

*На правах рукописи*



**ИЖБУЛДИН ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**СОЗДАНИЕ РУЧНОЙ УДАРНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ  
СТРОИТЕЛЬНОЙ АРМАТУРЫ**

Специальность 05.05.04 – «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные  
машины»

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Новосибирск – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения» (СГУПС).

**Научный руководитель:** **Абрамов Андрей Дмитриевич**, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения», проректор по научной работе.

**Официальные оппоненты:** **Кутумов Алексей Анатольевич**, доктор технических наук, доцент, Рубцовский индустриальный институт (РИИ) (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), директор (г. Рубцовск).

**Чернявский Дмитрий Иванович**, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ), профессор кафедры «Машиноведение» (г. Омск).

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН), (г. Новосибирск).

Защита состоится «28» октября 2020 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета ВАК РФ Д 212.250.02 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» по адресу: 644080, г. Омск, пр. Мира, 5, ауд. 3124. Тел. +7 (3812) 65-03-23, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» и на сайте университета по адресу: <https://sibadi.org/about/units/institut-magistratury-i-aspirantury/studies/dissertations/63298/>

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах с подписью, заверенной гербовой печатью учреждения), просим высылать по адресу: 644080, г. Омск, пр. Мира, 5. Тел. +7 (3812) 65-03-23, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru.

Автореферат разослан «01» сентября 2020 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук,  
профессор



Кузнецова Виктория Николаевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** При строительстве различных объектов существует необходимость повышения скорости соединения арматуры. Одной из проблем при формировании вертикальных и наклонных армирующих стержней или контуров, является стыкование арматуры, так как при соединении внахлест для сварки или вязки присоединяемый стержень арматуры необходимо удерживать в вертикальном положении или под нужным углом. К тому же некоторые повсеместно применяемые типы арматуры из-за свойств металла не подлежат соединению с помощью сварки. Эти проблемы решаются при соединении арматуры встык с помощью трубчатых муфт, когда присоединяемый конец с закрепленной на нем муфтой стыкуется с зафиксированным (залитым в бетон) в вертикальном или наклонном положении концом. Такая технология существенно облегчает заливку высотных монолитных конструкций опор мостов и является на данный момент основной в мостостроении, чего нельзя сказать о монолитном домостроении, где и сегодня применяется сварка и вязка. Это связано с тем, что в России только на рубеже 2000-х годов началось активное строительство высотных (более 10-15 этажей) зданий в городах, тогда как за рубежом опыт такого строительства существует с 20-х – 30-х годов XX века. Учитывая, что сооружение монолитных зданий в нашей стране имеет больший объем относительно мостостроения, очевидна необходимость внедрения передовых менее затратных способов в промышленное и гражданское строительство.

Для решения этой проблемы необходимо провести анализ накопленного мирового опыта, связанного с соединением арматуры: рассмотреть основные технологии стыковки и инструмент, используемый для их реализации, относящийся согласно ГОСТ ISO/TR 12603-2014 к строительным машинам; определить типоразмеры арматуры, применяемой в монолитном домостроении, а также выбрать наиболее предпочтительный с практической и экономической точки зрения механизированный инструмент, способный решать поставленную задачу в условиях строительных площадок с ограниченными трудовыми ресурсами.

В данный момент в мостостроении для соединения арматуры применяется переносной пневматический и гидравлический инструмент. Электромагнитные машины обладают малой массой, их рабочие характеристики не зависят от температурных условий, однако они не получили распространения в качестве ручного ударного электроинструмента.

Таким образом, создание ручного ударного инструмента для соединения строительной арматуры, обладающего повышенной производительностью, **является актуальной задачей.**

**Степень разработанности темы исследования.** Большой вклад в развитие машин с линейным электромагнитным приводом внесли П.М. Алабужев, Н.П. Ряшенцев, О.Д. Алимов, А.Д. Абрамов, В.А. Каргин, А.И. Москвитин, А.В. Фролов, Ю.З. Ковалев, Ф.Н. Сарапулов, О.Н. Веселовский, В.В. Ивашин, Г.Г. Угаров, Б.Ф. Симонов, Е.М. Тимошенко, А.Т. Малов, В.И. Малинин, К.М. Усанов, Ю.В. Нейман, Б.Н. Стихановский, В.И. Мошкин и другие учёные. Труды указанных авторов направлены главным образом на изучение процессов, проходящих в редкоударных переносных и стационарных линейных электромагнитных прессах, улучшение эффективности токопотребления и усовершенствование систем управления электромагнитом.

Диссертация соответствует специальности 05.05.04 - «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины», пункт 2: методы моделирования, прогнозирования, расчета технологических параметров, проектирования, испытания машин, комплектов и систем, исходя из условий их применения.

**Целью диссертационной работы** является расчет параметров ручных машин с электромагнитным приводом для деформирования стальной втулки на арматуре и создание на основе полученных результатов ручного вибробезопасного ударного электроинструмента для соединения строительной арматуры.

Для достижения поставленной цели исследования были решены следующие **задачи**:

1. Выбрать и обосновать тип привода ручного ударного инструмента, способного соединять строительную арматуру. Выполнить аналитический обзор применяемых в строительстве типоразмеров арматуры, пригодных для соединения ручным инструментом.

2. Разработать математическую модель рабочего цикла ручной ударной машины, учитывающую свойства обрабатываемой детали.

3. Выявить зависимости, устанавливающие взаимосвязь между основными параметрами ручных ударных машин и временем выполнения операции соединения строительной арматуры.

4. Экспериментально определить численные значения коэффициентов, необходимых для расчета технологических параметров выполнения операции соединения строительной арматуры.

5. Разработать инженерную методику проектирования ручной ударной машины для соединения арматуры.

6. Оценить экономический эффект от внедрения технологии соединения арматуры с помощью ручных ударных машин.

**Объектом исследования** являются ручные ударные машины.

**Предметом исследования** являются закономерности протекания рабочих процессов ручных ударных машин.

**Научная новизна работы.**

1. Создана математическая модель взаимодействия ударной машины с обрабатываемой средой, описывающая динамику рабочих процессов ударной машины при выполнении технологической операции соединения арматуры, отражающая основные характеристики ударного привода и деформируемой стальной втулки, раскрывающая фазы рабочего цикла ударной машины, имеющая сходимость с экспериментом в пределах 8%.

2. Получены зависимости величины осадки стальной втулки при ее деформировании на стержне арматуры от силы сдавливания, позволившие определить значения коэффициентов, необходимых для расчета характеристик динамических режимов деформирования втулки на арматуре (энергии удара, количества ударов, величины осадки).

3. Выявлены зависимости времени выполнения операции соединения арматуры от характеристик ударного привода (энергии удара, массы машины, количества ударов), позволяющие при проектировании определить параметры ручной ударной машины.

4. Доказана возможность реализации операции соединения строительной арматуры диаметром от 10 до 20 мм одним типоразмером машин с энергией удара 50 Дж с массой бойка 0,72 кг.

5. Установлено, что применение пружины, работающей по принципу сжатия в конструктивной схеме, в которой рабочий ход бойка осуществляется с помощью электромагнитной катушки, а обратный – с помощью возвратной пружины, обеспечивает реализацию энергии удара 50 Дж при массе 6 кг, а увеличение площади демпфера в 3,2 раза - снижение ударной нагрузки на оператора в 2,25 раза.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов работы.**

1. Разработана инженерная методика проектирования ручной ударной машины, основанная на зависимости времени выполнения операции соединения арматуры от параметров ударного привода (энергия единичного удара, масса бойка, скорость бойка) и характеристик осадки стальной втулки на арматуре.

2. Создана ручная ударная машина для соединения строительной арматуры, в которой применены новые конструктивные решения системы возврата бойка ударного привода, позволившие применять вибродемпфер увеличенной в 3,2 раза площади. Разработанная машина позволяет соединять арматурные стержни диаметром от 10 до 20 мм опрессовкой в стальных втулках за время меньшее, чем при их соединении сваркой.

