

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Политехнический институт  
Факультет «Автотранспортный»  
Кафедра «Колесных и гусеничных машин»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

\_\_\_\_\_ А.А. Танин-Шахов

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

к.т.н., профессор

\_\_\_\_\_ В.Н. Бондарь

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Модернизация ходовой системы трубоукладчика для нужд Министерства  
Обороны РФ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ – 23.05.02.2019.011ПЗ ВКР

Руководитель проекта

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ С.И. Черепанов

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Консультант по экономике

старший преподаватель

\_\_\_\_\_ С.Ю. Лелекова

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Автор проекта

студент группы П-601

\_\_\_\_\_ Е.С. Тришкин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Консультант по БЖД

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ А.В. Кудряшов

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Нормоконтролер

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ В.И. Дуюн

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Челябинск 2019

## АННОТАЦИЯ

Тришкин Е.С. Модернизация ходовой системы трубоукладчика для нужд Министерства обороны РФ – Челябинск, ЮУрГУ, АТ; 2019, 109с., 25 – ил., 26 – таблицы, библиогр. Список – 29 наим., 1 прил., 10 листов чертежей и плакатов формата А1

Основным направлением предприятия «ДСТ-Урал» является совершенствования надежности и качества выпускаемой продукции, в том числе для нужд Министерства обороны, т.к. они заинтересованы в данной продукции, что свидетельствует крупные государственные контракты.

В данной работе осуществляется модернизация ходовой системы для трубоукладчика, а именно – разработка новой телеги с девятью опорными катками.

В выпускной квалификационной работе рассмотрены классификации трубоукладчиков, проведен анализ на рынке, собраны общие сведения о модернизируемой машине. Произведен тяговый расчет трубоукладчика ТГ35.80, рассчитан запас прочности рамы новой конструкции тележки, оси и балки в программе ansys и solidworks.

Посчитан экономический эффект выпускной квалификационной работы.

В графической части представлены рабочие и сборочные чертежи ходовой группы трубоукладчика. Оформлены плакаты по организационно-экономическому разделу и безопасности жизнедеятельности.

					23.05.02.2019.011.00.00. ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Тришкин			Модернизация ходовой системы трубоукладчика для нужд Министерства обороны РФ	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Черепанов					3	109
Реценз					ЮУрГУ Кафедра «КГМ»			
Н. Контр.		Дуюн						
Утверд.		Бондарь						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И МОДЕЛЕЙ ТРУБОУКЛАДЧИКОВ ....	10
1.1 Цели и задачи, решаемые трубоукладчиком.....	10
1.2 Классификация трубоукладчиков .....	14
1.3 Сравнительный анализ трубоукладчиков.....	15
1.4 Цели и задачи дипломного проекта .....	23
2 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ.....	24
2.1 Тяговый расчет .....	24
2.2 Расчет грузовой характеристики .....	28
2.2.1 Определение текущего угла наклона стрелы.....	30
2.2.2 Определение центров тяжести трубоукладчика.....	33
2.2.3 Определение грузоподъемности .....	37
2.3 Определение момента грузовой устойчивости.....	39
2.4 Расчет устойчивости трубоукладчика .....	40
2.4.1 Расчет собственной поперечной устойчивости .....	41
2.4.2 Расчет продольной грузовой устойчивости .....	45
2.5 Расчет удельного давления на грунт.....	49
2.6 Расчет ходовой части трубоукладчика .....	53
2.6.1 Расчет рамы тележки .....	53
2.6.2 Расчет на прочность полуоси.....	55

					23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР	4
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		

2.6.3 Расчет на прочность балансирной балки.....	58
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕ.....	61
4 ОРГАНИЗАЦИОННО–ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ .....	67
4.1 Организационный раздел .....	67
4.2 Экономический раздел .....	69
4.2.1 Сметы затрат выпускной ВКР .....	69
4.2.2 Оценка коммерческой состоятельности ВКР .....	76
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	83
5.1 Введение.....	83
5.2 Нормирование опасных и вредных производственных факторов.....	86
5.2.1 Микроклимат производственных помещений.....	86
5.2.2 Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны .....	88
5.3 Требования к производственному освещению .....	90
5.3.1 Общие положения.....	90
5.3.2 Искусственное освещение.....	91
5.4 Уровень шума в производственных помещениях .....	92
5.5 Правила устройства электропроводников в производственных помещениях .....	95
5.6 Правила пожарной безопасности в производственных помещениях .....	95

5.7 Общие требования безопасности по охране труда для слесаря - ремонтника .....	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	104
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	106
ПРИЛОЖЕНИЕ А СПЕЦИФИКАЦИИ.....	109

					<i>23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР</i>	6
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		

## ВВЕДЕНИЕ

В начале 2000 годов «ДСТ-УРАЛ» начал свою деятельность в отрасли машиностроения. Первая разработка трактора получила название ТМ-10, зарекомендовавшая себя хорошо на российском рынке. Отличительной особенностью стала гидростатическая трансмиссия. В течении последующих годов завод модифицирует трактор ТМ-10 и делает на его базе трубоукладчик и специализированную технику.

Предприятие не останавливается на достигнутом уровне, постоянно развиваясь в данной отрасли. В 2018 году разработан первый трубоукладчик ТГ35.80 грузоподъемностью до 30 тонн с гидростатической трансмиссией.

Данной моделью заинтересовались не только крупные компании, но и МО РФ, после чего завод выиграл гранты на дальнейшее развитие в отрасли машиностроения.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что благодаря внедрению современного оборудования и новых технологий завод «ДСТ-УРАЛ» стал конкурентоспособным с зарубежными аналогами такие, как Caterpillar, Komatsu.

Со времен кризиса 2008 года стоимость на продукцию предприятия выросла на 30-35%, выигрывая ценой у конкурентов и гибкой ценовой политикой в зависимости от комплектации и дополнительных функций по желанию заказчика. Данный период сыграл благоприятную роль в импортозамещении, а именно, завод разработал и изготавливает комплектующие изделия, ведет сотрудничество с предприятиями РФ по закупки отечественной продукции.

При помощи программы, разработанной совместно ЮУрГУ и «ДСТ-УРАЛ», для студентов организованы практические занятия для знакомства с новой техникой, технологией ее сборки, сварки разных видов элементов, процесса изготовления деталей, а также работу по будущей специальности, как работает конструктор, его рабочее место.

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР	7

Завод заинтересован в новых специалистах, поэтому предоставляет им рабочие места во время учебного процесса. Конструкторский отдел помогает студентам углубиться в профессию, расширить кругозор, и повысить профессиональные компетенции. Руководитель конструкторского отдела заинтересован в повышении квалификации сотрудников.

Конструкторский отдел состоит из подразделений, которые каждый день решают задачи, связанные с нововведением, модернизацией и главной проблемой на сегодняшний день – это изготовление техники, т.к. не всю концепцию можно реализовать в жизнь.

Основным поставщиком гидростатики является мировая компания BOSCH-REXROTH и отечественная PSM-Hydraulics ® (г. Екатеринбург). Завод также работает над проектом собственной трансмиссии, которая будет использоваться в дальнейшем на технике.

В современном мире огромное количество компаний и изготовителей занимаются производством и продажей гидроустановок и планетарных редукторов для тракторов, поэтому на предприятии с целью снижения затрат заинтересованы в собственном производстве.

Автоматизация производства, профессионализм сотрудников предприятия, большая материальная база позволяют производить бульдозеры быстрее, чем у конкурентов, а самое главное – машина не теряет качества. Иными словами, цикл заказчик – готовая продукция происходит еще быстрее, что соответствует желанию потенциальных клиентов.

В выпускной квалификационной работе рассмотрены задачи по модернизации ходовой группы трубукладчика ТГ35.80:

- Произвести тяговый расчет;
- Рассчитать работоспособность трубоукладчика;
- Разработать технологическую карту изготовления изделия;
- Выполнить экономический расчет;
- Выпустить конструкторскую документацию.

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР	8

Объект исследования в дипломном проекте – ООО «ДСТ-УРАЛ».

Предмет исследования – модернизация ходовой группы трубоукладчика ТГ35.80.

Практическая ценность: мероприятия, разработанные в процессе дипломном проекте реализованы на «ДСТ – Урал». Эту существенно повысило качество и конкурентоспособность завода, и эффективность его работы в целом.

					<i>23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР</i>	9
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		



# 1 АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И МОДЕЛЕЙ ТРУБОУКЛАДЧИКОВ

## 1.1 Цели и задачи, решаемые трубоукладчиком

Трубоукладчиком называется самоходная грузоподъемная машина, способная перемещаться с грузом на крюке и служащая для подъема и укладки трубопровода в траншею, а также для выполнения различных грузоподъемных и монтажных работ (погрузка и разгрузка труб и плетей, центровка труб при сварке и пр.). В настоящее время данный тип машины можно встретить на любых типах строительства. Трубоукладчик может удерживать или перемещать груз в группе с несколькими другими такими же машинами, выполняя эти операции в движении по неровному рельефу, местности и вблизи траншеи.

Трубоукладчик представляет собой самоходную тележку, оснащенную грузоподъемной стрелой. В качестве шасси применяют либо гусеничный трактор с кабиной, либо специально созданное ходовое устройство. Кабина расположена в задней части самоходной тележки.

Поскольку сооружение магистральных труб (для транспортировки нефти и других жидких продуктов) является сложной операцией, появилась необходимость создания трубоукладчика. Именно специфика сооружения трубопроводов, заключающаяся в необходимости опускания в протяженную траншею протяженного тела трубы и продвижения его вдоль траншеи. Такая машина уступает полноповоротному стреловому крану по способности в перемещении груза в пределах окружающего пространства на месте. Однако этот недостаток компенсируется способностью транспортировать груз в любую точку ограниченной зоны за счет перемещения самоходной тележки. Так как трубоукладчики имеют все достоинства по своим проходным параметрам перед ходовым устройством стационарно работающих полноповоротных стрелковых кранов, то их успешно применяют в строительстве трубопроводов.

