

ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ



Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра «Транспортная техника»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
Заведующий кафедрой  
транспортной техники  
доктор технических наук  
\_\_\_\_\_Машеков С.А.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: «Разработка грузового автомобиля с погрузочно-разгрузочным устройством»

по специальности: 5В071300 - Транспорт, транспортная техника и технологии

Выполнил

Сейпаталиев Е.Е.

Рецензент

Научный руководитель

Кандидат технических наук

Кандидат технических наук

\_\_\_\_\_Есенгалиев М.Н.

\_\_\_\_\_Кульгильдинов Б.М.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020г.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ



Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра «Транспортная техника»

Сейпаталиев Ермек Ерланович

Разработка грузового автомобиля с погрузочно-разгрузочным  
устройством

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 5В071300 – Транспорт, транспортная техника и технологии

Алматы 2020 МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН  
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ



Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра «Транспортная техника»

5B071300 – Транспорт, транспортная техника и технологии

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
транспортной техники  
доктор технических наук

Машеков С.А.

« »

2020 г.

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Сейпаталиеву Ермеку Ерлановичу

Тема: Разработка грузового автомобиля с погрузочно-разгрузочным устройством

Утверждена приказом Ректора Университета № 762-б от “27” января 2020г.

Срок сдачи законченной работы “27” мая 2020г.

Исходные данные к дипломной работе: Существующая конструкция автомобиля с погрузочно-разгрузочным устройством.

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Обзор конструкций и анализ технических данных автомобиля;
- б) сбор и анализ патентной информации;
- в) выбор компоновочной схемы и её расчет.

Перечень графического материала: общий вид КАМАЗ 6510 – 1 лист формата А1, Рама манипулятора – 1 лист формата А1, сборочный чертеж – 1 лист формата А1, патент – 1 лист формата А1, рукоять общий вид - 1 лист формата А1, параметры манипулятора - 1 лист формата А1.

Рекомендуемая основная литература: из 11 наименований

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
Общая часть	Февраль	
Специальная часть	Март–Апрель	

**Подписи**

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу  
с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Общая часть	Кульгильдинов Б.М., кандидат технических наук		
Специальная труда	Кульгильдинов Б.М., кандидат технических наук		
Нормоконтролер	Козбагаров Р.А., кандидат технических наук, доцент		

Научный руководитель \_\_\_\_\_ Кульгильдинов Б.М.

Задание принял к исполнению обучающийся \_\_\_\_\_ Сейпаталиев Е.Е.

Дата " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 г.

## АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе ведется разработка грузового автомобиля с погрузочно-разгрузочным устройством, производится расчет и проектирование гидроманипулятора.

Предметом улучшения конструкции автомобиля является: модернизация техпомощи на базе автомобиля КамАЗ-6510 и оборудовании её манипулятором грузоподъемностью 3 тонны. Подобная модернизация позволит отказаться от услуг крана и значительно снизит издержки на ремонт техники.

Данная дипломная работа содержит: страниц -61, рисунков - 30, таблиц – 30, чертежей формата А1- 6, библиография - 11 наименований.

## **ANNOTATION**

In this thesis work, the development of a truck with a loading and unloading device is carried out, the calculation and design of a hydraulic manipulator is performed.

The subject of improvement of the car design is: modernization of technical assistance on the basis of the KAMAZ-6510 car and its equipment with a manipulator with a load capacity of 3 tons. Such an upgrade will allow you to refuse the services of a crane and significantly reduce the cost of repairing equipment.

This thesis contains: pages -61, tables – 30, drawings-30, drawings in A1 - 6 format, bibliography-11 titles.

## АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста тиеу-түсіру құрылғысы бар жүк автомобилін әзірлеу жүргізіледі, гидроманипуляторды есептеу және жобалау жүргізіледі.

Автомобиль конструкциясын жақсарту пәні: КамАЗ-6510 автомобилінің базасында Техникалық көмекті жаңғырту және жүк көтергіштігі 3 тонна манипулятормен жабдықтау болып табылады. Мұндай жаңғырту кран қызметінен бас тартуға мүмкіндік береді және техниканы жөндеуге кететін шығындарды едәуір азайтады.

Бұл дипломдық жұмыста: бет - 61, сурет - 30, кесте – 30, А1 - 6 форматты сызбалар, библиография -11 атаудан тұрады.

<b>СОДЕРЖАНИЕ</b>		
	<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	9
1	Концепция автомобиля	10
1.1.	Патентный обзор	11
2.	Проектирование и расчет механизмов гидроманипулятора	23
2.1.	Функции, требования, классификация и применяемость гидроманипулятора	23
2.2.	Анализ существующих конструкций	24
2.3.	Выбор компоновочной схемы и её расчет	29
2.4.	Расчет устойчивости автомобиля	35
2.5.	Расчет проектных параметров манипулятора	43
2.6.	Расчет нагрузок манипулятора	46
2.7.	Расчет шарнирных узлов	51
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	60
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b>	61



## ВВЕДЕНИЕ

Для строительства автодорог и трубопроводов, а также их содержания привлекается большое количество строительных и дорожных машин. Техника находится на значительном удалении от ремонтных баз в тяжёлых условиях. Поэтому для обеспечения высоких показателей производительности и надёжности необходимо своевременно и в полном объёме проводить работы планомерно предупредительного ремонта.

Обслуживание и ремонт немобильной техники проводится в основном в полевых условиях передвижных мастерских. Однако часто возникает необходимость внепланового ремонта. Зачастую из строя выходят сложные, крупные агрегаты (двигатель, коробка передач, главная передача). Такие поломки ведут за собой большие простои техники. Обычно неисправный агрегат меняется прямо в полевых условиях, но иногда приходится эвакуировать машину техпомощью на ремонтную базу. Замена крупных агрегатов в полевых условиях производится при помощи комплекта машин, состоящего из грузового автомобиля и автомобильного крана. Это вызывает ряд организационных затруднений, поскольку кран зачастую бывает задействован на других работах. Кроме того, выполнение такой работы двумя большими дорогостоящими машинами ведёт к неоправданным издержкам. Самостоятельно же техпомощь с имеющимся оборудованием выполнить демонтижно-монтажные работы крупных агрегатов не в состоянии.

Поэтому мной было принято решение о проведении модернизации техпомощи на базе автомобиля КамАЗ-6510 и оборудовании её манипулятором грузоподъёмностью 3 тонны. Подобная модернизация позволит отказаться от услуг крана и значительно снизит издержки на ремонт техники.

Всемерное повышение уровня механизации работ ведёт к повышению производительности комплектов машин и снижению сроков выполнения работ, а качественный ремонт и обслуживание техники являются залогом получения высокой прибыли.

## 1. Концепция автомобиля

Техническое обслуживание строительных и дорожных машин представляет собой комплекс работ, направленных на предупреждение отказов и неисправностей, поддержание техники в исправном состоянии и обеспечение надежной, безопасной и экологичной их эксплуатации. Техническое обслуживание включает следующие виды работ: контрольно-диагностические, крепежные, регулировочные, электротехнические, работы по системе питания, заправочные, смазочные и другие.

По периодичности, перечню и трудоемкости выполнения работы по ТО строительных и дорожных машин подразделяются на следующие виды: ежедневное техническое обслуживание (ЕО); периодическое техническое обслуживание (ТО), сезонное обслуживание (СО).

ЕО включает заправочные работы и контроль, направленный на каждодневное обеспечение безопасности и поддержание надлежащего внешнего вида техники. Большой частью ЕО выполняется механиком водителем перед выездом, в процессе эксплуатации или по возвращении на место стоянки.

ТО предусматривает выполнение определенного объема, работ через установленную эксплуатационную наработку техники.

СО предусматривает выполнение ТО и дополнительных операций по подготовке техники к зимней или летней эксплуатации согласно рекомендациям заводов-изготовителей.

Ремонт называется комплекс работ по устранению возникших неисправностей и восстановление работоспособности машины в целом или какого-либо из его агрегатов. Ремонт осуществляется по необходимости и включает контрольно-диагностические, разборочно-сварочные, слесарные, механические, сварочные, жестяницкие, окрасочные, электротехнические работы. Для качественного выполнения ТО и ТР управления механизаций оснащается необходимыми постами, устройствами, приборами, приспособлениями, инструментом и оснасткой, технической документацией.

Обслуживание и ремонт немобильной техники проводится в основном в полевых условиях передвижных мастерских. Однако часто возникает необходимость внепланового ремонта. Зачастую из строя выходят сложные, крупные агрегаты (двигатель, коробка передач, главная передача). Такие поломки ведут за собой большие простои техники. Обычно неисправный агрегат меняется прямо в полевых условиях, но иногда приходится эвакуировать машину техпомощью на ремонтную базу. Замена крупных агрегатов в полевых условиях производится при помощи комплекта машин, состоящего из грузового автомобиля и автомобильного крана. Это вызывает ряд организационных затруднений, поскольку кран зачастую бывает задействован на других работах. Кроме того, выполнение такой работы двумя большими дорогостоящими машинами ведёт к неоправданным издержкам.

Самостоятельно же техпомощь с имеющимся оборудованием выполнить демонтажно-монтажные работы крупных агрегатов не в состоянии /2/.

Специальные конструкторские бюро заводов ведут работу по дальнейшему совершенствованию серийно выпускаемых машин, повышению их технико-экономических показателей, улучшению условий труда машинистов.

В процессе модернизации выпускаемых машин повышается их грузоподъемность, в конструкциях широко применяют унифицированные механизмы, опорно-поворотные устройства, кабины и другие узлы.

Разрабатываются новые виды сменного рабочего оборудования, требующие для монтажа и демонтажа минимальных затрат ручного труда. Манипуляторы оборудуются гидравлическими выносными опорами.

Применение телескопических стрел с гидравлическим приводом подъема стрелы и выдвижением ее секций, а также гидравлических выносных опор, значительно сокращает время приведения кранов в рабочее состояние.

Представленный в данном проекте гидроманипулятор на базе шасси автомобиля КАМАЗ-6510 в достаточной мере отвечает требованиям современного производства, обладает высокой маневренностью, независимостью, эксплуатационной гибкостью, удачно сочетает требования грузоподъемного и транспортного механизмов.

Гидроманипулятор безопасен в работе и имеет удобное управление. Компактное решение механизма поворота, включая выдвижную систему стрелы, гидравлический привод подъема, повышают маневренность манипулятора и значительно экономят время на установочные, монтажные и демонтажные, и погрузочные работы.

Сочетание свойств погрузочного и транспортного механизмов делают данный манипулятор универсальным, позволяют значительно снизить затраты горюче-смазочных материалов, эксплуатационные расходы, потребность в водителях транспортных средств, достичь высокой механизации и производительности труда погрузочно-разгрузочных работ.

Такой гидроманипулятор выгодно отличается от существующих соответствующего класса, громоздких, сложных и неудобных в управлении и тем более от комплектов машин "Кран-Автомобиль" эксплуатационные затраты которых практически вдвое превышают затраты предлагаемой техпомощи с гидроманипулятором.

### 1.1. Патентный обзор

Изобретение относится к подъемно-транспортному машиностроению и может быть использовано в составе сортиментовозных и другого рода кранов-манипуляторов. Сортиментовозный кран-манипулятор содержит автомобильный тягач, грузовую платформу с защитной стенкой, кониками и расположенным в хвостовой части гидроманипулятором стрелового типа с челюстным захватом, силовую установку с приводом от коробки отбора

мощности тягача и элементы крепления платформы к раме шасси тягача. Тягач выполнен с откидывающейся вперед кабиной, между которой и стенкой платформы образован щелевой просвет для размещения приемно-опорного устройства челюстного захвата. В транспортном положении грузоподъемная стрела трансформирована в горизонтальную линию с ориентацией вдоль продольной оси крана и уложена на ложемент силовой перекладины стенки, а челюстной захват - в размещенную в щелевом просвете корзину приемно-опорного устройства, закрепленного на лицевой поверхности стенки. Технический результат заключается в оптимизации конструкции и улучшении эксплуатационных характеристик.

Изобретение относится к подъемно-транспортному машиностроению и касается специализированных кранов-манипуляторов стрелового типа, устанавливаемых на шасси серийных автомобильных тягачей и служащих для погрузки, перевозки и разгрузки длинномерных материалов, а также для загрузки, транспортировки и разгрузки прицепов, используемых в составе автопоездов, и других транспортных средств.

Заявляемый сортиментовозный кран-манипулятор может быть использован на различных рода предприятиях, преимущественно, лесных отраслей для погрузки, перевозки и разгрузки сортиментов (круглых распиленных бревен по ГОСТ 9462-88, 9463-88 длиной от 2 до 5,5 м), а также в строительстве, нефтегазовом и других комплексах народного хозяйства, где имеется потребность в транспортировке длинномерных материалов.

Имеется ряд аналогов изобретения как отечественной, так и зарубежной разработки.

Так, например, известен отечественный бортовой кран-манипулятор по а. с. N 651993, содержащий установленный на раме шасси бортового автомобиля между кабиной и кузовом гидроманипулятор со складывающейся многозвенной стрелой с грузозахватным органом (см. Описание изобретения к а. с. N 651993 СССР, МКИ. В 60 Р 1/50, за 1979 г.) Поворотная колонна гидроманипулятора в указанном кране смещена к одному из боковых бортов. Подъемная секция стрелы выполнена из двух, соединенных между собой при помощи вертикального цилиндрического шарнира, частей, зафиксированных шкворнем.

При переводе крана-манипулятора в транспортное положение вышеупомянутые части подъемной секции стрелы расфиксируют и разворачивают в горизонтальной плоскости под углом  $90^\circ$  по отношению друг к другу, а расположенные далее звенья складывают в вертикальной плоскости. В процессе указанной трансформации первую от поворотной колонны часть

Сущность изобретения поясняется чертежом, где изображены: на рисунок 1 - общий вид сортиментовозного крана-манипулятора в транспортном положении при незагруженной грузовой платформе;

Заявляемый сортиментовозный кран-манипулятор содержит серийный автомобильный тягач 1 с откидывающейся вперед кабиной 2, установленную на раме 3 его шасси 4 грузую платформу 5 с рамным основанием 6

лонжеронного типа, на котором закреплены защитная стенка 7, коники 8, расположенный в хвостовой части 9 гидроманипулятор 10 стрелового типа с челюстным захватом 11, силовая установка 12 с масляным баком 13, гидроарматурой 14, магистралями питания 15 и насосом 16, приводное звено 17 которого при помощи муфты 18 и карданного вала 19 кинематически соединено с выходным звеном 20 коробки отбора мощности 21 тягача, а также элементы крепления платформы к раме шасси последнего.

Грузовая платформа 5 смонтирована на раме 3 шасси тягача с образованием щелевого просвета 22 между его кабиной 2 и защитной стенкой 7. Величина указанного просвета несколько превышает ширину челюстного захвата 11 манипулятора.

Грузоподъемная стрела 23 манипулятора в транспортном положении как при порожней, так и при загруженной сортиментом 24 платформе трансформирована в горизонтальную линию с ориентацией вдоль продольной оси крана и уложена на ложемент 25 силовой перекладки 26 защитной стенки 7 выше верхнего среза боковых стоек 27 коников 8 при крайнем выдвинутом положении их, а челюстной захват 11 - в размещенную в щелевом просвете 22 вертикально ориентированную корзину 28 приемно-опорного устройства 29, жестко закрепленного на лицевой поверхности 30 стенки.

Указанное конструктивно-компоновочное решение несложно в реализации и сводит до одной количество схем укладки стрелового оборудования и рабочего органа манипулятора в транспортном положении как при порожнем рейсе, так и при перевозке груза с обеспечением хорошей поперечной балансировки машины. Оно позволяет без каких-либо затруднений использовать в составе сортиментовозных кранов-манипуляторов рассматриваемого типа серийные автомобильные тягачи с откидывающейся вперед кабиной водителя без преобразования (удлинения) рамы их шасси.

При выполнении порожнего рейса грузовая платформа крана оказывается полностью свободной и, при необходимости, может быть использована для размещения на ней различного рода грузов, попутно доставляемых к месту лесозаготовительных работ.

#### Формула изобретения

1. Сортиментовозный кран-манипулятор, содержащий серийный автомобильный тягач, установленную на раме его шасси грузовую платформу с рамным основанием лонжеронного типа, на которой закреплены защитная стенка, коники и гидроманипулятор стрелового типа с челюстным захватом, силовую установку с масляным баком, гидроарматурой, магистралями питания и насосом, а также элементы крепления платформы к раме шасси последнего, отличающийся тем, что тягач выполнен с откидывающейся вперед кабиной, грузовая платформа смонтирована на раме шасси последнего с образованием щелевого просвета между его кабиной и защитной стенкой, величина которого несколько превышает ширину челюстного захвата манипулятора, расположенного в хвостовой части грузовой платформы, грузоподъемная стрела последнего в транспортном положении как при порожней, так и при

загруженной сортирентами платформе трансформирована в горизонтальную линию с ориентацией вдоль продольной оси крана и уложена на ложемент силовой перекладки выше верхнего среза боковых стоек коников при крайнем выдвинутом положении их, а челюстной захват - в размещенную в щелевом просвете вертикально ориентированную корзину приемно-опорного устройства, жестко закрепленного на лицевой поверхности стенки, при этом приводное звено насоса при помощи муфты и карданного вала кинематически соединено с выходным звеном коробки отбора мощности тягача (рисунок 1).

2. Кран-манипулятор по п.1, отличающийся тем, что швеллерообразные лонжероны рамы шасси тягача в зоне размещения основания опорно-поворотного устройства манипулятора подкреплены распорными вкладышами, установленными во внутренние полости швеллеров с ограничением величины заглубления и оставлением проходов для прокладки бортовых электрогидрокоммуникаций.