3. Разработан новый способ соединения строительной арматуры в стальных обжимных втулках с помощью ручных ударных машин, подтвержденный патентом на изобретение. Новое конструктивное решение системы возврата бойка подтверждено патентом на полезную модель.

4. Предложенная инженерная методика проектирования может быть использована для создания ручной ударной машины с любым типом привода. Результаты диссертационных исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО СГУПС, на строительных площадках ООО СЗ «КМС».

**Методология и методы исследования.** Основные результаты диссертационной работы получены на базе фундаментальных законов механики, используемых для исследования процессов деформирования материалов и взаимного воздействия машины и обрабатываемого тела. Теоретические исследования проводились на базе научных основ технологии машиностроения, теории статического и виброударного деформирования материалов. При разработке общей методики поиска решений использовались основные положения системного анализа, методология поискового конструирования, методы научно-технического творчества. Поиск количественных соотношений между исследуемыми параметрами осуществлялся с помощью аналитических методов математического анализа. Результаты экспериментальных исследований получены на сертифицированном оборудовании, с использованием многократного повторения опытов и проведения испытаний в условиях производственного предприятия.

### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Математическая модель, учитывающая основные параметры ударного привода, деформируемой стальной втулки на арматуре, технологические параметры выполнения операции соединения арматуры (энергию удара, количество ударов, величину осадки втулки), описывающая рабочий цикл машины, разбитый на 6 фаз (разгон, неупругий удар бойка, деформирование втулки, передача ударного движения корпусу, обратный разгон бойка, удар бойка о корпус).

2. Зависимости величины осадки стальной втулки от силы сдавливания при ее деформировании на стержне арматуры, позволившие определить значения коэффициентов условной жесткости и силы начала пластического деформирования, необходимых для расчета динамических режимов деформирования втулки (энергии удара, количества ударов, величины осадки втулки).

3. Функциональные зависимости энергии удара, массы машины и количества ударов, необходимых для опрессовывания стальной втулки на арматуре, которые позволяют рассчитать основные параметры ударного привода.

4. Энергия единичного удара, равная 50 Дж, развиваемая ручной ударной машиной с массой бойка 0,72 кг является достаточной для совершения технологической операции соединения строительной арматуры.

5. Результаты экспериментальных исследований оценки величины ударного импульса показывают сходимость с значениями, рассчитанными в математической модели ударной машины, в пределах 8%.

6. Конструктивная схема привода системы возврата ударника с пружиной, работающей по принципу сжатия, расположенной в отдельном корпусе, позволяет за счет увеличения в 3,2 раза площади демпфера, снизить вибрационную нагрузку на оператора до санитарных норм.

**Степень достоверности научных положений** обеспечивается подтверждением адекватности математической модели, принятием корректных допущений, корректным использованием методов математического моделирования и экспериментальными исследованиями.

**Личный вклад автора** заключается в анализе основных существующих способов соединения строительной арматуры; выборе и обосновании способа соединения арматуры с помощью электромагнитных ручных машин ударного действия; в создании математической модели взаимодействия ударной машины и обрабатываемой детали; разработке методики проектирования ударной машины; экспериментальном определении зависимости величины осадки стальной втулки от усилия удара и проверке качественных характеристик полученной детали; в создании новой конструкции возвратного механизма электромагнитной линейной ручной ударной машины.

**Апробация результатов работы.** Основные результаты исследования доложены на IX Международной научно-технической конференции «Политранспортные системы. Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке» (Новосибирск, 2016); Международной научно-технической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2017); Международной научно-практической конференции «Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика» (Новосибирск, 2017); II Международной научно-технической конференции «Mechanical Science and Technology Update» «Проблемы машиноведения» (Омск, 2018); X Международной научно-технической конференции «Политранспортные системы» (Новосибирск, 2018); Региональной научно – практической конференции «Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования» (Новосибирск, 2017); Университетской научно-практической конференции СГУПС «Дни науки 2016» (Новосибирск, 2016).

**Реализация работы.** Основные результаты диссертационного исследования используются:

- ООО Специализированный застройщик «Краснообск. Монтажспецстрой» для соединения арматуры при строительстве высотных жилых зданий;

- в учебном процессе ФГБОУ ВО «СГУПС» специальностей и направлений 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»; 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» при изучении дисциплин «Основы технологии производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования» (бакалавры); «Технология производства подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования» (специалисты); «Строительные и дорожные машины и оборудование» (специалисты).

**Публикации по работе.** По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе пять работ в изданиях, внесенных в перечень ВАК РФ, одна работа в издании, индексируемом наукометрической базой «Scopus», один патент на изобретение и один патент на полезную модель.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, изложена на 135 страницах машинописного текста и содержит 71 рисунок, 18 таблиц, список литературы из 118 наименований и приложений на 6 страницах. Работа выполнена на кафедре «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин» Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС).

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность и степень разработанности темы диссертационной работы, определены объект и предмет исследования, сформулирована цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая ценность работы.

**В первой главе** приведен обзор применяемых в строительстве типоразмеров арматуры, рассмотрены основные способы соединения арматуры, приведен и обоснован выбор оборудования для производства стыковки арматурных стержней.

Таблица 1 – Типоразмеры арматуры, применяемой в конструкциях высотных зданий

Тип конструкции	Диаметр арматуры, мм
Монолитный ростверк	12, 14, 16, 20
Выпуски из ростверка	6, 10, 12, 14, 16, 20
Стены подвала	10, 12, 16, 20
Диафрагмы	1, 12, 14, 16, 20
Фундаменты под вентблоки	10
Каркасы колонн	10, 12, 20, 25, 28, 32, 36, 40
Плиты перекрытия	8, 10, 12, 14, 20

Из таблицы 1 видно, что широко применяется арматура диаметром от 10 до 20 мм.

Основными недостатками сварного соединения арматуры являются невозможность соединения вертикальных стержней силами одного рабочего, высокие требования к квалификации, невозможность

сваривания некоторых часто используемых классов арматуры. Еще одним недостатком «традиционной» технологии является наличие стыка, что увеличивает расход материала на нахлест до 15-30 диаметров стержня.

Альтернативными способами являются соединения в резьбовых и в обжимных муфтах (рисунок 1). Обжимная технология предполагает стыковое соединение двух стержней в отрезке цилиндрической трубы путем последовательного обжатия втулки на концах соединяемых стержней.



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Виды муфтовых соединений арматуры: а) болтовое соединение типа «LENTON», б) резьбовые муфты типа «ARMFIX», в) обжимное соединение.

Основное оборудование, применяемое на предприятиях РФ для соединения строительной арматуры путем обжатия представлено в таблице 2.

Таблица 2 - Оборудование, применяемое для опрессовки арматуры

Тип оборудования	Масса, кг
Пресс ручной гидравлический обжимной СН-90/80 с насосной станцией СГС-1-80Э380/3	40
Пресс гидравлический помповый ПГ-60	22
Пресс арматурный ПА-18	15

Таблица 3 – Инструменты, применение которых возможно для соединения строительной арматуры.

Тип оборудования, назначение	Масса, кг
Электромагнитный пресс ПЭМ-1,0	30
Пресс ручной гидравлический ПГР-20М1 для контактных соединений 240 мм <sup>2</sup>	5,6
Пресс гидравлический с электроприводом ПГЭ-20 (240 мм <sup>2</sup> )	6,5
Пресс пиротехнический ППО-240 (240 мм <sup>2</sup> )	4,3
Опрессователь контактных соединений ОЭМ-1 (240 мм <sup>2</sup> )	4,2

Из таблиц видно, что наименьшей массой обладают пиротехнический и электрический прессы. При этом пиротехнические прессы имеют ограниченное применение.