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР	10

Для облегчения укладочных работ современные трубоукладчики оборудуются мощными двигателями (для преодоления уклонов), повышенную высоту расположения заднего моста (для облегчения движения по грязи и бездорожью), пониженную скорость движения (позволяет синхронизировать скорость трубоукладчиков со скоростью сушки трубопроводов и скоростью затвердевания или прилипания изоляции к нему), возможность одновременной работы груза и стрелоподъемного барабанов лебедки, при необходимости в разные стороны (позволяет улучшить стабилизацию трубопровода в пространстве) и другие особенности для стрелы.

В связи с большой перспективой роста объема передачи продукта по трубопроводам становится очевидной необходимостью совершенствования трубоукладчика.

Первый отечественный трубоукладчик был спроектирован в 1934 году. Однако до Великой Отечественной войны в нашей стране их не выпускали. Сложно представить, как строилась первая отечественная магистраль газопровода «Саратов – Москва» (1946 г.). Но в начале 70 годов появился первый трубоукладчик производитель, которого является «ЧТЗ». Причиной возникновения необходимости в такого рода машинах послужила череда известных всем «пятилеток», которые характеризовались бурным промышленным ростом, разрастанием городов и заповонившими все стройками. Эта машина была создана на базе простого гусеничного трактора болотохода, который обеспечил проходимость, устойчивостью и маневренностью.

Новые требования предъявляются к машинам, работающим в разных температурных диапазонах и местностях окружающей среды такие как: прочность и надежность сборочных единиц, комфортности условий труда машиниста.

Трубоукладчики предназначены для удерживания трубопровода при прохождении по нему очистной и изоляционной машин и для укладки трубопровода в траншею, для удерживания конца трубопровода и привариваемой трубной

секции, катушек и арматуры при выполнении сварочно-монтажных работ, для монтажа и удержания трубопровода при сооружении подводных и воздушных переходов и т. д.

Самым большим по грузоподъемности трубоукладчиком в мире является Libherr RL 66, который сочетает в себе современные технологии и большую производительность в разных условиях труда. Грузоподъемность составляет 98,6 тонн, при мощности двигателя 375 л.с. и его собственной массе равной 59,9 тонн. Графики грузоподъемности и давление на грунт представлены на рисунке 2 и рисунке 3.

### Рисунок 1.1 – Libherr RL 66

Главной особенностью является асимметричная ходовая часть, а широкие траки со стороны стрелы позволяют выполнять работу непосредственно на краю траншеи. Простое управление с помощью двух джойстиков. Гидростатическая трансмиссия ходовой системы позволяет без труда преодолевать разного рода препятствия.

### Рисунок 1.2 – Грузоподъемность Libherr RL 66

### Рисунок 1.3 – Давление на грунт Libherr RL 66

## 1.2 Классификация трубоукладчиков

Трубоукладчики классифицируют на виды по ряду признаков:

					<i>23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР</i>	12
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		



Лидером отечественного рынка является компания «Четра – Промышленные машины», которая имеет полную линейку трубоукладчиков по виду грузоподъемности. В год продается более чем 65 единиц. Четра ТГ302 – трубоукладчик среднего класса, с крупными узлами скомпонованы в виде модулей, могут сниматься или заменяться целиком. Стрела коробчатого сечения с механическим подъемом – опусканием, двухбарабанные лебедки с гидравлическим приводом и управлением и постоянно замкнутыми дисковыми тормозами, наборные противовесы с гидравлическим приводом. Гидрораспределитель позволяет совмещать движения стрелы и крюка с различной скоростью и в любом направлении.

К достоинствам трубоукладчиков ЧЕТРА также можно отнести:

- Широкую колею, сочетающуюся с большой длиной опорной поверхности и регулируемые противовесами, что обеспечивает устойчивость машины на уклонах;
- Возможность централизованной диагностики трансмиссии. Точки диагностики трансмиссии выведены в одно место для удобства доступа;
- Сварно – литой корпус рамы (увеличена жесткость конструкции, протечки масла исключены);
- Гидромеханическую трансмиссию с планетарной коробкой передач и двухступенчатой бортовой передачей и ряд других особенностей.
- Грузоподъемность данной модели Четра ТГ302 составляет от 31 до 65,7 тонн, длина стрелы достигает стандартная от 7,6 м до 9 м. Ходовая система состоит из двух гусеничных тележек с жесткой подвеской.

Рисунок 1.7 – Четра ТГ302

По грузоподъемности Четра ТГ302 немного уступает Komatsu D155C-1, которая приравнивается к 70 тоннам. Машина оснащена мощным дизельным

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	<i>23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР</i>	
						14

двигателем Komatsu S6D155 – 4, полной мощности 320 л.с. Топливная система с непосредственным впрыском обеспечивает экономию топлива и высокую эффективность. Устанавливается вспомогательный пусковой двигатель, для быстрого запуска силовой установки в холодно климатических районах. Жесткая подвеска, рама гусеничной телеги выполнена коробчатой конструкции из высокопрочной стали. Гидромеханическая коробка передач TORQFLOW, собственного изготовления, обеспечивает плавность переключения передач и изменение направления движения. Но при таких высоких параметрах уступает длиной стрелы: стандартная равна 6,2 м, а опционная 7,3 м. Подъем – опускание стрелы происходит с помощью механического привода.

Рисунок 1.8 – Komatsu D-155C-1

Liebherr RL 54 Litronic – трубоукладчик 4 поколения, грузоподъемностью до 70 тонн на вылет стрелы 1,22 м, оснащенный 286 л.с. двигателем. К главным особенностям можно отнести:

- Ассиметричная ходовая часть (для оптимального распределения веса на грунт);
- Гидростатическая трансмиссия, позволяющая выполнять повороты без потери тяги и преодолевать крутые склоны;
- Многодисковые тормоза, которые при остановке машины срабатывают как стояночные.

Трубоукладчики Liebherr также комплектуют сварочным оборудованием и задней лебедкой.

Рисунок 1.9 – Liebherr RL 54 Litronic

					<i>23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР</i>	15
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		

Трубоукладчик SHANTUI SP70, в основе которого лежит бульдозер SD32 имеющий двигатель Cummins NTA855 – C360 мощностью 320 л.с. Единственная рукоятка может легко управлять как стрелой, так и крюком. Стабильность шасси надежно обеспечивает жестким соединением между рамой ходовой части и рамой машины. Электронная система мониторинга, смонтированная на шасси, наблюдает за работой и предупреждает в случае опасности. Благодаря гидравлической системе управления операции рабочих механизмов, такие как захват крюком и поднятие рычага интегрированы на одном уровне, что способствует точности и высокой чувствительности функционирования. Машины сконструированы таким образом, чтобы специально контролировать выполнение операций с целью предотвращения перекручивания или опрокидывания.

Рисунок 1.10 – SHANTUI SP70

Компания Volvo задумалась о создании альтернативной техники и разработала трубоукладчик на базе экскаватора – и не прогадала.

Преимущества данного технологического решения:

- Рост производительности;
- Безопаснее при работе на больших уклонах;
- Обзорность за счет гидравлического четырехрычажного механизма подъема кабины.

- Интенсивность эксплуатации (т.к. объединяет в себя три машины).

После ряда испытаний и модернизации машин первого поколения в 2015 году компания Volvo были выпущены две модели – PL350D и PL4809D с опрокидывающей нагрузкой 51 и 89 тонн на вылет стрелы 1,22 м. На российский рынок трубоукладчик и поставляются с арктическим пакетом, что позволяет использовать их при температуре – 50 градусов.

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	<i>23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР</i>	
						16





	ДСТ – Урал ТГ35.80	Четра ТГ302	Komatsu D-155C-1	Liebherr RL 56
Мощность двигателя, кВт (л.с.)	229 (312)	228 (310)	239 (320)	210 (286)
Масса эксплуатационная, т	55	45,4	45,8	46,28

Окончание таблицы 1.1

Число опорных/поддерживающих катков на каждом борту	9/2	8/2	8/2	9/2
поддерживающих катков на каждом борту				
Ширина гусеницы, мм	860	710	710	914
Среднее статическое удельное давление на грунт груза	0,92	0,88	0,89	0,91
Тип трансмиссия	ГСТ	ГМТ	ГМТ	ГСТ
Скорость движения переднего хода, км/ч	10,5	10	11,2	10,5
Скорость движения заднего хода, км/ч	10,5	11,3	12,4	10,5
Длина стрелы (дополнительная стрела), м	8,6 (10,5)	7,6 (9)	6,2 (7,3)	7,3 (8,5)
Высота подъема крюка, м	7,2	5,4	5,345	5,5
Вылет крюка min, м	0,9	1,5	1,2	1,2
Скорость подъема – опускания крюка, м/мин	8,6 – 10,4	6,9 – 22	6 – 13,8	6 – 20

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР

Тип лебедки	Планетарный редуктор с регулируемой гидростатикой	Механический привод	Механический привод	Привод от регулируемого гидромотора
База, мм	3930	3560	3620	3504
Колея, мм	2340	2300	2380	2180

#### 1.4 Цель и задачи дипломного проекта

Необходимостью совершенствования ходовой группы трубоукладчика для увеличения грузоподъемности в задании на ВКР были поставлены следующие задачи:

- Разработать новую тележку с девятью опорными катками, оси вращения и балансированную балку ходовой части;
- Произвести тяговый расчет;
- Рассчитать работоспособность трубоукладчика;
- Разработать технологическую карту изготовления «Оси» применяющиеся в машине.
- Выпустить конструкторскую документацию.

Вывод по разделу один

В аналитической части выпускной квалификационной работы был проведен анализ конструкции трубоукладчиков разных мировых производителей, а также были поставлены задачи .