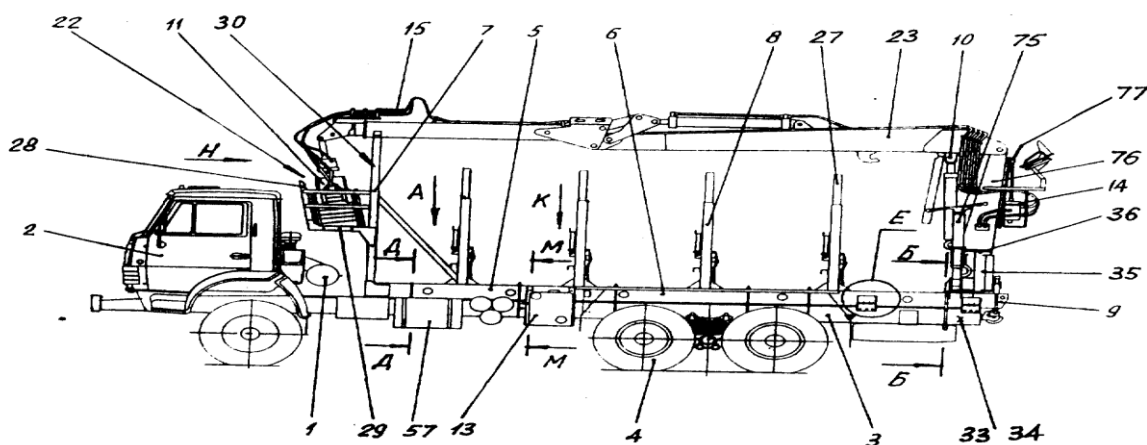


Рисунок 1 - Кран-манипулятор сортирентовозный

Изобретение относится к области подъемно-транспортного машиностроения и может быть использовано для погрузки, перевозки и разгрузки металлического лома. Кран-манипулятор металловозный содержит автомобильный тягач (1) и грузовую платформу с цельнометаллическим кузовом (9) корытообразной формы с задней двухстворчатой дверью, снабженной устройством запираания (11). В передней части грузовой платформы установлен гидроманипулятор с грузозахватным органом (22) грейферного типа. На устройстве запираания установлен ложемент для стрелы гидроманипулятора, которая в транспортном положении вытянута в одну линию вдоль грузовой платформы. Соотношение размеров кузова обеспечивает максимальную вместимость, его прочность. 11.

Изобретение относится к области подъемно-транспортного машиностроения и касается кранов-манипуляторов, формируемых на базе автомобильных тягачей и размещаемых на раме их шасси грузовых платформ с гидроманипуляторами, имеющими многозвенную поворотную стрелу с грузозахватным органом грейферного типа.

Заявляемый кран-манипулятор предназначен для погрузки, перевозки с мест заготовки до потребителя и разгрузки, преимущественно, металлического лома и может найти широкое применение на различные рода предприятиях, занимающихся сбором и переработкой лома черных и цветных металлов, а также в строительстве и других комплексах хозяйства страны, где имеется потребность в транспортировке материалов неупорядоченной пространственной структуры и размеров.

Из различного рода информационных источников известен ряд сходных с ними по существенным признакам аналогов как отечественной, так и зарубежной разработки.

В качестве транспортного средства в указанных известных кранах-манипуляторах, как правило, используются серийные автомобильные тягачи, а для транспортировки перевозимых материалов, в том числе и металлического лома, - обычные грузовые платформы в виде корытообразного кузова с откидными бортами небольшой высоты.

Погрузка и разгрузка перевозимых материалов в них осуществляется специализированными грузоподъемными механизмами в виде размещаемых непосредственно за кабиной либо в хвостовой части рамы шасси тягача гидравлических манипуляторов со стационарными, либо выносными аутригерами, маслобаком и многозвенной поворотной стрелой с грузозахватным органом грейферного типа (например, двухчелюстным зубьевым, многочелюстным и др.).

Большинство из них имеют в своем составе специализированную металловозную платформу, состоящую из надрамника и приваренного к нему цельнометаллического каркасно-панельного кузова корытообразной формы с задней двухстворчатой дверью, снабженной штанговым устройством запираения створок с рычажным механизмом перемещения штанги.

Однако и у этих известных кранов-манипуляторов в транспортном положении грузозахватный орган укладывается непосредственно на перевозимый материал.

Указанное техническое решение не совсем удачно. При соприкосновении подсоединенных с провисанием к грузозахватному органу гибких шлангов гидропривода с острыми кромками перевозимого лома может произойти их механическое повреждение.

Маслобак гидросистемы манипуляторов на кранах этих фирм располагают сбоку на внешней поверхности стенок лонжеронов рамы шасси тягача, либо надрамника грузовой платформы, или сверху на поперечных балках основания опорно-поворотного устройства гидроманипулятора.

При этом, в первом случае, он в какой-то мере находится в относительно неблагоприятных условиях эксплуатации (может забрасываться дорожной грязью при движении крана), а во втором - затрудняется обслуживание гидроманипулятора в указанной зоне.

Из числа известных аналогов изобретения ближайшим (прототипом) может служить ломовоз-самопогрузчик, изготовленный институтом ВНИИПИ

"Вторчермет" по кооперации с ЧССР (Публ. "Липецкий металлург" в газете "Златоустовский металлург" N 54(5572) за 22 июля 1989 г., стр 2).

В указанной публикации приведена фотография ломовоза-самопогрузчика, дающая достаточно полное представление о его внешнем (конструктивном) облике.

Известный ломовоз-самопогрузчик включает в себя серийный автомобильный тягач КАМАЗ, закрепленную на раме его шасси специализированную грузовую платформу с цельнометаллическим каркасно-панельным кузовом корытообразной формы и грузоподъемным механизмом.

Кузов грузовой платформы ломовоза-самопогрузчика имеет относительно небольшую высоту (по крайней мере, не превышающую верхний срез кабины тягача) и заднюю двухстворчатую дверь, снабженную штанговым устройством запираения створок с рычажным механизмом перемещения штанги.

В качестве грузоподъемного механизма в составе ломовоза-самопогрузчика использован гидроманипулятор с выносными аутригерами, маслобаком и многозвенной поворотной стрелой.

Стрела гидроманипулятора ломовоза-самопогрузчика снабжена грузозахватным органом в виде двухчелюстного многозубьевого грейфера.

Гидроманипулятор ломовоза-самопогрузчика размещен на лонжеронах рамы шасси тягача непосредственно за его кабиной. При этом сбоку гидроманипулятора, в районе расположения его опорно-поворотного устройства, стационарно закреплена лестница.

Она используется для подъема обслуживающего персонала на пост управления и спуска с него на землю, но по внешнему виду не совсем удачно вписывается в общую конструкцию ломовоза-самопогрузчика.

В транспортном положении грузозахватный орган гидроманипулятора этого ломовоза-самопогрузчика также укладывается на перевозимый материал. По этой причине и прототипу заявляемого крана-манипулятора, в принципе, присущи те же самые недостатки, которые имеются и у большинства из выше рассмотренных отечественных и зарубежных образцов такой техники.

Задачей настоящего изобретения является оптимизация конструкции и улучшение эксплуатационных характеристик заявляемого крана-манипулятора.

В соответствии с изобретением решение поставленной задачи достигается следующим образом.

В заявляемом кране-манипуляторе рабочая площадка для размещения грузового механизма сформирована на передней части надрамника грузовой платформы посредством соответствующего смещения кузова в направлении его хвостовой части.

Геометрические размеры кузова грузовой платформы и его фрагментов оптимизированы с учетом обеспечения необходимых пропорций по отношению к остальным составным частям крана-манипулятора (тягачу, грузоподъемному механизму), максимальной вместимости, прочности и улучшения его внешнего вида.



Штанговое устройство запираения створок двери кузова грузовой платформы выполнено силовым с замковыми механизмами оригинальной конструкции, исключающими расхождение створок в поперечном и продольном направлениях, и совмещено с ложементом для укладки стрелового оборудования гидроманипулятора в транспортном положении с предотвращением возможного повреждения его в процессе укладки (при опускании на ложемент), а также перевозимым грузом.

Механизм перемещения штанги устройства запираения створок двери кузова выполнен в виде двухплечего поворотного рычага с соотношением плечей, обеспечивающим запираение и отпираение двери вручную с приложением величины рабочего усилия к рукоятке рычага, регламентированной соответствующими нормативными документами.

Для исключения несанкционированного закрытия открытых створок двери в процессе эксплуатации крана-манипулятора, например, под действием ветра он снабжен быстродействующими устройствами фиксации их в крайнем открытом положении.

Держатель грузозахватного органа в заявляемом кране-манипуляторе выполнен в виде размещенного за кузовом грузовой платформы поворотного поводка, кинематически взаимодействующего с охватывающими его сомкнутыми зубьями грузозахватного органа.

Конструкция держателя предусматривает ограничение диапазона углового перемещения поводка, а также возможность фиксации его в крайних и любом из промежуточных положений с обеспечением амортизации в момент натяжения выдвиганием телескопического звена стрелы и при движении крана-манипулятора.

Маслобак гидроманипулятора размещен в щелевом просвете между основанием его опорно-поворотного устройства и передней стенкой кузова грузовой платформы. В результате он не забрасывается дорожной грязью и не мешает обслуживанию гидроманипулятора.

В качестве верхних элементов крепления центральной части надрамника грузовой платформы к раме шасси автомобильного тягача использованы консольно выступающие за внешние обводы надрамника хвостовики трубчатых поперечин, снабженные вертикально ориентированными сквозными отверстиями под стяжные болты с гайками, взаимодействующие с жестко закрепленными под ними на лонжеронах рамы шасси тягача кронштейнами Г - образного профиля.

При этом передние концы лонжеронов надрамника грузовой платформы снабжены локальными компенсаторами жесткости, сформированными посредством придания им соответствующей конфигурации.

Лестница для подъема обслуживающего персонала на пост управления гидроманипулятора и спуска с него выполнена двухсекционной с верхним, стационарно закрепленным на надрамнике грузовой платформы, и нижним откидным звеном. Она компактна и не портит внешний вид заявляемого крана-манипулятора.

В транспортном положении стрела гидроманипулятора посредством соответствующей трансформации вытянута в одну линию с ориентацией вдоль грузовой платформы в направлении двери кузова и уложена ее выносным звеном на ложемент штанги устройства запирания створок двери с обеспечением захвата поводка держателя зубьями грузозахватного органа и необходимого натяжения его выдвиганием телескопической секции стрелы.

Сущность изобретения поясняется чертежами.

На рисунок 1 изображен общий вид заявляемого крана-манипулятора (на основе серийного автомобильного тягача "Урал-4320-1912-30" повышенной проходимости с удлиненной базой, колесная формула 6х6) в транспортном положении.

Заявляемый кран-манипулятор металловозный содержит автомобильный тягач 1, закрепленную на раме 2 шасси 3 тягача при помощи разнесенных по его длине болтовых стяжных узлов 4, 5 и 6 грузовую платформу 7, состоящую из надрамника 8 и приваренного к нему цельнометаллического каркасно-панельного кузова 9 корытообразной формы с задней двухстворчатой дверью 10, снабженной штанговым устройством 11 запирания створок 12 и 13 с рычажным механизмом 14 перемещения штанги 15, расположенный за кабиной 16 тягача грузоподъемный механизм 17 в виде гидроманипулятора со стационарными либо выносными аутригерами 18, 19, маслобаком 20 и многозвенной поворотной стрелой 21 с грузозахватным органом 22 грейферного типа, ложемент 23 для укладки стрелы гидроманипулятора в транспортном положении, держатель 24 грузозахватного органа и стационарно закрепленную сбоку гидроманипулятора в районе его опорно-поворотного устройства 25 лестницу 26 для подъема обслуживающего персонала на пост управления 27 и спуска с него.

Рабочая площадка 28 для размещения грузоподъемного механизма 17 сформирована на передней части надрамника 8 грузовой платформы 7 посредством соответствующего смещения кузова 9 в направлении его хвостовой части.

Такое решение существенно упрощает монтаж гидроманипулятора 17 с маслобаком 20 и сводит к минимуму доработку шасси используемого в составе заявляемого крана-манипулятора серийного автомобильного тягача.

Соотношение размеров от нижнего среза 29 колес тягача 1 до верхнего среза 30 кузова 9 и шарнира 31 узла подсоединения стрелы 21 к поворотной стойке 32 гидроманипулятора 17 составляет порядка 1:1,15. Указанное соотношение обеспечивает максимальное использование рабочего пространства заявляемого крана-манипулятора по строительной высоте с оставлением необходимого просвета 33 между верхним срезом 30 кузова 9 грузовой платформы 7 и стрелой 21 гидроманипулятора 17 в транспортном положении, исключающего механический контакт ее с перевозимым в кузове 9 грузом.

Соотношение высоты и длины кузова 9 грузовой платформы 7 составляет порядка 1: 2,7. Указанное соотношение обеспечивает максимально возможную

вместимость кузова при оптимальности его пропорций по сравнению к остальным составным частям крана-манипулятора (тягачу, грузоподъемному механизму).

#### Формула изобретения

1. Кран-манипулятор металловозный, содержащий автомобильный тягач, закрепленную на раме шасси тягача при помощи разнесенных по его длине болтовых стяжных узлов грузовую платформу, состоящую из надрамника и приваренного к нему цельнометаллического каркасно-панельного кузова корытообразной формы с задней двухстворчатой дверью, снабженной штанговым устройством запираения створок с рычажным механизмом перемещения штанги, расположенный за кабиной тягача грузоподъемный механизм в виде гидроманипулятора со стационарными либо выносными аутригерами, маслобаком и многозвенной поворотной стрелой с грузозахватным органом грейферного типа, ложемент для укладки стрелы гидроманипулятора в транспортном положении, держатель грузозахватного органа и стационарно закрепленную сбоку гидроманипулятора, в районе его опорно-поворотного устройства, лестницу для подъема обслуживающего персонала на пост управления и спуска с него, отличающийся тем, что в нем рабочая площадка для размещения грузоподъемного механизма сформирована на передней части надрамника грузовой платформы посредством соответствующего смещения кузова в направлении его хвостовой части, а соотношение размеров от нижнего среза колес тягача до верхнего среза кузова и шарнира узла подсоединения стрелы к поворотной стойке гидроманипулятора, высоты и длины кузова, величины шага размещения вертикальных усилителей подкрепляющего каркаса на лицевой поверхности боковых бортов кузова и длины последних составляет соответственно  $1 : 1,15$ ;  $1 : 2,7$ ;  $1 : 9$ .

2. Кран-манипулятор металловозный по п.1, отличающийся тем, что в нем подкрепляющий каркас левой створки двери кузова смещен в сторону от линии разъема створок с оставлением на ее панели свободной полосы для укладки на нее правой створки при закрывании двери, а полость крайнего левого вертикального усилителя подкрепляющего каркаса правой створки двери выполнена открытой сверху и снизу и снабжена жестко закрепленными на боковых стенках вертикальными направляющими с ввернутыми в них пресс-масленками для подачи на рабочие поверхности их консистентной смазки (рисунок 2).

Изобретение относится к подъемно-транспортному машиностроению и касается кранов-манипуляторов для погрузки и транспортирования длинномерных грузов. Кран-манипулятор лесовозный содержит автомобильный тягач (1) с платформой, снабженной жестким ограждением кабины с грузовыми отсеками для хранения запасного колеса, инструмента и др. целей, аутригерами и силовым оборудованием, соединенным с коробкой отбора мощности двигателя тягача. На хвостовой части платформы расположен опорно-поворотный лесовозный коник. На хребтовых лонжеронах платформы между ограждением кабины и коником расположена гидравлическая

краноманипуляторная установка (2) с поворотной стрелой с грейфером. Подъемная и выносная секции стрелы в сложенном состоянии скреплены между собой. На переднем бампере тягача с превышением над его кабиной смонтирована силовая стойка (5) с ложементом для укладки и закрепления сложенной стрелы краноманипуляторной установки при транспортировке груза. При выполнении порожнего рейса сложенная стрела ориентирована в направлении хвостовой части платформы, опущена узлом шарнирного сочленения секций вниз на ложемент опорно-поворотного кронштейна и жестко закреплена в нем. Изобретение улучшает технико-эксплуатационные характеристики крана.

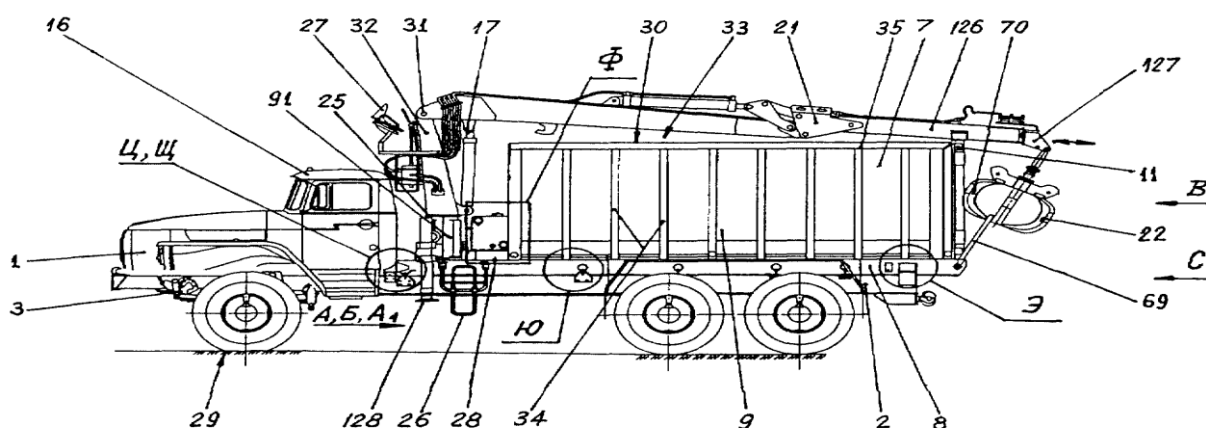


Рисунок 2. Кран-манипулятор металловозный

Изобретение относится к области подъемно-транспортного машиностроения и касается специализированных кранов-манипуляторов стрелового типа.

