызывает нарушение симметрии потоков, так как он препятствует свободному истечению жидкости из ближайшего к нему бокового отверстия стакана, подлежащего замене (рис. 4 б и 4 в). В этом случае условия формирования корочки узких граней заготовки будут заметно различаться, что отрицательно отразится на ее структуре.

В момент проталкивания комплекта погружных стаканов (рис. 4 г и 4 д) наблюдается кратковременное исчезновение циркуляционных контуров вблизи свободной поверхности жидкой ванны и образование на ней стоячих волн в случае, если смена происходит быстрее 0,4 с. После перемещения резервного стакана на позицию разливки находящийся слева от него замененный стакан создает препятствие истекающему в его сторону потоку (рис. 4 е), что в производственных условиях приводит к неравномерному отводу тепла от корочки заготовки, формирующейся в верхней части кристаллизатора. Подобная картина распределения потоков наблюдается и во время удаления из полости кристаллизатора замененного стакана (рис. 4 ж и 4 и). Как только нижняя часть отработанного стакана оказывается над свободной поверхностью жидкости в модели кристаллизатора, распределение потоков в ней стабилизируется (рис. 4 к).

Полученные изображения картин распределения потоков в модели кристаллизатора при имитации замены комплектов погружных стаканов двух видов должны быть представлены в отчете с соответствующими комментариями.

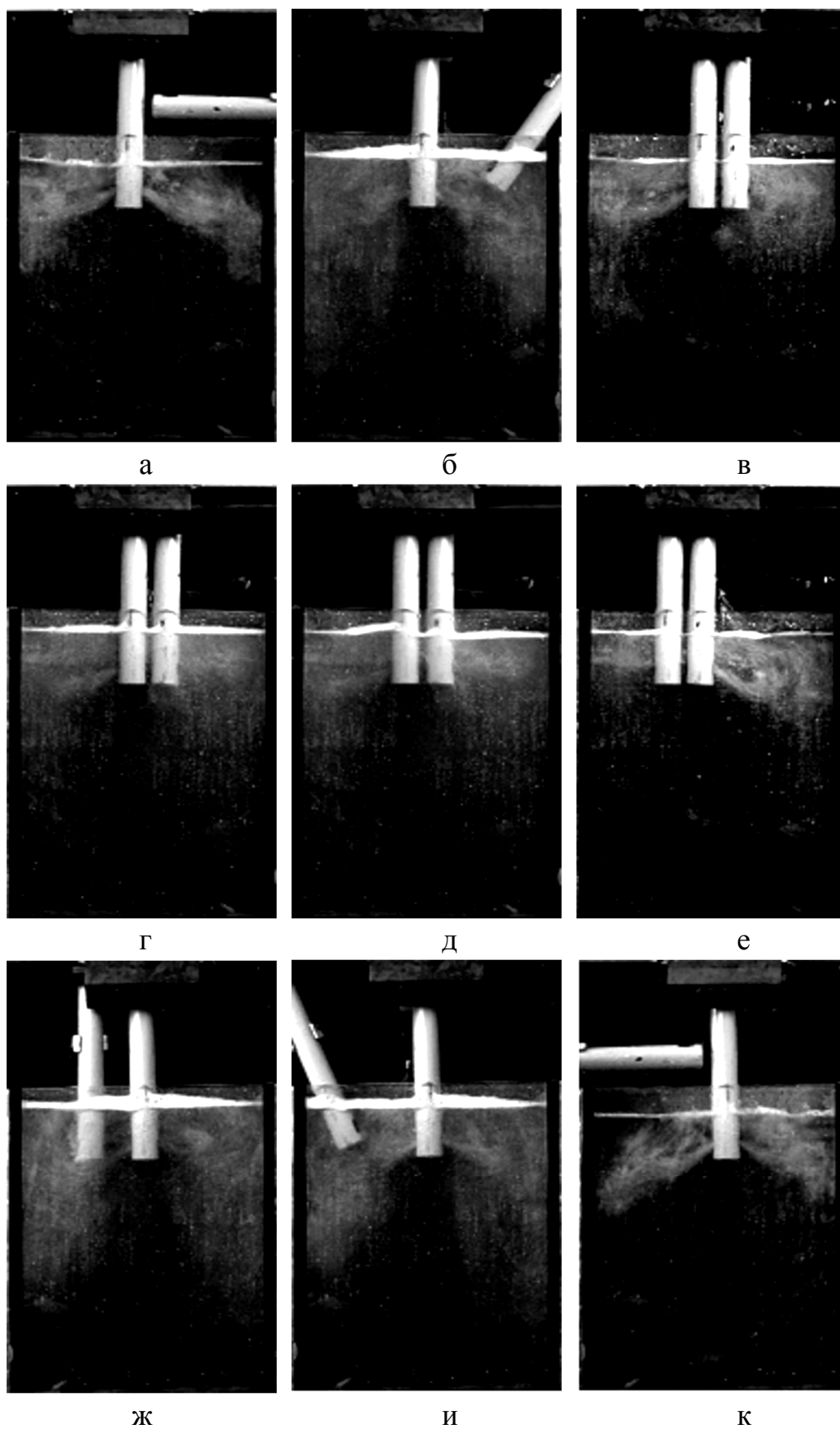


Рисунок 4 – Картины распределения жидкостных потоков в модели кристаллизатора, зафиксированные при смене безнапорного погружного стакана с двумя боковыми отверстиями

## Задание 2

### Оценить степень влияния процесса смены погружных стаканов на картину полей скоростей в полости кристаллизатора

#### Ход выполнения задания и полученные результаты

Для количественной оценки степени влияния операции смены погружных стаканов на изменение скоростей потоков жидкости в полости кристаллизатора проводят измерения их значений при помощи специального измерительного зонда, снабженного тензорезисторным преобразователем. Тензорезисторный преобразователь зонда входит в состав контрольно-измерительного комплекса, включающего также четырехканальный усилитель переменного тока УТ 4-1 (ТУ 25.06.1377-82), аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и ЭВМ.

В ходе проводимых экспериментов зонд размещают в наиболее значимых точках в полости модели кристаллизатора и осуществляют контроль скорости циркуляции жидкости, моделирующей расплав. Особое внимание необходимо уделить зонам, прилегающим к узким (боковым) стенкам модели кристаллизатора. На рис. 5 и 6 приведены характерные картины полей скоростей жидкостных потоков в этих зонах во время осуществления смены соответственно прямоточного и глуходонного погружных стаканов, зафиксированные на глубине расположения выходных отверстий огнеупоров.

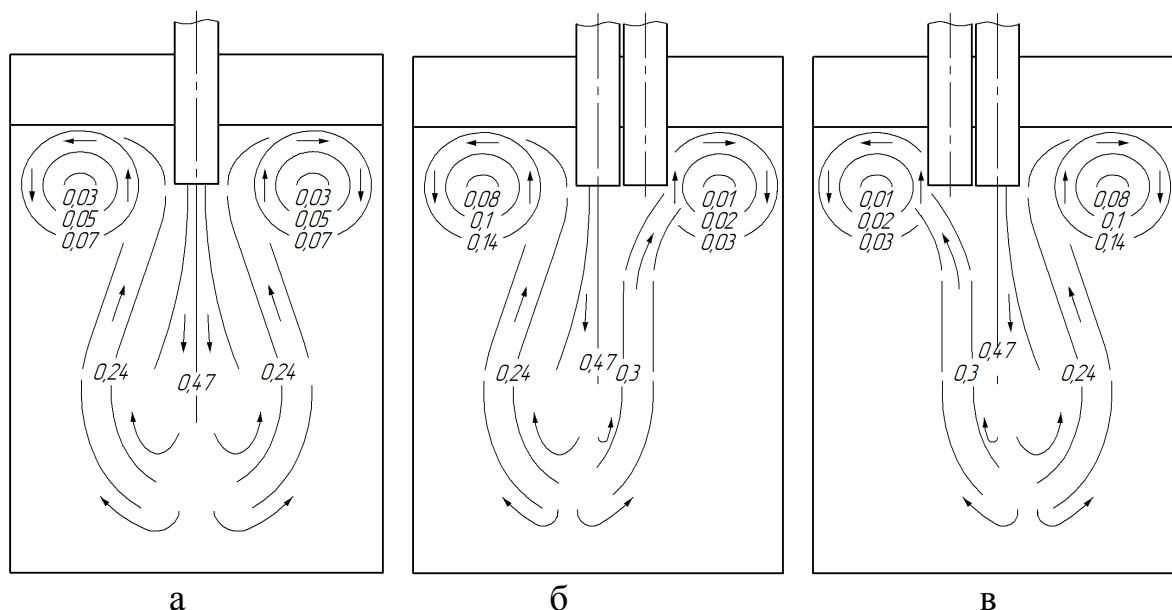


Рисунок 5 - Картины зон циркуляции потоков жидкости с изолиниями их скоростей (м/с) в модели кристаллизатора во время смены прямоточного погружного стакана:

а- установившийся режим работы; б- при подаче резервного погружного стакана; в- при удалении изношенного погружного стакана

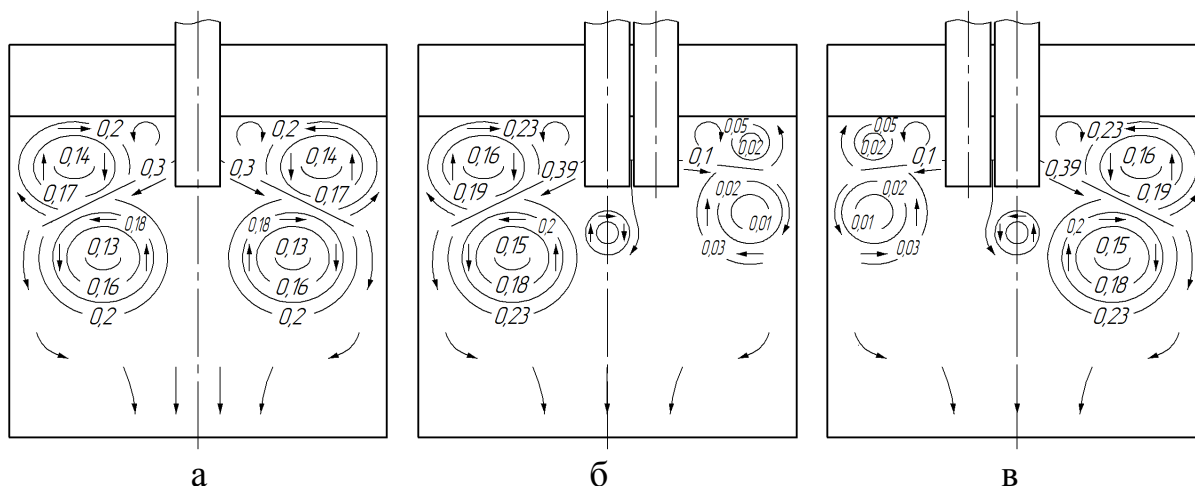


Рисунок 6 – Картины зон циркуляции потоков жидкости с изолиниями их скоростей (м/с) в модели кристаллизатора во время смены глуходонного погружного стакана:

а– установившийся режим работы; б– при подаче резервного погружного стакана; в– при удалении изношенного погружного стакана

Анализ полученного видеоматериала свидетельствует о заметном влиянии находящихся в полости кристаллизатора погружных стаканов на картину распределения потоков металла, а значит, и на условия формирования корочки отливаемой слябовой заготовки.

Поэтому для снижения негативного воздействия на качество ее поверхности дестабилизации динамики металлических потоков необходимо минимизировать длительность процесса смены погружных стаканов за счет разработки и реализации нового принципа построения систем, обеспечивающих подачу резервного огнеупорного изделия к разливочному устройству промежуточного ковша, замену и уборку вышедшего из строя защитного элемента.

## Выводы

Таким образом, при помощи физического моделирования установлено и описано влияние наличия двух погружных стаканов в кристаллизаторе слябовой МНЛЗ на гидродинамику потоков металла в нем, проявляющееся в виде асимметричного распределения циркуляционных контуров потоков относительно его центральной вертикальной оси, приводящего к дестабилизации тепловых условий формирования корочки узких граней заготовки, предопределяемых возникновением различия скоростей движения прилегающих к ним слоев расплава, достигающего 2 – 2,3 раза для прямоточного и 1,2– 4 для безнапорного стаканов.

## **Моделирование функционирования манипулятора для обслуживания системы быстрой смены погружных стаканов промежуточного ковша слябовой МНЛЗ**

### **Постановка задачи**

С учетом достоинств и недостатков, выявленных при эксплуатации зарубежных образцов оборудования, предназначенного для выполнения механизированной замены погружных стаканов в условиях серийной разливки стали на слябовых МНЛЗ, предложена новая конструктивная схема манипулятора, который позволяет в заданной последовательности без применения дорогостоящих средств автоматики обеспечить подачу сменного погружного стакана по расчетной траектории на приемные салазки разливочного устройства промежуточного ковша и силового гидроцилиндра, осуществляющего по команде перемещение стакана из исходной позиции в рабочую, а также удаление отработанного погружного стакана из кристаллизатора слябовой МНЛЗ. Новые технические решения, заложенные в конструкцию манипулятора, требуют предварительной проверки перед началом проектирования его опытно-промышленного образца [2-4].

### **Цель исследования**

Целью исследования является проверка функционирования нового манипулятора, а также получение информации, необходимой для разработки теории расчета энергосиловых параметров его структурных механизмов.