## 2 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

Чтобы подтвердить работоспособность трубоукладчика необходимо провести ряд расчетов: тяговый расчет, расчет на продольную устойчивость, расчет на поперечную устойчивость, расчет давления на грунт, определить грузовые параметры и момент грузовой устойчивости.

### 2.1 Тяговый расчет

Тяговый расчет выполняют для выявления соответствия тяговых свойств базового трактора требованиям технологии трубоукладочных работ. Этим расчетом подтверждают обоснованность требований, предъявляемых к тяговым и скоростным свойствам трубоукладочных модификаций промышленных тракторов.[14]

При выполнении тягового расчета должны быть заданы и определены следующие показатели: масса трубоукладчика; масса номинального груза на крюке (грузоподъемность) и технологическая нагрузка на крюке при работе в изоляционно-укладочной колонне, с одиночным грузом и без груза; необходимая мощность двигателя.

Для тягового расчета принимают эксплуатационную массу трубоукладчика, которая складывается из конструктивной массы, массы эксплуатационных материалов (топливо, смазочные материалы, вода, рабочая жидкость гидросистемы), массы инструмента, постоянно находящегося на трубоукладчике, и массы машиниста. При расчетах массу инструмента принимают – 50 кг, массу машиниста – 70 кг.

Не будем забывать, что в конструкции базового трубоукладчика кроме рабочего диапазона скоростей заложен транспортный режим, который отличает-

					23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР	20
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		

ся объемной постоянной моторов. Таким образом, мы можем утверждать, что трактор имеет две передачи: транспортную и рабочую.

Изменение передачи осуществляется за счет того[3], что гидрообъемную трансмиссию, состоящую из насоса и мотора можно регулировать многими способами:

- Только насосом;
- Только мотором;
- Насосом при разных объемных постоянных моторов (как реализовано на ТГ35.80);
- Последовательным регулированием сначала насосом от нуля до единицы, а потом мотором от единицы до нуля, в обоих случаях параметр регулирования мотора равен единице.

Во время выполнения дипломного проекта так же выполнен тяговый расчет в программе Excel для более наглядного представления конструктивных параметров трансмиссии в виде графиков, в которой уточнено представление о КПД гидромашин. Для проверки ручного расчета параметров трансмиссии воспользуемся этой программой.

Минимальным набором исходных данных, необходимым для начала расчета представлено в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные для тягового расчета

Параметр	Обозначение	Величина
Мощность двигателя, л.с.	$N_{\text{ДВС}}$	312
Номинальная частота вращения коленчатого вала, об/мин	$n_{\text{НОМ}}$	2300
Передаточное число борт редуктора	$i_{\text{БР}}$	65

Окончание таблицы 2.1

Частота вращения гидромотора, об/мин	$n_{ГМmax} = n_{БРmax}$	3000
Давление, бар	$\Delta P$	450
Объем подачи гидронасоса, см <sup>3</sup>	$V_{ГНmax}$	147
Объем подачи гидромотора, см <sup>3</sup>	$V_{ГМmax}$	210
Радиус ведущего колеса, м	$r_{ВК}$	0,434

Основные формулы для расчета приведены ниже:

$$V_{тр} = \frac{2 \cdot n_{ВК} \cdot V_{тр} \cdot \pi \cdot 3,6}{60}, \text{ км/ч} \quad (2.1)$$

$$Q_H = Q_M = \frac{V_{тр} \cdot n_{ном} \cdot \eta_0}{1000}, \text{ л/мин} \quad (2.2)$$

$$n_{ГМ} = \frac{1000 \cdot Q_M \cdot \eta_0}{V_M}, \text{ мин}^{-1} \quad (2.3)$$

$$M_{ГМ} = \frac{V_M \cdot P \cdot \eta_{мех}}{20\pi}, \text{ Нм} \quad (2.4)$$

$$N_{ГМ} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_M \cdot M_M}{60000}, \text{ кВт} \quad (2.5)$$

$$n_{ВК} = \frac{n_{ГМ}}{i_{БР}}, \text{ мин}^{-1} \quad (2.6)$$

$$\Delta P = \frac{20 \cdot M_{ГН} \cdot \pi \cdot n_{мех}}{V_M}, \text{ бар} \quad (2.7)$$

23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР

$$P_{\text{тяги}} = \frac{2 \cdot i_{\text{БР}} \cdot \eta_{\text{БР}} \cdot M_{\text{М}}}{r_{\text{ВК}}}, \text{Н} \quad (2.8)$$

Показатели КПД агрегатов трансмиссии примем для механических узлов и деталей равным 0,95, для гидрообъемных машин 0,95.

Результаты тягового расчета представлены на рисунке 2.1.

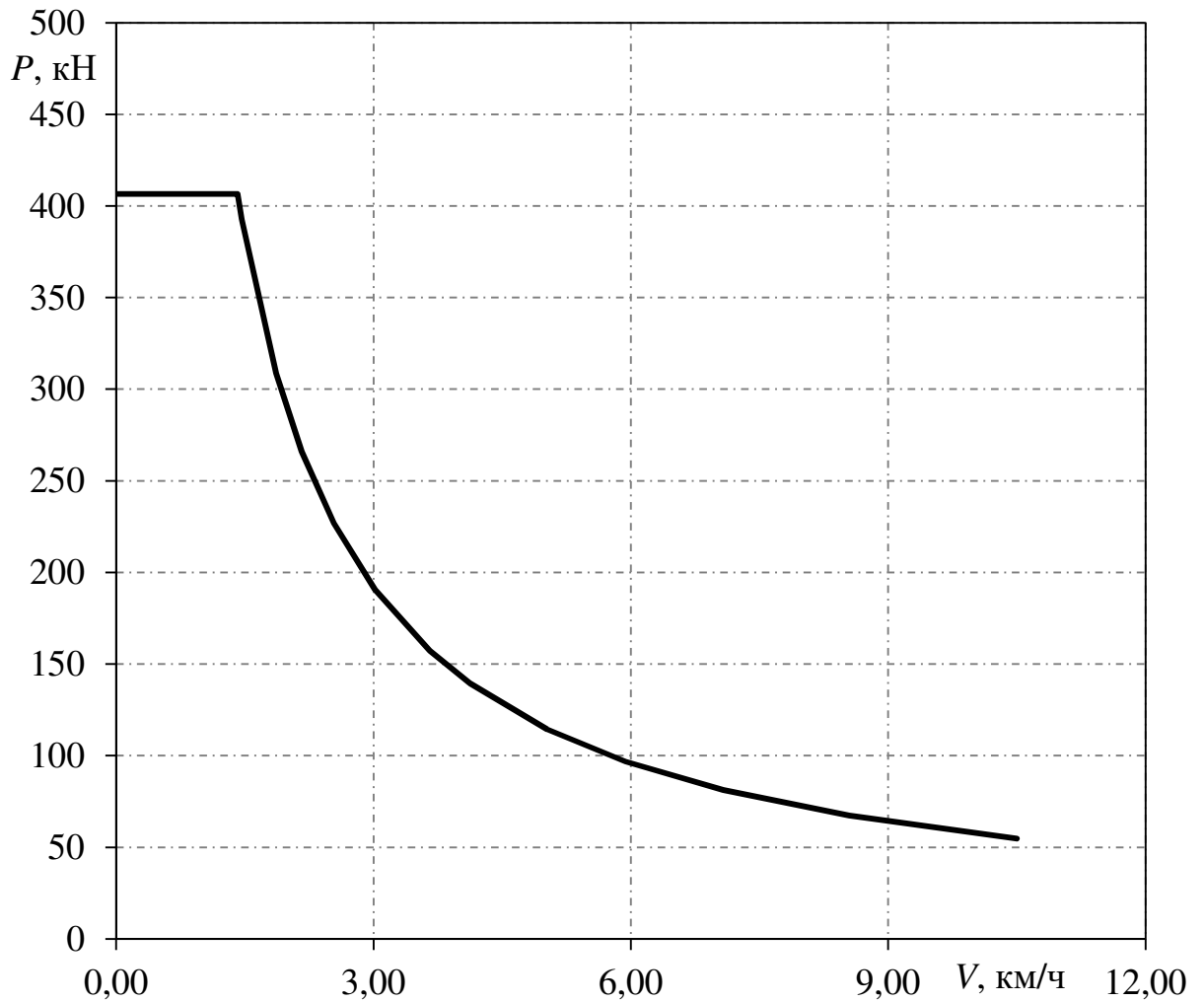


Рисунок 2.1 – Тягово – скоростная характеристика трубоукладчика ТГ35.80

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР



Координаты центра тяжести подвижной части трубокладчика от шарнира стрелы, мм	$L_{стр}$ $H_{стр}$	285 4542
Расстояние от ребра опрокидывания до шарнира стрелы, мм	$L_{ш}$	500
Высота шарнира стрелы от уровня земли, мм	$H_{ш}$	905
Координаты точки подвеса груза от шарнира стрелы, мм	$L_{пг}$ $H_{пг}$	766 8650
Расстояние от середины гусеницы до ребра опрокидывания, мм	$L_{г}$	112

### 2.2.1 Определение текущего угла наклона стрелы

1. Расстояние до точки подвеса груза:

$$l_{гр} = \sqrt{L_{пг}^2 + H_{пг}^2}, \quad (2.9)$$

где  $l_{гр}$  – расстояние до точки подвеса груза, мм;

$L_{пг}$  – длина точки подвеса груза от шарнира стрелы, мм;

$H_{пг}$  – высота точки подвеса груза от шарнира стрелы, мм;

$$l_{гр} = \sqrt{(766)^2 + (8650)^2} = 8683,85 \text{ мм.}$$

2. Расстояние от шарнира стрелы до центра тяжести подвижной части трубокладчика (стрелы):



$$l_{\text{стр}} = \sqrt{L_{\text{стр}}^2 + H_{\text{стр}}^2}, \quad (2.10)$$

где  $l_{\text{стр}}$  – расстояние от шарнира стрелы до центра тяжести подвижной части трубоукладчика, мм;