Так как электрическая сеть является наиболее доступным и компактным источником энергии, целесообразно использовать для работы ударные машины с линейным электромагнитным приводом (ЛЭМД). Такой инструмент имеет ряд достоинств, таких как высокая удельная энергия единичного удара, низкая масса, стабильность выходных энергетических показателей вне зависимости от температурных условий. Имеется отечественный (ИГД СО РАН, НГТУ, ТПУ, СГТУ, КГУ, завод «Электродеталь» г. Саратов и др.) и зарубежный («Sintron» США, AEG Германия и др.) опыт проектирования и производства машин с ЛЭМД, ударные машины с ЛЭМД, имеющие энергию удара более 30 Дж промышленностью не выпускаются.

Нормативными документами к ручным ударным машинам предъявляются следующие требования: СНиП 12-03-99 - масса машины не более 10 кг, вне помещений применение машин не ниже II класса электробезопасности; СанПиН 2.2.2.540-96 - виброускорение не более 1,4 м/с<sup>2</sup> (в октавной полосе 8 Гц).

Для выбора параметров машин для выполнения операции соединения строительной арматуры в цилиндрических втулках и проверки безопасности выполнения работ, необходимы исследования процесса формоизменения детали при выполнении рабочего процесса опрессовки строительной арматуры.

Во второй главе проведен анализ процессов формоизменения тел, разработана математическая модель, отражающая взаимодействие элементов ударной машины и



обрабатываемой детали, произведен расчет движения корпуса машины на разных этапах рабочего цикла.

При рассмотрении поведения стальной втулки в процессе ударного деформирования на арматуре, затруднительно учесть геометрические особенности получаемого изделия и воздействующего на него инструмента, так как при циклическом нагружении образца с каждым циклом возрастает предел текучести материала, а соответственно увеличиваются упругие свойства. Поэтому А.Д. Абрамовым предложена дискретная модель упругопластического деформируемого тела (рисунок 2), описывающая интегральную зависимость (оценку) осадки изделия от усилия сжатия.

Уравнение упругопластического деформирования заготовки:

$$h_k = \sqrt{\left(\frac{F_m}{c_2}\right)^2 \left(\frac{c_1}{c_1+c_2}\right)^k + \frac{m_6 V_0^2 c_1}{c_2^2} \left[1 - \left(\frac{c_1}{c_1+c_2}\right)^k\right]} - \frac{F_m}{c_2} \quad (1)$$

где  $h_k$  - осадка образца, мм;

$c_2$  – условное сопротивление детали пластической деформации, Н/м;

$c_1$  – условная жесткость детали в зоне упругой деформации, Н/м;

$m_6$  – масса бойка, кг;

$V_0$  – скорость бойка непосредственно перед соприкосновением с деталью, м/с.

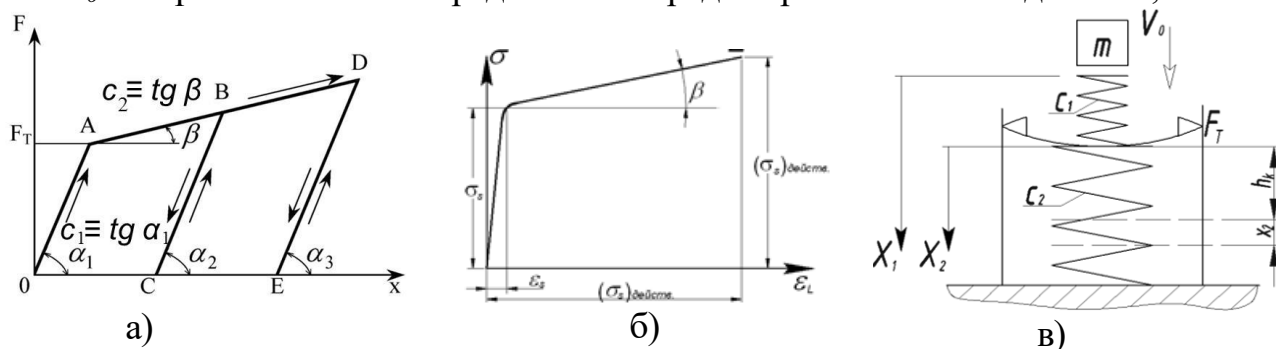


Рисунок 2 - Графические характеристики упругодеформируемых тел: а) статическая характеристика циклического нагружения, б) схематизированная диаграмма деформирования упругопластического тела, в) модель упругопластического деформируемого тела.

Граничные значения энергии удара определяются минимальной энергией единичного удара, при которой возможна качественная реализация технологической операции и ее максимальным реализуемым значением, при котором используемый инструмент может считаться ручным (массой не более 10 кг), а также значением виброускорения корпуса машины.

Для оценки энергоемкости операции соединения арматуры и расчета параметров ударного привода разработана математическая модель (рисунок 3), включающая в себя машину ударного действия, с совокупностью подвижных и неподвижных масс, и непосредственно модель обрабатываемой детали, представляющую собой две пружины с условной жесткостью, в упругой  $c_1$  и пластической  $c_2$  зоне деформации, а так же демпфер сухого трения  $F_T$ , описывающими статическую нагрузочную характеристику.

Для изучения процессов, происходящих при взаимодействии подвижных и неподвижных частей машины и воздействии результирующих сил на оператора машины, необходимо разложить рабочий цикл машины на отдельные составляющие – фазы.

Труды ученых ИГД СО РАН и НГТУ, связанные с исследованием процессов, проходящих при работе электромагнитных линейных молотов и прессов, говорят о наличии трех основных фаз, составляющих рабочий цикл таких машин. Первой фазой является холостой ход бойка из начального положения до соударения с ударником. Второй фазой является рабочий ход бойка – его совместное движение с ударником, обусловленное завершением требуемой деформацией образца или окончанием действия кинетической энергии. Третьей фазой является возвратное движение бойка до начального положения.

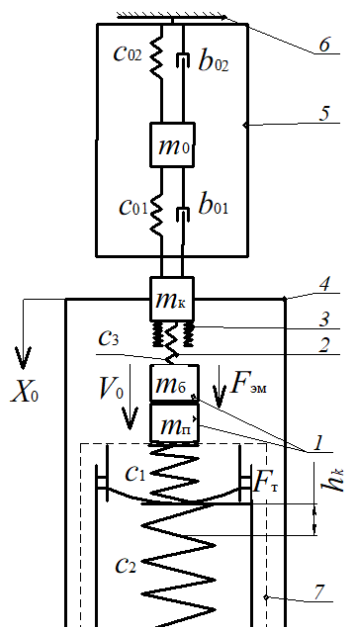


Рисунок 3 – Расчетная схема модели ручной ударной машины: 1 – ударный узел; 2 – возвратная пружина; 3 – вибродемпфер; 4 – корпус; 5 – рука оператора; 6 – ограничитель; 7 – модель обрабатываемого тела;  $c_1$  – жесткость среды в упругой зоне;  $F_T$  – сопротивление среды началу внедрения;  $c_2$  – условная жесткость среды в пластической зоне;  $V_0$  – предударная скорость бойка,  $F_{эм}$  – электромагнитная сила,  $h_k$  – осадка образца.

Однако такой подход в полной мере не раскрывает все составляющие рабочего цикла. В работе предлагается разбить цикл во времени на 6 фаз с существенно различными динамическими процессами, что в дальнейшем позволит упростить расчеты при исследовании характеристик вибрационной нагрузки.

Первая фаза - разгон бойка под действием электромагнитной силы, возникающей в следствии взаимодействия тока в катушке машины с ферромагнитным якорем-бойком. Уравнение движения бойка имеет следующий вид:

$$m_6 a_6 = F_{эм} \sin^2 \omega t_{разг}, \quad (2)$$

где  $F_{эм}$  - амплитудное значение тяговой электромагнитной силы,  $\omega = 2\pi f$  – циклическая частота,  $a_6$  - ускорение бойка,  $t_{разг}$  - время разгона.