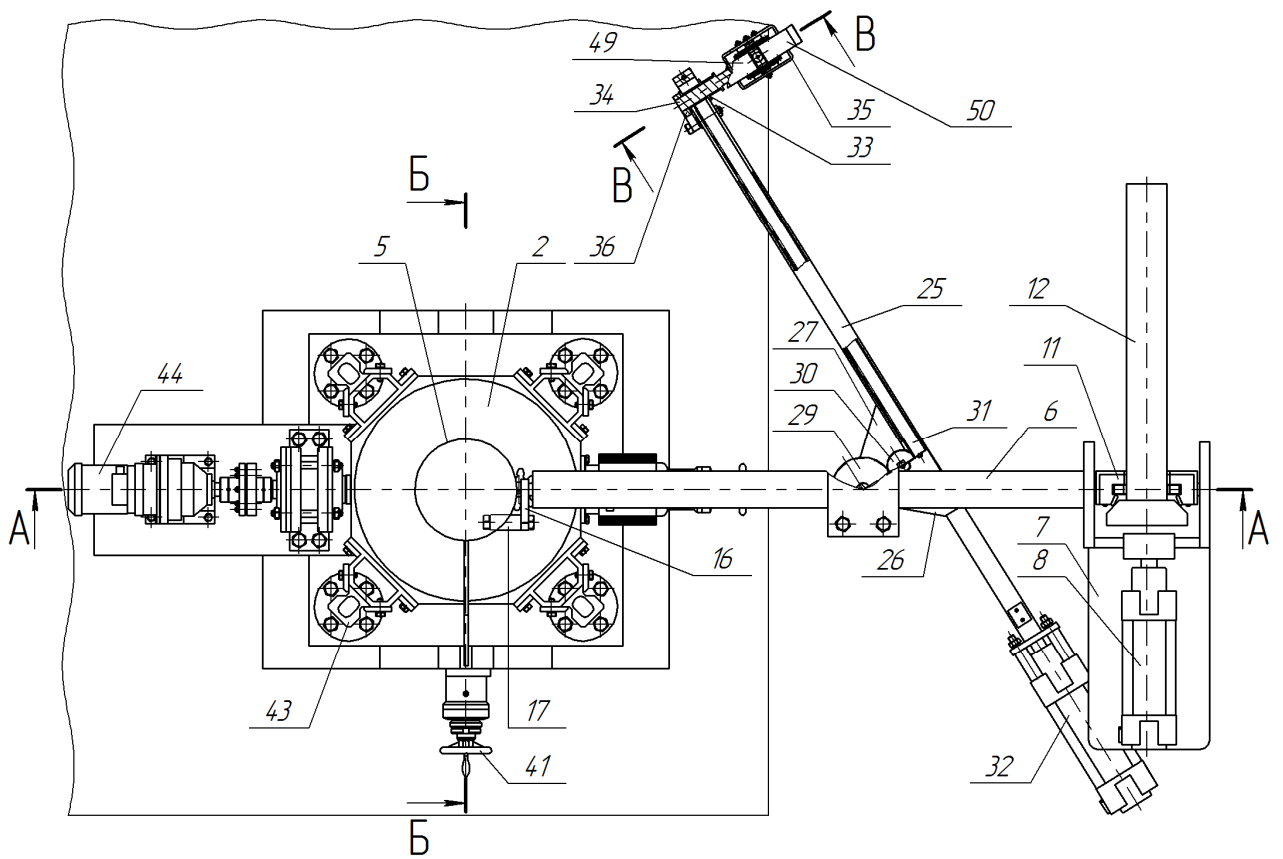
### **Материальное обеспечение**

Исследование функционирования предложенного манипулятора проводят с использованием его физической модели, выполненной в масштабе 1 : 2,5 к натурному образцу.

Модель манипулятора для замены погружных стаканов промежуточного ковша при производстве слябовой заготовки (рис. 1 и 2) содержит стационарно размещенную раму 1 с закрепленным на ней с возможностью относительного перемещения вдоль трех взаимно перпендикулярных осей основанием 2, на котором смонтирована поворотная колонна 3, установленная в нижней 4 и верхней 5 неподвижных подшипниковых опорах и снабженная горизонтальной пустотелой консолью 6, жестко связанной с платформой 7. На этой платформе установлен силовой цилиндр 8 и на цапфах 9 и 10 закреплена скоба 11, несущая сменный погружной стакан 12.

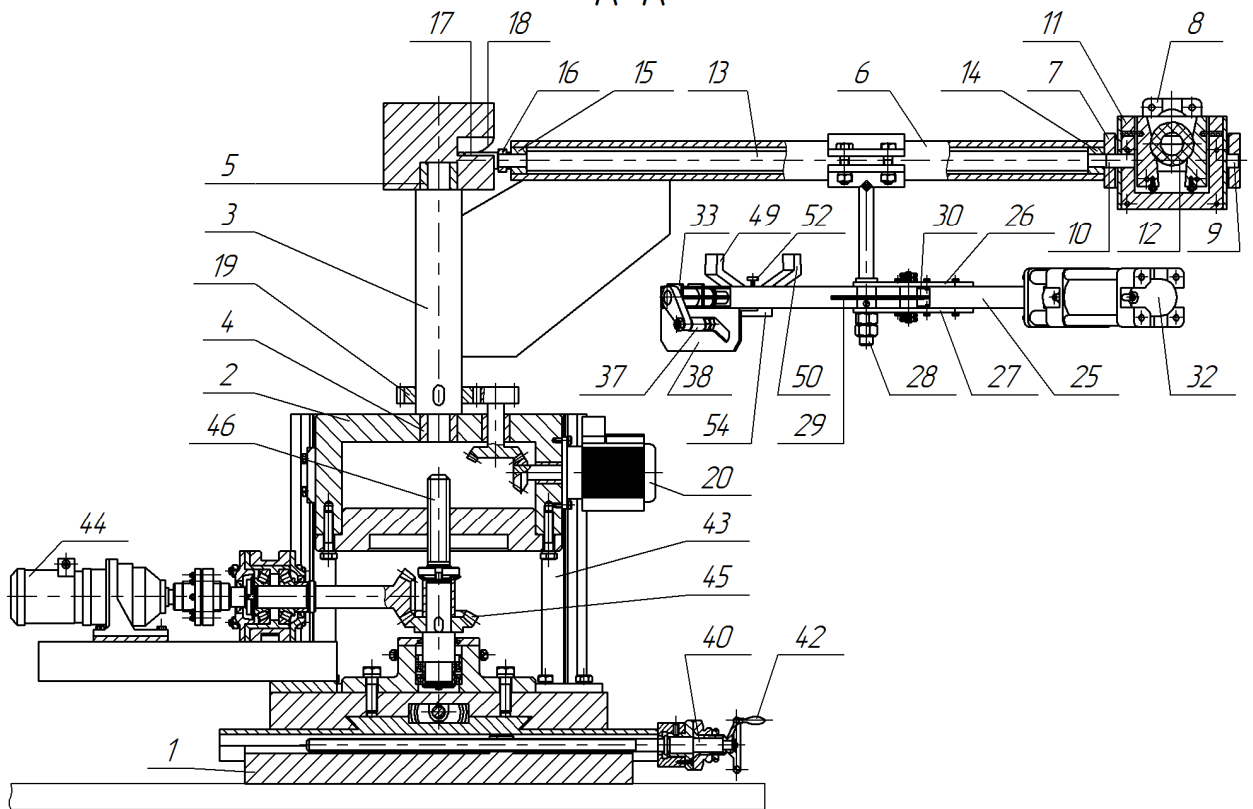
Скоба 11 имеет возможность поворота в вертикальной плоскости относительно пустотелой консоли 6 с помощью механизма, включающего трансмиссионный вал 13, установленный внутри консоли в опорах 14 и 15.





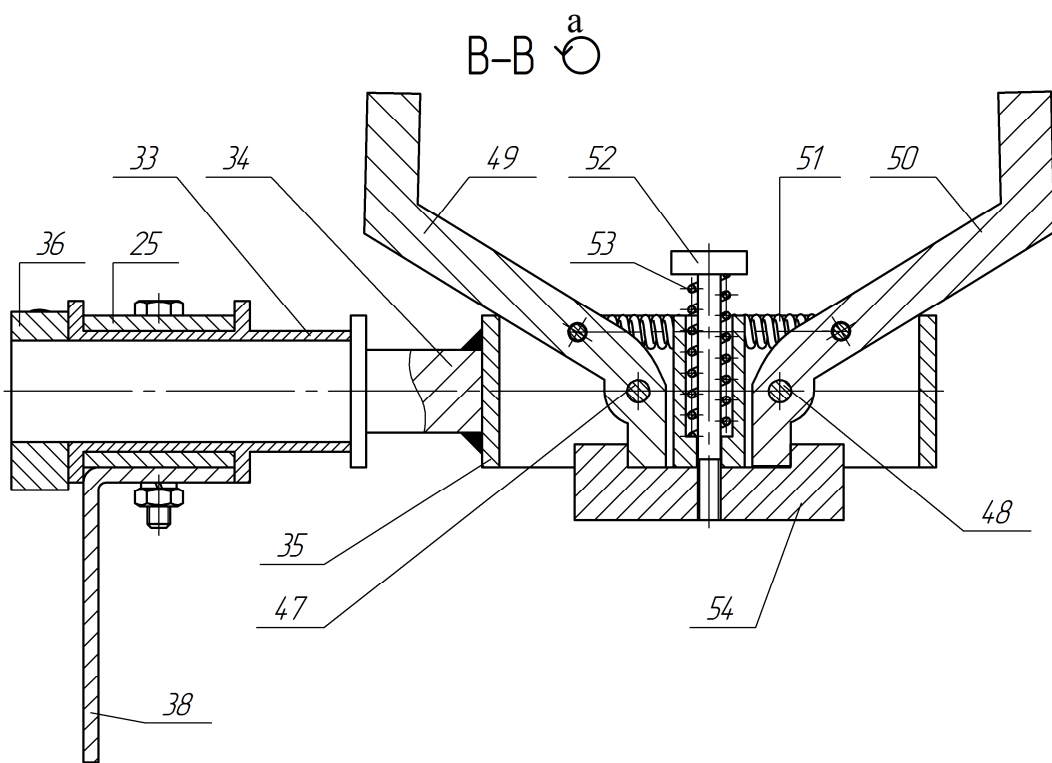
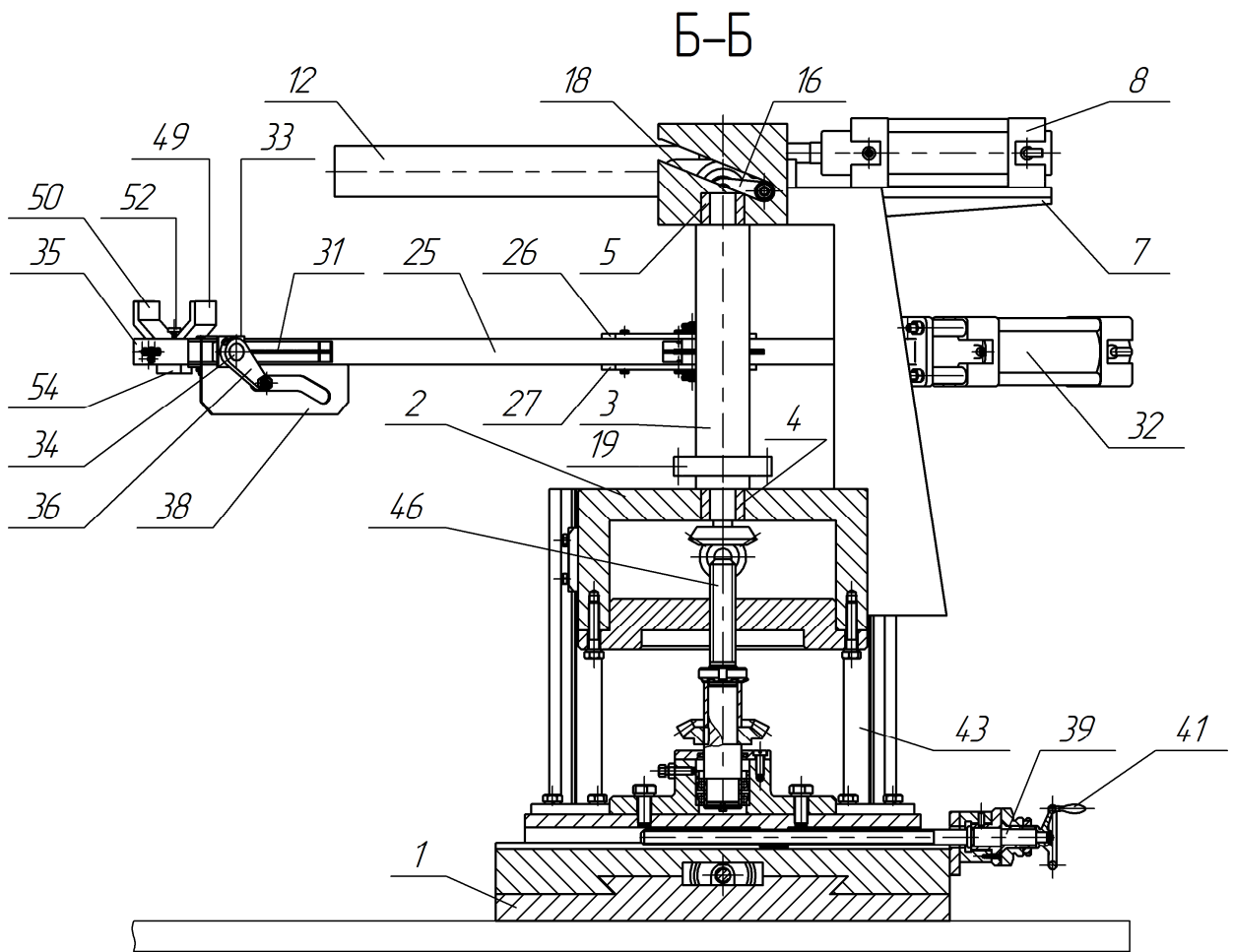
a

A-A



б

Рисунок 1 – Конструкция манипулятора, вид сверху (а) и разрез А-А (б)



б

Рисунок 2 – Конструкция манипулятора, разрез Б-Б (а) и В-В (б)

На конце трансмиссионного вала, обращенного к поворотной колонне 3, закреплен рычаг 16, снабженный роликом 17, размещенным в профилированном направляющем пазу 18, выполненном на наружной цилиндрической поверхности корпуса верхней неподвижной подшипниковой опоры 5 поворотной колонны. Другой конец трансмиссионного вала 13 жестко связан с цапфой 10 несущей скобы 11. Нижняя часть поворотной колонны 3 снабжена зубчатым колесом 19, посредством зубчатых передач связанным с электромеханическим приводом 20, закрепленным на основании 2. Модель манипулятора расположена на площадке сбоку модели промежуточного ковша 21, оборудованной разливочным устройством 22, в корпусе которого в направляющих пазах установлен в вертикальном положении рабочий огнеупорный погружной стакан 23.