$L_{\text{стр}}$  – длина от центра тяжести подвижной части трубоукладчика от шарнира стрелы, мм;

$H_{\text{стр}}$  – высота от центра тяжести подвижной части трубоукладчика от шарнира стрелы, мм;

$$l_{\text{стр}} = \sqrt{(285)^2 + (4542)^2} = 4550,93 \text{ мм.}$$

3. Тангенс угла наклона стрелы в верхнем положении:

$$tg(\beta_{\text{в}}) = \frac{H_{\text{стр}}}{L_{\text{стр}}}, \quad (2.11)$$

где  $tg(\beta_{\text{в}})$  – тангенс угла наклона стрелы в верхнем положении;

$$tg(\beta_{\text{в}}) = \frac{4542}{285} = 15,94.$$

4. Угол наклона в верхнем положении равен:

$$\beta_{\text{в}} = \text{arctg}(\beta_{\text{в}}), \quad (2.12)$$

$$\beta_{\text{в}} = \text{arctg}(15,94) = 86,41^\circ.$$

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР	
						26

5. Тангенс угла наклона линии, соединяющий шарнир стрелы и точку подвеса груза (стрела в верхнем положении):

$$tg(\alpha_B) = \frac{H_{\text{пг}}}{L_{\text{пг}}}, \quad (2.13)$$

где  $tg(\alpha_B)$  – тангенс угла наклона линии, соединяющий шарнир стрелы и точку подвеса груза;

$$tg(\beta_B) = \frac{8650}{766} = 11,29.$$

6. Угол наклона линии, соединяющий шарнир стрелы и точку подвеса груза равен:

$$\alpha_B = arctg(\alpha_B), \quad (2.14)$$

$$\beta_B = arctg(11,29) = 84,94^\circ.$$

7. Разница между углами:

$$\Delta = \beta_B - \alpha_B, \quad (2.15)$$

$$\Delta = 86,41 - 84,94 = 1,47^\circ.$$

8. Косинус угла наклона линии, соединяющий шарнир стрелы и точку подвеса груза в зависимости от текущего вылет крюка относительно ребра опрокидывания:

$$\cos(\alpha) = \frac{L_{гр} - L_{ш}}{l_{гр}}. \quad (2.15)$$

9. Текущий угол наклона стрелы:

$$\gamma = \alpha - \Delta, \quad (2.16)$$

Для вычисления формул (2.15) и (2.16) воспользуемся ЭВМ с программным обеспечением Microsoft excel 2010. Результаты вычисления занесены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Зависимость угла наклона стрелы от вылета груза

Текущий угол наклона стрелы, градусы	Вылет груза, мм
83,55	1475,20
79,42	2094,35
76,62	2509,44
73,37	2984,45
67,15	3871,94
61,71	4615,28
57,39	5179,73
52,89	5739,84



$$L_{A2} = \frac{B}{2} + L_T + X_2, \quad (2.17)$$

где  $X_2$  – координата центра тяжести трубоукладчика при прижатом противовесе, мм;

$$L_{A2} = \frac{2340}{2} + 284 + 245 = 1699 \text{ мм.}$$

2. Вертикальная координата центра тяжести неподвижной части трубоукладчика (без стрелы):

- Противовес выдвинут:

$$H_{T1} = \frac{G_a \cdot Y_1 - G_{стр} \cdot (H_{стр} + H_{ш})}{G_T}, \quad (2.18)$$

где  $G_a$  – вес трубоукладчика, кг;

$Y_1$  – вертикальная координата центра тяжести при выдвинутом противовесе, мм;

$G_{стр}$  – вес стрелы, кг;

$H_{стр}$  – вертикальная координата центра тяжести подвижной части трубоукладчика от шарнира стрелы, мм;

$H_{ш}$  – высота шарнира стрелы от уровня земли, мм;

$G_T$  – вес неподвижной части трубоукладчика, кг;

$$H_{T1} = \frac{55000 \cdot 1850 - 1900 \cdot (4542 + 905)}{50840} = 1798 \text{ мм.}$$

- Противовес прижат:



4. Горизонтальная проекция координаты центра тяжести подвижной части трубоукладчика (стрелы):

$$L_{стр} = l_{стр} \cdot \cos(\gamma - \beta) + H_{ш} \cdot \sin\beta + L_{ш} \cdot \cos\beta. \quad (2.22)$$

Так как горизонтальная координата зависит от угла наклона стрелы, то для удобства вычисления результатов используем ЭВМ с программным обеспечением Microsoft excel 2010. Результаты занесены в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Зависимость угла наклона стрелы от координаты центра тяжести подвижной части (стрелы)

Текущий угол наклона стрелы, градусы	Координата центра тяжести, мм
83,55	653,57
79,42	867,56
76,62	1060,61

Окончание таблицы 2.4

73,37	1330,57
67,15	1974,43
61,71	2653,95
57,39	3255,61
52,89	3925,53
49,43	4459,91
45,88	5018,49
38,21	7240,73

23,00	8290,22
-------	---------

### 2.2.3 Определение грузоподъемности

Для удобства вычисления результатов воспользуемся ЭВМ с программным обеспечением Microsoft excel 2010. Используя формулы (2.23) и (2.24) вычисленные результаты занесем в таблицу 2.5 и построим грузовую характеристику.

- Противовес выдвинут:

$$G_1 = \frac{G_T \cdot L_{T1} - G_{стр} \cdot L_{стр}}{L_{гр} \cdot k_y}, \quad (2.23)$$

где  $k_y$  – коэффициент безопасности.

$$G_1 = \frac{G_T \cdot L_{T1} - G_{стр} \cdot L_{стр}}{L_{гр} \cdot k_y}, \quad (2.24)$$

Таблица 2.5 – Грузоподъемность трубоукладчика ТГ35.80

Вылет груза, м	Грузоподъемность, т			
	$k_y=1,4$		$k_y=1,0$	
	Противовес отодвинут	Противовес прижат	Противовес отодвинут	Противовес прижат
1,48	50,49	45,97	64,35	55,99
2,09	35,57	32,38	45,33	39,44
2,51	29,68	27,02	37,83	32,91



2,98	24,96	22,72	31,81	27,67
3,87	19,54	17,51	24,52	21,33
4,62	16,14	14,69	20,57	17,90
5,18	14,38	13,09	18,33	15,95
5,74	12,98	11,81	16,54	14,39
6,15	12,12	11,03	15,44	13,43
6,55	11,38	10,36	14,50	12,62
7,32	10,17	9,26	12,97	11,28
8,49	8,77	7,98	11,18	9,73

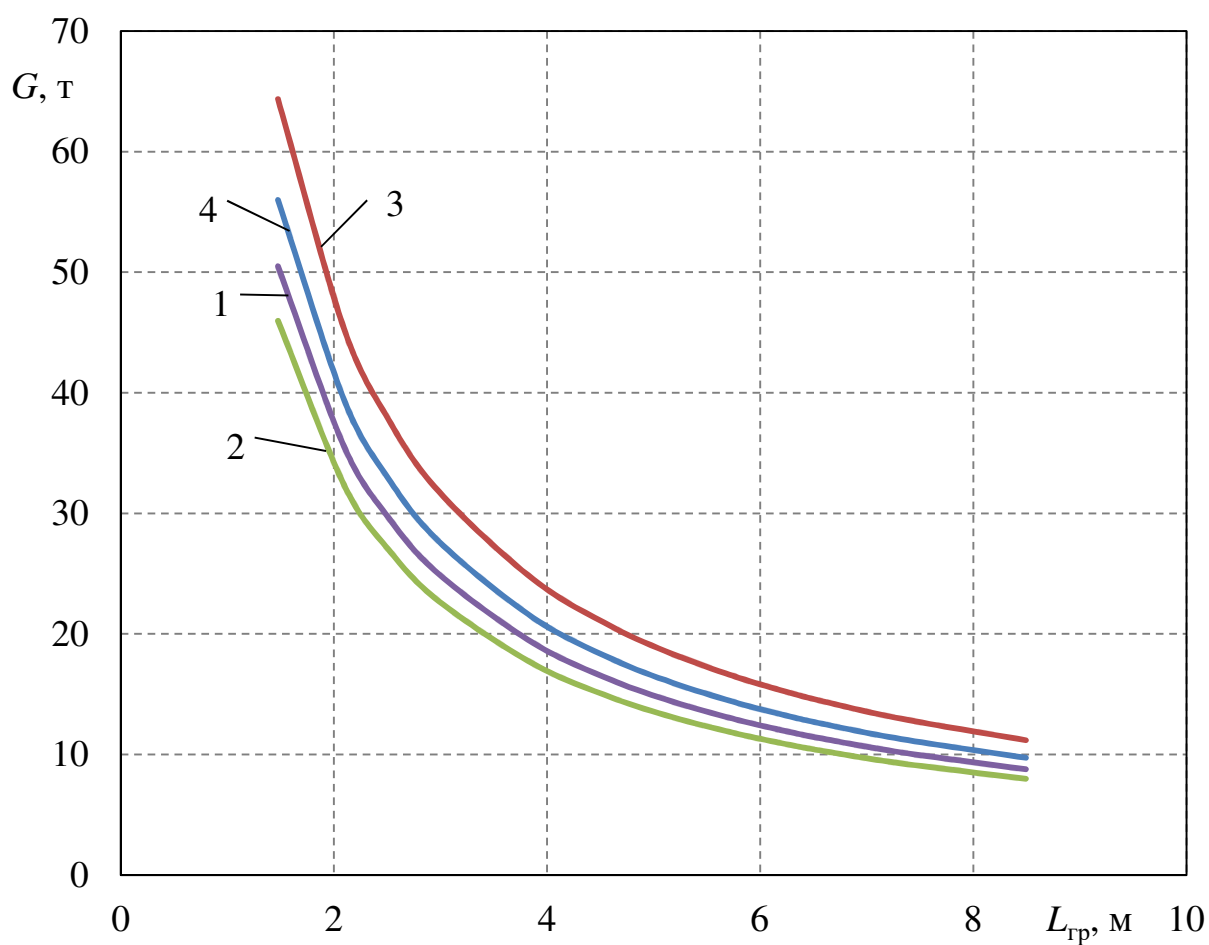


Рисунок 2.2 – Грузовая характеристика трубоукладчика ТГ35.80:

1 –  $k_y=1,4$ , противовес откинут; 2 –  $k_y=1,4$ , противовес прижат; 3 –  $k_y=1,0$ , противовес откинут; 4 –  $k_y=1,0$ , противовес прижат.