Взаимодействие электромагнитных сил и бойка было широко освещено в работах В.А. Каргина и А.Д. Абрамова, поэтому подробно останавливаться на рассмотрении этой фазы нет необходимости.

Вторая фаза - неупругий удар бойка о пуансон. Формоизменение обрабатываемой детали происходит при совместном воздействии бойка и пуансона. Так как боек и пуансон после удара движутся вместе, то их соударение принимается неупругим.

Формулы классической теории удара можно использовать при условии:

$$\theta = \frac{t_y}{Y} > 3 \div 5, \quad (3)$$

где  $t_y$  - длительность удара,  $Y$  - период собственных колебаний тел, как систем с распределенными параметрами, в которых при ударе распространяются упругие волны растяжения-сжатия.

Ударяемое тело (пуансон) до удара неподвижно, то есть  $v_{02} = 0$ . Начальная скорость ударяющего тела  $v_{01}$ . При ударе бойка о пуансон они начинают совместное движение, поэтому принят коэффициент восстановления  $K=0$  (абсолютно неупругий удар). В таком случае совместная скорость системы «боек – пуансон»:

$$v_g = \frac{m_{\delta} v_{01}}{m_{\delta} + m_n} \quad (4)$$

Кинетическая энергия деформирования обрабатываемой детали при неподвижном корпусе машины:

$$E_g = \frac{m_{\delta} + m_n}{2} v_g^2 \quad (5)$$

Третья фаза - деформирование обрабатываемой детали.

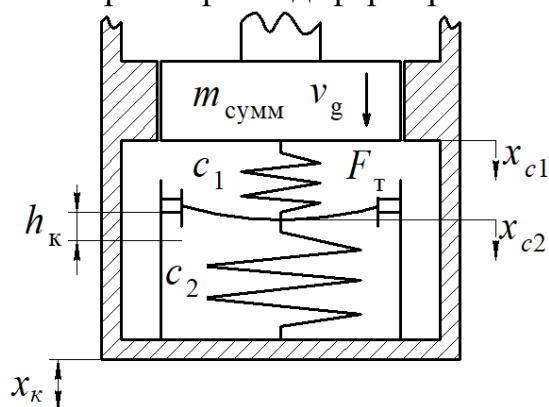


Рисунок 4 – Расчетная схема деформирования детали

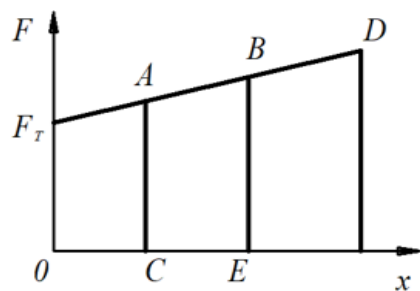


Рисунок 5 – Статическая нагрузочная характеристика жесткопластического тела

Формоизменение обрабатываемой детали описывается уравнениями 6 и 7. Для упругой зоны деформирования:

$$m_{сумм} \ddot{x}_{c1} + c_1 x_{c1} = 0 \quad (6)$$

Для пластической зоны деформирования:

$$\begin{cases} m_{сумм} \ddot{x}_{c2} + c_1 (x_{c1} - x_{c2}) = 0; \\ c_2 (h_k + x_{c2}) + F_m = c_1 (x_{c1} - x_{c2}). \end{cases} \quad (7)$$

Жесткость  $c_1$  аналитическим путем можно рассчитать только на первом цикле нагружения. На последующих циклах расчет становится практически нерешаемой задачей.

Все расчеты упрощаются при замене упруго-пластичной модели на жестко-пластичную. Для ударных машин с энергией удара более 20 Дж доказана справедливость данного подхода, погрешность расчетов при этом составляет 4-7%. Для модели жесткопластического тела решением уравнений (7), будет преобразованная формула (1) в виде аналитических зависимостей формулы 8 и 9. Они в явном виде устанавливают связь между энергией удара  $T_{уд}$ , количеством ударов  $k$  и величиной осадки  $h_k$ . Эти уравнения позволяют рассчитывать динамические

режимы нагружения, если известны  $c_2, F_T$ . В этом случае величина деформации по оси  $x$  и энергия удара проектируемой машины:

$$h_k = \sqrt{\left(\frac{F_m}{c_2}\right)^2 + \frac{T_{уд}}{c_2} - \frac{F_T}{c_2}}, \quad (8) \quad T_{уд} = \frac{h_k (c_2 h_k + 2F_T)}{2k} \quad (9)$$

Четвертая фаза - передача прямого ударного движения корпусу через обрабатываемое изделие и контактное соединение матрицы с корпусом. Схема такого взаимодействия представлена на рисунке 6.

При частоте ударов 1-2 Гц, общее число ударов для осуществления одной операции не превышает 20. Определение величины ударного импульса, передаваемого корпусу для произвольного цикла нагружения затруднительно, поэтому имеет смысл рассмотреть критические условия жесткого соударения пуансона, матрицы и обрабатываемой детали.

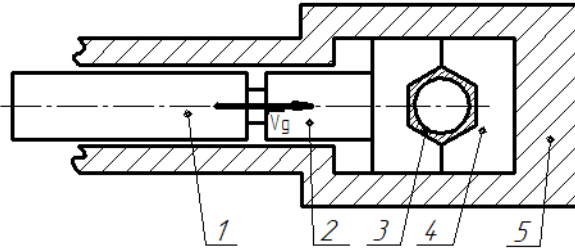


Рисунок 6 - Контактное взаимодействие элементов системы.

1 – боек; 2- пуансон; 3 – обрабатываемая деталь; 4 – матрица; 5 – корпус.

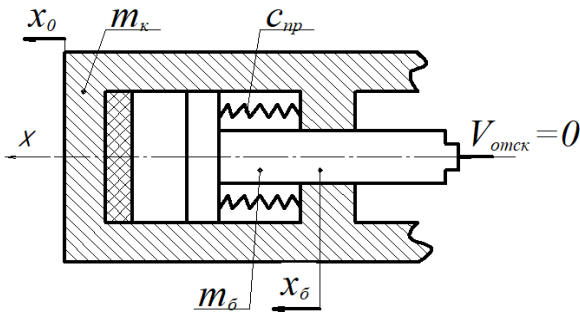


Рисунок 7 - Расчетная схема возвратного движения бойка

$$v_{\text{вб max}} = A_I \omega_{\text{ц}}, \quad (13)$$

Шестая фаза - удар бойка о корпус через резиновую прокладку.

Жесткость прокладки  $C_p$  и сила действия удара  $N_m$  определяется из соотношений:

$$\frac{\Delta h_{\text{пр}}}{h_{\text{пр}}} = \frac{F_y}{E_{\text{рез}} S_{\text{пр}}} \Rightarrow F_y = \frac{E_{\text{рез}} S_{\text{пр}}}{h_{\text{пр}}} \Delta h_{\text{пр}}, \quad (15)$$

где  $E_{\text{рез}}$  - модуль упругости резины,  $S_{\text{пр}}$  - площадь прокладки,  $h_{\text{пр}}$  - высота прокладки.

$$C_p = \frac{E_{\text{рез}} S_{\text{пр}}}{h_{\text{пр}}}, \quad (16)$$

$$N_m = v_{\text{вб max}} \sqrt{\frac{C_p m_k m_0}{m_k + m_0}}. \quad (17)$$

При этом условие использования классической теории удара абсолютно твердых тел (3) в шестой фазе соблюдается.

Соответственно скорость и кинетическая энергия корпуса в данной фазе составят:

$$v'_k = \frac{N_m t_y}{m_0 + m_n + m_k}, \quad (18)$$

$$E'_k = \frac{(m_0 + m_n + m_k) v'_k{}^2}{2}. \quad (19)$$

Анализируя процессы, происходящие в ходе рабочего цикла ударной машины, можно сделать вывод, что передача вибрационной нагрузки на корпус от движения бойка возможна в фазах 4 и 6. При этом в данных фазах присутствуют только свободные колебания, вынужденные колебания отсутствуют.