Нижняя часть стакана 23 погружена в полость модели кристаллизатора 24. При этом продольная ось симметрии погружного стакана проходит через центр поперечного сечения кристаллизатора.

В состав модели манипулятора входит также механизм уборки отработанного погружного стакана, включающий пустотелую балку 25 квадратного сечения, посредством двух горизонтальных щек 26 и 27 связанную с возможностью поворота в горизонтальной плоскости с вертикальной осью 28, верхний конец которой неподвижно закреплен на горизонтальной консоли 6. Между щеками 26 и 27 на оси 28 жестко насажено зубчатое колесо 29, входящее в зацепление с шестерней–сателлитом 30, для которой щеки являются опорами. Шестерня–сателлит 30 находится также в зацеплении с зубчатой рейкой 31, установленной с возможностью относительного продольного перемещения внутри пустотелой балки 25. Один конец зубчатой рейки 31 связан со штоком силового цилиндра 32, соосно прикрепленного к торцу балки 25. Второй конец зубчатой рейки 31 жестко соединен с корпусом подшипниковой опоры 33 горизонтального вала 34, на одном хвостовике которого закреплен корпус пружинного схвата 35, а на другом– поворотный рычаг 36, снабженный роликом 37, размещенным в направляющем пазу, выполненном в пластине 38, находящейся в вертикальной плоскости и жестко связанной с пустотелой балкой 25. При этом основание 2 имеет возможность поступательного перемещения вдоль трех взаимно перпендикулярных осей относительно стационарно размещенной рамы. Причем для перемещения в горизонтальной плоскости служат два винтовых механизма 39 и 40, приводимых в действие вручную с помощью маховичков 41 и 42, а движение основания в направлении вертикальной оси вдоль фиксирующих направляющих стоек 43 обеспечено с помощью мотор–редуктора 44, конической зубчатой пары 45 и винтовой передачи 46. Мотор–редуктор 44 имеет систему управления с обратной связью и датчиком положения промежуточного ковша 21. Пружинный схват, предназначенный для захвата и удержания удаляемого погружного стакана 23 представляет собой механическое неуправляемое неприводное захватное устройство клещевого типа, и состоит из неподвижно закрепленного на торце горизонтального вала 34 корпуса 35, с шарнирно установленными в нем на

осях 47 и 48 губками 49 и 50, соединенными между собой при помощи пружины растяжения 51, а также толкателя 52, стержень которого находится внутри пружины сжатия 53 и своей нижней частью посредством резьбы связан со стопором 54, удерживающим губки 49 и 50 во взведенном состоянии.

### Задание 1

#### Проверить работу структурных механизмов нового манипулятора

#### **Ход выполнения задания и полученные результаты**

После сборки модели аналога манипулятора и размещения его возле объемной модели промежуточного ковша осуществляют выверку манипуляционной системы относительно технологической оси кристаллизатора, для чего используют винтовые механизмы, обеспечивающие перемещение основания поворотной колонны по трем осям симметрии на требуемые расстояния. Тестирование функционирования механизмов при имитации быстрой замены вышедшего из строя погружного стакана проводят в два этапа. Сначала проверяют работу механизма подачи резервного стакана из исходной позиции на позицию переталкивания, т.е. на приемные салазки разливочного устройства модели промежуточного ковша (фото на рис. 3), а затем механизма уборки отработанного изделия (фото на рис. 4).



а)



б)

Рисунок 3 – Относительное положение звеньев физической модели манипулятора в исходном положении (а) и после подачи резервного стакана на приемные салазки разливочного устройства промежуточного ковша перед завершением операции быстрой замены погружного стакана (б)



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Относительное положение звеньев физической модели манипулятора при уборке отработанного погружного стакана: в момент захвата сменяемого огнеупора (а); после его выведения из полости кристаллизатора (б) и отвода из рабочей зоны (в)

Во время функционирования механизмов модели манипулятора ведется визуальный контроль за порядком взаимодействия элементов их кинематических пар, обеспечивающих отработку в автоматическом режиме требуемых законов движения объектов манипулирования – моделей нового и отработанного погружных стаканов – в процессе их смены.

## Задание 2

Исследовать энергосиловые параметры привода механизма подачи резервного стакана на приемные салазки разливочного устройства промежуточного ковша

### Ход выполнения задания и полученные результаты

Для получения значения мощности привода механизма подачи резервного погружного стакана необходимо знать преодолеваемый им момент сопротивления повороту колонны. Информацию о характере изменения нагрузки на привод механизма поворота колонны можно получить опытным путем на физической модели манипулятора, что требует проведения серии опытов, в ходе которых при помощи тензорезисторного преобразователя, работающего в комплексе с четырехканальным усилителем переменного напряжения УТ 4–1 и 12–ти разрядным АЦП L–CARD контролируют крутящий момент на выходном валу червячного мотор–редуктора.

На поверхность гильзы тензорезисторного преобразователя, передающей крутящий момент, наклеены тензорезисторные датчики под углом  $45^\circ$  к ее продольной оси, включенных по мостовой схеме (рис. 5). Тензорезисторы, измеряющие одинаковую по знаку деформацию от напряжений растяжения ( $\sigma_p$ ) или сжатия ( $\sigma_{сж}$ ), располагаются в противоположных плечах моста, а разную ( $R_1$  и  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_4$ )– в смежных.

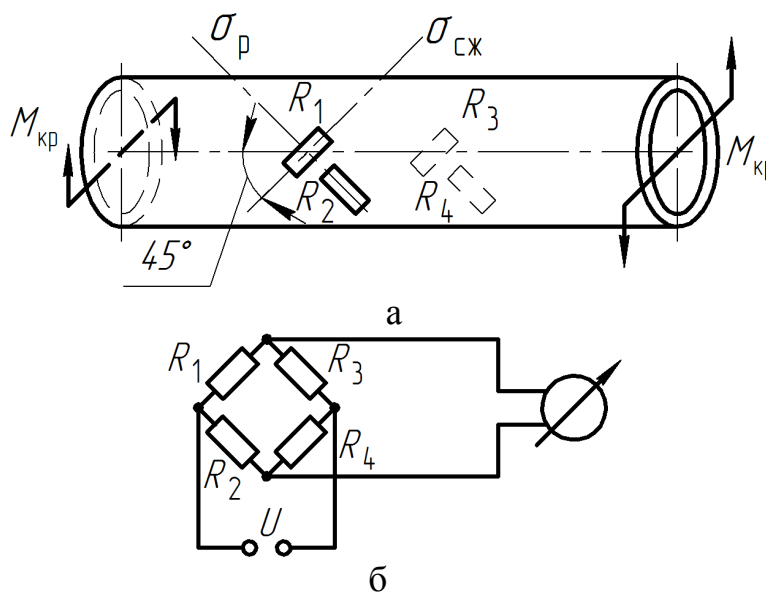


Рисунок 5 – Схема расположения тензорезисторов при измерении крутящего момента на поверхности гильзы (а) и подключение в тензомосте (б)

Предварительно перед началом проведения эксперимента выполняют тарировку преобразователя. Тарировочный график крутящего момента в тензорезисторном преобразователе имеет вид

$$y = 0,311 x; M_{кр} = 0,311 \text{ КОД АЦП.}$$

Суть лабораторного эксперимента заключается в фиксации в режиме реального времени на физической модели манипулятора приведенного к зубчатому венцу колонны крутящего момента на этапе уборки изношенного стакана из рабочей зоны механизмом подачи наиболее тяжелый режим работы. При этом опыты повторяют несколько раз, а полученные при их проведении графики зарегистрированных сигналов оцифровывают при помощи программы Grafula\_II с целью дальнейшей обработки в программе MathCad.

В результате расшифровки сигналов с помощью программы MathCad, которую выполняют с использованием тарировочного графика тензорезисторного преобразователя, строят график (рис. 6), отражающий изменение крутящего момента на зубчатом венце колонны при различных значениях угла ее поворота ( $\varphi$ ).

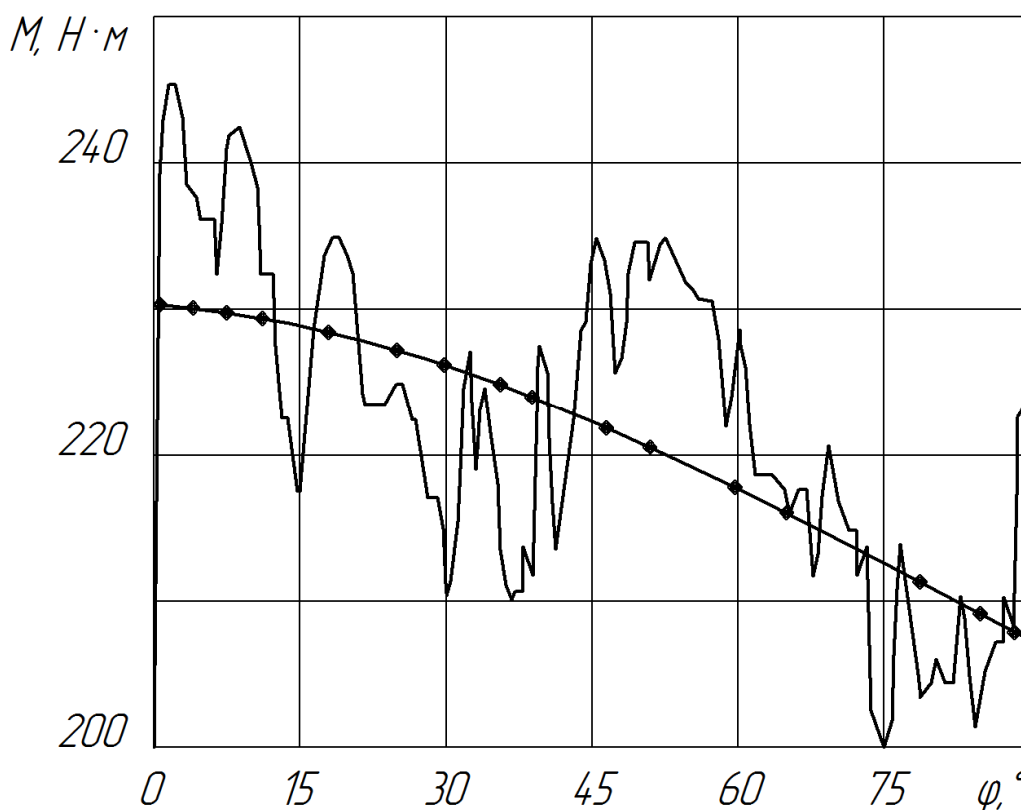


Рисунок 6 – График изменения крутящего момента  $M$  на зубчатом венце колонны манипулятора в зависимости от угла ее поворота  $\varphi$ , зафиксированный в первом опыте

Осреднение полученных экспериментальным методом значений крутящего момента (непрерывная кривая) проводят с помощью встроенной функции MathCad ksmooth–сглаживание на основе функции Гаусса (кривая в виде линии с точками).

Ошибку определяли из выражения:  $\Delta = |M_{\text{эксп}} - M_{\text{аналит}}| / M_{\text{аналит}} \cdot 100$  %. Так как ее значение не превысило 8 %, полученные зависимости для определения энергосиловых параметров электромеханического привода механизма подачи резервного стакана на слябовой МНЛЗ с приемлемой точностью могут быть использованы для инженерных расчетов.

Таблица 1 – Отклонение измеренного значения крутящего момента от теоретического

Параметр	№ опыта	Угол поворота колонны манипулятора ( $\varphi$ ), °						
		0	15	30	45	60	75	90
$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	1	245,4	217,6	210,4	234,9	228,7	200,5	223,8
	2	247,2	214,7	210,3	234,5	229,7	197,5	221,8
	3	243,9	214,4	210,8	239,9	230,1	199	222,8
Ошибка, %	1	6,5	4,9	6,9	5,7	5,1	5,7	7,9
	2	7,3	6,2	7	5,5	5,5	7,1	6,9
	3	5,9	6,3	6,8	7,9	5,7	6,4	7,5

### Выводы

Полученные результаты подтверждают правильность технических решений, заложенных в конструкцию манипулятора, предназначенного для механизированного выполнения операций по подаче резервного погружного стакана на приемные салазки разливочного устройства промежуточного ковша слябовой МНЛЗ и могут быть использованы при разработке методики расчета энергосиловых параметров его опытно-промышленного образца.