Заявляемый кран-манипулятор может быть использован на различные рода предприятиях, преимущественно, лесных отраслей хозяйства для самопогрузки-разгрузки и транспортировки хлыстовой древесины длиной до 23 м с мест лесозаготовки до потребителя по всем видам дорог и местности.

Формула изобретения

1. Кран-манипулятор лесовозный, содержащий автомобильный тягач с закрепленной на хребтовых лонжеронах его шасси специализированной платформой, снабженной установленным спереди жестким ограждением кабины каркасного типа с грузовыми отсеками для хранения запасного колеса и инструмента, приваренной к тыльной поверхности стенки ограждения, в средней по высоте зоне, горизонтально ориентированной полкой, и расположенным на хвостовой части платформы опорно-поворотным лесовозным коником с откидными боковыми стойками, размещенную за кабиной тягача гидравлическую краноманипуляторную установку с многозвенной поворотной стрелой, на конце которой подвешен двухчелюстной грейфер, аутригерами и силовым оборудованием с масляным баком, гидроарматурой, магистралями питания и насосом, приводное звено которого

при помощи муфты и карданного вала кинематически соединено с выходным звеном коробки отбора мощности двигателя тягача, смонтированную на переднем бампере тягача с превышением над его кабиной, силовую стойку арочного типа с ложементом для укладки сложенной стрелы краноманипуляторной установки при транспортировке груза, и подсоединенный к тягачу лесовозный прицеп-ропуск, отличающийся тем, что в нем краноманипуляторная установка смонтирована между ограждением кабины и опорно-поворотным лесовозным коником, подъемная и выносная секции стрелы установки в сложенном состоянии скреплены между собой посредством механизма автосцепки, а специализированная платформа снабжена двухпозиционным опорно-поворотным кронштейном с ложементом для укладки узла шарнирного сочленения подъемной и выносной секций, при этом в процессе транспортировки груза опущенный на ложемент силовой стойки узел шарнирного сочленения указанных секций жестко закреплен в ложементе при помощи быстросъемного механизма фиксации штыревого типа, а грейфер уложен на полку ограждения кабины тягача и неподвижно закреплен на ней механическим замковым устройством, а при выполнении порожнего рейса сложенная стрела краноманипуляторной установки ориентирована в направлении хвостовой части специализированной платформы тягача, опущена узлом шарнирного сочленения подъемной и выносной секций вниз на ложемент кронштейна и жестко закреплена в нем при помощи быстросъемного механизма фиксации штыревого типа с размещением грейфера на платформе вблизи основания опорно-поворотного устройства краноманипуляторной установки (рисунок 3).

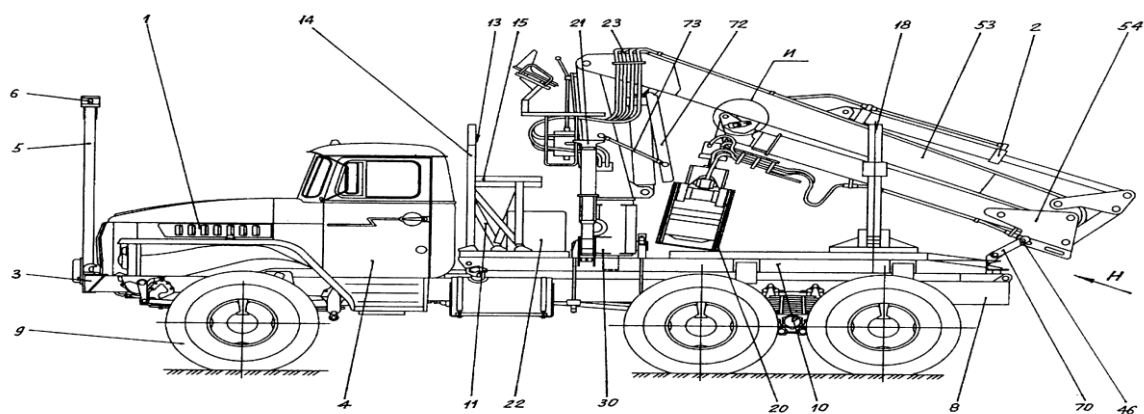


Рисунок 3 - Кран-манипулятор лесовозный

2. Кран-манипулятор лесовозный по п.1, отличающийся тем, что в нем аутригеры краноманипуляторной установки шарнирно подвешены на основании ее опорно-поворотного устройства с возможностью поворота в поперечном направлении на угол порядка  $180^\circ$  и кинематически соединены с основанием при помощи размещенных по их бокам упругодеформируемых элементов пружинного типа, снабженных механизмами блокировки разлета частей пружин в случае их разрушения (рисунок 4).

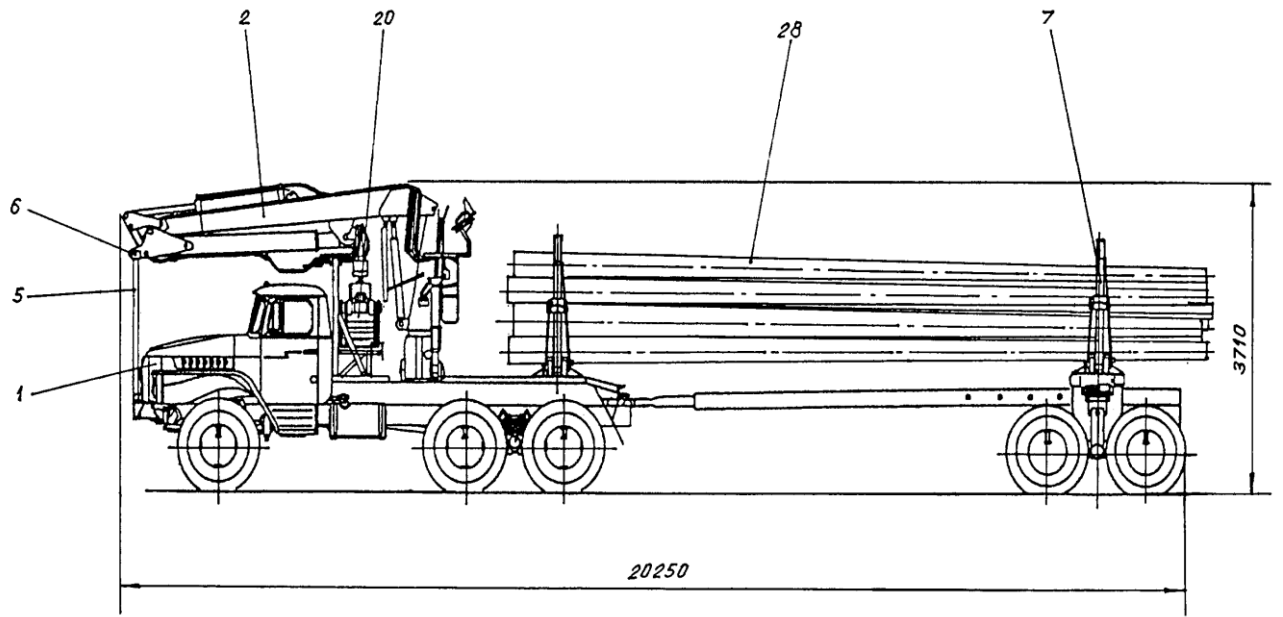


Рисунок 4 - Лесовоз

## 2. Проектирование и расчет механизмов гидроманипулятора

### 2.1. Функции, требования, классификация и применяемость гидроманипулятора

Гидроманипуляторы крановые, или крановые установки, представляют собой гидравлические манипуляторы кранового типа, грузоподъемность которых составляет от одной до девяти тонн. Такие гидроманипуляторы оснащены телескопической стрелой, вылет которой составляет от двух до двадцати семи метров, гидравлической лебёдкой, оборудованной тросом от пятидесяти до восьмидесяти метров и, кроме того, гидроманипуляторы оснащены четырьмя или двумя аутригерами. Гидроманипуляторы предназначены для монтирования, как правило, на мобильные платформы – обычно, на любое шасси иностранных и отечественных грузовых автомобилей или на плавсредства, но также могут использоваться для работы и в стационарных условиях.

Все гидроманипуляторы можно классифицировать по трем типам:

По грузоподъемности: грузоподъемность крано-манипуляторной установки бывает совершенно различна и делится на несколько типов:

- При транспортировке и перемещении грузов небольших масс обычно используются микрокраны-манипуляторы. Они справляются с грузами весом примерно до одной тонны.

- При необходимости перемещения или транспортировки груза больше одной тонны обычно используются краны-манипуляторы «средней» категории, например, на шасси КамАЗ. Он справляется с грузами от одной тонны до десяти.

- При транспортировке и перемещении грузов до тридцати тонн и даже свыше тридцати тонн у крана-манипулятора должна быть такая платформа, которая будет использоваться для него в качестве базы. Кроме того, в это случае кран-манипулятор может быть установлен на шасси, например, КамАЗ, которые имеют довольно большую грузоподъемность. КамАЗ при перемещении даже довольно больших грузов очень устойчив благодаря своему достаточно большому весу.

Тип конструкции рабочего оборудования гидроманипулятора:

- «Z» -образная конструкция — это такой тип кранов-манипуляторов, у которых конструктивная особенность позволяет располагать оборудование крана-манипулятора при транспортном положении за кабиной автомобиля, то есть, поперек рамы автомобиля.

- «L» -образная конструкция — это такой тип кранов-манипуляторов, которые располагаются при транспортном положении над кабиной водителя данного автомобиля или же над кузовом, то есть, вдоль рамы автомобиля, по ходу движения.

Тип базы для монтажа гидроманипулятора:

- седельный тягач — колонна крана-манипулятора расположена за кабиной водителя;
- бортовой автомобиль — колонна крана-манипулятора расположена, как правило, за кабиной водителя или же в конце бортовой платформы, так называемое, заднее расположение;
- гусеничный тягач;
- маломерное речное судно;
- стационарные технологические площадки.

## 2.2. Анализ существующих конструкций

В данной работе будут рассмотрены шасси базовых автомобилей КамАЗ-6510 и Урал-4320 для манипуляторов.

Эти модели достаточно хорошо обладают свойствами, необходимыми автомобилю-сортаментовозу: высокая проходимость, хороший дорожный просвет, высокая мощность двигателя (при установке на автомобиль КамАЗ-6510 германского двигателя KHD, В/F8L413), надежности автомобилей.

Основные габаритные размеры шасси автомобиля КамАЗ-6510 изображены на рисунке 5, шасси автомобиля Урал-4320 изображены на рисунке 6. Краткие технические характеристики автомобиля КамАЗ-6510 сведены в таблицу 1, автомобиля Урал-4320 сведены в таблицу 2.

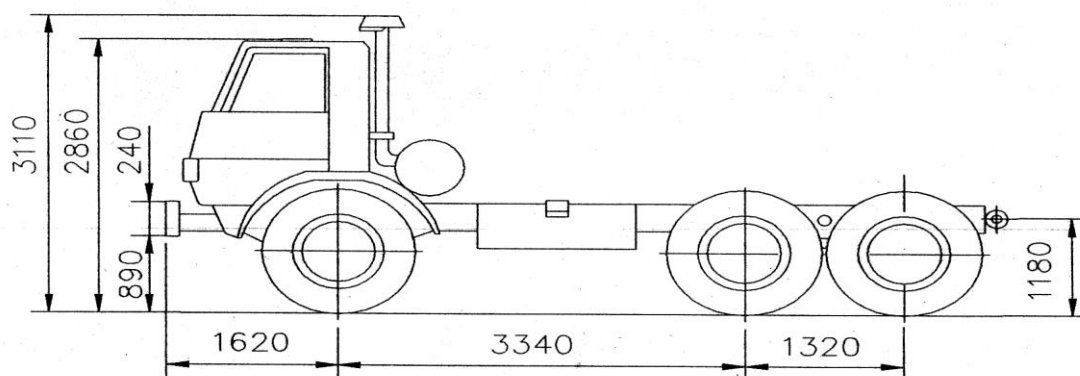


Рисунок 5 – Основные габаритные размеры автомобиля КамАЗ-6510

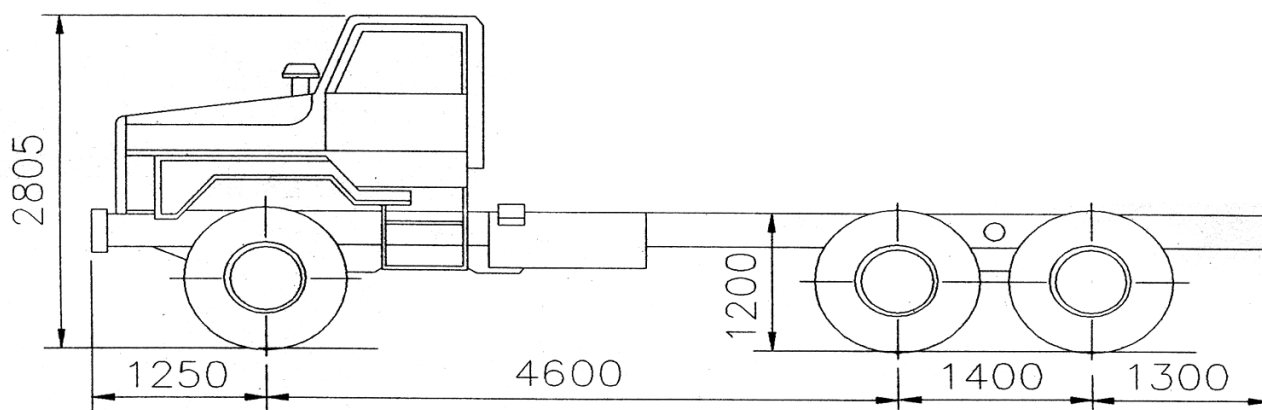


Рисунок 6 – Основные габаритные размеры автомобиля Урал-4320



Таблица 1 – Краткая техническая характеристика автомобиля-тягача КамАЗ-6510

Технические параметры	Значения
Двигатель, модель	КНД,В/Ф8Л413
Мощность двигателя, л.с.	260
Номинальный оборот коленвала, об/мин	2200
Номинальный крутящий момент, кгсм	84,6
Передаточные числа коробки передач:	
первая	6,57
вторая	4,78
третья	3,53
четвертая	2,61
пятая	1,86
шестая	1,35
седьмая	1,00
восьмая	0,75
КПД коробки передач	0,98
Передаточные числа раздаточной коробки:	
первая	1,692
вторая	0,917
КПД раздаточной коробки	0,98
Передаточное число главной передачи	7,22
КПД главной передачи	0,97
КПД трансмиссии	0,89
Технические параметры	Значения
База автомобиля, мм	4000
Межосевое расстояние задней тележки, мм	1320
Высота платформы, мм	1180
Расстояние от оси задней тележки до центра тяжести автомобиля, мм	1900
Высота центра тяжести автомобиля, мм	1180
Колея автомобиля, мм	
передний мост	2026
задняя тележка	1850
Шины	280-508Р
Снаряженная масса, кг	10800
Допустимая полная масса, кг	23000
Расход топлива при скорости 40 км/ч, л/100 км	36
Ресурс автомобиля, тыс. км	200

Таблица 2 – Краткая техническая характеристика автомобиля-тягача Урал-4320

Технические параметры	Значения
Двигатель, модель	ЯМЗ-238
Мощность двигателя, л.с.	240
Номинальный оборот коленвала, об/мин	2100
Номинальный крутящий момент, кгсм	81,9
Передаточные числа раздаточной коробки:	
первая	2,15
вторая	1,30
КПД коробки передач	0,96

Продолжение таблицы 2

Передаточные числа коробки передач:	
первая	5,61
вторая	1,89
третья	1,64
четвертая	1,00
пятая	0,723
КПД раздаточной коробки	0,96
Передаточное число главной передачи	7,32
КПД главной передачи	0,96
КПД трансмиссии	0,82
Технические параметры	Значения
База автомобиля, мм	5300
Межосевое расстояние задней тележки, мм	1400
Высота платформы, мм	1200
Расстояние от оси задней тележки до центра тяжести автомобиля, мм	2200
Высота центра тяжести автомобиля, мм	1150
Колея автомобиля, мм	
передний мост	2000
задняя тележка	2000
Шины	370-508
Снаряженная масса, кг	10450
Допустимая полная масса, кг	21200
Расход топлива при скорости 40 км/ч, л/100 км	29
Ресурс автомобиля, тыс. км	175

*Обзор гидроманипуляторов для техпомощи.*

В данной работе рассматриваются модели зарубежных манипуляторов и новые модели отечественных манипуляторов Синегорец-74 и МУГ-70.

Манипулятор F65S Loclift нашел довольно широкое применение в лесной промышленности Дальнего Востока. Он отличается очень высокой степенью надежности, но недостатком в условиях Казахстана может служить достаточно высокая стоимость. Манипуляторы Синегорец-75 и МУГ-70 имеют низкую стоимость по сравнению с F65S Loclift, они менее надежны.

Основные габаритные размеры и схема выноса манипулятора F65S Loclift представлены на рисунке 7 и рисунке 8.