**Таким образом,** математическая модель, описывающая рабочий цикл машины, разбитый на 6 фаз (разгон, неупругий удар бойка, деформирование втулки, передача ударного движения корпусу, обратный разгон бойка, удар бойка о корпус), учитывает основные параметры ударного привода и деформируемой стальной втулки на арматуре, позволяет рассчитать технологические параметры выполнения операции соединения

Случай жесткого соударения можно рассмотреть с помощью уравнения кинетической энергии (11).

$$E'_k = \frac{(m_0 + m_n + m_k + m_{ou}) v'_k{}^2}{2}, \quad (10)$$

$$v'_k = \frac{2(m_0 + m_n) v_g}{(m_0 + m_n) + (m_k + m_{ou})}. \quad (11)$$

Пятая фаза - обратный разгон бойка возвратным механизмом под действием пружины.

Координаты  $x_n$  на схеме отсчитываются от положения равновесия. Дифференциальное уравнение движения бойка под действием сил упругости возвратной пружины:

$$m_0 a_0 + c_{np} x_0 = 0 \Rightarrow a_0 + \frac{c}{m_0} x_0 = 0. \quad (12)$$

Скорость бойка перед соударением с резиновой прокладкой – демпфером корпуса (13) и кинетическая энергия (14):

$$E_{k \text{ возвр}} = \frac{m_0 v_{\text{вб max}}^2}{2}. \quad (14)$$

арматуры (энергию удара, количество ударов, величину осадки втулки), а также определить величину ударной нагрузки, передаваемой на корпус машины.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований процесса опрессовки строительной арматуры стальной гильзой.

Для определения коэффициентов  $F_T$  и  $c_2$ , необходимых для расчета динамических режимов деформирования втулки (энергии удара, количества ударов, величины осадки втулки), экспериментально получена статическая нагрузочная характеристика, представленная на рисунке 8. Из графиков видно, что осадка втулки существенно зависит от расхождения внутреннего диаметра втулки и наружного диаметра арматуры.

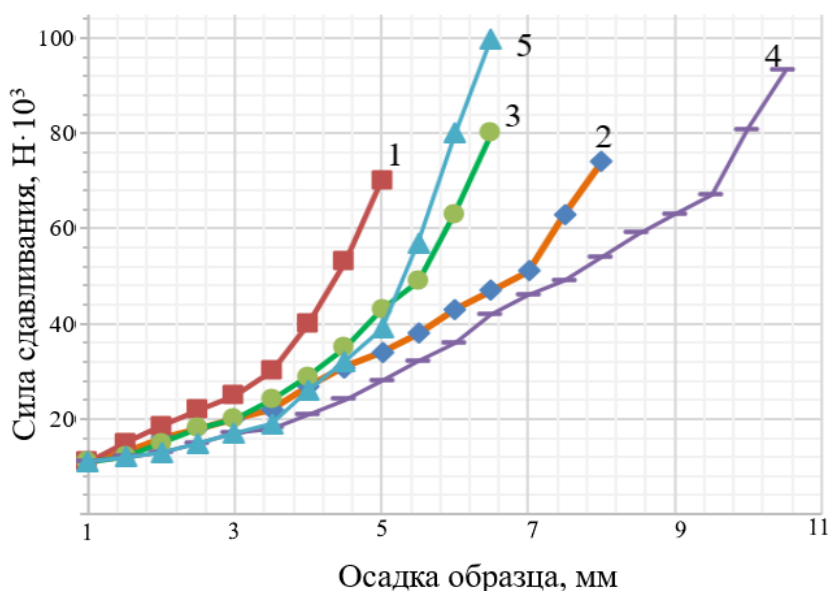


Рисунок 8 – Итоговая зависимость осадки цилиндрической втулки на арматурном стержне: 1 – для арматуры диаметром 10 мм, 2 – 12 мм, 3 – 14 мм, 4 – 16 мм, 5 – 20 мм

При проведении исследований производилось нагружение прессом заготовки, состоящей из двух стержней стальной горячекатаной арматуры А-3, выполненной из Стали 25ГС и цилиндрической втулки из стальной трубы Ст25 ГОСТ 1050-88. Арматуру диаметром 20 мм необходимо соединять с помощью бесшовной холоднотянутой трубы из стали Ст25 внутренним диаметром 21 мм и стенкой 3 мм для обеспечения условия, указанного в ГОСТ 34278-2017:

$$\sigma_{T_{вт}} = 0,6\sigma_{T_{арм}}, \quad (20)$$

где  $\sigma_{T_{арм}}$  - предел текучести арматуры,  $\sigma_{T_{вт}}$  - предел текучести втулки.

Имея коэффициенты  $F_T$  и  $c_2$ , по приведенным в главе 2 формулам 8 и 9 получена зависимость осадки втулки на арматуре от количества ударов машины при энергии удара 50 Дж (рисунок 9), а также зависимость времени выполнения технологической операции (рисунок 10) при частоте ударов 1,5 Гц и различной энергии удара.

Масса машины напрямую зависит от удельной энергии удара электромагнитного привода. Широко применяются электромагнитные молотки с удельной энергией удара 1,5-2 Дж/кг, кроме того в технической литературе приведены характеристики электромагнитных двигателей, с удельной энергией удара 5-9 Дж/кг, поэтому значения массы на графике (рисунок 10) приведены в определенных интервалах.

Из зависимостей видно, что максимальная энергия удара машины для соединения арматуры массой до 10 кг - 55 Дж. Оптимальная энергия удара составляет 50 Дж, так как увеличение энергии единичного удара до 55 Дж ведет к возрастанию массы более чем в 1,5 раза (с 6 до 10 кг), при этом время операции снижается не значительно.

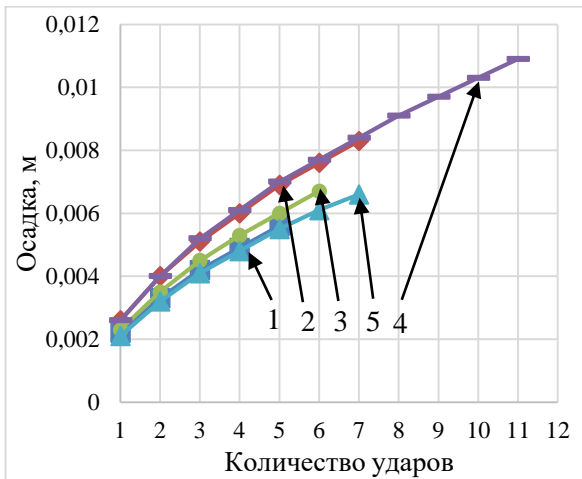


Рисунок 9 – Зависимость осадки стальной втулки на арматуре от количества ударов: 1 – для арматуры диаметром 10 мм, 2 – 12 мм, 3 – 14 мм, 4 – 16 мм, 5 – 20 мм

Таким образом, получены экспериментальные зависимости осадки стальной втулки на арматуре от силы сдавливания, позволяющие рассчитать функциональные зависимости энергии удара, массы машины, количества ударов и времени выполнения операции.

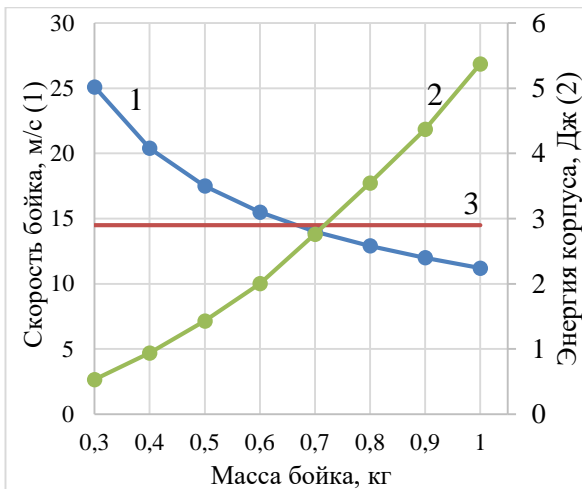


Рисунок 11 – Зависимости скорости бойка и ударного импульса корпуса от массы бойка: 1 – скорость бойка, 2 – энергия корпуса, 3 – граничное значение скорости бойка.