**Исследование влияния конструкции опорно-прижимного узла разливочного устройства промежуточного ковша МНЛЗ на нагрузку, действующую на привод его переталкивающего устройства**

**Постановка задачи**

Для успешной реализации непрерывной разливки стали на слябовой МНЛЗ большими сериями промежуточный ковш машины должен быть оборудован системой быстрой смены погружных стаканов, надежность работы которой в значительной мере зависит от конструктивного исполнения ее опорно-прижимного узла. С целью снижения нагрузки на привод переталкивающего механизма системы разработан усовершенствованный вариант этого узла, предполагающий использование в нем тел качения (рис. 1).

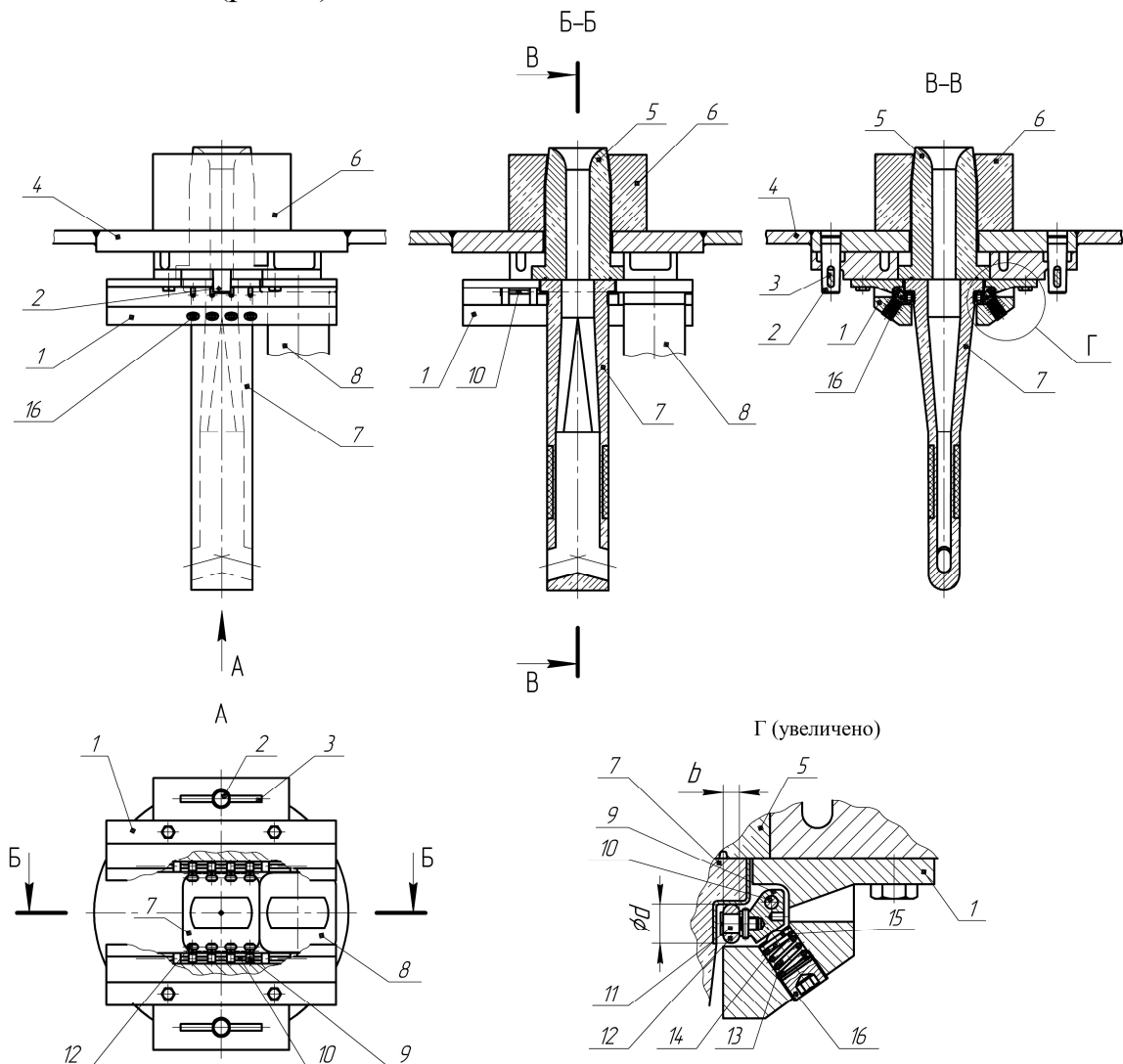


Рисунок 1 – Разливочное устройство системы быстрой смены усовершенствованной конструкции

Корпус 1 разливочного устройства имеет центральное вертикальное отверстие, в котором размещена нижняя часть сталевыпускного стакана 5, закрепленного в гнездовой блоке 6. В теле корпуса 1 выполнен продольный направляющий паз для размещения рабочего 7 и резервного 8 огнеупорных погружных стаканов, верхние части которых помещены в металлические обечайки. Погружной стакан 7 примыкает снизу к сталевыпускному стакану 5 и установлен с возможностью перемещения вдоль продольного паза силовым гидроцилиндром, смонтированным на платформе манипулятора. Прижатие погружного стакана к нижней части сталевыпускного стакана осуществляется механизмом, который включает поворотные элементы 9 с отверстиями, симметрично установленные на осях 10 по обе стороны погружного стакана 7 вдоль оси его перемещения в направляющем пазу металлического корпуса 1. Причем каждый поворотный элемент 9 снабжен консольно закрепленным пальцем 11, несущим свободно вращающийся ролик 12.

Передача усилия прижатия погружному стакану осуществляется благодаря кинематической связи поворотных элементов с предварительно сжатыми пружинами 13, которые установлены в выполненных в корпусе 1 наклонных цилиндрических каналах на направляющих стержнях 14 с поджатием к их подпорным буртикам 15 с помощью ввинченных в цилиндрические каналы пробок 16. Каждая из пробок своей торцевой частью выходит наружу металлического корпуса 1. Для поворота пробок на их выходящих торцевых частях предусмотрены шлицы под отвертку или головки под ключ. В процессе обслуживания разливочного устройства для контроля жесткости пружин 13 при снятом погружном стакане 7 в отверстие каждого из поворотных элементов 9 поочередно вводят хвостовик протарированного динамометрического ключа и с его помощью элемент поворачивают, сжимая пружину, и в случае необходимости вращением пробки в нужном направлении осуществляют регулировку силы прижатия, развиваемую упругим элементом [5-7].

### **Цель исследования**

Целью лабораторной работы является экспериментальная проверка эффективности предложенных технических решений, направленных на снижение технологической нагрузки на привод путем изменения характера силового взаимодействия между контактными поверхностями элементов кинематических пар при их относительном перемещении.

### **Материальное обеспечение**

При проведении лабораторного эксперимента используют физический аналог разливочного устройства, выполненный в масштабе 1:2,5 и снабженный сменным комплектом погружных стаканов, форма и размеры которых соответствовали конструктивному исполнению нового разливочного устройства. Опытные элементы представляют огнеупорный блок, включающий плиту с размерами 85×116×25 мм и стаканы, заключенные в

металлическую обойму и имеющие сквозной канал с требуемым проходным сечением (рис. 2). Поверхность скольжения плит изготовленных погружных стаканов после их термической обработки подвергалась шлифованию алмазным кругом.

Конструктивное исполнение примененных в физическом аналоге разливочного устройства прижимных элементов, снабженных роликами, показано на рис. 3.



Рисунок 2 – Комплект огнеупорных элементов разработанного разливочного устройства

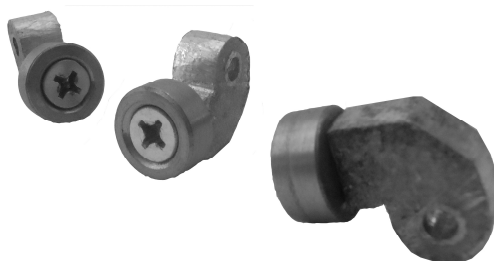


Рисунок 3 – Поворотные прижимные элементы, снабженные роликами

Для оценки в режиме реального времени сопротивления, преодолеваемого приводным цилиндром при перемещении комплекта погружных стаканов относительно разливочного стакана для задаваемых значений силы прижатия их фланцев, осуществляют с использованием контрольно–измерительного комплекса, включавшего две месдозы, усилитель переменного тока, АЦП и ЭВМ.

Месдоза для контроля усилия прижатия фланцев погружных стаканов к нижней части сталевыпускного стакана выполнена в виде гильзы из легированной стали 30ХГСА. На гильзе наклеены четыре фольговых датчика с сопротивлением 200 Ом каждый, соединенных по мостовой схеме. Рабочие тензодатчики, включенные в противоположные плечи моста, ориентированы

вдоль образующих гильзы, а компенсационные – в окружном направлении, то есть перпендикулярно рабочим. Аналогично выполнена и вторая мессдоза, предназначенная для контроля суммарной силы сопротивления, преодолеваемой при замене погружного стакана приводным цилиндром. Она отличается лишь меньшим диаметром и крепится к хвостовику штока цилиндра для передачи силы, сдвигающей комплект сменных огнеупоров. Один рабочий датчик  $R_1$  (рис. 4) и один компенсационный  $R_2$  наклеены на верхнюю поверхность промежуточного элемента, а два других датчика  $R_3$  и  $R_4$  – на нижнюю поверхность. Рабочие датчики  $R_1$  и  $R_4$  включают в одни противоположные плечи моста, а компенсационные  $R_2$  и  $R_3$  – в два других противоположных. При такой схеме обеспечивают не только температурную компенсацию, но и компенсацию изгибных напряжений, а чувствительность увеличена в два раза по сравнению с полумостовой схемой включения тензорезисторов.

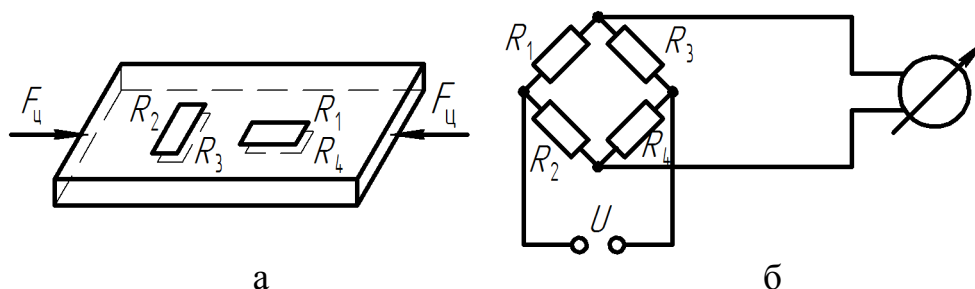


Рисунок 4 – Схема расположения тензорезисторов на промежуточном элементе (а) и порядок их включения в мост при измерении одноосных напряжений (б)

Электрические сигналы, возникающие при разбалансе измерительных мостов в процессе измерений, по экранированным кабелям поступают на входы четырехканального тензометрического усилителя переменного тока УТ 4–1 (ТУ 25.06.1377–82). Усиленные сигналы после преобразования аналого–цифровым преобразователем L–154 в двенадцатиразрядный числовой код, обрабатываются при помощи прикладной программы OSCILLOSCOPE фирмы L–CARD, поставляемой в комплекте с АЦП. Обработка цифрового представления сигнала, поступающего от тензорезисторного преобразователя, выполняют на ЭВМ в реальном масштабе времени при помощи прикладной программы Power Graph–2.0.

### Ход выполнения задания и полученные результаты

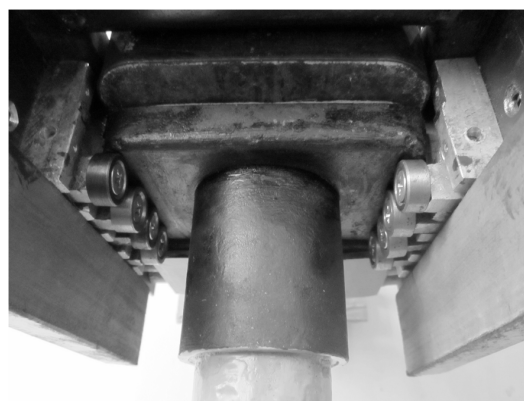
Во время эксперимента, проводимого на контрольно-измерительном комплексе (рис. 5) фиксировали колебания силы прижатия к разливному стакану погружного стакана и нагрузку, преодолеваемую в процессе его замены приводным цилиндром для двух вариантов конструктивного исполнения опорно–прижимного узла исследуемой механической системы, показанных на рис. 6.