### 2.3 Определение момента грузовой устойчивости

При определении момента грузовой устойчивости стрела должна находиться в положении, соответствующему вылета крюка 2,5 м.

- Противовес выдвинут:

$$M_1 = G_T \cdot L_{T1} - G_{стр} \cdot L_{и}, \quad (2.25)$$

где  $M_1$  – момент грузовой устойчивости, кгм;

$G_T$  – вес неподвижной части трубоукладчика, кг;

$G_{стр}$  – вес стрелы, кг;

$L_{T1}$  – горизонтальная проекция координаты центра тяжести неподвижной части трубоукладчика, мм;

$L_{и}$  – вылет крюка, мм;

$$M_1 = 50840 \cdot 2,051 - 1900 \cdot 2,5 = 99522,8 \text{ кг} \cdot \text{м}.$$

- Противовес прижат:

$$M_2 = G_T \cdot L_{T2} - G_{стр} \cdot L_{и}, \quad (2.26)$$

$$M_2 = 50840 \cdot 1,867 - 1900 \cdot 2,5 = 901865 \text{ кг} \cdot \text{м}.$$

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР	35



$$H_{стр1} = 4542 + 905 = 5447 \text{ мм.}$$

2. Горизонтальная координата центра тяжести трубоукладчика от ребра опрокидывания:

$$L_{А3} = \frac{B}{2} + L_{Г} - X_2, \quad (2.27)$$

где  $L_{А3}$  – горизонтальная координата центра тяжести, мм;

$B$  – колея, мм;

$L_{Г}$  – расстояние от середины гусеницы до ребра опрокидывания мм;

$X_2$  – координата центра тяжести трубоукладчика при прижатом противовесе, мм;

$$L_{А3} = \frac{2340}{2} + 146 - 245 = 1071 \text{ мм.}$$

3. Горизонтальная проекция координаты центра тяжести стрелы трубоукладчика от ребра опрокидывания находится как:

$$L_{стр} = l_{стр} \cdot \cos(\gamma + \beta) - H_{ш} \cdot \sin\beta \cdot \beta + L_{ш} \cdot \cos\beta \cdot \beta + L_{Г} \cdot \cos\beta \cdot \beta + \frac{B}{2} \cdot \cos\beta \cdot \beta + L_{Г} \cdot \cos\beta \cdot \beta, \quad (2.28)$$

где  $\beta$  – угол уклона, градусы;

$B$  – колея, мм;

$L_{Г}$  – расстояние от середины гусеницы до ребра опрокидывания мм;

$L_{ш}$  – расстояние от ребра опрокидывания до шарнира стрелы, мм;

$l_{стр}$  – расстояние шарнира до центра тяжести стрелы мм;

$H_{ш}$  – высота шарнира стрелы от уровня земли, мм;

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР	
						37

$\gamma$  – текущий угол наклона стрелы, градусы.

4. Преобразуем формулу (2.28) используя тригонометрические формулы сложения и вычитания аргумента косинуса:

$$L_{\text{стр}} = l_{\text{стр}} \cdot \cos(\gamma \cdot \gamma \cdot \cos\beta) - l_{\text{стр}} \cdot \sin(\gamma \cdot \gamma \cdot \sin\beta) - H_{\text{ш}} \cdot \sin\beta \cdot \beta \quad (2.29) \\ + L_{\text{ш}} \cdot \cos\beta \cdot \beta + 2L_{\Gamma} \cdot \cos\beta + \frac{B}{2} \cdot \cos\beta.$$

5. Зная угол подъема стрелы, вычислим его синус и косинус, и соответственно поставим в формулу (2.29):

$$L_{\text{стр}} = 0,11 \cdot l_{\text{стр}} \cdot \cos\beta - 0,99 \cdot l_{\text{стр}} \cdot \sin\beta - H_{\text{ш}} \cdot \sin\beta + L_{\text{ш}} \cdot \cos\beta \quad (2.29) \\ + 2L_{\Gamma} \cdot \cos\beta + \frac{B}{2} \cdot \cos\beta,$$

6. Уравнение устойчивости трубоукладчика:

$$G_a \cdot \cos\beta \cdot L_{\text{АЗ}} + G_{\text{стр}} \cdot 0,11 \cdot l_{\text{стр}} \cdot \cos\beta - 0,99 \cdot l_{\text{стр}} \cdot \sin\beta - H_{\text{ш}} \cdot \sin\beta \quad (2.30) \\ + L_{\text{ш}} \cdot \cos\beta \cdot \beta + 2L_{\Gamma} \cdot \cos\beta \cdot \beta + \frac{B}{2} \cdot \cos\beta \cdot \beta = \\ = G_a \cdot \sin\beta \cdot \beta \cdot H_{\text{T1}} + G_{\text{стр}} \cdot \sin\beta \cdot \beta \cdot H_{\text{стр1}},$$

где  $G_a$  – вес трубоукладчика, кг;

$G_{\text{стр}}$  – вес стрелы, кг.

7. Формула (2.30) представляет собой уравнение равновесия трубоукладчика, где в левой части прижимающий момент, а в правой опрокидывающий момент.

Преобразуем формулу (2.30) и получим:

$$\frac{\cos\beta_{уст}}{\sin\beta_{уст}} = \frac{G_{стр} \cdot 0,99 \cdot l_{стр} + G_{стр} \cdot H_{ш} + G_a \cdot H_{Т1} + G_{стр} \cdot H_{стр1}}{G_a \cdot L_{А3} + G_{стр} \cdot 0,11 \cdot l_{стр} + G_{стр} \cdot L_{ш} + G_{стр} \cdot 2L_{Г} + G_{стр} \cdot \frac{B}{2}} \quad (2.30)$$

$$tg\beta_{уст} = \frac{G_{стр} \cdot 0,99 \cdot l_{стр} + G_{стр} \cdot H_{ш} + G_a \cdot H_{Т1} + G_{стр} \cdot H_{стр1}}{G_a \cdot L_{А3} + G_{стр} \cdot 0,11 \cdot l_{стр} + G_{стр} \cdot L_{ш} + G_{стр} \cdot 2L_{Г} + G_{стр} \cdot \frac{B}{2}} \quad (2.31)$$

8. Из полученной формулы найдем угол устойчивости:

$$\beta_{уст} = arcctg \frac{G_{стр} \cdot 0,99 \cdot l_{стр} + G_{стр} \cdot H_{ш} + G_a \cdot H_{Т1} + G_{стр} \cdot H_{стр1}}{G_a \cdot L_{А3} + G_{стр} \cdot 0,11 \cdot l_{стр} + G_{стр} \cdot L_{ш} + G_{стр} \cdot 2L_{Г} + G_{стр} \cdot \frac{B}{2}} \quad (2.32)$$

$$\beta_{уст} = arcctg \frac{1900 \cdot 0,99 \cdot 4550,93 + 1900 \cdot 905 + 55000 \cdot 1798 + 1900 \cdot 5447}{55000 \cdot 1071 + 1900 \cdot 0,11 \cdot 4550,93 + 1900 \cdot 500 + 1900 \cdot 2 \cdot 284 + 1900 \cdot \frac{2340}{2}} = 1,9,$$

$$\beta_{уст} = arcctg 1,9 = 26,4^\circ.$$

9. Коэффициент запаса поперечной устойчивости находится:

$$K_{попер} = \frac{\beta_{уст}}{\beta} \quad (2.33)$$

где  $\beta$  – угол уклона, градусы;



$$H_{стр1} = l_{стр} \cdot \sin\gamma_{ном} + H_{ш}, \quad (2.34)$$

где  $H_{стр1}$  – вертикальная координата центра тяжести стрелы, мм;

$l_{стр}$  – расстояние шарнира до центра тяжести стрелы мм;

$H_{ш}$  – высота шарнира стрелы от уровня земли, мм;

$\gamma_{ном}$  – угол при плече вылета груза 2500 мм, градусы;

$$H_{стр1} = 4550,93 \cdot \sin 76,6 + 905 = 4550,93 \cdot 0,9729 + \\ + 905 = 5332,6 \text{ мм.}$$

2. Вертикальная координата действия силы от номинальной нагрузки:

$$H_{гр1} = H_{пг} + H_{ш}, \quad (2.35)$$

где  $H_{гр1}$  – вертикальная координата действия силы, мм;

$H_{пг}$  – вертикальная координата точки подвеса груза от шарнира стрелы, мм;

$$H_{гр1} = 8650 + 905 = 9555 \text{ мм.}$$

3. Уравнение продольной устойчивости трубоукладчика с номинальной нагрузке на крюке:

$$G_{стр} \cdot \cos\beta \cdot L_{A5} + G_{гр} \cdot \cos\beta \cdot L_{A6} + G_a \cdot \cos\beta \cdot L_{A4} = \\ = G_{стр} \cdot \sin\beta \cdot H_{стр1} + G_{гр} \cdot \sin\beta \cdot H_{гр1} + G_a \cdot \sin\beta \cdot H_{Т1}, \quad (2.36)$$

где  $G_{стр}$  – вес стрелы, кг;



$G_a$  – вес трубоукладчика, кг;

$G_{гр}$  – вес груза, кг;

$L_{A5}$  – координата центра тяжести трубоукладчика подвижной части,  
мм;

$L_{A4}$  – координата центра тяжести трубоукладчика неподвижной части,  
мм;

$L_{A4}$  – координаты центра точки подвеса груза от ребра опрокидыва-  
ния, мм.