удара машины  $T_{y0} = 50$  Дж. Максимальная известная скорость бойка, реализуемая электромагнитом не более 14,5 м/с (линия 3). Из графика видно, что снижение скорости на 1 м/с (8%), приводит к увеличению ударного импульса на 16%, поэтому значение массы бойка 0,72 кг является наиболее предпочтительным.

Полученные значения скорости и массы бойка позволяют определить скорости движения корпуса в 4 и 6 фазах, которые согласно формулам (11), (18) достигают 3,3 и 0,43

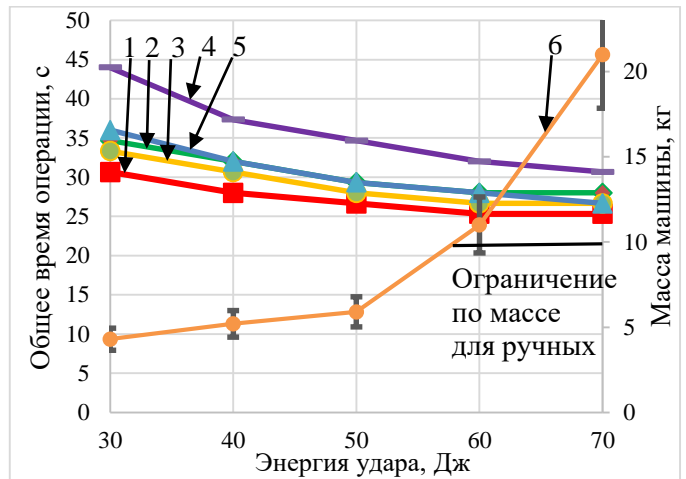


Рисунок 10 – Зависимость общего времени операции и массы машины от энергии единичного удара для диаметров арматуры: 1 – 10 мм, 2 – 12 мм, 3 – 14 мм, 4 – 16 мм, 5 – 20 мм; 6 – масса машины.

Мощность двигателя зависит от параметров бойка, токовой нагрузки и индукции в воздушном зазоре (21).

$$S_p = \Omega d_{\delta}^2 A_s B_{\delta} l_k, \quad (21)$$

где  $\Omega$  - коэффициент, учитывающий частоту питающей сети,  $d_{\delta}$  - диаметр бойка,  $A_s$  - линейная токовая нагрузка,  $B_{\delta}$  - индукция в воздушном зазоре катушки,  $l_k$  - длина катушки.

Для электромагнитов предельные значения  $A_s$  и  $B_{\delta}$  определяются из условия насыщения стали и уровня электромагнитной нагрузки на сеть. Изменение массы бойка влияет на характеристики рабочего цикла в фазах 1-6. В соответствии с формулами (18), (19) на рисунке 11 приведена зависимость скорости бойка и величины ударного импульса корпуса в 6 фазе от массы бойка при энергии

м/с соответственно, кинетическая энергия (10), (19)  $E_{к 4 \text{ фаза}}=33,6 \text{ Дж}$ ,  $E_{к 6 \text{ фаза}}= 0,54 \text{ Дж}$ . Поэтому для данных фаз необходимо более подробное исследование характеристик вибрационной нагрузки в соответствии с СанПиН 2.2.2.540-96.

На рисунке 12 приведено сравнение производительности работ при соединении сваркой (1) и опрессованием (2) для установленной ранее  $T_{уд} = 50 \text{ Дж}$ , наглядно иллюстрирующее, что соединение арматуры диаметром от 10 до 20 мм ручной ударной машиной происходит быстрее, чем сваркой.

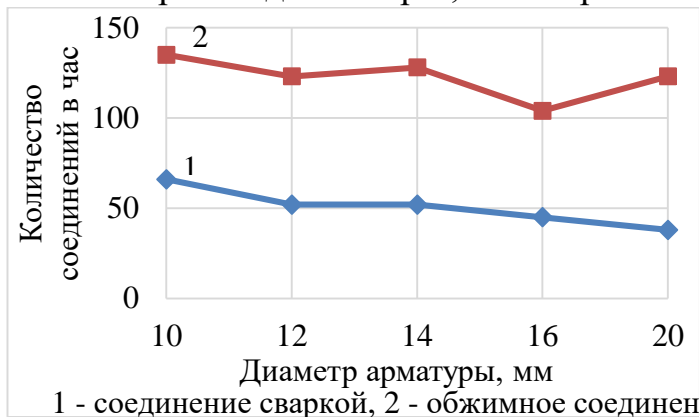


Рисунок 12 – Зависимость производительности работ по соединению арматуры в зависимости от ее диаметра

Таким образом, Энергия единичного удара, равная 50 Дж, развиваемая ручной ударной машиной с массой бойка 0,72 кг, является достаточной для совершения технологической операции соединения строительной арматуры, и позволяет соединять арматурные стержни быстрее, чем с помощью сварки.

Для проверки адекватности расчетной модели, приведенной в главе 2, проведены экспериментальные исследования

величины ударного импульса, передаваемого на корпус машины с энергией единичного удара 50 Дж при опрессовании стальной втулки. Корпус машины вывешивался на струнах. Принципиальная схема установки представлена на рисунке 13.

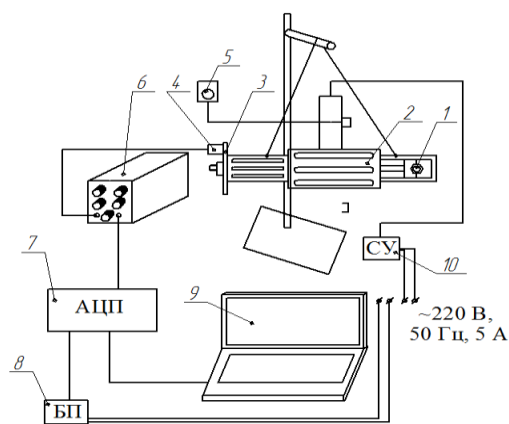


Рисунок 13 - Принципиальная схема измерения ударной нагрузки с вывешиванием машины на струнах: 1. Обрабатываемое изделие; 2 – ручная ударная машина; 3 – пластина крепления датчика; 4 – датчик измерения вибрации; 5 – выносная кнопка «пуск»; 6 – усилитель сигнала; 7 – АЦП; 8 – блок питания, 9 – портативный компьютер; 10 – система управления ударной машиной.