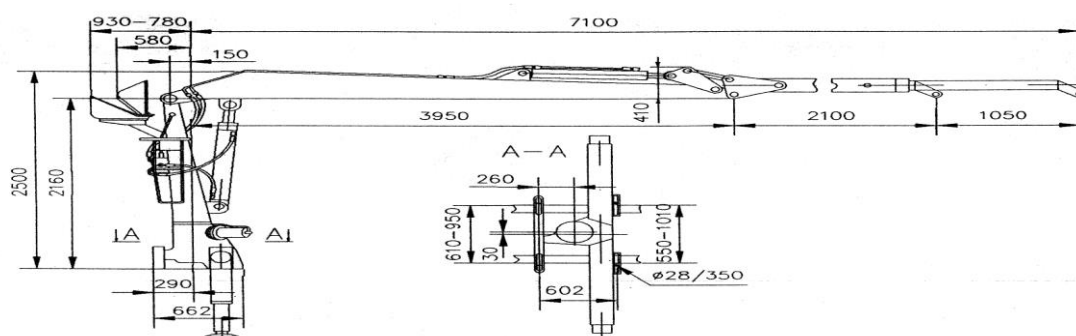


Рисунок 7 – Габаритные размеры манипулятора F65S Loclift

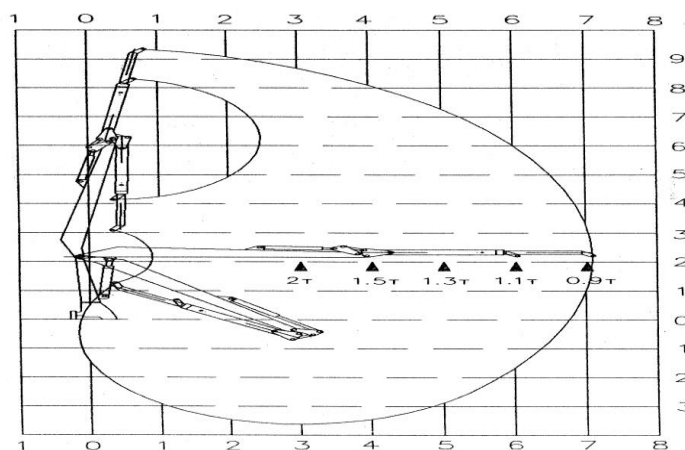


Рисунок 8 – Схема выноса манипулятора F65S Loclift

Технические данные манипулятора F65S Loclift представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические данные манипулятора F65S Loclift

Наименование параметра	Значение
Подъемный момент (17 МПа), кНм	
брутто	90
нетто	65
Максимальный вылет, мм	7100
Ход удлинения стрелы, мм	1050
Момент поворота, мм	16
Угол поворота, град.	415
Высота: днище – верхний шарнир стойки, мм	2160
Транспортная высота, мм	2500
Транспортная ширина, мм	
аутригеры SY	2400
аутригеры ET	2480
Расстояние между аутригерами, мм	
аутригеры SY	2660
аутригеры ET	2240
Вес без масла и грейфера, кг	1550
Рекомендации на насос:	
рабочее давление, МПа	17
производительность, л/мин	50-70
потребляемая мощность, кВт	20
<b>Снаряжение</b>	
Ротаторы	F3      MR6F      GV10
Угол поворота, град.	300      не ограничен
Поворотный момент, кНм/МПа	1,14/15      1,19/17      1,7/17
Вес, кг	35      57      50
Грейферы для древесины	U35      U50      A35      A50
Усилие челюстей, кН	14      12      14,5      12,8
Поперечное сечение, м <sup>2</sup>	0,35      0,5      0,35      0,5
Вес, кг	210      220      190      200

Основные габаритные размеры и схема выноса манипулятора Синегорец-75 представлены на рисунке 9 и рисунке 10.

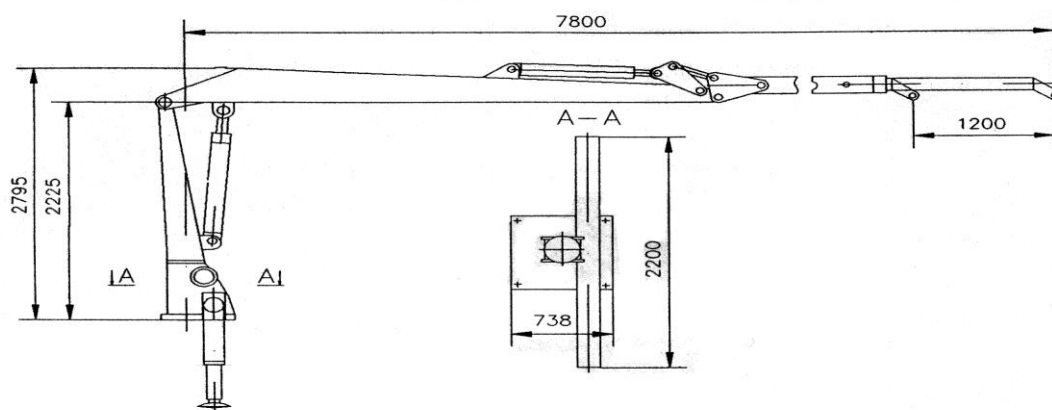


Рисунок 9 – Габаритные размеры манипулятора Синегорец-75

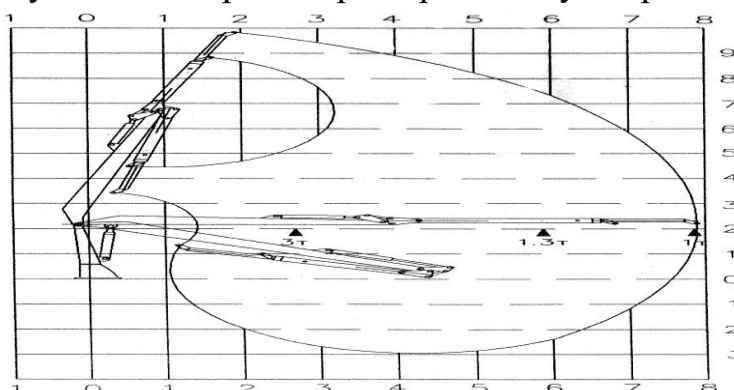


Рисунок 10 – Схема выноса

Технические данные манипулятора Снегорец-75 представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические данные манипулятора Синегорец-75.

Наименование параметра	Значение
Подъемный момент, кНм	75
Максимальный вылет, мм	7800
Ход удлинения стрелы, мм	1200
Момент поворота, кНм	16
Угол поворота, град.	380
Транспортная высота, мм	2975
Транспортная ширина, мм	2300
Расстояние между аутригерами, мм	2500
Вес без масла и грейфера, кг	1950
Требования к насосу:	
рабочее давление, МПа	19
производительность, л/мин	34-60
потребляемая мощность, кВт	25
<b>Снаряжение</b>	
Ротатор:	
Угол поворота, град.	280
Вес, кг	40,5
Грейфер:	
Поперечное сечение, м <sup>2</sup>	0,5/0,35
Вес, кг	305/200

### 2.3. Выбор компоновочной схемы и её расчет

*Расчет центра тяжести манипулятора.*

Расчетная схема манипулятора изображена на рисунке 13.

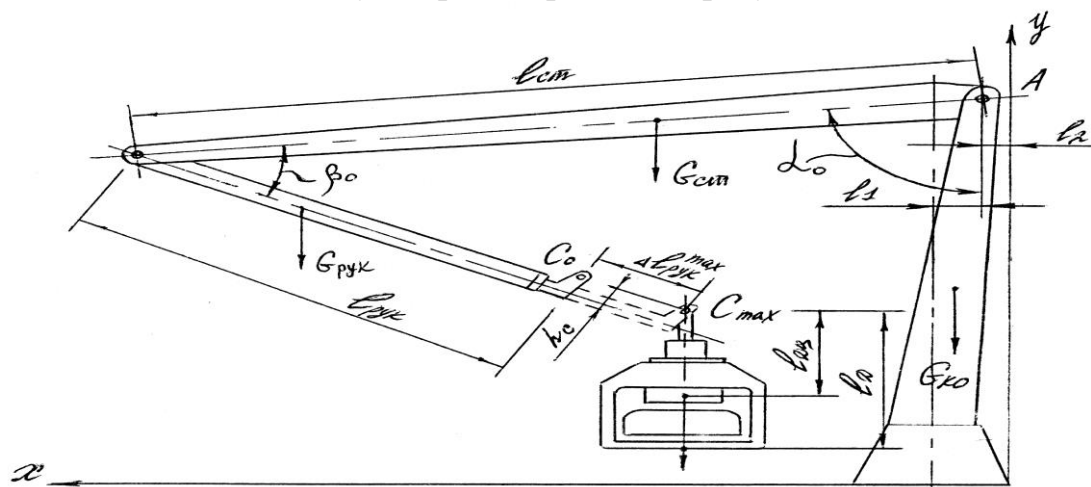


Рисунок 13 – Исходные данные для расчета центра тяжести манипулятора

Исходные данные для расчета:

- 1)  $X_A, Y_A$  - координаты точки А;  $X_{Ac}, Y_{Ac}$  - координаты центра тяжести колонны;  $G_{ко}$  - сила тяжести колонны, кН;
- 2)  $\alpha_0$  - минимальный угол подъема стрелы;  $\alpha_{max}$  - максимальный угол подъема стрелы;  $l_{cm}$  - длина стрелы, мм;  $l_{\delta c}$  - расстояние от точки А до центра тяжести стрелы, мм;  $G_{cu}$  - сила тяжести стрелы, кН;
- 3)  $\beta_0$  - минимальный угол выноса рукояти;  $\beta_{max}$  - максимальный угол выноса рукояти;  $l_{рук}^0$  - минимальная длина рукояти (удлиннитель задвинут), мм;  $l_{рук}^{max}$  - максимальная длина рукояти (удлиннитель выдвинут), мм;  $l_{cu}^0$  - расстояние от точки В до центра тяжести рукояти при задвинутом удлинителе, мм;  $l_{cu}^{max}$  - расстояние от точки В до центра тяжести рукояти при выдвинутом удлинителе, мм;  $G_{рук}$  - сила тяжести рукояти, кН;  $h_c$  - высота от оси рукояти до точки С, мм;  $k$  - коэффициент, равный отношению изменения расстояния  $l_{cu}$  к изменению расстояния  $l_{рук}$ ;
- 4)  $l_d$  - расстояние от точки С до нижней точки грейфера, мм;  $l_{дц}$  - расстояние от точки С до центра тяжести грейфера, ротатора и подвески, мм;  $G_з$  - сила тяжести захвата (грейфера), кН;  $\pm \delta$  - угол отклонения захвата (отклонение в сторону начала координат – знак "минус").

*Расчет центра тяжести стрелы.*

Расчет сводится к определению координат центра тяжести стрелы и определению координат центра тяжести точки В для возможности построения



Координаты точки С определяются по формулам

$$X_C = X_A + AC \cdot \sin[(\alpha_0 + \Delta\alpha) - \Theta],$$

$$Y_C = Y_A + AC \cdot \cos[(\alpha_0 + \Delta\alpha) - \Theta],$$

где  $AC = \sqrt{BC^2 + l_{cm}^2 - 2BC \cdot l_{cm} \cdot \cos[(\beta_0 + \Delta\beta) - \gamma]}$ , здесь

$$BC = \sqrt{h_c^2 + (l_{рук}^0 + \Delta l_{рук})^2}, \quad \gamma = \arctg \frac{h_c}{l_{рук}^0 + \Delta l_{рук}};$$

$$\Theta = \arccos \frac{l_{cm}^2 + AC^2 - BC^2}{2 \cdot l_{cm} \cdot AC}.$$

Координаты центра тяжести рукояти манипулятора определяются по формулам

$$X_{цу} = X_A + r_c \cdot \sin[(\alpha_0 + \Delta\alpha) - \Theta'],$$

$$Y_{цу} = Y_A + r_c \cdot \cos[(\alpha_0 + \Delta\alpha) - \Theta'],$$

где  $r_c = \sqrt{l_{cu}^2 + l_{cm}^2 - 2l_{cu} \cdot l_{cm} \cdot \cos(\beta_0 + \Delta\beta)}$ ;  $\Theta = \arccos \frac{l_{cm}^2 + r_c^2 - l_{cu}^2}{2 \cdot l_{cm} \cdot r_c}$ ,

здесь  $l_{cu} = l_{cu}^0 + k \cdot \Delta l_{рук}$ .

Расчет координат центра тяжести клещевого захвата.

Расчет сводится к определению координат нижней точки захвата Д и координат центра тяжести клещевого захвата с ротатором.

Расчетная схема представлена на рисунке 2.4.

Координаты точки Д определяются по формулам

$$X_D = X_C + l_D \cdot \sin \delta,$$

$$Y_D = Y_C + l_D \cdot \cos \delta.$$

Координаты точки центра тяжести захвата определяются по формулам

$$X_{дц} = X_C + l_{дц} \cdot \sin \delta,$$

$$Y_{дц} = Y_C + l_{дц} \cdot \cos \delta.$$

*Изменение координат центра тяжести манипулятора.*

При вращении колонны манипулятора вокруг своей оси необходимо вводить третью пространственную координату Z и делать поправку в других координатах центра тяжести из-за их изменения в результате этого вращения.

Расчетная схема изображена на рисунке

Координаты точки А при повороте колонны на угол  $\varphi$  определяются по формулам

$$X_A = X_A^0 + l_1 - l_1 \cos \varphi,$$

$$Z_A = l_1 \sin \varphi,$$

$$Y_A = Y_A^0.$$

Схема изменения координат при вращении колонны показана на рисунке 16.

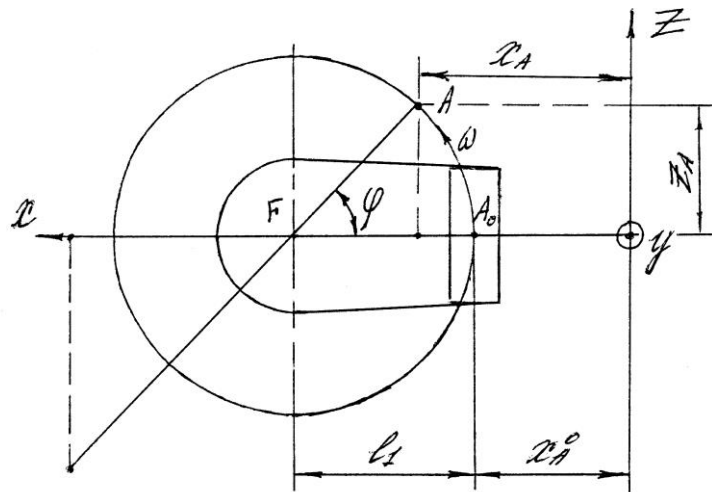


Рисунок 16 – Схема изменения координат при вращении колонны

*Расчет центров тяжести манипуляторов.*

Производится расчет центров тяжести манипуляторов F65S Loclift, Синегорец-75 и МУГ-70 в транспортном положении и в положении при движении техпомощи с грузом.

Исходя из расчетов центров тяжести элементов манипулятора определяется центр тяжести всего манипулятора по формулам

$$X_m^i = \frac{\sum_{i=1}^g (X_i \cdot M_i)}{\sum_{i=1}^g M_i}, Y_m^i = \frac{\sum_{i=1}^g (Y_i \cdot M_i)}{\sum_{i=1}^g M_i},$$

$$X_m^j = \frac{\sum_{j=1}^g (X_j \cdot M_j)}{\sum_{j=1}^g M_j}, Y_m^j = \frac{\sum_{j=1}^g (Y_j \cdot M_j)}{\sum_{j=1}^g M_j},$$

где  $X_i, Y_i$  - координаты центров тяжести элементов манипулятора в положении "с грузом";

$M_i = M_j$  - массы элементов манипулятора;

$X_j, Y_j$  - координаты центров тяжести элементов манипулятора в положении "без груза";

$X_m^i, Y_m^i$  - координаты центра тяжести манипулятора в положении "с грузом";

$X_m^j, Y_m^j$  - координаты центра тяжести манипулятора в положении "без груза".

Расчет производится по приведенному выше алгоритму. Исходные данные и результаты расчетов центра тяжести манипулятора F65S Loclift сведен в таблицу 5; результаты расчетов центра тяжести манипулятора Синегорец-75 сведены в таблицу 6; результаты расчета центра тяжести манипулятора МУГ-70 сведены в таблицу 7.



Таблица 5 – Расчет центра тяжести манипулятора F65S Loclift

Наименование элемента манипулятора	Параметры				
	$X_i$ , мм	$Y_i$ , мм	$M_i$ , кг	$X_j$ , мм	$Y_j$ , мм
Захват	1355	1700	200	1235	223
Ротатор	1820	1700	57	1510	570
Рукоять	2665	1800	95	2905	400
Стрела	1890	2300	180	1735	1445
Колонна	400	1000	370	400	1000
Основание	340	150	500	340	150
Аутригеры	170	700	140	170	700
Гидроцилиндр стрелы	570	1360	100	515	1120
Гидроцилиндр рукояти	3470	1590	80	3440	2370
Манипулятор	960	1065	1722	925	705

Таблица 6 – Расчет центра тяжести манипулятора Синегорец-75

Наименование элемента манипулятора	Параметры				
	$X_i$ , мм	$Y_i$ , мм	$M_i$ , кг	$X_j$ , мм	$Y_j$ , мм
Захват	4260	2700	265	1340	285
Ротатор	4795	2700	60	1640	735
Рукоять	4450	2680	120	3155	515
Стрела	2050	2975	225	1880	1870
Колонна	445	1295	465	445	1295
Основание	380	195	630	380	195
Аутригеры	190	700	175	190	700
Гидроцилиндр стрелы	635	1760	125	575	1450
Гидроцилиндр рукояти	3780	2320	100	3735	3065
Манипулятор	1550	1460	2165	1000	895

Таблица 7 – Расчет центра тяжести манипулятора МУГ-70

Наименование элемента манипулятора	Параметры				
	$X_i$ , мм	$Y_i$ , мм	$M_i$ , кг	$X_j$ , мм	$Y_j$ , мм
Захват	3810	2100	320	1200	220
Ротатор	4280	2100	50	1460	560
Рукоять	3685	2000	160	2610	390
Стрела	1605	2260	310	1470	1420
Колонна	260	1070	580	260	1070
Основание	245	285	765	245	285
Аутригеры	350	790	215	350	790
Гидроцилиндр стрелы	450	1395	120	405	2740
Гидроцилиндр рукояти	3420	1800	100	3345	2315
Манипулятор	1270	1200	2620	810	830

*Компоновка манипулятора.*

Схема компоновки представлена на рисунке 17.