4. В уравнение (2.36) справа удерживающий момент, а слева опроки-  
дывающий.

Преобразуем данное уравнение:

$$ctg\beta_{уст} = \frac{G_{стр} \cdot H_{стр1} + G_{гр} \cdot H_{гр1} + G_a \cdot H_{Т1}}{G_{стр} \cdot L_{A5} + G_{гр} \cdot L_{A6} + G_a \cdot L_{A4}}, \quad (2.37)$$

$$ctg\beta_{уст} = \frac{1900 \cdot 5332,6 + 37830 \cdot 9555 + 55000 \cdot 1798}{1900 \cdot 2077 + 37830 \cdot 1770 + 55000 \cdot 1770} = 1,079.$$

5. Угол продольной устойчивости:

$$\beta_{уст} = arcctg(1,079), \quad (2.38)$$

$$\beta_{уст} = arcctg(1,079) = 42,8^\circ.$$

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР	42

6. Коэффициент запаса продольной устойчивости:

$$K_{\text{прод}} = \frac{\beta_{\text{уст}}}{\beta}, \quad (2.38)$$

где  $\beta$  – угол уклона, градусы;

$$K_{\text{прод}} = \frac{42,8}{10} = 4,28.$$

## 2.5 Расчет удельного давления на грунт

Таблица 2.7 – Исходные данные для расчёта удельного давления на грунт

Параметр	Обозначение	Величина
Длина опорной поверхности, мм	$L_{\text{опор}}$	3930
Вылет стрелы при номинальной нагрузке, мм	$L_{\text{ном}}$	2500
Ширина гусеницы, мм	$B_{\text{опор}}$	860

## Рисунок 2.5 – Схема расчета удельного давления на грунт

Давление на грунт определяет проходимость гусеничной машины и ее тяговых качеств. Основным параметром является среднее давление на грунт. Расчет ведется при номинальной нагрузке на крюке.

1. Горизонтальная координата центра тяжести неподвижной части трубокладчика при выдвинутом противовесе от центра правой гусеницы находится:

$$L_{A4} = \frac{B}{2} - X_1, \quad (2.39)$$

где  $L_{A4}$  – горизонтальная координата центра тяжести неподвижной части при выдвинутом противовесе, мм;

$B$  – колея, мм;

$X_1$  – горизонтальная координата центра тяжести при выдвинутом противовесе, мм;

$$L_{A4} = \frac{2340}{2} - 415 = 755 \text{ мм.}$$

2. Горизонтальная координата центра тяжести подвижной части трубокладчика при номинальном вылете груза от центра правой гусеницы:

$$L_{стр1} = l_{стр} \cdot \cos\gamma_{ном} + L_{ш} + L_{г} + B, \quad (2.40)$$

где  $L_{стр1}$  – горизонтальная координата центра тяжести стрелы при номинальном вылете груза, мм;

$l_{стр}$  – расстояние шарнира до центра тяжести стрелы мм;

$L_{ш}$  – расстояние от ребра опрокидывания до шарнира стрелы, мм;

$\gamma_{ном}$  – угол при плече вылета груза 2500 мм, градусы;

$L_{г}$  – расстояние от середины гусеницы до ребра опрокидывания, мм;

$$L_{стр1} = 4550,93 \cdot \cos 76,6 + 500 + 146 + 2340,$$

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	<i>23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР</i>					44

$$L_{стр1} = 4550,93 \cdot 0,9729 + 500 + 146 + 2340 = 4039,09 \text{ мм.}$$

3. Горизонтальная координата центра приложения силы, действующей от груза:

$$L_{гр1} = l_{гр} \cdot \cos\gamma_{ном} + L_{ш} + L_{г} + B, \quad (2.41)$$

где  $l_{гр}$  – расстояние до точки подвеса груза мм;

$$L_{гр1} = 8683,85 \cdot \cos 76,6 + 500 + 146 + 2340,$$

$$L_{гр1} = 8683,85 \cdot 0,9729 + 500 + 146 + 2340 = 4495,44 \text{ мм.}$$

4. Составим уравнение моментов относительно левой гусеницы и найдем реакцию на правой:

$$G_{стр} \cdot L_{стр1} + G_{стр} \cdot L_{гр1} + G_a \cdot L_{A4} - R_{прг} \cdot B = 0, \quad (2.42)$$

где  $R_{прг}$  – реакция на правой гусеницы от грунта, кг;

$$R_{прг} = \frac{G_{стр} \cdot L_{стр1} + G_{стр} \cdot L_{гр1} + G_a \cdot L_{A4}}{B}, \quad (2.43)$$

$$R_{прг} = \frac{1900 \cdot 4039,09 + 1900 \cdot 4495,44 + 55000 \cdot 755}{2340} = 93704,28 \text{ кг.}$$

5. Удельное давление на грунт определяется по формуле:

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		

23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР

$$P = \frac{R_{\text{прг}} \cdot g}{B_{\text{опор}} \cdot L_{\text{опор}}}, \quad (2.44)$$

где  $P$  – удельное давление на грунт, МПа;

$g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;

$B_{\text{опор}}$  – ширина гусеницы, м;

$L_{\text{опор}}$  – длина опорной поверхности, м;

$$P = \frac{93708,28 \cdot 9,81}{0,86 \cdot 3,93} = \frac{271980,30}{1000000} = 0,27 \text{ МПа.}$$

## 2.6 Расчет ходовой части трубоукладчика

Одним из принципов рационального конструирования является равнопрочность и равнонагруженность узлов и деталей машины. Расчеты, выполняемые в ходе проектирования, позволяют выявить как слабые, так и недогруженные места в конструкции, устранить несоответствия и создать предпосылки для длительной и надежной работы машины.

### 2.6.1 Расчет рамы тележки

Расчет рамы тележки проведем в приложении программы SolidWorksSimulation.

Для проведения расчета необходимо знать, из какого материала изготовлена рама тележки, какая максимальная внешняя нагрузка может действовать на нее и в какой точке она приложена. Рама тележки изготовлена из стали 09Г2С[37].

Рассмотрим эпюры:

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		

23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР

- Напряжения;
- Перемещения.

Рисунок 2.6 – Эпюра запаса прочности при прямолинейном движении при наезде на препятствие

Из расчета делаем вывод, что наибольшую нагрузку воспринимает передняя часть рамы брусья рамы тележки, а на втулку, которой крепится тележка на ось качения, приходится наименьшая нагрузка, а запас прочности составляет порядка 8,5-9. Отсюда делаем вывод, что проектируемая ходовая группа выполняет техническое задание о снижении нагрузки на корпус бортового редуктора.

Рисунок 2.7 – Эпюра перемещения при приложенной нагрузке

#### 2.6.2 Расчет на прочность полуоси

Расчет полуоси ТГ35.21.101 производится на статическую и усталостную прочности. Режимы нагружения представлены в таблице 2.8. Из-за смещенного центра масс машины в левую сторону, как в ненагруженном состоянии, так и при подъеме груза, правая и левая полуоси будут работать по разному. По этой причине имеет смысл в расчетную схему внести обе полуоси.

Таблица 2.8 – Описание режимов нагружения

Наименование режима	Обозначение режима	Описание режима
Опрокидывание	П – 1	Трубоукладчик опрокидыва-

		ется на левую сторону при подъеме груза максимальной массой 45 тонн
--	--	---

Окончание таблицы 2.8

Рабочий режим	Р – 1	Трубоукладчик попеременно опрокидывается на левую сторону при подъеме груза максимальной массой 45 тонн и разгружается
---------------	-------	--

Рисунок 2.8 – Распределение коэффициента по пределу текучести запаса по двум полуосям

Рисунок 2.9 – Распределение коэффициента запаса по пределу выносливости по двум полуосям

Коэффициент запаса по пределу текучести  $n_T$  для режима П – 1 и коэффициент запаса по пределу выносливости  $n_1$  для режима Р – 1 представлен в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Результаты расчета

Обозначение режима	Коэффициент запаса	Допустимый коэффициент запаса
П – 1	2,15	Не менее 1,5

P – 1	1,78	Не менее 1,5
-------	------	--------------

Из таблицы 2.9 видно, что полуоси ТГ35.21.101 имеет достаточную статическую и усталостную прочность.

### 2.6.3 Расчет на прочность балансирующей балки

Расчет балансирующей балки ТГ35.21.400 проводится на статическую и усталостную прочность. В таблице 2.10 приведены режимы нагружения.

Таблица 2.10 – Описание режимов нагружения

Наименование режима	Обозначение режима	Описание режима
Опрокидывание	T – 1	Трубоукладчик опрокидывается на левый борт нагрузки при подъеме груза максимально возможной массой 45 тонн
Рабочий режим	P – 1	Трубоукладчик попеременно опрокидывается под действием максимальной возможной нагрузки 45 тонн и разгружается

Рисунок 2.10 – Распределение коэффициента запаса по пределу текучести  $n_T$



Рисунок 2.11 – Распределение коэффициент запаса по пределу выносливости  $n_{-1}$

Коэффициент запаса по пределу текучести  $n_T$  и по пределу выносливости  $n_{-1}$  представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Результаты расчета

Обозначение режима	Коэффициент запаса	Допустимый коэффициент запаса
T – 1	2,48	Не менее 1,5
P – 1	2,54	Не менее 2,0

Из таблицы 2.11 видно, что балансирная балка ТГ35.21.400 имеет достаточную статическую и усталостную прочность.

Вывод по разделу два

В конструкторском разделе были выполнены расчеты для подтверждения работоспособности трубоукладчика ТГ35.80:

- Тяговый расчет трубоукладчика с гидростатической трансмиссией;
- Расчет грузовой характеристики;
- Момент грузовой устойчивости;
- Коэффициенты запаса собственной поперечной устойчивости и грузовой продольной устойчивости.
- Проведен прочностной расчет рамы ходовой тележки, оси качания и балансированной балки при разных режимах нагружения.