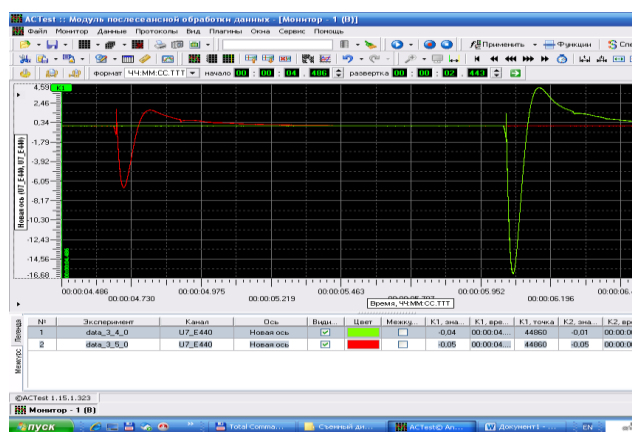
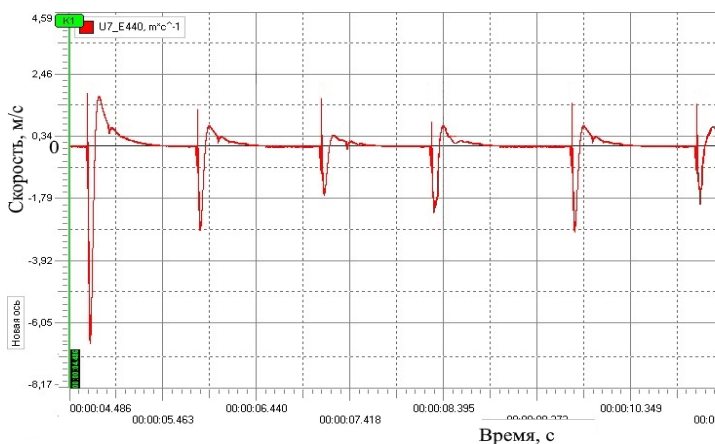


Рисунок 14 – Зависимость скорости корпуса, подвешенного на струнах, от времени в 6 рабочих циклах ударной машины и окно интерфейса программы «АС Test».

После подстановки значений скорости корпуса, полученных экспериментально, в уравнения (10), (19), кинетическая энергия в фазах 4 и 6 составила  $E_{к\text{ фаза }4}=30,5$  Дж,  $E_{к\text{ фаза }6}=0,59$  Дж, что свидетельствует о расхождении расчетных и экспериментальных данных на 8%.

**Таким образом,** результаты экспериментальных исследований оценки величины ударного импульса показывают сходимость с значениями, рассчитанными в математической модели ударной машины в пределах 8%.

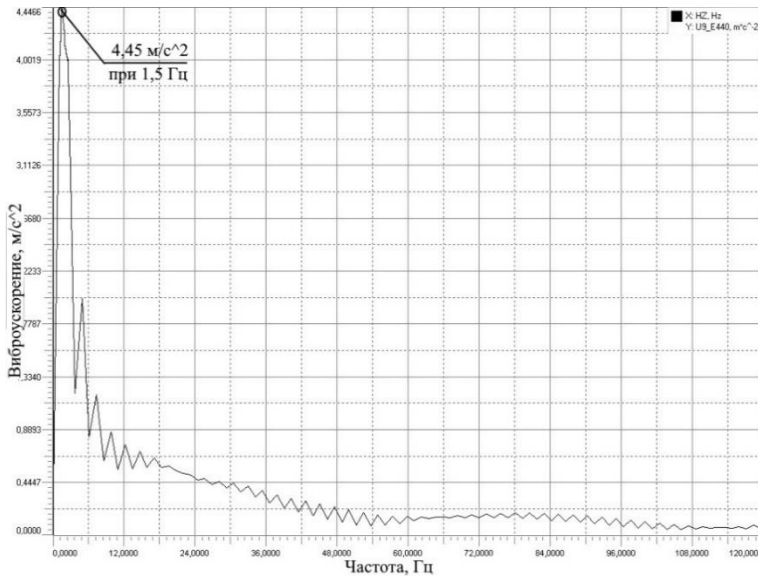


Рисунок 15 – Амплитудно – частотный спектр виброускорения (окно интерфейса программы «АС Test»)

Для сравнения вибрационных характеристик машины с нормативными, в СанПиНе установлен способ проверки вибрации, в котором оценивается значение виброускорения в октавных полосах. При этом оператор удерживает машину за рукоятку. На рисунке 16 представлена зависимость виброускорения от частоты в процессе опрессовки стальной втулки на арматуре диаметром 12 мм.

Из графика видно, что наибольшее виброускорение

достигается в частотной полосе, близкой к частоте ударов машины 1,5 Гц. При этом значение виброускорения при этой частоте составляет  $4,45$  м/с<sup>2</sup>, что превышает установленный СанПиНом нормальный уровень  $1,4$  м/с<sup>2</sup> и находится в зоне пограничных значений с максимально допустимым превышением в 4 раза.

Для снижения вибрационной нагрузки на оператора необходимо вносить изменения в конструкцию машины.

**В четвертой главе** создана инженерная методика проектирования ручной ударной машины, разработано новая конструктивная схема машины для соединения арматуры, произведен расчет экономического эффекта от внедрения предлагаемых технических решений.

На рисунке 16 представлена методика проектирования ручной ударной машины для соединения арматуры. Она предполагает оценку статической нагрузочной характеристики обрабатываемой детали, выбор привода, расчет количества ударов, необходимых для качественного выполнения операции, оценку времени операции, корректировку требуемых выходных характеристик машины и непосредственно проектирование электромагнитного привода методом подобию, широко описанным в работах ученых ТПУ, НГТУ, СГУПС.

Анализ конструктивных схем возможных прототипов выявил несколько недостатков. Основными являются высокая виброн нагруженность в фазе удара бойка о корпус при возврате, а также низкий ресурс возвратной пружины, работающей по принципу растяжения, за счет концентрации напряжений в местах ее прикрепления к бойку и корпусу.





Рисунок 16 – Методика проектирования ручной ударной машины

Предлагается конструктивное решение, новизна которого подтверждена патентом, заключающееся в применении возвратной пружины, действующей по принципу сжатия при прямом (рабочем) движении бойка и увеличении в 3,2 раза площади резиновой прокладки – демпфера, гасящего вибрацию в фазе удара бойка о корпус, что согласно формуле (17) снижает силу удара в 2,25 раза. На рисунке 17 приведен пример конструкции разрабатываемого устройства.

Особенностью такой схемы, помимо усовершенствованного возвратного механизма, является разъемный матрицедержатель, что необходимо для соединения арматуры.

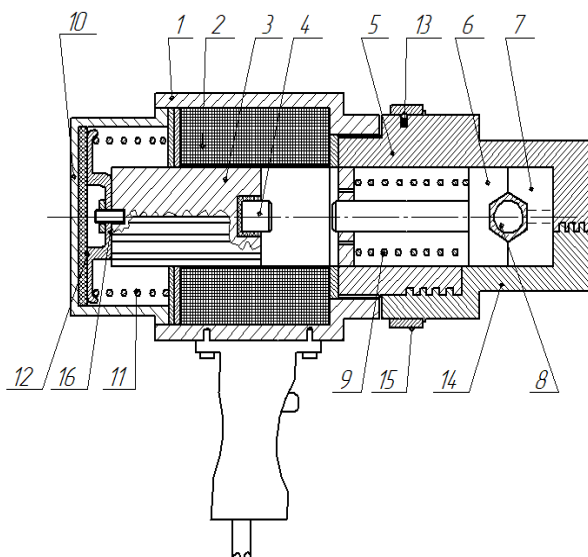


Рисунок 17 - Схема ручной ударной машины с пружинным механизмом возврата для опрессовки арматуры.

1 – корпус, 2 – электромагнитная катушка, 3 – боек, 4 – ударник; 5 – матрицедержатель, 6 – пуансон, 7 – матрица, 8 – обрабатываемая деталь, 9 – поджимающая пружина, 10 – корпус возвратного механизма, 11 – возвратная пружина, 12 – вибродемпфер, 13 – удерживающий механизм кольца, 14 – съемная часть матрицедержателя, 15 – удерживающее кольцо, 16 – упорный элемент.

Таким образом, конструктивная схема привода системы возврата ударника, с пружиной, работающей по принципу сжатия позволяет за счет увеличения в 3,2 раза площади демпфера, снизить энергию, передаваемую от соударения бойка с корпусом в 2,25 раза, а также увеличить безотказность машины.

Основные технологические параметры разрабатываемого устройства приведены в таблице 4.

Экономический эффект от применения рассматриваемой технологии для соединения стержней арматуры диаметром от 10 до 20 мм в стальных втулках можно рассмотреть на примере сравнения с соединением стержней арматуры сваркой. Затраты производство работ сведены в таблицу 5.