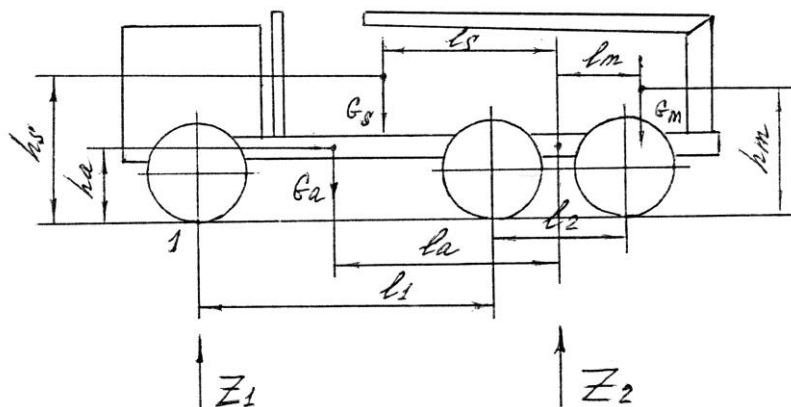


Рисунок 17 – Схема компоновки техпомощи

Центры тяжести манипуляторов приведены к оси задней тележки для удобства расчетов. Параметры базовых автомобилей приведены по данным Дальлестехцентра и согласно /1/.

Рассматривая сумму моментов относительно точки 1, получаем формулу для определения реакции дороги на заднюю тележку техпомощи

$$Z_2 = \frac{G_a(l_1 + 0,5l_2 - l_a) + G_s(l_1 + 0,5l_2 - l_s) + G_m(l_1 + 0,5l_2 - l_m)}{l_1 + 0,5l_2}.$$

Рассматривая сумму моментов относительно точки 2, получаем формулу для определения реакции дороги на переднюю ось техпомощи

$$Z_1 = \frac{G_a \cdot l_a + G_s \cdot l_s - G_m \cdot l_m}{l_1 + 0,5l_2}.$$

Параметры компоновки для четырех манипуляторов и результаты расчетов сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Параметры компоновок техпомощи

Параметры компоновок	Техпомощи			
	КамАЗ F65S Loclift	КамАЗ Синегорец-75	КамАЗ МУТ-70	Урал Синегорец-75
$l_1$ , мм	3340	3340	3340	4600
$l_2$ , мм	1320	1320	1320	1400
$G_a$ , кг	10800	10800	10800	10450
$G_s$ , кг	10300	9900	9400	8450
$G_m$ , кг	1900	2300	2800	2300
$l_a$ , мм	1900	1900	1900	2200
$l_s$ , мм	700	940	700	400
$l_m^i$ , мм	1600	1400	1300	1000
$l_m^j$ , мм	1650	1950	1800	1550

Продолжение таблицы 8

$h_a$ , мм	1180	180	1180	1150
$h_s$ , мм	2450	2450	2450	2400
$h_m^i$ , мм	2460	2850	2600	2800
$h_m^j$ , мм	2100	2300	2230	2250
$Z_1^i$ , кг	6160	6650	5865	4540
$Z_2^i$ , кг	16840	16350	17135	16660
$Z_1^j$ , кг	4360	4000	3870	3665
$Z_2^j$ , кг	8340	9100	9730	9085

*Расчет центров тяжести манипулятора.*

Для упрощения дальнейших расчетов будет целесообразно рассчитать координаты центров тяжести техпомощи в груженом и порожнем положениях.

Расчет производится по формулам

$$X_c = \frac{G_a \cdot l_a + G_s \cdot l_s - G_m \cdot l_m}{G_a + G_s + G_m},$$

$$Y_c = \frac{G_a \cdot h_a + G_s \cdot h_s - G_m \cdot h_m}{G_a + G_s + G_m}.$$

Исходные данные для расчета приведены в таблице 8. Результаты расчетов координат центров тяжести техпомощи представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Координаты центров тяжести манипулятор

Манипулятор	Координаты			
	С грузом		Без груза	
	$X_c^i$ , мм	$Y_c^i$ , мм	$X_c^j$ , мм	$Y_c^j$ , мм
КамАЗ F65S Loclift	1070	1855	1370	1320
КамАЗ Синегорец-75	1155	1895	1225	1375
КамАЗ МУГ-70	1020	1870	1140	1395
Урал Синегорец-75	1135	1825	1525	1350

#### 2.4. Расчет устойчивости автомобиля

*Расчет продольной статической устойчивости техпомощи на уклоне.*

Схема сил для определения максимального уклона для данного положения техпомощи представлена на рисунке 20.

Рассмотрим сумму моментов относительно точки А; принимая во внимание, что в момент отрыва переднего колеса  $Z_1 = 0$ .

Тогда:  $G_c \cdot \cos \alpha \cdot X_c - G_c \sin \alpha \cdot Y_c = 0$

Из этого уравнения получается формула для определения максимального угла

$$\alpha_{max}^{cm} = \arctg \frac{X_c}{Y_c}.$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Предельные углы уклона для статического положения

Параметры	Манипулятор			
	КамАЗ F65S Loclift	КамАЗ Синегорец-75	КамАЗ МУГ-70	Урал Синегорец-75
$\alpha_{max i}^{cm}$ , град.	30	31,4	28,6	31,9
$\alpha_{max j}^{cm}$ , град.	46,1	41,7	39,3	48,5

Расчет максимального угла подъема при движении техпомощи на уклоне.

Схема сил для определения максимального угла подъема для данного положения техпомощи представлена на рисунке 18.

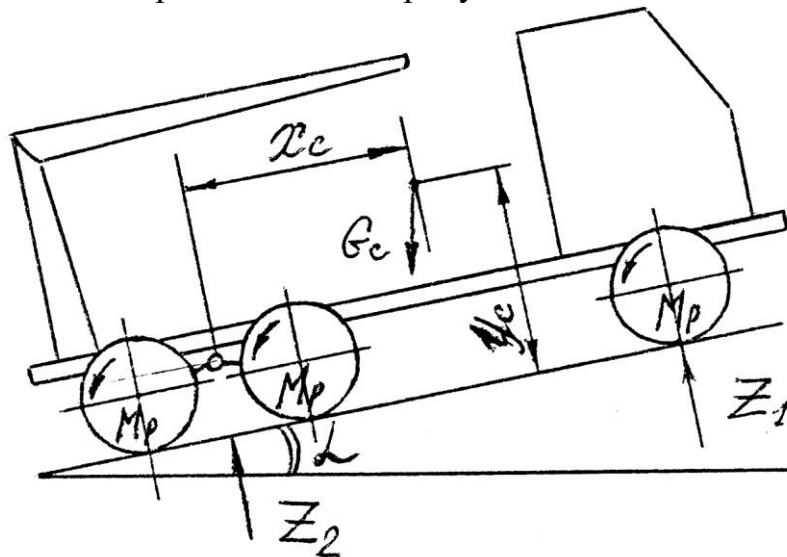


Рисунок 18– Схема сил для продольной устойчивости техпомощи при движении на подъем

Рассмотрим систему моментов относительно точки А, принимая во внимание что  $Z_1 = 0$  в момент отрыва колеса.

Тогда

$$G_c \cdot \cos \alpha \cdot X_c - G_c \sin \alpha \cdot Y_c - M_p = 0,$$

где  $M_p$  - реактивный момент, кгсм.

Реактивный момент рассчитывается по формуле

$$M_p = G \cos \alpha \cdot f \cdot r_k + G \sin \alpha \cdot r_k,$$

где  $f = 0,04$  - коэффициент трения качения;

$r_k$  - динамометрический радиус колеса, м.

Динамический радиус колеса определяется по формуле

$$r_k = 0,93...0,97 \left( \frac{\alpha_w}{2} + h_w \right),$$

где  $\alpha_w$  - внутренний диаметр шины, м;

$h_w$  - высота обода шины, м.

Здесь  $h_w = b_w$ , где  $b_w$  - ширина шины, м.

Тогда максимальный угол подъема определяется по формуле

$$\alpha_{max}^{дин} = arctg \frac{X_c - f \cdot r_k}{Y_c + r_k}.$$

Предельный угол подъема ограничивается сцеплением движителя с почвой и определяется по формуле

$$\alpha_{max}^{\varphi} = arctg(\varphi - f),$$

где  $\varphi = 0,5$  - коэффициент сцепления колес с грунтовой дорогой.

Предельный угол подъема ограничивается мощностью движителя и определяется по формуле

$$\alpha_{max}^{Ne} = arcsin \frac{P_0 \cdot G - \sqrt{S^2 + G^2 - P_0^2}}{S^2 + G^2},$$

где  $P_0$  - касательная сила тяги, кгс;

$S$  - суммарная сила сопротивления движению машины, кгс.

Касательная сила тяги определяется по формуле

$$P_0 = \frac{Me \cdot i_{одш} \cdot \eta_m}{r_k}, \quad (1)$$

где  $Me$  - эффективный крутящий момент на валу двигателя, кгсм;

$i_{одш}$  - общее передаточное число трансмиссии;

$\eta_m$  - КПД трансмиссии.

Суммарная сила сопротивления движению техпомощи определяется по формуле

$$S = G \cos \alpha \cdot f.$$

Необходимые исходные данные и результаты вычисления представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Предельные углы подъема в динамике

Параметры	Техпомощи			
	КамАЗ F65S Loclift	КамАЗ Синегорец-75	КамАЗ МУГ-70	Урал Синегорец-75
$r_k$ , м	0,507	0,507	0,507	0,592
$\alpha_{max i}^{дин}$ , град.	24	25,3	22,8	24,7
$\alpha_{max j}^{дин}$ , град.	36,5	32,6	30,5	37,7
$\alpha_{max}^{\varphi}$ , град.	29,3	29,3	29,3	29,3
$P_0$ , кгс	11919	11919	11919	10016

Продолжение таблицы 11

$S_i$ , кгс	883	883	883	814
$S_j$ , кгс	488	503	522	490
$\alpha_{max i}^{Ne}$ , град.	30	30	30	26
$\alpha_{max j}^{Ne}$ , град.	67,5	63,2	58,9	49,5

Расчет поперечной устойчивости техпомощи в транспортном положении на склоне.

Расчетная схема сил для определения минимального угла склона для данного положения техпомощи представлена на рисунке 19.

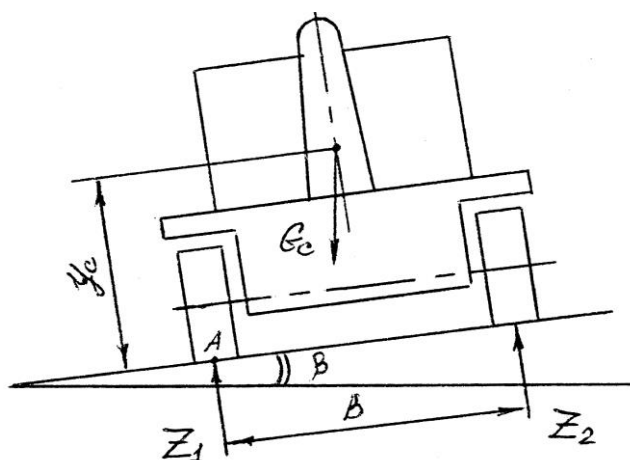


Рисунок 19 – Схема сил для определения поперечной устойчивости в транспортном положении

Рассмотрим сумму моментов относительно точки А, принимая во внимание, что в момент отрыва колеса  $Z_2 = 0$ .

$$\text{Тогда: } G_c \cos \beta \cdot \frac{B}{2} = G_c \sin \beta \cdot \gamma_c.$$

Отсюда максимальный угол склона определяется по формуле

$$\beta_{max} = \arctg \frac{0,5B}{\gamma_c}.$$

Результаты расчета максимального угла для различных видов компоновки техпомощи представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет поперечной устойчивости в транспортном положении

Параметры	Техпомощи			
	КамАЗ F65S Loclift	КамАЗ Синегорец-75	КамАЗ МУГ-70	Урал Синегорец-75
$B$ , м	1,85	1,85	1,85	2
$\beta_{max}^i$ , град.	26,5	26	26,3	28,7
$\beta_{max}^j$ , град.	35	33,9	33,6	36,5

Расчет устойчивости техпомощи с максимальным вылетом манипулятора в сторону.

Расчетная схема сил, действующих на техпомощь представлена на рисунке 20.

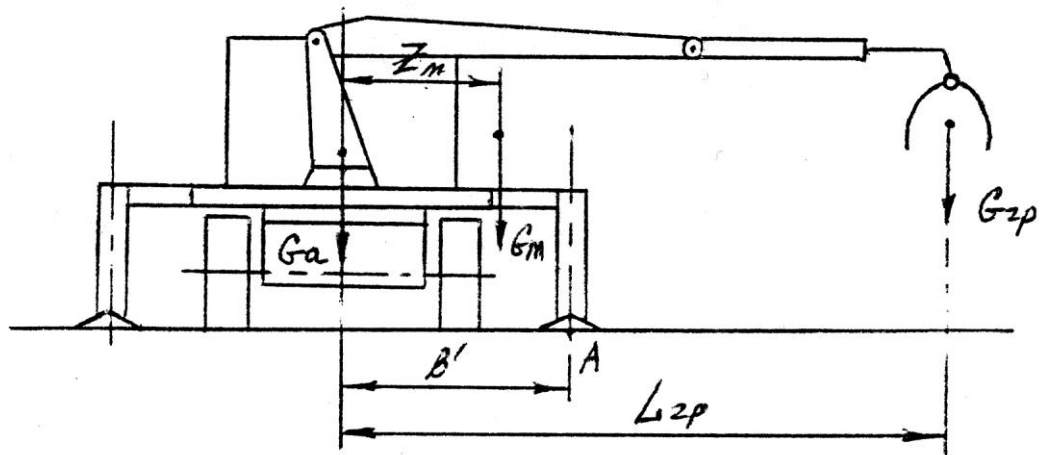


Рисунок 20 – Схема сил для определения поперечной устойчивости техпомощи при работе манипулятора на максимальном вылете

Рассмотрим моменты относительно точки А. Устойчивость характеризуется коэффициентом устойчивости

$$K_{уст} = \frac{M_{стаб}}{M_{опр}},$$

где  $M_{стаб}$  - стабилизирующий момент, кгсм;

$M_{опр}$  - опрокидывающий момент.

Стабилизирующий момент определяется по формуле

$$M_{стаб} = G_a \cdot B' + G_m (B' - Z_m),$$

где  $G_a$  - вес порожнего автомобиля, кг;

$B'$  - половина расстояния между аутригерами, м;

$Z_m$  - координата  $Z$  манипулятора в системе координат  $OYZ$  (см. 2.1.1), м;

$G_m$  - вес манипулятора, кг.

Координата  $Z_m$  в данном случае равна

$$Z_m = X_m - X_A^0 - l_1 \sin \varphi,$$

где  $\varphi = 90^\circ$  - угол поворота платформы;

$X_m$  - координата центра тяжести манипулятора, мм;

$X_A^0$  - расстояние между осью  $OY$  и точкой А в транспортном положении манипулятора, мм;

$l_1$  - расстояние между осью поворота колонны и точкой А, мм.

Опрокидывающий момент определяется как

$$M_{опр} = G_{zp} \cdot (L_{zp} - B'),$$

где  $L_{zp}$  - расстояние от оси поворота колонны до груза при максимальном вылете, м.

Результаты расчетов представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет поперечной устойчивости при погрузке

Параметры	Манипуляторы			
	КамАЗ F65S Loclift	КамАЗ Синегорец-75	КамАЗ МУГ-70	Урал Синегорец-75
$G_a$ , кгс	10800	10800	10800	10450
$G_m$ , кгс	1900	2300	2800	2300
$B'$ , м	1,12	1,1	1,28	1,1
$Z_m$ , м	0,59	1,18	1,025	1,18
$G_{zp}$ , кгс	900	1000	900	1000
$L_{zp}$ , м	7,1	7,8	7,0	7,8
$M_{стаб}$ , кгсм	13100	11700	13820	11310
$M_{опр}$ , кгсм	5380	6700	5150	6700
$K_{уст}$	2,44	1,75	2,68	1,69

Допустимая величина коэффициента устойчивости  $[K_{ecn}] \geq 1,4$ . Следовательно, для всех техпомощей условие устойчивости выполняется.

*Расчет устойчивости техпомощи при поперечном склоне с максимальным вылетом манипулятора.*

Расчетная схема сил для определения устойчивости при данном положении техпомощи представлена на рисунке 21.