Исходя из вышесказанного, можно сказать, что модернизация трубоукладчика произведена успешно. Чертежи, сборочные и деталировка приведены в графической части дипломного проекта на листах 3 – 7.

					<i>23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР</i>	51
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		

### 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Наиболее важными составляющими производства является не только разработка конструкторской документации, но и технологического процесса изготовления изделия. Ужесточение требований предъявляемые технологической обработке повышает качество и сокращает время обработки. Суммирование этих параметров приводит к успешному изготовлению изделия, сохранив все величины заложенным инженером – конструктором.

Составим технологическую карту с технологическим процессом для детали «Ось», представленной на рисунке 3.1. Конструктором указано произвести из материала круг В1 – 100 ГОСТ 2590–2006 / 20 ГОСТ 1050–88.

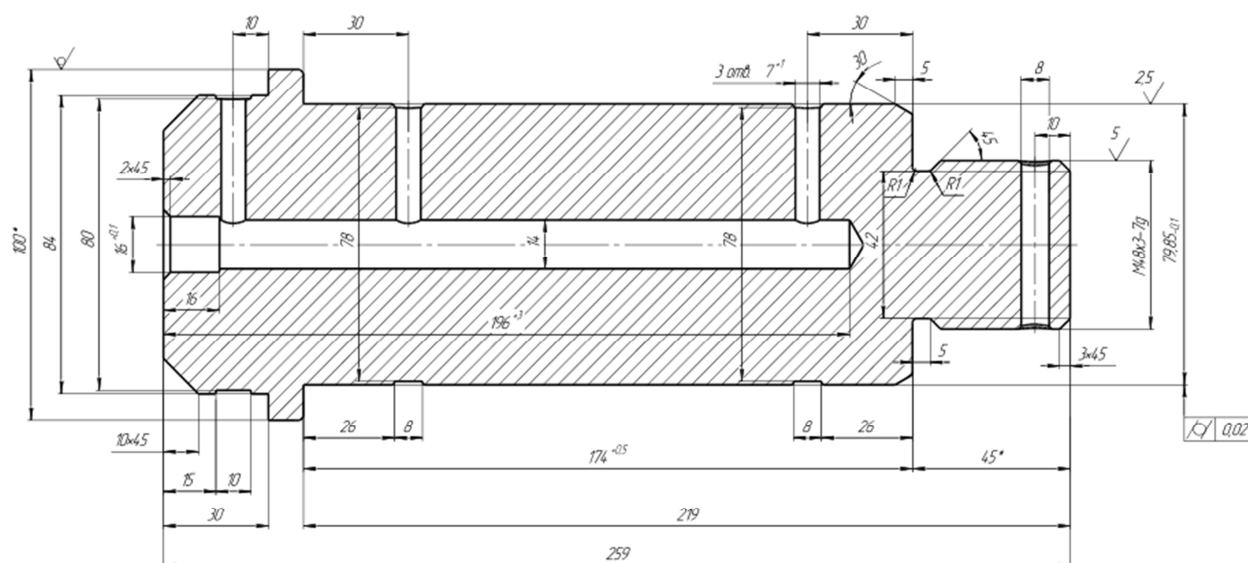


Рисунок 3.1 – Ось

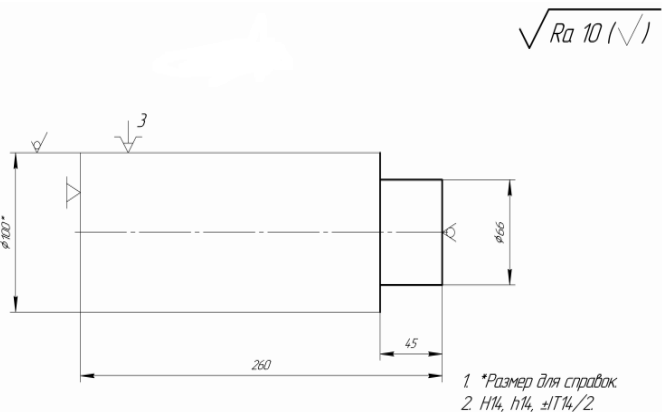
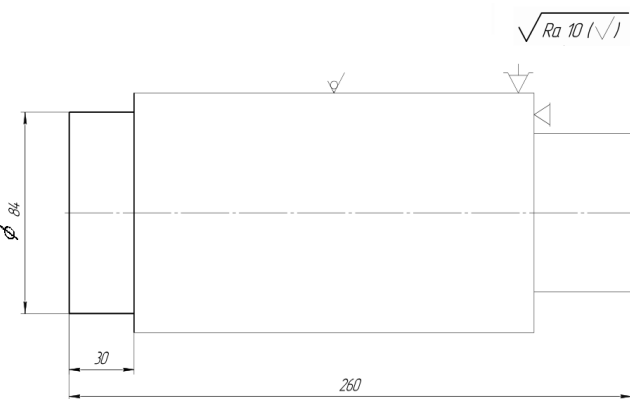
Формообразование детали целесообразно перенести на заготовительную стадию, тем самым это позволит снизить расход металла и уменьшить долю затрат на механическую обработку в себестоимости готовой детали. В качестве за-

готовки принимаем прокат – горячекатаный круглый сталь ГОСТ 1050-88[9].

Параметр шероховатости для неуказанных поверхностей Ra 10.

В таблице 3.1 представлена разработка технологической карты обработки детали «Ось». Технологические операции выполняются на станке ЧПУ Advercut K6100.

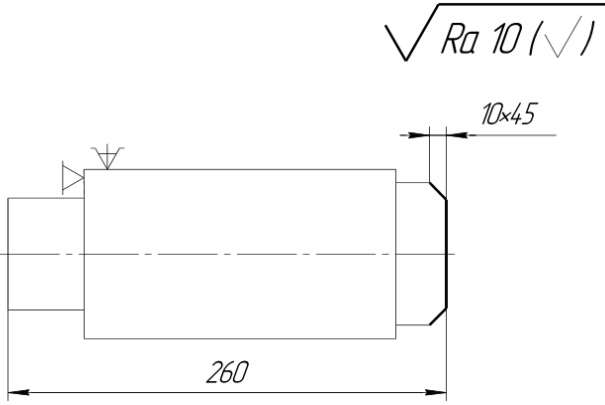
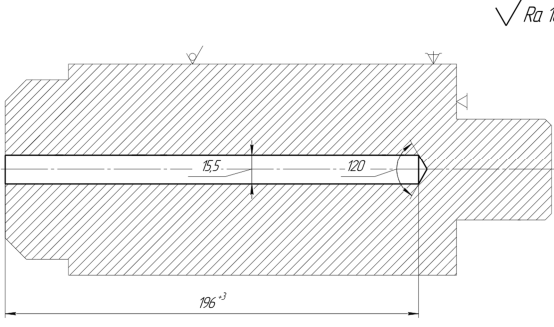
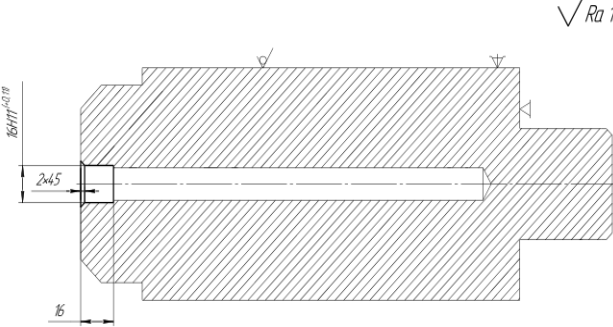
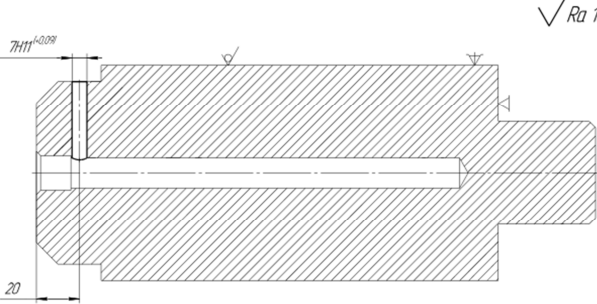
Таблица 3.1 – Технологическая карта обработки детали «Ось»

Опера-ция	Эскиз обработки детали	Инструмент
05 – то-карная		<p>Резец проходной упорный PCLNR 2525 M12, рычаг LSC 4, винт LSC 4, опорная пластина LSC 42, штифт LSC 4, пластина CNMG 120408, штангенциркуль ШЦ-I-125-0,05 ГОСТ 166-89, набор угловых мер No4 ГОСТ 2875-88.</p>
010 – то-карная		<p>Резец проходной упорный PCLNR 2525 M12, рычаг LSC 4, винт LSC 4, опорная пластина LSC 42, штифт LSC 4, пластина CNMG 120408, штангенциркуль ШЦ-I-125-0,05125-0,05 ГОСТ 166-89. No4 ГОСТ 2875-88.</p>