Рисунок 5 – Общий вид контрольно–измерительного комплекса и лабораторного образца устройства быстрой смены погружных стаканов



а



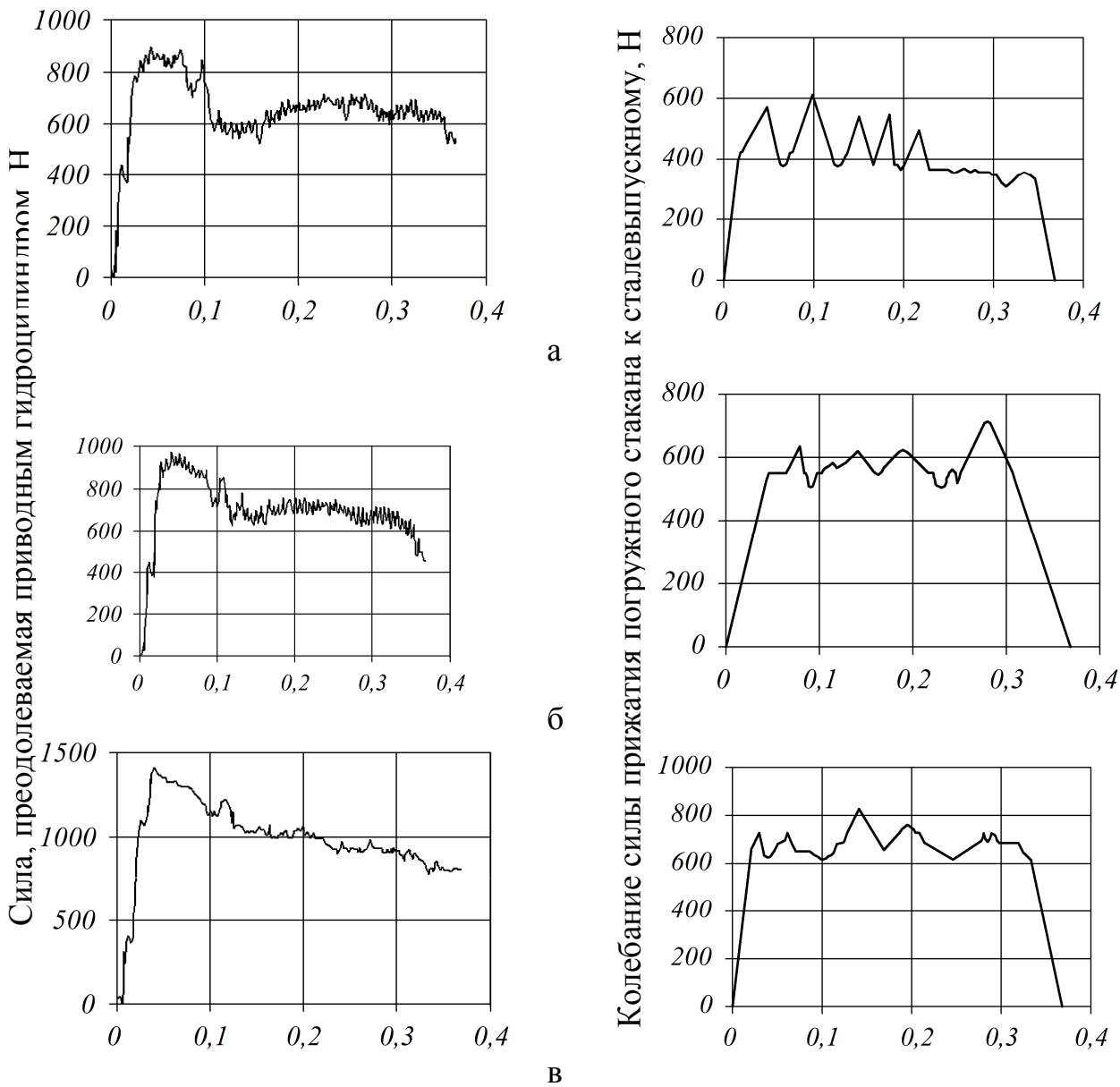
б

Рисунок 6 – Реализуемые варианты конструктивного исполнения опорно–прижимного узла системы быстрой смены погружных стаканов: с использованием пар трения скольжения (а) и пар трения качения (б)

Характерный вид зарегистрированных при этом сигналов приведен на рис. 7 и 8.

Обработка и результаты анализа полученных экспериментальных данных позволили установить следующие характерные особенности изменения силы, затрачиваемой на перемещение сменного комплекта погружных стаканов. Независимо от конструктивного исполнения опорно–

прижимного узла разливочной системы и задаваемого сжимающего усилия, в начале относительного сдвига погружных стаканов фиксируются максимальные значения суммарной силы сопротивления их совместному



Продолжительность операции замены стакана, с

Рисунок 7 – Характер изменения силы сопротивления перемещению сменного комплекта погружных стаканов (левый столбец) и силы их прижатия к сталевыпускному стакану (правый столбец) при дискретно задаваемых его значениях:

400 Н (а), 530 Н (б), 660 Н (в) для пары трения скольжения в опорно-прижимном узле, зафиксированные в первом опыте

перемещению, что связано с ударной нагрузкой, прикладываемой к сменному комплекту огнеупорных изделий, и возникновением динамической составляющей, доля которой достигает 25–30%.

Так как испытания переталкивающего устройства системы быстрой смены старой и модернизированной конструкций проводятся в одинаковых условиях с соблюдением геометрического, кинематического и

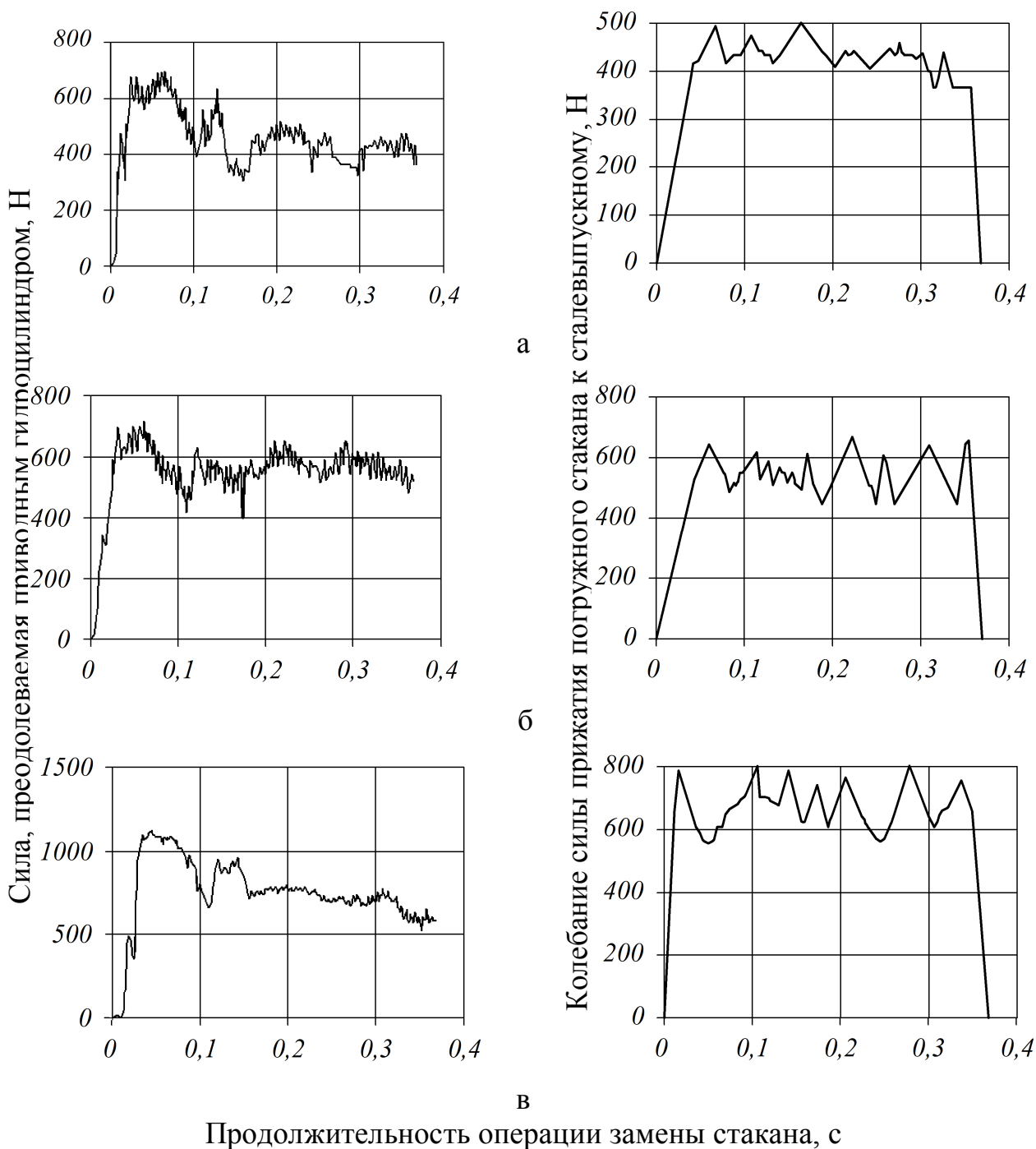


Рисунок 8 - Характер изменения силы сопротивления перемещению сменного комплекта погружных стаканов (левый столбец) и силы их прижатия к сталевыпускному стакану (правый столбец) при дискретно задаваемых его значениях:

400 Н (а), 530 Н (б), 660 Н (в) для пары трения качения в опорно-прижимном узле, зафиксированные в первом опыте

динамического подобию, в результате постановки 6 опытов получают равновероятностные данные о технологическом усилии, действующем на шток цилиндра (табл. 1), реализующего смену погружного стакана, прижатого к сталевыпускному стакану с фиксированным на трех уровнях усилием (400 Н, 530 Н, 660 Н).

Таблица 1– Результаты исследования силы сопротивления перемещению комплекта погружных стаканов

Сила прижатия, Н	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
	Сила на штоке гидроцилиндра, Н					
396	<u>576,1</u>	<u>641,2</u>	<u>678,2</u>	<u>667,6</u>	<u>632,4</u>	<u>638,9</u>
	512,9	402,2	476,2	404,9	421,3	437,6
528	<u>683,6</u>	<u>701,5</u>	<u>704,5</u>	<u>671,9</u>	<u>662,8</u>	<u>660,6</u>
	553,4	558,8	579,6	572,6	574,2	565,6
660	<u>1065,5</u>	<u>1012,5</u>	<u>974</u>	<u>932,7</u>	<u>910,6</u>	<u>851,2</u>
	806,3	772,5	756	717,7	725,5	653,7

Примечание. В числителе дроби указано значение силы на штоке гидроцилиндра переталкивающего устройства системы быстрой смены, снабженной опорно–прижимным узлом старой конструкции с парами трения скольжения ( $F_{ц}^c$ ), в знаменателе– для новой с парами трения качения ( $F_{ц}^k$ ).

### Выводы

Модернизация опорно-прижимного узла разливочного устройства промежуточного ковша МНЛЗ за счет замены в нем пары сил трения парой сил трения качения целом принесла положительный результат, позволив уменьшить суммарную силу сопротивления перемещению сменного комплекта защитных огнеупоров в среднем в 1,31 раза.



## Исследование энергосиловых параметров привода системы быстрой смены погружных стаканов

### Постановка задачи

Конструктивное исполнение системы быстрой смены погружных стаканов промежуточного ковша определяется типом его устройства для дозированного перелива стали в кристаллизатор МНЛЗ. Если регулирование расхода стали, поступающей в кристаллизатор, осуществляют с использованием стопора, погруженного в ванну промежуточного ковша, то система замены защитных стаканов размещена на наружной поверхности его дна в виде отдельного блока (рис. 1).

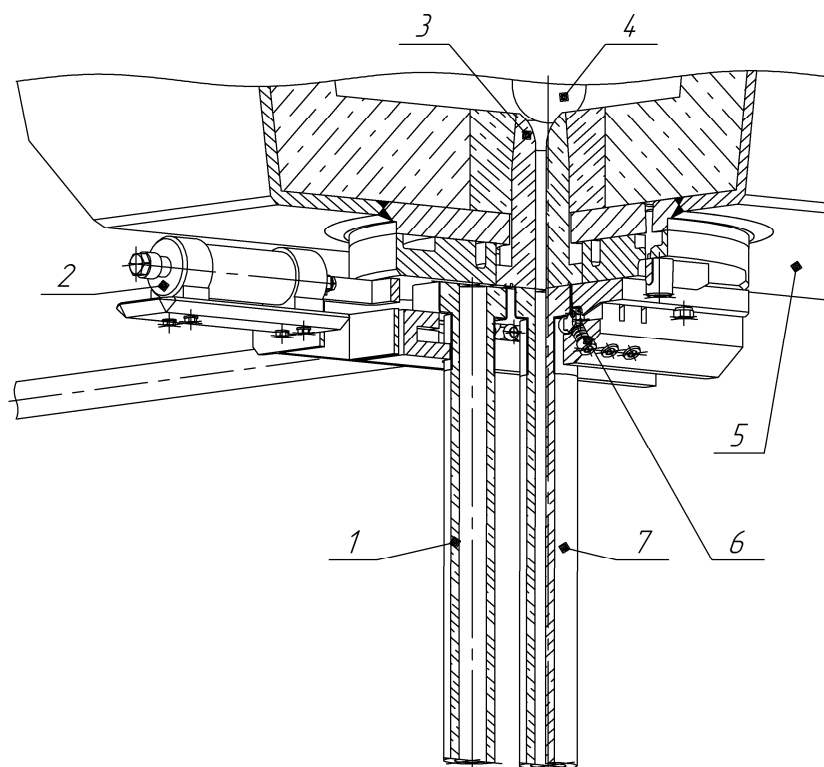


Рисунок 1– Система быстрой замены погружного стакана промежуточного ковша, оборудованного разливочным устройством стопорного типа:  
1– резервный стакан; 2– гидроцилиндр; 3– сталевыпускной стакан; 4– стопор;  
5– промежуточный ковш; 6– опорно–прижимной узел; 7– рабочий стакан

В случае дросселирования струи стали, истекающей из промежуточного ковша, с помощью скользящего затвора система замены погружных стаканов совмещена с ним (рис. 2). В отличие от зарубежных аналогов гидроцилиндр, перемещающий подвижную обойму с огнеупорной плитой затвора, установлен соосно с направлением движения погружных

стаканов, что обеспечило упрощение формы и снижение массы корпуса разливочного устройства по сравнению с конструкциями импортного производства, у которых плита затвора перемещается под прямым углом к направлению движения комплекта погружных стаканов во время их смены. Обе системы снабжены унифицированным механизмом прижатия огнеупорных стаканов.