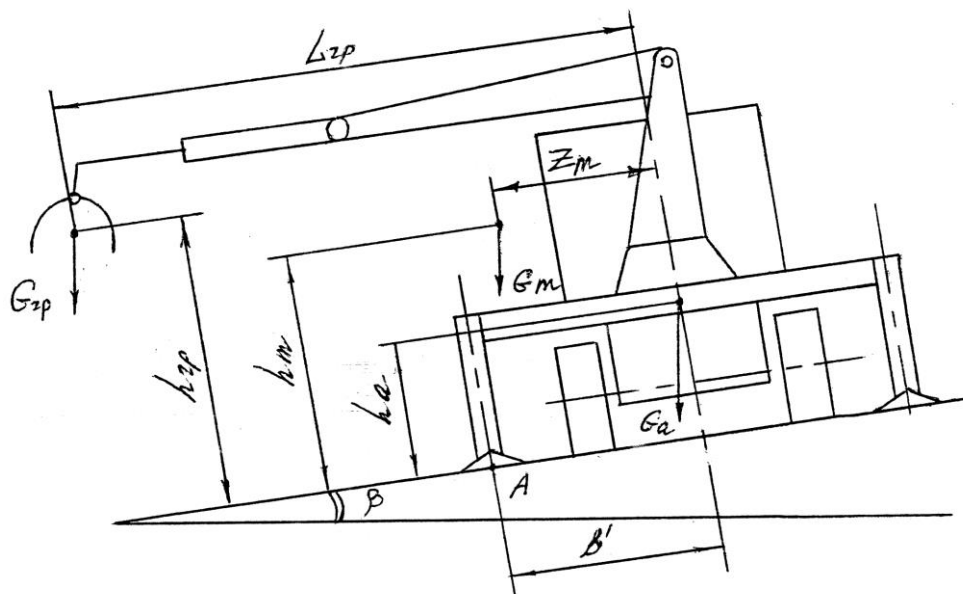


Рисунок 21 – Схема сил для определения устойчивости при работе на уклоне



Рассмотрим моменты относительно точки А. Устойчивость характеризуется коэффициентом устойчивости, который определяется по формуле

$$K_{уст} = \frac{M_{стаб}}{M_{опр}}. \quad (2)$$

В данном случае стабилизирующий момент будет равен

$$M_{стаб} = G_a \cdot B' \cos \beta + G_m (B' - Z_m) \cos \beta.$$

Опрокидывающий момент будет равен

$$M_{опр} = G_a \cdot h_a \sin \beta + G_m \cdot h_m \sin \beta + G_{zp} (L_{zp} - B') \cos \beta + G_{zp} \cdot h_{zp} \sin \beta,$$

где  $h_a$  - высота центра тяжести базового автомобиля, м;

$h_m$  - высота центра тяжести манипулятора, м;

$h_{zp}$  - высота подъема груза при максимальном вылете манипулятора, м.

Подставив данные выражения в формулу (1) и проведя необходимые математические преобразования, получаем формулу для определения максимального угла поперечного уклона при данном положении техпомощи

$$\beta = \arctg \frac{\left[ \frac{1}{K_{уст}} - \frac{G_{zp} (L_{zp} - B')}{G_a \cdot B' + G_m (B' - Z_m)} \right] \cdot [G_a \cdot B' + G_m (B' - Z_m)]}{G_a \cdot h_a + G_m \cdot h_m + G_{zp} \cdot h_{zp}}.$$

Исходя из условия, что допустимый коэффициент устойчивости  $[K_{уст}] \geq 1,4$ , производится расчет максимального угла поперечного уклона для данной техпомощи овозов.

Исходные данные и результаты расчета максимального угла представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет продольной устойчивости при работе техпомощи на склоне

Параметры	Манипулятора			
	КамАЗ F65S Loclift	КамАЗ Синегорец-75	КамАЗ МУГ-70	Урал Синегорец-75
$h_a$ , м	1,180	1,1180	1,180	1,150
$h_m$ , м	2,460	2,850	2,600	2,800
$h_{zp}$ , м	3,100	2,580	2,330	2,530
$\beta_{max}$	11		13,3	3,7

*Расчет устойчивости при движении техпомощи на повороте.*

Условие опрокидывания техпомощи при движении на повороте определяется по формуле:

$$V_0 = \sqrt{\frac{B \cdot g \cdot R}{2h_u}},$$

где  $B$  - ширина колеи автомобиля, м;  
 $R$  - радиус поворота техпомощи, м;  
 $h_u$  - высота центра тяжести техпомощи овоза, м;  
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  - ускорение свободного падения;  
 $V_0$  - скорости движения при опрокидывании.

При движении техпомощи на повороте возможен случай заноса. Условие заноса автомобиля укладывается в формулу

$$V_3 = \sqrt{\frac{\varphi}{gR}},$$

где  $\varphi = 0,6$  – коэффициент скольжения для грунтовой дороги с щебеночным покрытием.

Желательно, чтобы выполнялось условие  $V_0 \geq V_3$ .

Необходимые исходные данные и результаты расчетов представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет устойчивости техпомощи при движении на повороте

Параметры	Манипуляторы			
	КамАЗ F65S Loclift	КамАЗ Синегорец-75	КамАЗ МУГ-70	Урал Синегорец-75
$V_{max}$ , м/с	23,84	23,84	23,84	18,9
$V_{min}$ , м/с	1,47	1,47	1,47	1,28
$h_u$ , м	1,855	1,895	1,87	1,825
$B$ , м	1,85	1,85	1,85	2,0
$R_{max}^3$ , м	96,6	96,6	96,6	60,7
$R_{max}^0$ , м	116,2	118,7	117,1	66,5
$R_{min}^0$ , м	0,44	0,45	0,45	0,31
$R_{min}^3$ , м	0,36	0,36	0,36	0,28

#### Тяговый расчет техпомощи.

По данным технических характеристик автомобилей КамАЗ и Урал (таблицы 1 и 2) производится расчет тяговой характеристики для данных автомобилей. Тяговое усилие определяется по формуле (1). Скорость движения, км/ч, на различных передачах определяется по формуле

$$V = 0,377 \frac{\Gamma_k \cdot n_e}{i_{mp}},$$

где  $n_e$  - крутящий момент на валу электродвигателя, об/мин;

$i_{mp}$  - передаточное число трансмиссии.

Результаты расчета для автомобиля КамАЗ представлены в таблице 16, для автомобиля Урал в таблице 17.

Таблица 16 – Тяговая характеристика автомобиля КамАЗ-6510

Передача	Параметры	Обороты двигателя, об/мин					
		1200	1400	1600	1800	2000	2200
1	$P$ , кгс	6928	7000	7045	6980	6786	6463
	$V$ , км/ч	5,27	6,15	7,03	7,91	8,79	9,67
2	$P$ , кгс	5041	5092	5125	5078	4937	4702
	$V$ , км/ч	7,25	8,46	9,66	10,87	12,08	13,29
3	$P$ , кгс	3723	3761	3785	3750	3646	3473
	$V$ , км/ч	9,81	11,45	13,09	14,72	16,36	17,99
4	$P$ , кгс	2752	2781	2799	2773	2696	2568
	$V$ , км/ч	13,27	15,49	17,70	19,91	22,12	24,33
5	$P$ , кгс	1961	1982	1994	1976	1921	1830
	$V$ , км/ч	18,63	21,73	24,83	27,94	31,04	34,15
6	$P$ , кгс	1424	1438	1448	1434	1394	1328
	$V$ , км/ч	25,66	29,94	34,22	38,49	42,77	47,05
7	$P$ , кгс	1055	1065	1072	1062	1033	984
	$V$ , км/ч	34,64	40,42	46,19	51,96	57,74	63,51
8	$P$ , кгс	780	788	793	786	764	728
	$V$ , км/ч	49,81	54,62	62,42	70,22	78,02	85,83

Таблица 17 – Тяговая характеристика автомобиля Урал-4320

Передача	Параметры	Обороты двигателя, об/мин					
		1100	1300	1500	1700	1900	2100
1	$P$ , кгс	7042	7114	7160	7095	6898	6569
	$V$ , км/ч	4,60	5,43	6,27	7,11	7,94	8,78
2	$P$ , кгс	3628	3665	3689	3655	3553	3384
	$V$ , км/ч	8,93	10,55	12,17	13,80	15,42	17,04
3	$P$ , кгс	2059	2080	2093	2074	2016	1920
	$V$ , км/ч	15,73	18,59	21,45	24,31	27,17	30,03
4	$P$ , кгс	1255	1268	1276	1265	1230	1171
	$V$ , км/ч	25,80	30,49	35,18	39,87	44,56	49,25
5	$P$ , кгс	908	917	923	914	889	847
	$V$ , км/ч	35,68	42,17	48,66	55,15	61,63	68,12

## 2.5. Расчет проектных параметров манипулятора

Данные для расчета.

$G_3^0 = 2,45 \text{ кН}$  - сила тяжести клещевого захвата;

$G_{рук} = 0,59 \text{ кН}$  - сила тяжести рукояти с удлинителем и гидроцилиндром удлинителя;

$G_{ст} = 1,76 \text{ кН}$  - сила тяжести стрелы;

$G_c = 0,29 \text{ кН}$  - сила тяжести механизмов складывания стрелы;

$G_{зр} = 0,78 \text{ кН}$  - сила тяжести гидроцилиндра рукояти;

$G_{rc} = 0,98 \text{ кН}$  - сила тяжести гидроцилиндра стрелы;

$L_3, L_{рук}, L_{см}, L_c, L_{2р}, L_{rc}$  - плечи указанных выше сил для трех положений манипулятора (приведенных в таблице 3.1, относительно шарнира и в таблице 3.2 – относительно шарнира С);

$h_1, h_2, h_3$  - плечи усилий в механизме складывания относительно шарниров С и С' (рисунок 3.1). Значения для трех положений манипулятора приведены в таблице 3.2;

$H$  - плечо действия усилия  $P_{2c}$ , развиваемого гидроцилиндрами стрелы, относительно шарнира В.

Указанные плечи сил для трех положений манипулятора рассчитываются аналитически, исходя из экспериментально найденных расстояний между осями различных шарниров манипулятора.

*Расчетная схема и расчет параметров.*

Расчетная схема манипулятора представлена на рисунке 22.

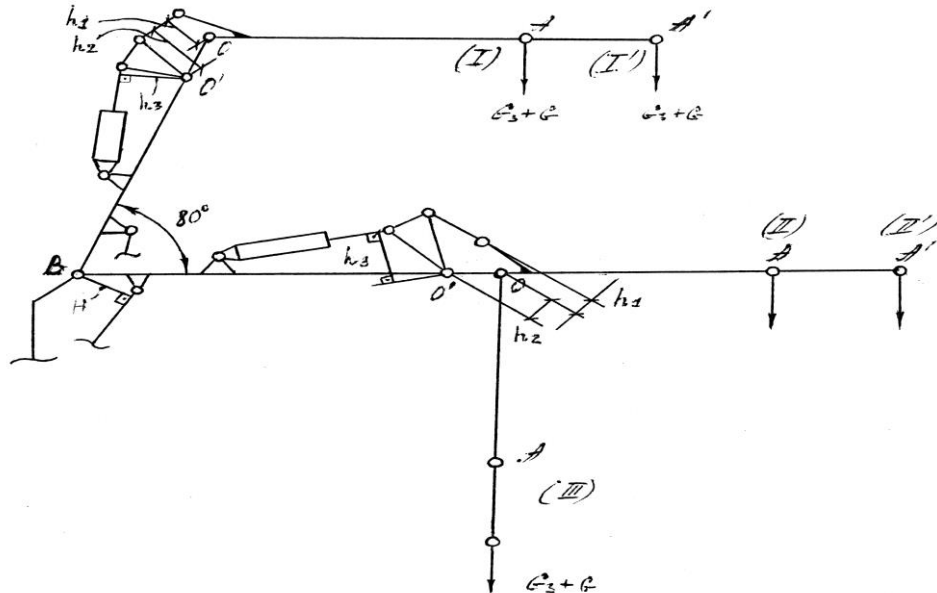


Рисунок 22 – Расчетная схема манипулятора для трех положений

Максимальное усилие, развиваемое поршневой полостью гидроцилиндра стрелы, определяется по формуле /7/

$$P_{2c} = \frac{2\pi \cdot D^2 \bar{\rho}}{4} \eta,$$

где  $D = 125 \text{ м}$  – диаметр поршня гидроцилиндра стрелы;

$\bar{\rho} = 17,5 \text{ МПа}$  – давление рабочей жидкости;

$\eta = 0,92$  - КПД гидроцилиндра.

Таким образом

$$P_{2c} = \frac{2\pi \cdot 125^2 \cdot 17,5}{4} 0,92 = 395,2 \text{ кН}.$$

Максимальное усилие  $P_{zp}$ , развиваемое штоковой полостью гидроцилиндра рукояти манипулятора определяется по формуле

$$P_{zc} = \frac{2\pi \cdot (D^2 - d^2) \bar{\rho}}{4} \eta,$$

где  $D = 0,115$  м – диаметр поршня гидроцилиндра рукояти;

$d = 0,06$  м – диаметр штока гидроцилиндра рукояти.

Следовательно

$$P_{zc} = \frac{2\pi \cdot (0,115^2 - 0,06^2) \cdot 17,5}{4} 0,92 = 243,4 \text{ кН}.$$

Рассматривая сумму моментов относительно шарнира В, и учитывая потерю мощности в шарнирах при трении выводится формула для определения грузоподъемности манипулятора, которую позволяет каждый из гидроцилиндров.

Для гидроцилиндра стрелы

$$G_c = \frac{H \cdot P_{zc}}{L_3(1 + \eta_{o\delta})} - \frac{\sum_{i=1}^6 M_i}{L_3},$$

где  $\eta_{o\delta} = 0,9^n$ , здесь  $n = 3$  – количество шарниров, трение которых необходимо преодолевать гидроцилиндру стрелы.

Тогда  $\eta_{o\delta} = 0,9^3 = 0,73$ .

Для гидроцилиндра рукояти

$$G_c = \frac{P_{zc} \frac{h_1 \cdot h_3}{h_2}}{L_3(1 + \eta_{o\delta})} - \frac{\sum_{i=1}^6 M_i}{L_3},$$

где  $\eta_{o\delta} = 0,9^n$ , здесь  $n = 6$ . Тогда  $\eta_{o\delta} = 0,9^6 = 0,53$ .

Результаты расчетов сведены в таблицу 19 и таблицу 20.

Таблица 19 – Параметры манипулятора относительно шарнира В

Параметры	Положения манипулятора				
	I	I'	II	II'	III
$L_3$ , м	2,81	3,86	6,2	7,23	7,05
$M_1$ , кНм	6,89	2,46	15,19	17,76	9,82
$L_{рук}$ , м	1,53	1,97	5,01	5,54	4,16
$M_2$ , кНм	0,9	1,16	2,56	3,21	2,45
$L_{cm}$ , м	0,04	0,04	1,07	1,67	1,07
$M_3$ , кНм	0,07	0,07	2,94	2,94	2,94
$L_c$ , м	0,71	0,71	3,85	3,85	7,08
$M_4$ , кНм	0,21	0,21	1,12	1,12	1,18

Продолжение таблицы 19

$L_{2p}, \text{ м}$	0,21	0,21	3,04	3,04	2,6
$M_5, \text{ м}$	0,16	0,16	2,37	2,37	2,03
$L_{rc}, \text{ м}$	0,24	0,24	0,85	0,85	0,85
$M_6, \text{ кНм}$	0,24	0,24	0,83	0,83	0,83
$H, \text{ м}$	0,2	0,2	0,43	0,43	0,43
$\sum_{i=1}^6 M_i, \text{ кНм}$	8,47	11,3	25,72	28,23	19,35
$H \cdot P_{zc}, \text{ кНм}$	79,04	79,04	169,94	169,94	196,94
$G_c, \text{ кН}$	13,24	8,91	11,96	9,69	19,48

Таблица 20 – Параметры манипулятора относительно шарнира О

Параметры	Положения манипулятора				
	I	I'	II	II'	III
$L_3, \text{ м}$	2,1	3,15	2,1	2,15	0
$M_1, \text{ кНм}$	5,15	7,72	5,15	7,72	0
$L_{рук}, \text{ м}$	0,82	1,34	0,91	1,34	0
$M_2, \text{ кНм}$	0,48	0,74	0,54	0,79	0
$\sum_{i=1}^6 M_i, \text{ кНм}$	5,63	8,46	5,69	8,51	0
$h_1, \text{ м}$	0,24	0,24	0,17	0,17	-
$h_2, \text{ м}$	0,32	0,32	0,15	0,15	-
$h_3, \text{ м}$	0,37	0,34	0,2	0,2	-
$P_{zp} \frac{h_1 \cdot h_3}{h_2}, \text{ кНм}$	67,54	62,07	55,17	55,17	-
$G_p, \text{ кН}$	18,33	10,19	14,46	8,75	-

## 2.6. Расчет нагрузок манипулятора

*Расчет реальных усилий гидроцилиндра рукояти и гидроцилиндра стрелы.*

Сравнивая последние строки таблиц 19 и 20, выбираются для каждого положения манипулятора наименьшие значения силы тяжести груза, определяются грузоподъемность манипулятора.

Усилия в гидроцилиндре рукояти определяется по формуле /7/

$$T = \frac{(\sum_{i=1}^2 M_i + G \cdot L_3) \cdot h_2}{h_1 \cdot h_3},$$

где  $\sum_{i=1}^2 M_i$  - сумма изгибающих моментов относительно шарнира О от сил

тяжести элементов манипулятора;

$G$  - грузоподъемность манипулятора в данном положении.

Усилие в гидроцилиндре стрелы определяется по формуле /8/

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^6 M_i + G \cdot L_3}{H},$$

где  $\sum_{i=1}^6 M_i$  - сумма изгибающих моментов относительно шарнира В от сил

тяжести элементов манипулятора.

Исходные данные и результаты вычислений сведены в таблицу 21.