Таблица 4 – Технологические параметры машины для соединения арматуры

Энергия единичного удара, Дж	50
Общая снаряженная масса, кг	≤10
Масса бойка, кг	0,72
Диаметры соединяемой арматуры, мм	10-20
Тип источника питания: напряжение, В; частота, Гц	~220, 50
Частота ударов, Гц	1,5
Количество соединений в час (арматура Ø12 мм)	123
Виброускорение, м/с <sup>2</sup>	1,4
Класс условий эксплуатации электроустановок	II

Таблица 5 – Затраты на производство работ.

Диаметр стержня, мм.	Соединение сваркой		Соединение обжатием	
	Время операции, чел. – ч.	Стоимость соединения, руб.	Время операции чел. – ч.	Стоимость соединения, руб.
10	0,013	3	0,007	1,4
12	0,016	3,8	0,008	1,6
14	0,016	3,8	0,008	1,6
16	0,019	4,4	0,01	2
20	0,022	5,2	0,008	1,6

Из данных таблицы можно сделать вывод, что соединение обжимными муфтами с помощью ручных ударных машин позволяет сократить затраты на одно соединении арматуры диаметром 20 мм в 3,25 раза, относительно соединения такой же арматуры с помощью сварки.

**Таким образом,** на основе усовершенствования конструктивной схемы создан новый универсальный вибробезопасный инструмент, способный качественно и с низкими материальными затратами осуществлять стыковку арматурных стержней.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся научно-квалификационной работой, изложены научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития отрасли гражданского строительства. В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований, разработана ручная ударная машина для производства операции соединения строительной арматуры методом обжатия в стальных цилиндрических втулках. В ходе выполненных лично автором исследований получены следующие основные результаты.

1. Установлено, что ручные ударные машины с линейным электромагнитным приводом и пружинной системой возврата являются перспективными для выполнения рабочего процесса соединения строительной арматуры от 10 до 20 мм.

2. Разработана математическая модель ручной ударной машины, отражающая основные характеристики ударного привода и рабочей среды, описывающая 6 фаз рабочего цикла машины, позволяющей на стадии проектирования определять технологические параметры машины при опрессовке стальной втулки на арматуре, а

также выявить фазы цикла 4 и 6, в которых осуществляется передача ударного импульса на корпус машины.

3. На основании математической модели выявлены зависимости времени опрессовки стальной втулки на арматуре от параметров ударного привода (энергия единичного удара, масса бойка, скорость бойка).

4. Экспериментально определены численные значения характеристик осадки стальной втулки на стержне, необходимых для расчета технологических параметров выполнения операции соединения строительной арматуры.

5. Разработана инженерная методика проектирования ручной ударной машины для соединения арматуры, позволяющая рассчитать ее технологические параметры в зависимости от времени выполнения операции и характеристик осадки втулки на арматурном стержне.

6. Внедрение технологии соединения арматуры в обжимных стальных муфтах с помощью ручных ударных машин, в сравнении с соединением сваркой, позволит увеличить экономический эффект от двух до трех раз, в зависимости от диаметра соединяемой арматуры.

Направлениями и перспективами дальнейшей разработки темы являются исследования, направленные на проработку технологичности изготовления ручных ударных машин для соединения арматуры с целью постановки их на производство. Дальнейшее совершенствование технологии соединения арматуры в стальных цилиндрических втулках для ее широкомасштабного внедрения в гражданское строительство.

## СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ и соответствующих специальности 05.05.04 – «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины*

1. **Ижбулдин Е.А.** Выбор технологии и оборудования для соединения строительной арматуры / А.Д. Абрамов, Е.А. Ижбулдин // Строительные и дорожные машины. – М., 2018. - №5. С. 43-48.

2. **Ижбулдин Е.А.** Исследования процесса соединения строительной арматуры ручными ударными машинами / А.Д. Абрамов, Е.А. Ижбулдин // Научно-технический вестник БГУ. – Брянск, 2020. - №1. - doi: 10.22281/2413-9920-2020-06-01-09-16.

*Статьи в изданиях, рецензируемых международной базой SCOPUS*

3. Work modeling processes of the hand-held impact machines / Abramov, A., Abramnikov, D., **Izbuldin, E.** // Journal of Physics: Conference Series, 1050 (1), 2018. – doi: 10.1088/1742-6596/1050/1/012001.

*Статьи в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ*

4. **Ижбулдин Е.А.** Разработка возвратной системы линейной ударной машины на основе анализа конструктивных схем / Е.А. Ижбулдин // Технология машиностроения. – М., 2016. – №8. С.20 - 23.

5. Абрамов А.Д. Виброударные технологии для строительного-дорожного машин / Абрамов А.Д., Тюнюкова Т.К., **Ижбулдин Е.А.** // Мир транспорта. – М., 2016. - №4. С. 62-69.

6. **Ижбулдин Е.А.** Ручной электрический ударный инструмент для реализации виброударных технологий в транспортном машиностроении и строительстве / Е.А. Ижбулдин, А.Д. Абрамов // Вестник ИРГТУ. – Иркутск, 2017. – №1. С.32 - 39.

*Статьи в периодических изданиях, материалы конференций*

7. **Ижбулдин Е.А.**, Создание высоконагруженных виброзащищенных машин ударного действия / А.Д. Абрамов, Е.А. Ижбулдин // Дни науки-2016: тезисы докладов конф. – Новосибирск, 2016. – С. 35-36.

8. **Ижбулдин Е.А.** Разработка ручного инструмента для соединения строительной арматуры в цилиндрических втулках / А.Д. Абрамов, Е.А. Ижбулдин // Политранспортные системы: тезисы IX Международной научно-технической конф. – Новосибирск, 2016. – С. 240 – 242.

9. **Ижбулдин Е.А.**, Технология соединения арматуры для транспортного строительства / Е.А. Ижбулдин // Транспортные и транспортно-технологические системы: сб. тр. междунар. науч.-практич. конф. – Тюмень: ТИУ, 2017. – С. 196-199.

10. **Ижбулдин Е.А.** Использование энергии удара для ремонта машин и транспортного строительства. Технологии и оборудование / А.Д. Абрамов, Е.А. Ижбулдин // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования: сб. тр. междунар. науч.-практич. конф. – Новосибирск, 2017. – С. 113-115.

11. **Ижбулдин Е.А.** Ударные машины и технологии для строительства объектов транспортной инфраструктуры / А.Д. Абрамов, Е.А. Ижбулдин // Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика: тезисы докладов междунар. конф. – Новосибирск, 2017. – С. 199-200.

12. **Ижбулдин Е.А.**, Применение ручных ударных машин с электромагнитным приводом для стыковки строительной арматуры / А.Д. Абрамов, Е.А. Ижбулдин // Политранспортные системы: тезисы X Международной научно-технической конф. – Новосибирск, 2018. – С. 242 – 243.

*Свидетельства и патенты*

13. Пат. №162279 Российская Федерация, МПК В 23 К 20/00. Устройство для соединения контактов / Абрамов А.Д., **Ижбулдин Е.А.**, Банул В.В.; заявитель и патентообладатель «Сибирский государственный университет путей сообщения» (RU); №2015154083/02; заявл. 16.12.2015; опубл. 10.06.2016.

14. Пат. №2662740 Российская Федерация, МПК E04C5/16. Способ монтажа арматурных стержней / Абрамов А.Д., **Ижбулдин Е.А.**, Банул В.В.; заявитель и патентообладатель «Сибирский государственный университет путей сообщения» (RU); – №2017124497; заявл. 10.07.17 опубл. 20.07.2018.

---

Подписано в печать 30.06.2020 г.

Печ.л. 1,2. Тираж 150 экз. Заказ № 3556.

Отпечатано с готового оригинал-макета в издательстве ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»,

630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191. тел/факс +7(383)328-03-81, e-mail: bv@mail.ru.

---