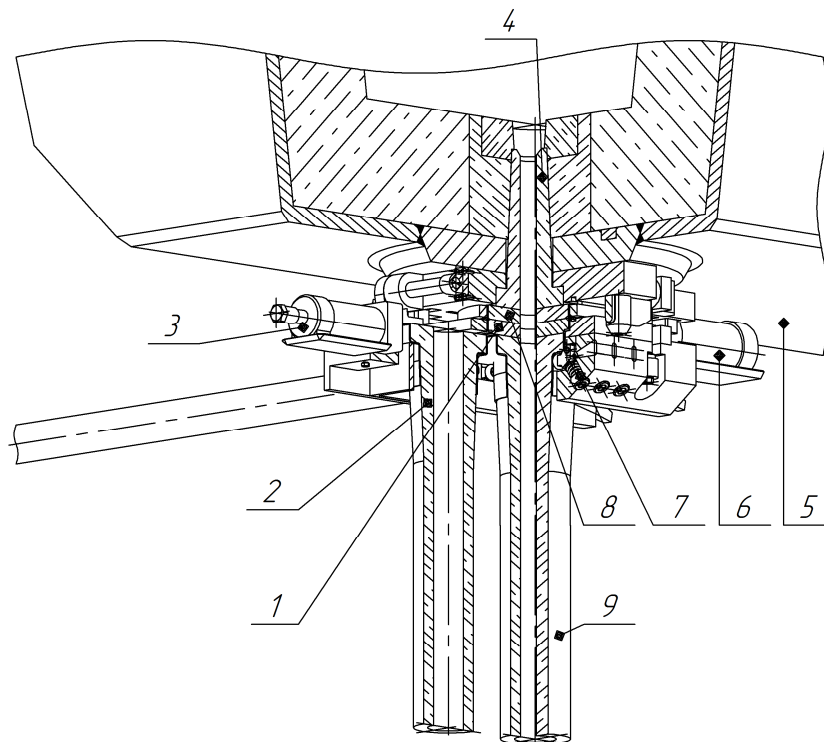


Рисунок 2 – Система быстрой замены погружного стакана промежуточного ковша, оборудованного разливочным устройством шибберного типа:  
 1– разделительная неподвижная плита затвора; 2– резервный погружной стакан; 3– гидроцилиндр системы быстрой замены стакана; 4– сталевыпускной стакан; 5– промежуточный ковш; 6– гидроцилиндр шибберного затвора; 7– опорно–прижимной узел; 8– плита затвора для дросселирования струи; 9– рабочий погружной стакан

При разработке новых подобных систем быстрой смены погружных стаканов возникает необходимость в их предварительной проверке на работоспособность в лабораторных условиях, что обусловлено стремлением выявить конструктивные недоработки еще на стадии проектирования [5-8].

### **Цель исследования**

Целью лабораторной работы является исследование энергосиловых параметров привода усовершенствованной системы

быстрой смены погружных стаканов для выявления предельно допустимых нагрузок на силовой гидроцилиндр.

### Материальное обеспечение

Для тестовых испытаний опытно-промышленного образца усовершенствованной системы быстрой смены погружных стаканов служит специальный стенд (рис. 3), состоящий из несущей платформы 2 и гидравлического привода, включающего маслосос 1, гидроаккумулятор 6, силовой цилиндр 4 и распределительные устройства 5. Стенд снабжен контрольно-измерительным комплексом 3, в состав которого входит тензорезисторный преобразователь (мессдоза), усилитель переменного тока, аналогоцифровой преобразователь и ЭВМ.

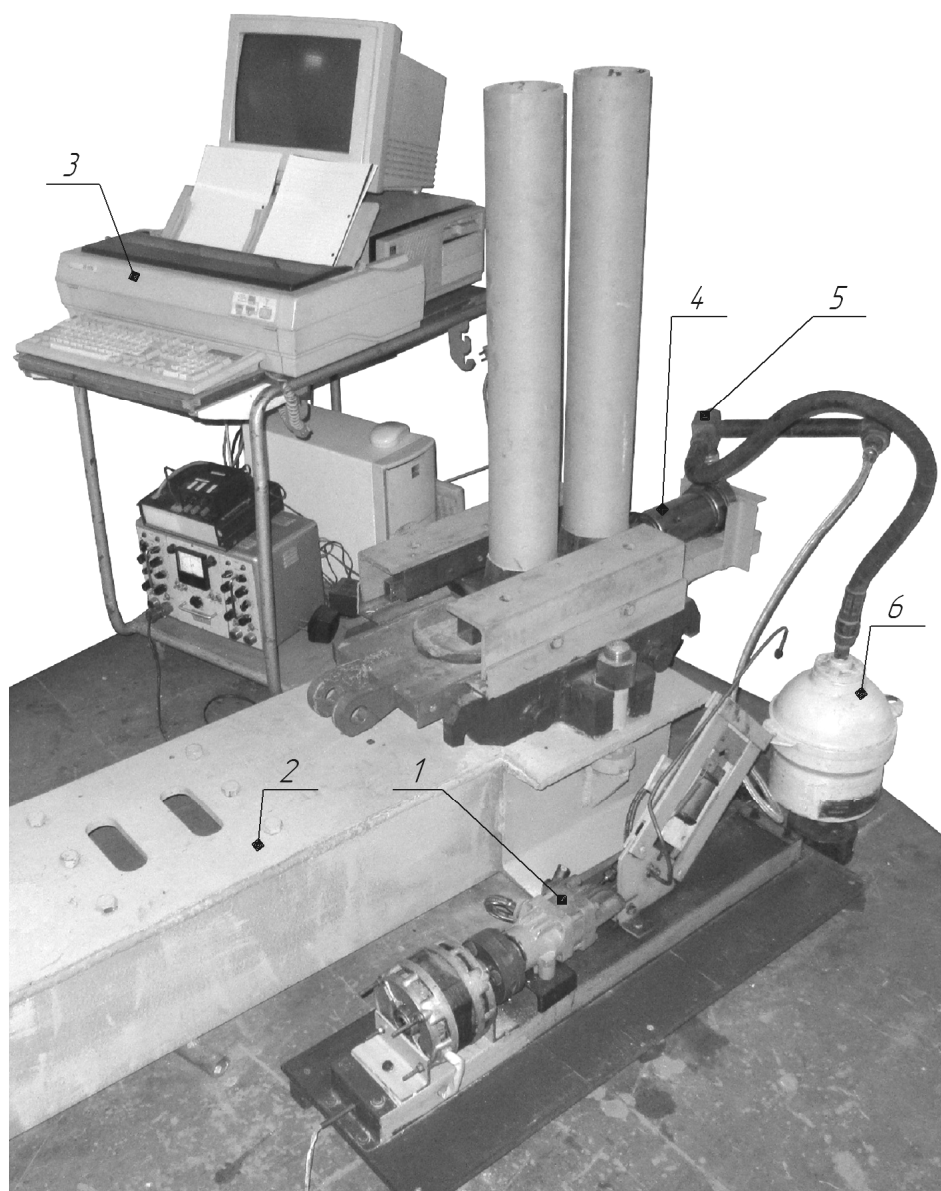


Рисунок 3 – Испытательный стенд с устройством быстрой замены

## **Ход выполнения задания и полученные результаты**

В ходе исследований имитируют условия эксплуатации системы, близкие к производственным. Главной задачей поставленного эксперимента является определение экстремальных нагрузок на элементы разливочной системы, возникающих во время смены погружного стакана по причине зарастания его канала и последующее сравнение с ожидаемыми теоретическими значениями. Поскольку интенсивность процесса «заметалливания» разливочного канала не может быть проконтролирована непосредственно в процессе разлива, то в промышленных условиях практически не представляется возможным четко отследить реакцию гидропривода системы на изменение толщины отложений. Поэтому на стенде проводят серию тестов, по данным которых оценивают влияние настыли, образовавшейся в канале разливочного устройства, на работу его гидропривода в момент начала движения погружного стакана, подлежащего замене.

Настыль в канале огнеупорного изделия формируют методом литья. В качестве материала-имитатора настыли используют свинец, имеющий в твердом состоянии прочностные характеристики, значения которых близки к соответствующим параметрам стальной корки при температуре начала ее затвердевания на поверхности менее нагретой стенки канала, а также слоя, образующегося из оксидов алюминия.

Толщину слоя настыли, имевшей форму втулки, назначают исходя из того, что замену погружного стакана в промышленных условиях осуществляют, когда пропускная способность его канала снижается на 15...20 % от значения, заданного технологической инструкцией. Для погружных стаканов, используемых на слябовых МНЛЗ, это соответствует уменьшению диаметра на 6–8 мм, то есть образованию корки толщиной от 3 до 4 мм.

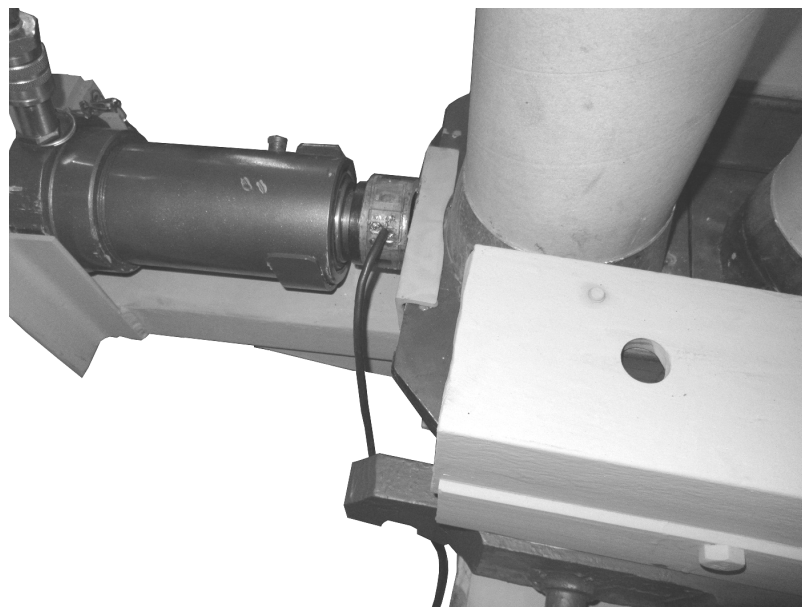
В ходе тестирования системы при фиксированном значении силы прижатия стаканов, обеспечиваемого регулировкой деформации пружинных элементов опорного узла, с помощью цилиндрической месдозы с четырьмя наклеенными фольговыми тензодатчиками сопротивлением 200 Ом (рис.4 а), размещаемой между плунжером гидроцилиндра и металлической обоймой опорной плиты сменного стакана (рис. 4 б), получают аналоговый сигнал, пропорциональный развиваемой цилиндром сдвигающей силе, который после усиления и преобразования в цифровой код поступает в ЭВМ для обработки с использованием прикладной программы Power Graph 2.0 с последующим графическим представлением на экране монитора. Каждый тест включает три контрольных замера нагрузки, преодолеваемой приводом. Суммарная погрешность контрольно-измерительного комплекса не превышает 10 %.

Во время первого измерения подачу рабочей жидкости в полость силового гидроцилиндра осуществляют насосом с отключением гидроаккумулятора. В этом случае длительность процесса замены погружного стакана составляет около 3 с, а нагрузка на привод обусловлена

лишь силами трения, действующими между контактными поверхностями пар трения (рис. 5 а).



а

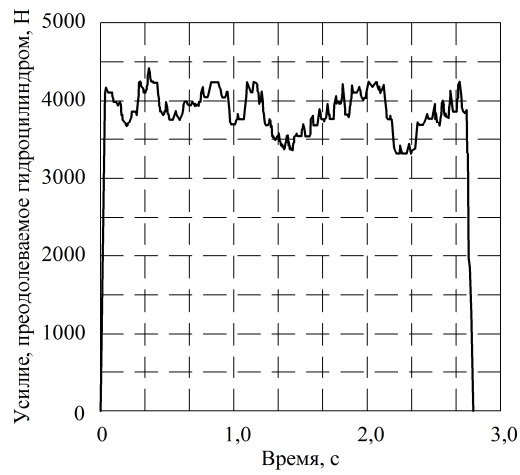


б

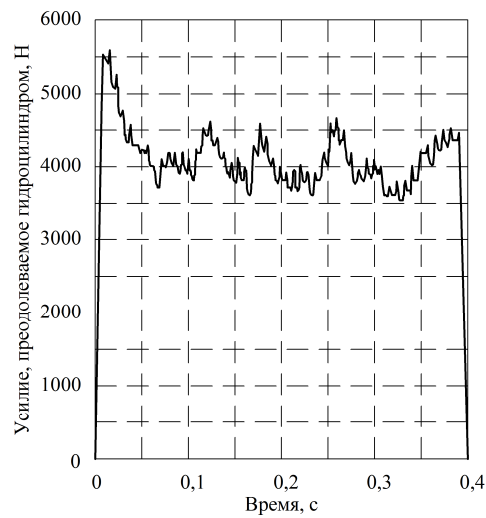
Рисунок 4 – Тензометрический преобразователь (а) и место его установки на разливочном устройстве (б)

Второй опыт проводят при включенном гидроаккумуляторе, что позволяет ускорить перемещение комплекта стаканов и сократить длительность процесса их смены до 0,4...0,5 с. В этом случае в начале движения обоих погружных стаканов фиксировался кратковременный всплеск сигнала (рис. 5 б), обусловленный действием динамической нагрузки на привод.