Таблица 21 – Реальные усилия в гидроцилиндрах манипулятора

Параметры	Положения манипулятора				
	I	I'	II	II'	III
$G$ , кН	13,24	8,91	11,69	8,75	19,48
$G \cdot L_3$ , кНм	27,8	28,07	24,55	27,56	0
$\sum_{i=1}^2 M_i$ , кНм	5,63	8,46	5,69	8,51	0
$h_1$ , м	0,24	0,24	0,17	0,17	-
$h_2$ , м	0,32	0,32	0,15	0,15	-
$h_3$ , м	0,37	0,34	0,2	0,2	-
$T$ , кН	184,33	219,16	204,12	243,48	-
$G \cdot L_3$ , кНм	37,2	34,39	72,47	63,44	78,89
$\sum_{i=1}^6 M_i$ , кНм	8,47	11,3	25,72	28,23	19,35
$H$ , м	0,2	0,2	0,43	0,43	0,43
$Q$ , кН	395,08	395,24	395,08	368,8	395,26

*Расчет усилий в механизме складывания рукояти.*

Механизм складывания рукояти рассчитывается для положений манипулятора (II') и (I'), как наиболее нагруженных.

Их масштабной расчетной схемы механизма складывания рукояти определяется:

1) угол между линией действия усилия  $F_c$  в шатуне СД ( $\Theta$ ) и горизонталью;

2) угол  $\gamma$  между линией действия усилия  $T$  гидроцилиндра рукояти и вертикалью;

3) Плечо ОК – расстояние от шарнира О до линии действия усилия  $F_c$  в шатуне.

Рассматривая рукоять отдельно от стрелы, заменяя ее воздействие реакциями в шарнирах.

Рассматривая сумму моментов сил относительно шарнира О, получается формула для определения усилия  $F_c$  в шатуне

$$F_c = \frac{G_{рук} \cdot L_{рук} + (G_3 + G) \cdot L_3}{OK} (1 + \eta_{од}), \quad (3)$$

где  $\eta_{од} = 0,9^n$ ., здесь  $n = 2$  - количество шарниров, трение в которых мешает вращению.

$$\text{Тогда } \eta_{од} = 0,9^2 = 0,81.$$

Рассматривая суммы сил по горизонтали и вертикали, получаем формулы для определения составляющих реакции в шарнире О

$$\begin{aligned} X_0 &= F_c \cdot \cos \Theta; \\ Y_0 &= F_c \cdot \sin \Theta \pm [G_p + (G_3 + G)]. \end{aligned}$$

$$\text{Тогда } R_0 = \sqrt{X_0^2 + Y_0^2}.$$

Рассматривая стрелу отдельно от рукояти, соответственно заменяя ее воздействие реакциями в шарнирах.

Рассматривая суммы сил по горизонтали и по вертикали, получаем формулы для определения составляющих реакции в шарнире О'

$$\begin{aligned} X'_0 &= F_c \cos \Theta - T \sin \gamma; \\ Y'_0 &= \pm F_c \sin \Theta + T \cos \gamma. \end{aligned}$$

$$\text{Тогда } R'_0 = \sqrt{X'_0 + Y'_0}.$$

Исходные данные и результаты расчетов сведены в таблице 22.

Таблица 22 – Расчет усилий в механизме складывания рукояти

Расчетные параметры	Положение манипулятора	
	I'	II'
Сила тяжести рукояти, $G_{рук}$ , кН	0,59	0,59
Сила тяжести захвата, $G_3$ , кН	2,45	2,45
Сила тяжести груза, $G$ , кН	8,91	8,75
Плечо $L_{рук}$ , м	1,34	1,34
Плечо $L_3$ , м	3,15	3,15
Плечо ОК, м	0,21	0,17
Угол $\Theta$ , град.	18	22
Угол $\gamma$ , град.	2	87
КПД шарниров О и С	0,81	0,81
Усилие $T$ , кН	219,16	243,48
Усилие $F_c$ , кН	315,24	384,05



Продолжение таблицы 22

Реакция $X_D$ , кН	299,81	356,09
Реакция $Y_D$ , кН	109,37	132,08
Реакция $R_D$ , кН	319,14	379,80
Реакция $X'_D$ , кН	292,16	112,94
Реакция $Y'_D$ , кН	121,61	156,61
Реакция $R'_D$ , кН	316,46	193,09

Расчет реакций в шарнире В и в шарнирах гидроцилиндра стрелы.

Расчетная схема для определения указанных реакций приведена на рисунке 23 для положения II'.

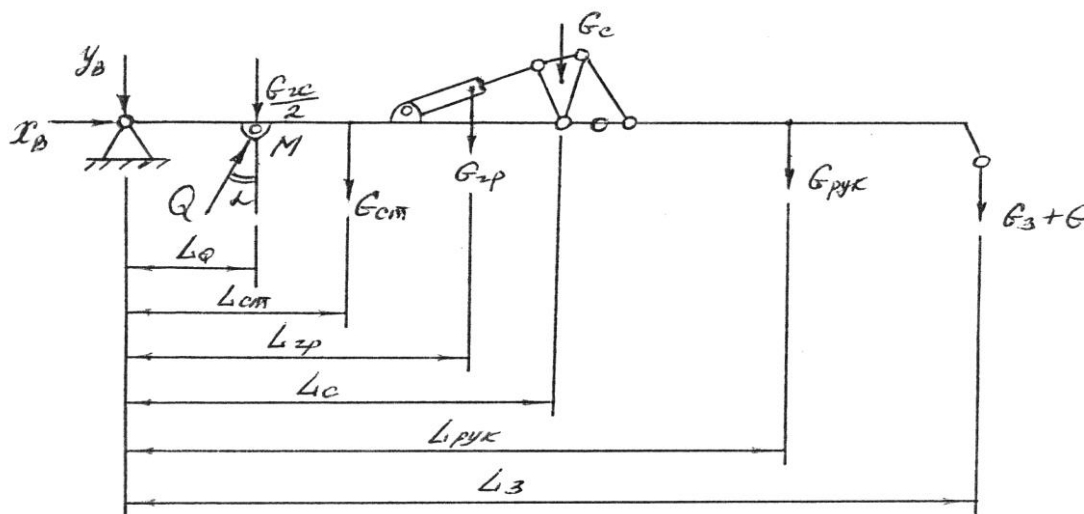


Рисунок 23 – Расчетная схема

Расчет производится для положения II', как наиболее нагруженного.

Реакции в шарнире М от усилия гидроцилиндра стрелы определяются по формулам

$$Q_x = Q \sin \alpha;$$

$$Q_y = Q \cos \alpha,$$

где  $Q$  - усилие гидроцилиндра подъема стрелы в положении манипулятора II';

$\alpha$  - угол между линией действия усилия  $Q$  и осью Y (вертикалью).

Рассматривая сумму сил по оси Y (вертикали), получаем формулу для определения вертикальной составляющей реакции в шарнире В

$$Y_B = Q_y - \frac{G_{rc}}{2} - G_{cm} - G_{zp} - G_{рук} - (G_3 + G) = Q_y - \sum_{i=1}^6 G_i.$$

Рассматривая сумму сил по оси X (горизонтали), получаем формулу для определения горизонтальной составляющей реакции в шарнире В

$$X_B = Q_x.$$

Тогда реакция в шарнире В определяется по формуле

$$R_B = \sqrt{X_B^2 + Y_B^2}.$$

Исходные данные и результаты расчетов представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Расчет реакции в шарнире В (II')

Параметр	$Q$ , кН	$\alpha$ , град.	$Q_x$ , кН	$Q_y$ , кН	$\sum_{i=1}^6 G_i$ , кН	$X_B$ , кН	$Y_B$ , кН	$R_B$ , кН
Значение	368,8	6	38,6	366,8	15,11	38,6	351,7	353,8

Примечание: Угол  $\alpha$  для данного положения манипулятора рассчитан исходя из экспериментально найденных расстояний между осями рассматриваемых шарниров, с применением для расчета теорем косинусов.

Расчетная схема для определения реакции в шарнире В при положении манипулятора I' приведена на рисунке 24.

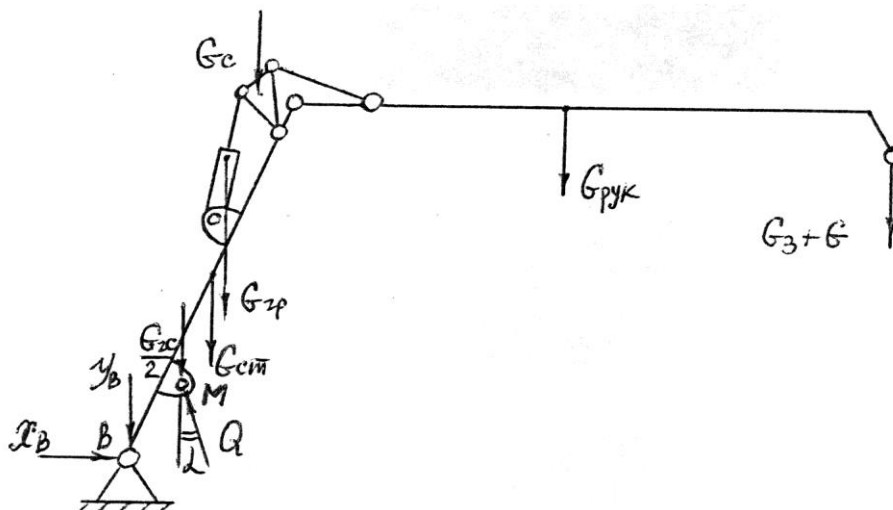


Рисунок 24 – Расчетная схема

Реакции в шарнире М от усилия гидроцилиндра стрелы определяются по формулам

$$Q_x = Q \sin \alpha,$$

$$Q_y = Q \cos \alpha.$$

Вертикальная и горизонтальная составляющие реакции в шарнире В определяются по формулам при расчете тех же реакций для положения II'. Результаты расчетов представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Расчет реакции в шарнире В (I')

Параметр	$Q$ , кН	$\alpha$ , град.	$Q_x$ , кН	$Q_y$ , кН	$\sum_{i=1}^6 G_i$ , кН	$X_B$ , кН	$Y_B$ , кН	$R_B$ , кН
Значение	395,24	4	27,57	394,28	15,11	27,57	379,17	380,17

## 2.7 Расчет шарнирных узлов

*Расчет шатуна на прочность.*

Шатун работает на растяжение сжатия. Сила, действующая вдоль оси шатуна  $F_c = 384,05$  кН.

Определяется напряжение растяжения-сжатия в сечении I-I и в сечении II-II, согласно рисунку 25.

Площадь сечения,  $m^2$ , определяется по формуле

$$S = 2L_2h + 2L_1h - 4h^2.$$

Момент инерции сечения относительно ОХ,  $m^4$ , определяется по формуле

$$I_x = \frac{L_2L_1^3 - (L_2 - 2\delta)(L - 2\delta)^3}{12}.$$

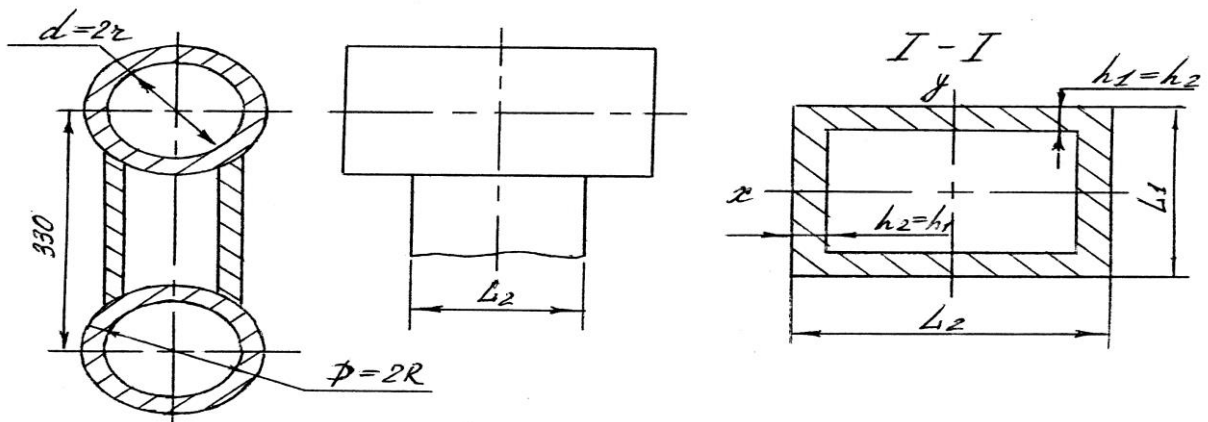


Рисунок 25 – Геометрические параметры шатуна

Исходные геометрические данные и результаты расчетов сведены в таблицу 25.

Таблица 25 – Геометрические параметры шатуна

Параметр	$L_1$ , м	$L_2$ , м	$h_1$ , м	$R$ , м	$r$ , м	$S$ , $m^2$	$I_x$ , $m^4$
Значение	0,07	0,14	0,007	0,045	0,033	$2,74 \cdot 10^{-3}$	$2,158 \cdot 10^{-6}$

Коэффициент динамичности определяются по формуле, согласно /6/

$$k_d = \sqrt{1 + \frac{m_{np} \cdot V^2 \cdot L^3}{3E \cdot I_x \cdot Y_0^2}},$$

где  $m_{np}$  - масса манипулятора и груза, приведенная к конце рукояти, кг;

$V$  – скорость перемещения груза, м/с;

$L$  - максимальный вылет манипулятора, м;

$E$  - модуль упругости стали, н/м<sup>2</sup>;

$I_x$  - момент инерции сечения элементов манипулятора, м<sup>4</sup>;

$Y_0$  - величина прогиба металлоконструкции в статике, м.

Приведенная к концу рукояти масса манипулятора и груза определяется по формуле

$$m_{np} = m_{zp} + \sum_1^n m_i \cdot \frac{L_i}{L},$$

где  $m_i$  - масса  $i$ -ой части манипулятора, кг;

$L_i$  - расстояние  $i$ -й части манипулятора до конца рукояти, м;

$L$  - вылет манипулятора относительно сечения, м.

Таким образом

$$m_{np} = (G + G_3) + G_p \frac{l_p}{L}.$$

Для положения II' (3.1.1)  $L = 3,35$  м;  $l_p = 1,84$  м;

$G = 900$  кг.

Скорость перемещения груза есть скорость опускания рукояти, которая определяется по формуле

$$V_{op} = 1,3V_{np},$$

где  $V_{np}$  - скорость подъема рукояти, м/с,

$$V_{np} = \frac{V_n \cdot L_p \cdot \varphi_p}{57,3 \cdot S_u},$$

где  $L_p = 3,17$  м – длина рукояти;

$\varphi_p = 170^\circ$  - угол поворота рукояти;

$S_u = 0,83$  м – ход поршня гидроцилиндра рукояти;

$V_n$  - скорость движения поршня гидроцилиндра рукояти, м/с.

Скорость движения поршня определяется по формуле

$$V_n = \frac{4\eta_n \cdot Q_n}{\pi d_n^2},$$

где  $\eta_n = 0,9$  - объемный КПД насоса;

$Q_n = 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с - расход рабочей жидкости;

$d_n = 0,115$  м - диаметр поршня гидроцилиндра рукояти.

Величина прогиба металлоконструкции в статике определяется по формуле /8/

$$Y_0 = \frac{m_{np} \cdot g \cdot L^3}{3E \cdot I_x},$$

где  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения.

Результаты расчета скоростей и коэффициента динамичности представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Расчет коэффициента динамичности сечения шатуна в положении II'

Параметр	$m_{np}$ , кг	$V_n$ , м/с	$V_{np}$ , м/с	$V_{op}$ , м/с	$k_d$
Значение	1202	$8,67 \cdot 10^{-2}$	0,98	1,28	1,3

Напряжение растяжения-сжатия в сечении I-I определяется по формуле /8/

$$\sigma_p = \frac{F_c}{S} k_d.$$

Допустимое напряжение для стали 16Г2АФ  $[\sigma_p] = 200$  МПа.

Напряжение разрыва в сварных швах определяется по формуле, согласно /5/

$$\sigma'_p = \frac{F_c}{S \cdot l},$$

где  $S = h = 0,007$  м – толщина соединяемых деталей;

$l$  - длина сварного шва, м.

Длина сварного шва для данной детали определяется по зависимости

$$l = 2 \frac{(\arccos \frac{L_1}{2R})\pi R}{180} + 2L_2.$$

Напряжение разрыва в сварных швах с учетом коэффициента динамичности определяется по формуле

$$\sigma_p = \sigma'_p k_d.$$

Допускаемые напряжения основного металла в металлических строительных и крановых конструкциях определяются по формуле, согласно /5/

$$[\sigma_p]' = \frac{R \cdot m}{k_h},$$

где  $R = 0,85 \sigma_m$  - расчетное сопротивление разрушению для низколегированной стали;

$m = 0,9$  - коэффициент условий работы;

$\sigma_m = 440$  МПа – напряжение разрыва, согласно /4/ для стали 16Г2АФ.

При переменных нагрузках расчетные напряжения умножают на коэффициент  $\gamma$ , который определяется по формуле, согласно /5/

$$\gamma = c / (b - ar),$$

где  $c = 1,2$ ,  $a = 1,45$ ,  $b = 0,85$  - коэффициенты;

$r = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$  - характеристика цикла.

Величина  $\sigma_{min}$ , МПа, определяется по формуле

$$\sigma_{min} = \frac{F_{c \min}}{S \cdot l} k_d,$$

где  $F_{c \min} = 90,6$  кН – усилие в шатуне при  $G = 0$ .

Таким образом  $\sigma_{min} = 90,6$  МПа,  $r = -0,23$ ,  $\gamma = 0,76$ .

Результаты расчетов действующих и допускаемых напряжений в сечениях I-I и II-II представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Расчетные и допускаемые напряжения в сечениях I-I и II-II

Параметр	$l, \text{ м}$	I-I		II-II	
		$\sigma_p, \text{ МПа}$	$[\sigma_p], \text{ МПа}$	$\sigma_p, \text{ МПа}$	$[\sigma_p], \text{ МПа}$
Значение	0,441	182,2	230	167,7	230

Сравнивая допускаемые напряжения с расчетными, делается вывод о выполнении условия прочности, так как  $\sigma_p < [\sigma_p]$ .