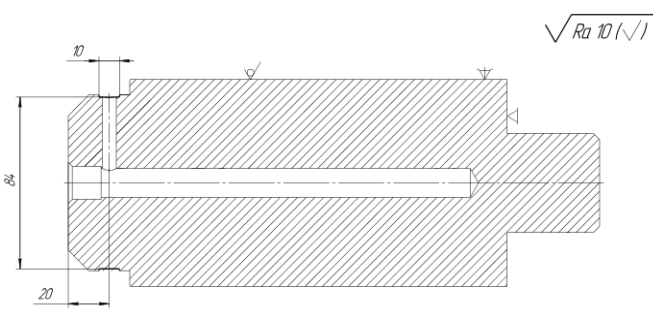
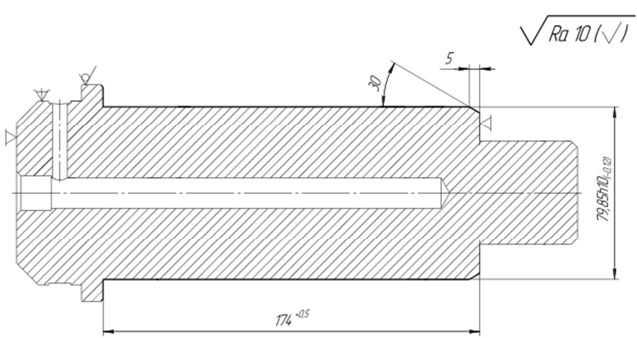
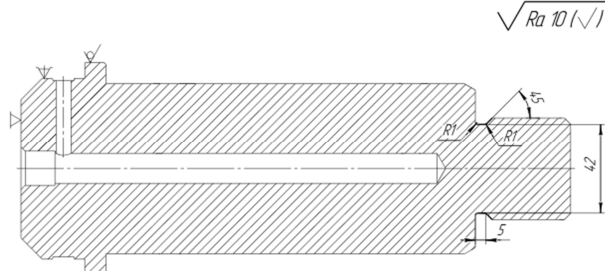
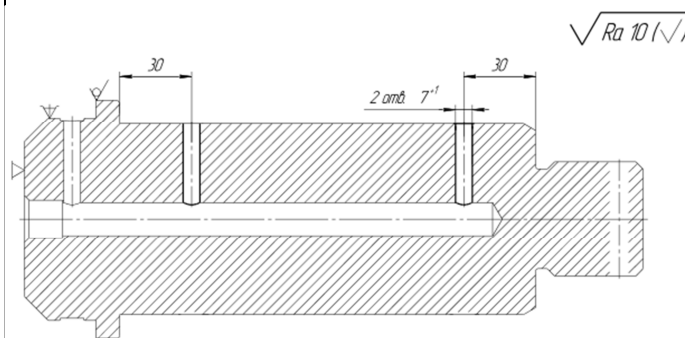
23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

Продолжение таблицы 3.1

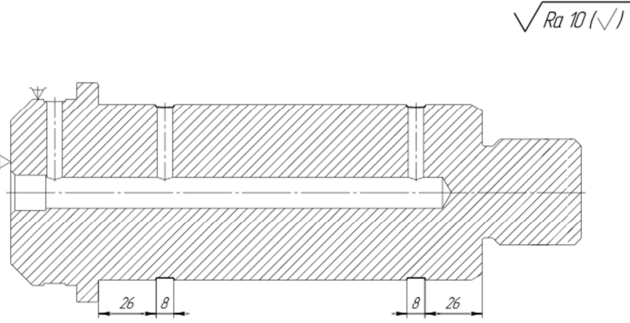
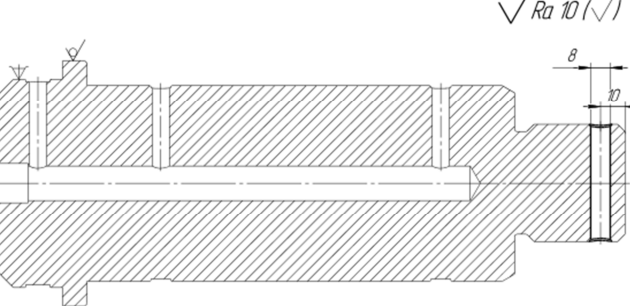
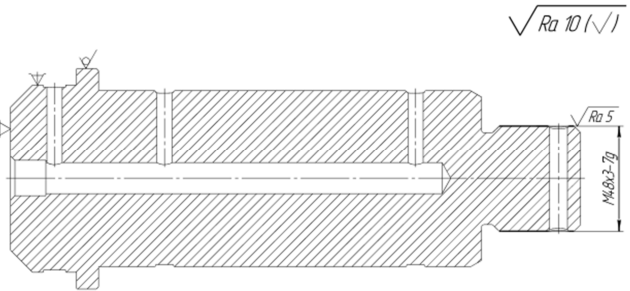
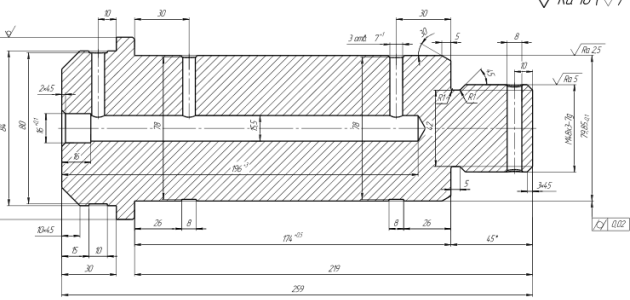
<p>015 – то- карная</p>		<p>Резец отрезной TTER-4T25, винт SH M6x1x25, пла- стина ТРС 4, штангенциркуль ШЦ-I-125-0,05 ГОСТ 166-89, набор угловых мер №4 ГОСТ 2875- 88.</p>
<p>020 – свер- лильная</p>		<p>Сверло 15,5 2301- 3605 ГОСТ 10903- 77, штангенцир- куль ШЦ-I-125- 0,05 ГОСТ 166-89.</p>
<p>025 – то- карная</p>		<p>Резец расточной S10K SCLCR 06, винт S0 25050I; пластина ССМТ 060204 РС.</p>
<p>030 – то- карная</p>		<p>Сверло 7,00 2300- 0187 ГОСТ 10902- 77, штангенцир- куль ШЦ-I-125- 0,05 ГОСТ 166-89.</p>

Продолжение таблицы 3.1

<p>035 – то- карная</p>		<p>Резец расточной S10K SCLCR 06, винт S0 25050I; пластина CCMT 060204 PC.</p>
<p>040 – то- карная</p>		<p>Резец проходной упорный PCLNR 2525 M12, рычаг LSC 4, винт LSC 4, опорная пластина LSC 42, штифт LSC 4, пластина CNMG 120408, штангенциркуль ШЦ-I-125-0,05 ГОСТ 166-89, набор угловых мер No4 ГОСТ 2875-88.</p>
<p>045 – то- карная</p>		<p>Резец проходной упорный PCLNR 2525 M12, рычаг LSC 4, винт LSC 4, опорная пластина LSC 42, штифт LSC 4, пластина CNMG 120404, штангенциркуль ШЦ-I-125-0,05 ГОСТ 166-89, набор угловых мер No4 ГОСТ 2875-88.</p>
<p>050 – сверлиль- ная</p>		<p>Сверло 7,00 2300-0187 ГОСТ 10902-77, штангенциркуль ШЦ-I-125-0,05 ГОСТ 166-89.</p>

23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР

Окончание таблицы 3.1

<p>055 – токарная</p>		<p>Резец расточной S8K SCLCR 06, винт S0 25050I; пластина CCMT 060204 PC.</p>
<p>060 – токарная</p>		<p>Сверло 8,00 2300-0195 ГОСТ 10902-77, штангенциркуль ШЦ-І-125-0,05 ГОСТ 166-89.</p>
<p>065 – токарная</p>		<p>Резец внешний резьбовой AL 25-3, винт SA3T, винт оп. пл. YE3, пластина ZER 3,0 ISO, калибр кольцо резьбовое M48x3-7g ПР и НЕ ГОСТ 24851-81.</p>
<p>070 – контрольная</p>		<p>Штангенциркуль ШЦ-І-125-0,05 ГОСТ 166-89.</p>

В данной технологической карте представлены основные операции для детали «Ось», за исключением незначительных операций как моечные и слесарные.

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата

23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР

Для производства надежных и качественных деталей очень важно составить, а потом верно выполнить весь технологический маршрут, соблюдая все требования по изготовлению изделий.

#### Выводы по разделу три

После построения деталей при помощи моделирования и выпуска соответствующей конструкторской документации, к разработке проекта присоединяются технологи. В технологическом разделе представлен пример, как разрабатывается деталь перед сборкой машины. В качестве примера приведена деталь «Ось», как одна из деталей в узле при дальнейшей модернизации трубоукладчика. Для нее была разработана технологическая карта.

					<i>23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР</i>	57
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		





12 ГОСТ 18883–73. Резцы токарные расточные с пластинами из твердого сплава для обработки глухой отверстий. Конструкция и размеры. – М: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 9 с.

13 ГОСТ 18885–73. Резцы токарные резьбовые с пластинами из твердого сплава. Конструкция и размеры. – М: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 9 с.

14 ГОСТ 10903–77. Сверла спиральные с коническим хвостовиком. Средняя серия. Основные размеры. – М: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 9 с.

15 ГОСТ 10902–77. Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Средняя серия. Основные размеры. – М: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 13 с.

16 ГОСТ 24851–81. Калибры гладкие для цилиндрических отверстий и валов. Виды. – М: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 10 с.

17 ГОСТ 24249–80. Пластины режущие сменные, многогранные, твердосплавные, ромбической формы с углом 80 градусов, с отверстием и стружколомающими канавками на двух сторонах. Конструкция и размеры. – М.: Стандартинформ, 2006. – 9 с.

18 ГОСТ 2875–88. Меры плоского угла призматические. Общие технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1989. – 11 с.

19 ГОСТ 166–89 Штангенциркули. Технические условия. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.

20 Заслонов, В.Г. Организационно-экономическая часть дипломного проекта: учебное пособие / В.Г. Заслонов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 97 с.

21 ГОСТ 12.0.003–80. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 4 с.

22 ГОСТ 12.1.003–83. Шум. Общие требования безопасности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 13 с.

23 СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР	107

нормы. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 8 с.

24 СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация. Вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 14 с.

25 ГОСТ 12.4.002–97. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 15 с.

26 ГОСТ 12.4.024–76. Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 8 с.

27 ГОСТ 12.1.005–88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартиформ, 2008. – 50 с.

28 СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 20 с.

29 СанПиН 52.13330–2011. Естественное и искусственное освещение. – М.: Минрегион России, 2010. – 75 с.

Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	23.05.02.2019.011.00.00 ПЗ ВКР	108