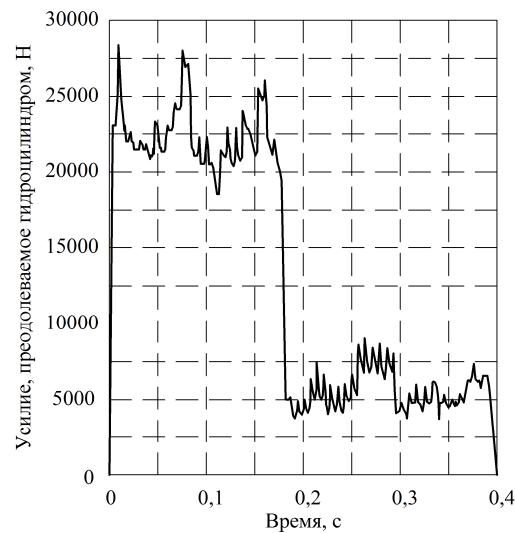
В третьем опыте выполняют быструю смену при наличии в канале стакана металлической настыли, имитируемой свинцовой втулкой, в момент срезания которой привод преодолевает наибольшую силу сопротивления (рис. 5 в). Результаты обработки данных измерений, приведенные в табл. 1, подтверждают корректность теоретических зависимостей, полученных для расчета значений составляющих суммарной силы сопротивления, действующей на привод.



а



б



в

Рисунок 5 – Зафиксированная нагрузка на гидропривод устройства при различных условиях процесса замены погружного стакана за время  $t$ : а– скорость перемещения стакана 0,06 м/с, при отсутствии свинцовой втулки в его канале; б и в– скорость перемещения стакана 0,34 м/с, при отсутствии и наличии свинцовой втулки ( $\delta = 3$  мм) в его канале соответственно

Таблица 1 – Результаты обработки данных измерений энергосиловых параметров привода системы быстрой смены погружных стаканов

№ опыта	Условия моделирования процесса замены погружных стаканов				Значения сил, преодолеваемых гидроприводом, Н			
	Сила прижатия стакана, Н	Длительность процесса замены стакана, с	Толщина слоя отложений на стенках канала стакана, Н	Ускорение стакана при страгивании с места, м/с <sup>2</sup>	Максимальное пиковое значение общей нагрузки, Н	Сила, срезающая корку в канале, Н	Суммарная сила трения, Н	Динамическая нагрузка при страгивании с места стаканов, Н
1	5000	2,8	–	0,043	4510	–	4485	25
2		0,49	–	1,42	5420	–	4500	920
3		0,50	3	1,36	26750	21250	4400	1100
4	6500	2,9	–	0,040	5700	–	5675	20
5		0,50	–	1,36	5810	–	5700	980
6		0,51	4	1,31	34650	27750	5750	1150
7	8000	3,0	–	0,038	7055	–	7040	15
8		0,49	–	1,42	7250	–	7135	1050
9		0,51	5	1,31	42340	33940	7150	1250

Однако следует отметить, что значения динамических нагрузок, зафиксированные во время контрольных измерений, заметно превышают расчетные. Это объясняется действием сил ударного характера, проявляющихся в момент столкновения с прижатой металлической обоймой стакана движущегося ускоренно плунжера гидроцилиндра в случае его работы от гидроаккумулятора. Сила ударного взаимодействия элементов разливочной системы в этом случае в десятки раз больше рассчитанной силы инерции, преодолеваемой цилиндром, сообщаящим ускорение погружным стаканам при выводе их из состояния покоя.

Проведенный визуальный контроль состояния контактных поверхностей базовой плиты разливочного устройства промежуточного ковша и опорной плиты погружного стакана, а также срезов свинцовых втулок, образовавшихся при различных сочетаниях толщин их стенок и значений сил прижатия огнеупорных элементов исследуемой разливочной системы, свидетельствует о том, что наличие металлической корки в ее канале вызывает расклинивающие усилия, которые в случае неблагоприятного сочетания действующих факторов могут привести либо к проходу жидкой стали в образовавшийся зазор между плитами, либо к полному стопорению гидропривода. В качестве примеров, наглядно иллюстрирующих сказанное, на рис. 6 представлены фотографии с характерными видами поперечных сечений разделенных частей свинцовых втулок, оставшихся в каналах базовой плиты разливочного стакана

промежуточного ковша (рис. 6, справа) и заменяемого погружного стакана (рис. 6, слева). Если сила прижатия огнеупорных элементов разливочной системы превышала расклинивающее усилие, возникающее при разрушении имитатора настыли, срез фрагмента свинцовой втулки, оставшийся в канале погружного стакана, сравнительно ровный, а на рабочей поверхности его опорной плиты задиры практически отсутствуют (рис. 6 а), что наблюдается в случаях малых толщин стенок втулок ( $\leq 3$  мм).

При наличии в разливочном канале имитатора настыли с толщиной стенки от 3,5 до 4,5 мм расклинивающая сила приводит к кратковременному появлению зазора между контактирующими поверхностями огнеупоров, о чем свидетельствовало наличие на них задиров, вызванных крупными заусенцами, образовавшимися на торцах фрагментов свинцовых втулок (рис. 6 б). Нештатный режим работы гидропривода разливочной системы, обусловленный его стопорением, возникает в случае необоснованного увеличения силы прижатия стакана и образования в его канале настыли с толщиной, превышающей 5 мм.

В качестве такого примера на рис. 6 в, показана втулка с толщиной стенки 6 мм, наличие которой в канале погружного стакана, прижимаемого силой 9 кН, привело к срабатыванию предохранительного клапана и остановке приводного гидроцилиндра.

Ошибка между предварительно рассчитанными теоретическими и зафиксированными эмпирическими значениями нагрузки на гидропривод переталкивающего устройства системы быстрой смены погружных стаканов при различных условиях процесса их замены не превышает 10 % (табл. 1).

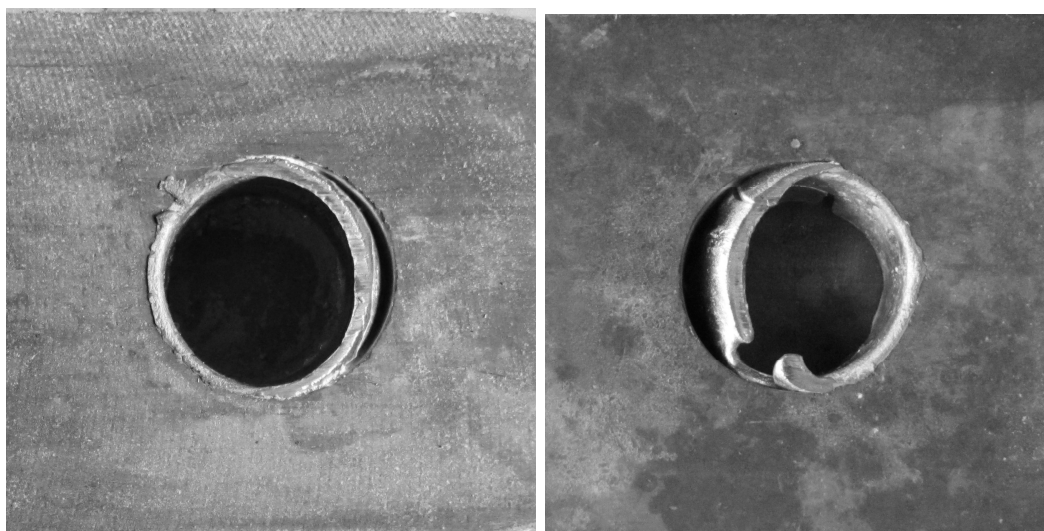
Поэтому полученные теоретические зависимости для расчета технологических нагрузок, действующих на элементы разливочного и переталкивающего устройств при замене погружных стаканов, с приемлемой для инженерных расчетов точностью можно использовать при проектировании импортозамещающих конструкций промышленных образцов систем.

Таблица 1 – Отклонение измеренного значения нагрузки, действующей на гидропривод переталкивающего устройства системы быстрой смены погружных стаканов, от теоретического

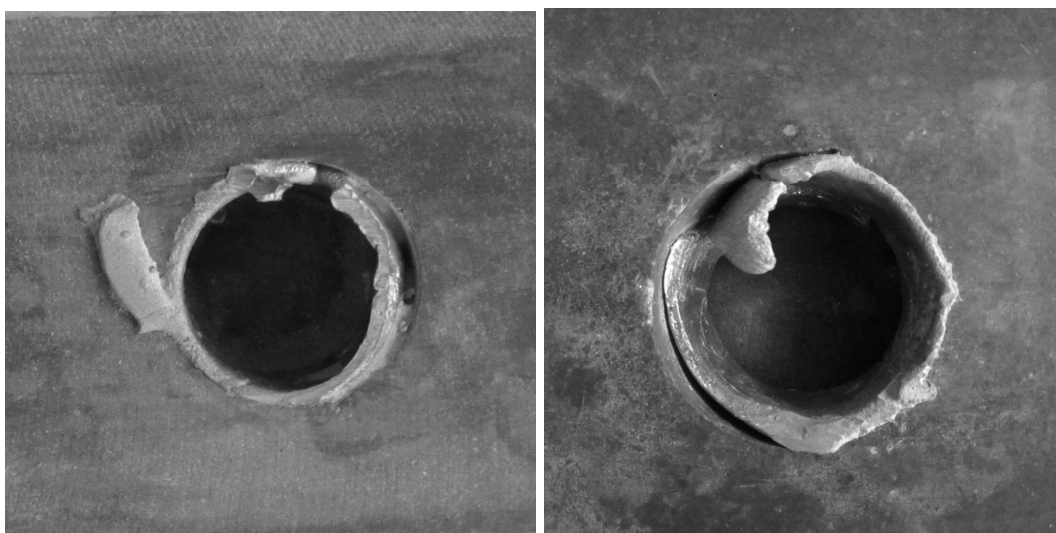
Параметр	№ опыта								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сила на плунжере, Н	$\frac{4510}{4158}$	$\frac{5420}{4981}$	$\frac{26750}{25118}$	$\frac{5700}{5312}$	$\frac{5810}{5403}$	$\frac{34650}{32814}$	$\frac{7055}{6506}$	$\frac{7250}{6692}$	$\frac{42340}{39715}$
Ошибка, %	8,5	8,8	6,5	7,3	7,5	5,6	8,4	8,3	6,6

Примечание. В числителе дроби указано осредненное эмпирическое значение силы на плунжере переталкивающего устройства, в знаменателе – аналитическое.

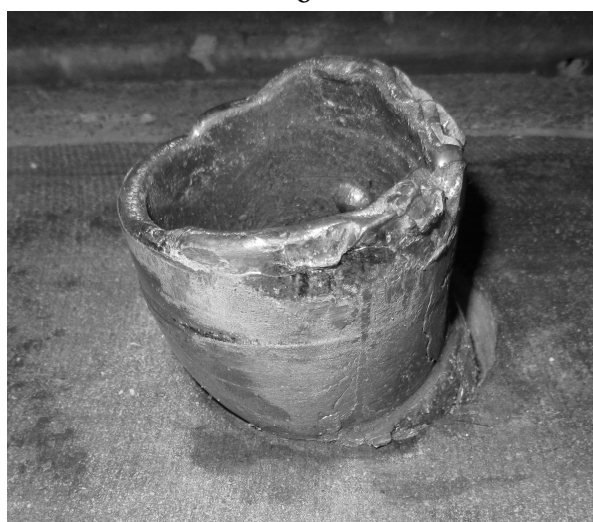




а



б



в

Рисунок 6 – Характер среза фрагментов свинцовых втулок с толщиной стенки 3 мм (а), 4 мм (б) и 6 мм (в), оставшихся в каналах погружного стакана (фото слева) и базовой плиты промковша (фото справа)

## **Выводы**

Результаты тестирования физического аналога и 3D модели системы быстрой смены погружных стаканов для серийной разливки стали на слябовых МНЛЗ подтверждают работоспособность всех ее структурных элементов; манипулятор позволяет реализовать заданные траектории движения в пространстве сменного и отработанного огнеупорных погружных стаканов и осуществить механизированное выполнение операции по быстрой смене защитного огнеупора.

Полученная в ходе физического моделирования информация позволит правильно выполнить расчеты энергосиловых параметров новой системы быстрой смены погружных стаканов, а также разработать новый принцип ее построения, заключающийся в совмещенном и параллельном выполнении структурными элементами (манипулятором, разливочным и переталкивающим устройствами) отдельных этапов технологической операции. Это позволило сократить временные затраты на смену изношенного погружного стакана и повысить выход годного при производстве слябовой заготовки на МНЛЗ.

## **Изучение на физических моделях особенностей работы различных стопорных систем промежуточного ковша МНЛЗ**

### **Постановка задачи**

Поддержание постоянства уровня жидкой стали в кристаллизаторе МНЛЗ, как известно, является одним из главных требований технологии получения качественной непрерывнолитой стальной заготовки. Поэтому стабилизация объемного расхода стали, поступающей из промежуточного ковша в кристаллизатор, стала особо актуальной технологической задачей, решаемой в условиях литья заготовок методом «плавка на плавку».

Резкое повышение числа плавов, разливаемых серийно, потребовало в свою очередь активизации работ, связанных с созданием разливочных устройств, позволяющих в совокупности с системой автоматического управления обеспечить устойчивое функционирование высокопроизводительных машин непрерывного литья заготовок при максимально возможных скоростях вытягивания слитка из кристаллизатора.