*Расчет на прочность пальцев шарниров.*

В манипуляторе 13 шарнирных узлов. Их расположение и обозначение указано на рисунке 26.

Пальцы в манипуляторе рассчитываются на срез. Расчетная схема изображена на рисунке 27.

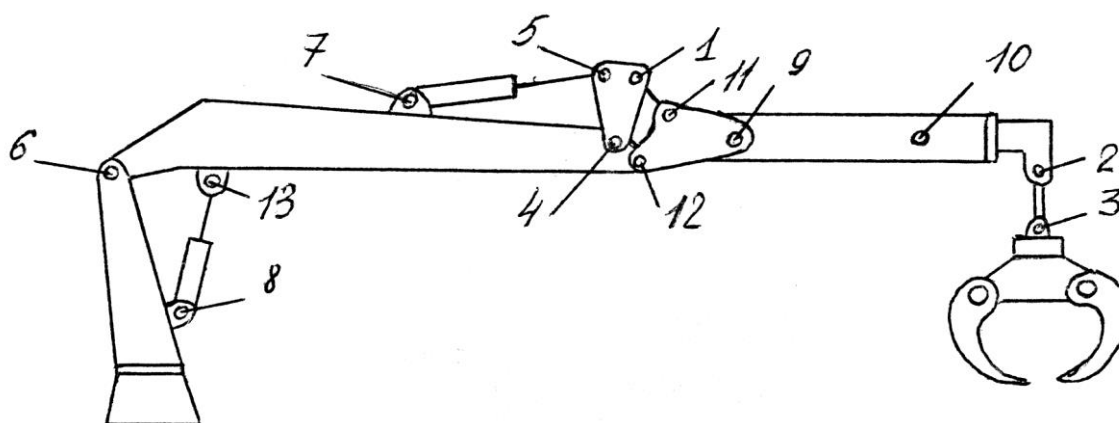


Рисунок 26 – Схема расположения шарниров

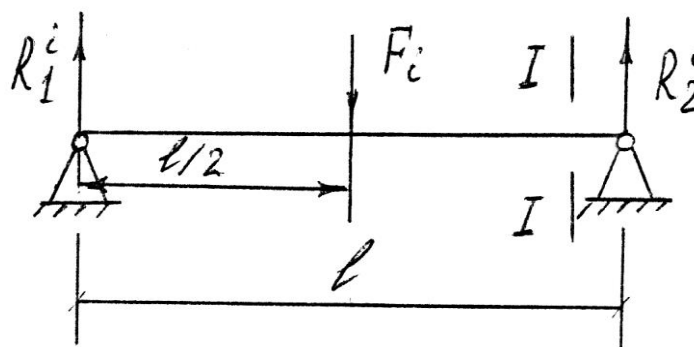


Рисунок 27 – Расчетная схема для расчета пальцев

Площадь сечения пальцев определяется по формуле

$$S = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4},$$

где  $D$  - наружный диаметр пальца, м;  $d$  - внутренний диаметр пальца, м. Напряжение среза определяется по формуле /4/

$$\tau_{cp} = \frac{R_i^i}{S_i} = \frac{0,5F_i \cdot 10^{-3}}{S_i},$$

где  $F_i$  - усилие в  $i$ -ом шарнире, кН;

$S_i$  - площадь сечения  $i$ -го шарнира,  $m^2$ .

Исходные данные и результаты расчетов представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Расчет пальцев на срез

Обозначение шарнира	Исходные данные			Расчетные параметры	
	$D$ , м	$d$ , м	$F_i$ , кН	$S_i$ , $m^2$	$\tau_{cp}$ , МПа
1-1	0,06	0,009	384,05	$2,89 \cdot 10^{-3}$	66,5
2-2	0,03	0	60,8	$7,04 \cdot 10^{-4}$	43
3-3	0,035	0,009	60,8	$9,05 \cdot 10^{-4}$	33,6
4-4	0,06	0,009	316,46	$2,89 \cdot 10^{-3}$	54,8
5-5	0,06	0,009	243,48	$2,89 \cdot 10^{-3}$	42,1
6-6	0,07	0,04	380,17	$2,592 \cdot 10^{-3}$	73,3
7-7	0,06	0,009	243,48	$2,89 \cdot 10^{-3}$	42,1
8-8	0,07	0,04	395,24	$2,59 \cdot 10^{-3}$	76,3
9-9	0,03	0,009	11,29	$6,5 \cdot 10^{-4}$	8,7
10-10	0,03	0,009	11,29	$6,5 \cdot 10^{-4}$	8,7
11-11	0,06	0,009	384,05	$2,89 \cdot 10^{-3}$	66,5
12-12	0,06	0,009	379,8	$2,89 \cdot 10^{-3}$	65,7
13-13	0,07	0,04	395,24	$2,59 \cdot 10^{-3}$	76,3

Расчетная схема для определения усилий в шарнирах 2-2 и 3-3 представлена на рисунке 28.

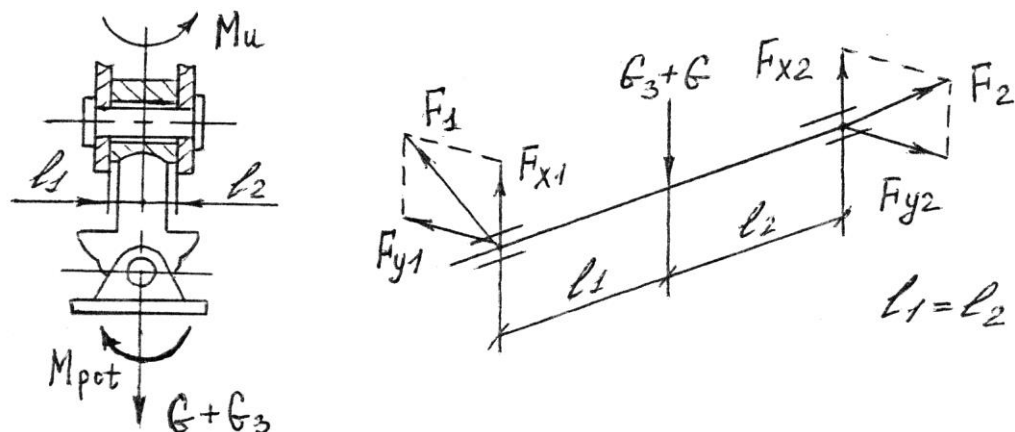


Рисунок 28 – Схема сил в шарнирах 2-2 и 3-3

Срезающее усилие в шарнирах 2-2 и 3-3 определяется по формуле /4/

$$F_i = \sqrt{F_{xi}^2 + F_{yi}^2},$$

где  $F_{xi}$  - срезающая составляющая от силы тяжести груза и захвата с ротатором;  $F_{yi}$  - срезающая составляющая от момента инерции, создаваемого вращением ротатора.

Составляющая срезающей силы  $F_{xi}$  определяется по формуле

$$F_{xi} = 0,5(G_3 + G),$$

где  $G$  - грузоподъемность манипулятора в данном положении, кН.

Для определения составляющей срезающей силы  $F_{yi}$  записываем основное уравнение динамики для данной системы

$$M_{pot} \cdot \delta\varphi - M_u \cdot \delta\varphi = 0.$$

Отсюда следует формула

$$M_u = M_{pot} = F_{yi} \cdot l_i,$$

где  $M_u$  - момент инерции в системе, кНм;

$M_{pot}$  - момент, создаваемый ротатором, кНм;

$l_i$  -  $i$ -ое плечо, равное расстоянию от оси подвески до сечения среза пальца, м.

Тогда составляющая срезающей силы  $F_{yi}$  будет равна

$$F_{yi} = \frac{M_{pot}}{l_i},$$

где  $M_{pot} = 1,19$  кНм;  $l_i = 0,042$  м.

Расчетная схема для определения усилий в шарнирах 9-9 и 10-10 представлена на рисунке 29.

Рассматривая сумму сил на ось X получается формула для определения усилия гидроцилиндра телескопа

$$F_{ru} = (G_3 + G) \cos \beta \cdot f + (G_3 + G) \sin \beta,$$

где  $\beta$  - угол подъема рукояти;  $f$  - коэффициент трения. Для пары трения сталь-фторопласт  $f = 0,05$

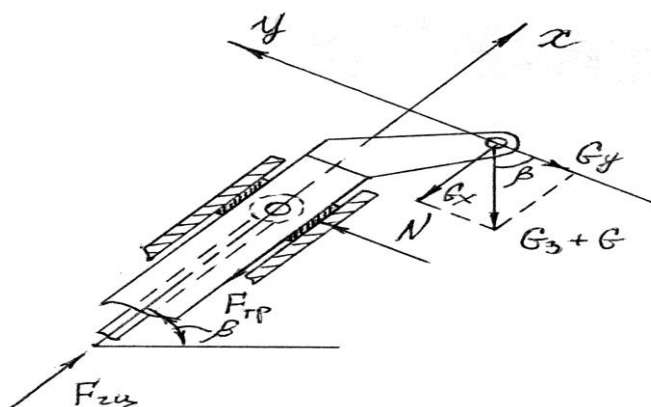


Рисунок 29 – Схема сил в шарнирах 9-9 и 10-10

*Расчет втулок шарнирных узлов.*

Расчет производится по удельным давлениям. Удельное давление во втулке шарнира определяется по формуле:



$$P_{y\partial} = \frac{0,5F_i}{d_{\partial m} \cdot l},$$

где  $F_i$  - усилие в  $i$ -ом шарнире, кН;  $d_{\partial m}$  - внутренний диаметр втулки, м;  $l$  - длина втулки, м.

Исходные данные и результаты расчетов сведены с таблицу 29.

Таблица 29 – Расчет втулок в шарнирах

Обозначение втулки	Расчетные и исходные параметры			
	$F_i$ , кН	$d_{\partial m}$ , м	$l$ , м	$P_{y\partial}$ , МПа
1-1	384,05	0,06	0,06	53,3
2-2	60,8	0,03	0,04	25,3
3-3	60,8	0,035	0,04	21,7
4-4	316,46	0,06	0,06	43,95
5-5	243,48	0,06	0,06	33,8
6-6	380,17	0,07	0,08	67,6
7-7	243,48	0,06	0,06	35,3
8-8	395,24	0,07	0,08	35,3
9-9	11,29	0,03	0,03	6,27
10-10	11,29	0,03	0,017	11,07
11-11	384,05	0,06	0,06	53,3
12-12	379,8	0,06	0,06	52,8
13-13	395,24	0,07	0,08	35,3

*Расчет проушин шарнирных узлов.*

Расчет производится на напряжение смятия и изгиба с растяжением.

*Расчет проушин на смятие.*

Удельное давление в проушине определяется по формуле /5/

$$P_{y\partial np} = \frac{0,5F_i}{d_{np} \cdot l_{np}},$$

где  $d_{np}$  - внутренний диаметр проушины, м;

$l_{np}$  - ширина проушины в месте вероятного сжатия, м.

Исходные данные и результаты расчетов сведены в таблицу 30.

Таблица 30 – Расчет втулок в шарнирах

Обозначение втулки	Расчетные и исходные параметры			
	$F_i$ , кН	$d_{np}$ , м	$l_{np}$ , м	$P_{y\partial np}$ , МПа
1-1	384,05	0,06	0,024	133,4
2-2	60,8	0,03	0,017	59,61
3-3	60,8	0,035	0,025	34,74
4-4	316,46	0,06	0,024	109,9
5-5	243,48	0,06	0,103	19,7
6-6	380,17	0,07	0,037	73,4

Продолжение таблицы 30

7-7	243,48	0,06	0,024	84,5
8-8	395,24	0,07	0,027	104,6
9-9	11,29	0,03	0,03	6,27
10-10	11,29	0,03	0,025	7,53
11-11	384,05	0,06	0,024	133,4
12-12	379,8	0,06	0,024	131,9
13-13	395,24	0,07	0,016	176,5

Допустимые напряжения для стали 16Г2АФ  $[\sigma_{см}] = 200$  МПа /8/, следовательно, можно сделать вывод о выполненных условиях прочности на смятие.

*Расчет проушины на изгиб с растяжением.*

Рассматриваем проушину как кривой брус. Расчетная схема и сечение проушины представлены на рисунке 30.

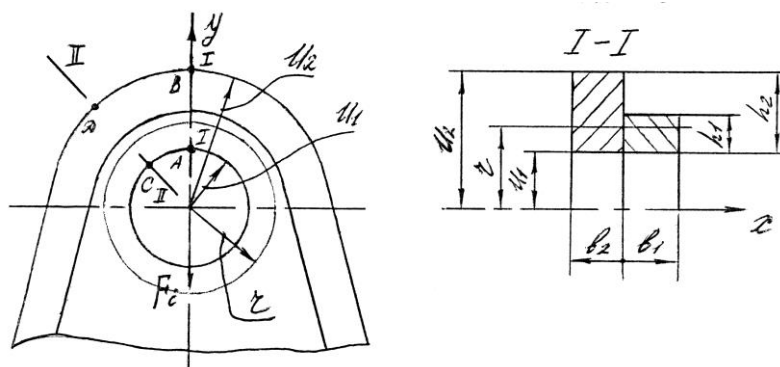


Рисунок 30 – Расчетная схема для расчета проушины на изгиб с растяжением

Напряжение в проушине от изгиба и растяжения определяется по формуле /5/

$$\sigma_i = \frac{M_i}{S(\rho - r)} \cdot \frac{U - r}{U} + \frac{N}{S},$$

где  $M$  - изгибающий момент в сечении, кНм;

$S$  - площадь сечения, м<sup>2</sup>;

$\rho$  - радиус кривизны оси бруса, м;

$r$  - радиус кривизны нейтрального слоя;

$U$  - расстояние от центра кривизны бруса до точки, в которой определяется напряжение;

$N$  - продольная сила растяжения сжатия.

Изгибающий момент в сечении определяется по формуле

$$M = -g_0 \rho^2 \left( \frac{\pi}{4} \cos \varphi - \frac{16}{9\pi} + \frac{1}{2} \sin \varphi - \frac{1}{6} \sin^3 \varphi - \frac{1}{2} \varphi \cos \varphi \right),$$

где  $g_0$  - максимальное значение конечной радиальной нагрузки, распределенной по закону синуса, кН/м;

$\varphi$  - угол, определяющий сечение бруса.

$$\text{В данном случае } g_0 = \frac{0,25F_i}{\pi \cdot \rho}, \rho = \frac{h_1 + 2U_1}{2}.$$

Продольная сила растяжения-сжатия определяется по формуле

$$N = 0,5F_i \sin \varphi,$$

где  $\varphi = 0^\circ$  - угол сечения I-I;

$\varphi = 45^\circ$  - угол сечения II-II.

Площадь сечения определяется по формуле

$$S = (U_2 - U_1)b_2 + h_1b_1.$$

Радиус кривизны нейтрального слоя в сечении определяется по формуле

$$r = \frac{h_2}{\ln(U_2 / U_1)}.$$

Исходные данные и результаты вычислений сведены в таблицу 3.13.

Удельное давление на проушины определяется по формуле

$$P_{y\bar{d}} = \frac{F_i}{\alpha_{\beta M} \cdot l_{\beta M}},$$

где  $F_i = N$  - реакция опоры на телескоп, кН,

$$N = G_3 + G, \text{ при } \beta = 0 \text{ и } G = 19,6 \text{ кН.}$$

Таким образом  $P_{y\bar{d}} = 3,1 \text{ МПа}$ .

Допустимое удельное давление для материала МАС  $[P_{y\bar{d}}] = 50...100 \text{ МПа}$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломной работе была разработана техпомощь на базе автомобиля КамАЗ-6510, оснащённая манипулятором грузоподъёмностью три тонны. Манипулятор в качестве сменного рабочего оборудования имеет крюковую подвеску, ротатор, клещевой захват и траверсу.

Манипулятор установлен в задней части кузова автомобиля на дополнительной раме, что позволяет обслуживать большее рабочее пространство чем манипулятор, установленный за кабиной автомобиля.

При проектировании техпомощи с манипулятором были проведены силовые и прочностные расчёты, расчёт на устойчивость, сделан анализ конструкций машин данного класса.

Внедрение предлагаемой машины на предприятии позволит увеличить мобильность рабочей бригады, исключит зависимость от крана, что позволит быстрее производить необходимые работы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эксплуатация дорожных машин/Под ред. А.М. Шейнина. – М.: Транспорт, 1992. – 328 с.
2. Рекомендации по организации технического обслуживания и ремонта строительных машин. – М.: Стройиздат, 1973. –92с.
3. Добронравов С.С. Строительные машины и оборудование: Справочник для строит. Спец. вузов и инж. –техн. работников. М.: Машиностроение, 1985.
4. Панкратов С.А., Ряхин В.А. Основы расчета и проектирования металлических конструкций строительных и дорожных машин М.: Машиностроение, 1967.
5. Красников В.В. и др. Подъемно-транспортные машины – 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Агропромиздат, 1987. -272 с.
6. Каверзин С.В. Курсовое и дипломное проектирование по гидроприводу самоходных машин. М.: Машиностроение, 1997. – 85 с.
7. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя: В 3 т. Т2. – М.: Машиностроение, 1982. – 584 с., ил.
8. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К. Точность обработки заготовки и припуски в машиностроении. Справочник в 2 т. – Т.2. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
9. Горбацевич А.Ф, Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – Минск: Высшая школа, 1983.
10. Панов А.А. Обработка металлов резанием: Справочник технолога /А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.: Под ред. А.А. Панова – М., 1988.
11. Воробьев Л.Н. Технология машиностроения и ремонт машин. – М.: Машиностроение, 1981.