Несмотря на многообразие технических решений, заложенных в разливочные устройства промежуточных ковшей, их можно разделить на две основные группы, включающих стопорные и шиберные системы.

Оборудование промежуточных ковшей скользящими затворами различного конструктивного исполнения стало возможным благодаря освоению выпуска огнеупорных плит высокого качества. Достигнутые успехи при использовании разливочных устройств шиберного типа подтверждают целесообразность продолжения работ, направленных на расширение их применения в данной области. Однако в обозримом будущем при непрерывной разливке стали закрытой струей регулирование расхода металла, истекающего из промежуточного ковша в кристаллизатор, будут выполнять с помощью стопорных систем.

Стопорная система промежуточного ковша МНЛЗ включает огнеупорный стопор-моноблок, посредством резьбового соединения закрепленный на конце консоли, жестко связанной с подвижной стойкой, размещенной в 2-х направляющих втулках или роликовых опорах с возможностью вертикального возвратно-поступательного перемещения с помощью гидравлического (реже электромеханического) привода при работе в автоматическом режиме, а в случае необходимости перехода на ручное управление благодаря рычажному или реечному механизмам.

Следует отметить, что до настоящего времени специалисты не пришли к единому мнению относительно критериев выбора компоновочной схемы стопорной системы промковша МНЛЗ. Несмотря на преобладание использования гидравлического привода в качестве исполнительного механизма, имеющего ряд несомненных преимуществ, в последних разработках известных зарубежных фирм «Техноап» (Россия), SERT (Франция) предпочтение отдано электромеханическим устройствам,

преобразующим вращательное движение вала электродвигателя постоянного тока в поступательное перемещение несущей стойки разливочного устройства. В качестве весомых аргументов, подтверждающих целесообразность применения подобных систем, приводятся факты устранения пожарной опасности и снижения в 10 – 20 раз расходов на обслуживание в сравнении с гидравлическим приводом.

При сопоставительной оценке достоинств и недостатков известных стопорных систем необходимо учитывать идентичность условий их применения, а также обеспечиваемые параметры взаимодействия звеньев, образующих кинематические пары, входящие в кинематическую структуру преобразующего механизма. Учитывая экстремальные условия эксплуатации сталеразливочного оборудования и связанные с ними трудности использования контрольно-измерительных средств оценки силового нагружения натурального образца стопорного устройства, требуемую информацию о значении и характере нарастания сил технологического сопротивления целесообразно устанавливать по результатам проведенных лабораторных исследований [9-12].

### **Цель исследования**

Целью лабораторного эксперимента является сопоставительный анализ устойчивости функционирования стопорных систем промежуточного ковша МНЛЗ, выполненный в идентичных условиях.

### **Материальное обеспечение**

Для проведения исследований изготовлены два физических аналога (фото на рис.1) стопорной системы промежуточного ковша МНЛЗ, которые в конструктивном отношении в масштабе 1 : 4 в точности соответствовали реальным образцам исследуемых разливочных устройств с различным типом привода. Для контроля исследуемых параметров разливочных устройств применили измерительную систему (рис.2), включающую тензорезисторный преобразователь, четырехканальный усилитель переменного тока УТ4-1 ТУ 25.06.1377–82, двухкоординатный акселерометр ADXL 210 фирмы ANALOG DEVICES и IBM–совместимый компьютер с установленной на его шине платой L–1250 многоканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП) фирмы L – CARD.

Тензорезисторный преобразователь для контроля силы, развиваемой приводом, размещали на промежуточном элементе, связывающем шток гидроцилиндра или ходовой гильзы с концом консоли, а акселерометр, позволяющий фиксировать линейные ускорения в пределах от – 10g до +10g при частоте записи сигнала 1 – 10 кГц, крепили к подвижной стойке.

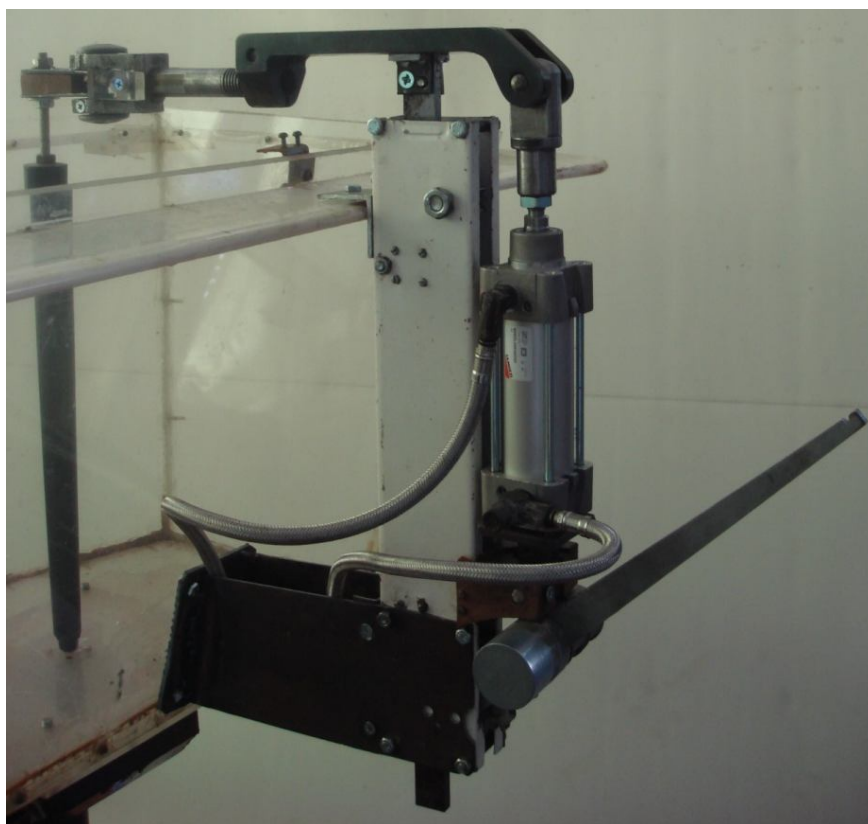
Требуемую частоту опроса акселерометра назначали исходя из условия:

$$f_n \leq 1/T \leq f_s,$$

где  $T$  – длительность импульса, составляющая 0,0002 – 0,001 с.



а



б

Рисунок 1 – Действующие физические модели исследуемых стопорных систем с

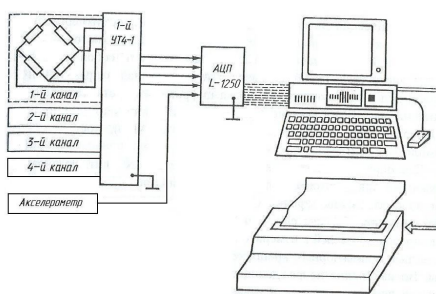


Рисунок 2 – Контрольно-измерительная схема, применяемая при контроле энергосиловых параметров физических моделей стопорных систем

### Ход выполнения задания и полученные результаты

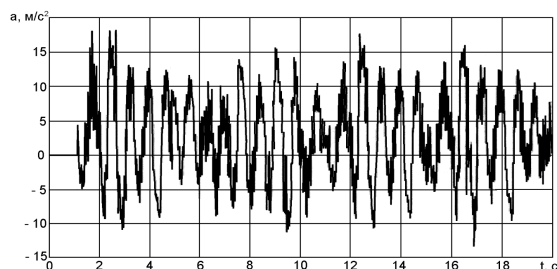
В ходе проводившихся лабораторных экспериментов изучали характер изменения усилия, требуемого для перемещения в вертикальном направлении стопора-моноблока, а также оценивали соотношение статических и динамических нагрузок, действующих на привод в различных условиях функционирования разливной системы.

При моделировании работы исследуемых стопорных механизмов управление приводами их физических аналогов осуществляли с помощью упрощенной следящей позиционной системы, которая замыкалась через датчик положения уровня воды, имитирующей жидкую сталь, в полости модели кристаллизатора.

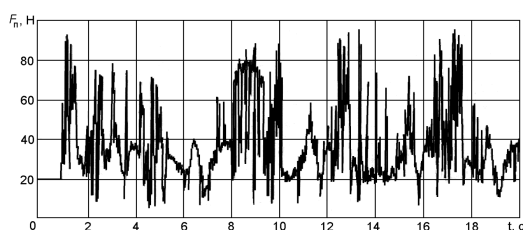
Датчик положения включал группу верхних и нижних неподвижных контактов, размещенных на колодке, жестко закрепленной на внутренней поверхности боковой стенки модели кристаллизатора, и группу подвижных контактов, установленных на поворотном рычаге, один конец которого посредством шарнира связан с колодкой, а второй конец снабжен поплавком. Неподвижные контакты с помощью проводов соединяли с электродвигателем или с катушками гидрораспределителя, подающего рабочую жидкость в полости цилиндра. К подвижным контактам датчика подводили питающее напряжение.

Принцип работы такой системы управления состоял в том, что при изменении уровня жидкости в модели кристаллизатора в большую или меньшую сторону от заданной отметки, поплавок воздействовал на рычаг, при повороте которого происходило замыкание подвижных контактов либо с верхними, либо с нижними неподвижными контактами. От порядка и длительности замыкания указанных контактов зависят направление и продолжительность вращения вала электродвигателя или перемещения штока гидроцилиндра, а, следовательно, и высота подъема стопора-моноблока относительно входного отверстия канала разливного стакана и объемный расход жидкости, поступающей в модель кристаллизатора. Таким образом, система управления приводом физических аналогов стопорной системы имела дискретную обратную связь, обеспечивающую автоматическое функционирование моделей разливных устройств.

Обработку цифрового представления сигналов, поступающих от тензорезисторного преобразователя и акселерометра, выполняли на ЭВМ в реальном масштабе времени при помощи прикладной программы Power Graph 2.0. В качестве примера на рис. 3 приведен характерный вид регистрировавшихся сигналов.



а



б

Рисунок 3 – Вид сигналов при контроле ускорения (а) и силы, развиваемой приводом модели стопорной системы (б) в процессе ее функционирования

### Выводы

1. Работа физических аналогов стопорной системы характеризуется значительными динамическими нагрузками. При этом отношение максимального значения динамической нагрузки к статической достигало 2,5–3,2.
2. Наблюдавшиеся значительные пульсации контролируемых параметров стопорной системы (ускорений и сил) свидетельствуют о наличии в ней механических колебаний, в следствии действия переменных нагрузок и упругости звеньев механизма перемещения стопора-моноблока. Такие колебания отрицательно сказываются на качестве автоматического регулирования объемного расхода жидкой стали, поступающей из промежуточного ковша в кристаллизатор.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гидравлическое моделирование процесса смены погружных стаканов на слябовых МНЛЗ** / С. П. Еронько, М. Ю. Ткачев, Е.В. Ошовская // *Электрометаллургия*. – 2016. – № 10. – С. 15–22.
2. **Пат. 96891 Україна, МПК В 22 D 41/56, В 22 D 11/106**. Маніпулятор для заміни занурювального стакана на слябовій машині безперервного лиття заготовок / С. П. Єронько, М. Ю. Ткачов, К. В. Дубойський ; Донец. нац. техн. ун-т (Україна). – № 201015551; заявл. 23.12.10 ; опубл. 12.12.11.
3. **Совершенствование системы быстрой смены погружных стаканов для серийной разливки стали на слябовых МНЛЗ** / С. П. Еронько, А. Л. Сотников, М. Ю. Ткачев // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2012. – № 3. – С. 26–38.
4. **Еронько, С. П.** Разработка и исследование импортозамещающих разливочных систем промежуточных ковшей слябовых МНЛЗ / С. П. Еронько, М. Ю. Ткачев // *Черная металлургия : Бюл. ин-та «Черметинформация»*. – 2016. – № 3. – С. 62–69.
5. **Пат. 104227 Україна, МПК В 22 D 41/56**. Пристрій для заміни занурювального стакана проміжного ковша машини безперервного лиття заготовок / С. П. Єронько, М. Ю. Ткачов ; Донец. нац. техн. ун-т (Україна). – № 201208740; заявл. 16.07.12; опубл. 10.01.14.
6. **Использование компьютерного и физического моделирования при разработке систем быстрой смены погружных стаканов** / С. П. Еронько, М. Ю. Ткачев, В. Ф. Борисенко, А. И. Землянский // *Черная металлургия : Бюл. ин-та «Черметинформация»*. – 2016. – № 2. – С. 38–44.
7. **Еронько, С. П.** Разработка и исследование импортозамещающих разливочных систем промежуточных ковшей слябовых МНЛЗ / С. П. Еронько, М. Ю. Ткачев // *Черная металлургия : Бюл. ин-та «Черметинформация»*. – 2016. – № 3. – С. 62–69.



8. **Расчет энергосиловых параметров системы быстрой замены погружных стаканов при непрерывной разливке стали** / С. П. Еронько [и др.] // *Черная металлургия* : Бюл. ин-та «Черметинформация». – 2010. – № 8. – С. 30–35.
9. **Дюдкин, Д. А.** Качество непрерывнолитой стальной заготовки : монография / Д. А. Дюдкин. – Киев : Техніка, 1988. – 253 с.
10. **Теория и практика непрерывного литья заготовок** : монография / А. Н. Смирнов [и др.] – Донецк: НОРД компьютер, 2000. – 363 с.
11. **Еронько, С. П.** Разливка стали: технология, оборудование : монография / С. П. Еронько, С. В. Быковских. – Киев : Техніка, 2003. – 216 с.
12. **Еронько, С. П.** Расчет и конструирование оборудования для внепечной обработки и разливки стали : монография / С. П. Еронько, С. В. Быковских, Е. В. Ошовская. – Киев : Техніка, 2007. – 344 с.