Сюнев, Владимир Сергеевич. Динамические нагрузки опорных элементов лесных колесных подборочно-транспортных машин и их снижение : Дис. ... канд. технические науки : 05.06.02.-

**Содержание к диссертации**

Введение

**1. Состояние вопроса и задачи исследования 10**

1.1. Особенности динамики лесных колесных подборочно-транспортных машин и нагруженности их опорных элементов при функционировании в режимах погрузки и разгрузки 10

1.2. Анализ исследований по определению динамических нагрузок, возникающих при функционировании манипулятора лесной машины 18

1.3. Анализ исследований по определению нагрузок на опорные элементы грузоподъемных машин 23

1.4. Анализ исследований колебаний машин с шарнирно--сочлененными рамами 29

1.5. Постановка задач исследования 33

**2. Разработки математических моделей для исследованш динамических нагрузок на опорные элементы лесной колесной машины с манипулятором при работе в режимах погрузки и разгрузки 36**

2.1. Общие принципы построения математических моделей для исследования динамических процессов в многомассовых системах 36

2.2. Определение параметров динамической модели и обоснование эквивалентной расчетной схемы 37

2.3. Разработка полной.математической модели для исследования динамических нагрузок на опорные элементы лесной колесной машины с манипулятором 49

2.4. Модели для исследования частных нагрузочных режижимов 59

2.4.1. Упрощенная модель для исследования динамических нагрузок на опорные элементы при работе машины в режиме подъема (опускания) груза-пачки над возом 59

2.4.2. Упрощенная модель для исследования динамических нагрузок на опорные элементы при работе машины в режиме поворота манипулятора в горизонтальной плоскости 66

2.4.3. Упрощенная модель для исследования динамических нагрузок на опорные элементы при работе машины в режиме подъема (опускания) груза-пачки над землей 69

2.4.4. Упрощенная модель для исследования динамических нагрузок на опорные элементы при аварийном падении груза навоз

2.5. Оценка потери точности при применении упрощенных моделей по сравнению с полной моделью 76

Выводы 84

**3. Методика экспериментальных исследований динамических нагрузок на опорные элементы лесной колесной машины с манипулятором при работе в режимах погрузки и разгрузки 86**

3.1. Общие вопросы 86

3.2. Задачи экспериментальных исследований 88

3.3. Методика проведения экспериментальных исследований и фиксируемые параметры 88

3.4. Разработка измерительной аппаратуры для экспериментальных исследований, выбор регистрирующей аппаратуры и источников питания 89

3.4.1. Основные требования к измерительной и регистрирующей аппаратуре и источникам питания 89

3.4.2. Разработка аппаратуры для исследования динамической нагруженности опорных элементов лесной манипуляторной машины 92

3.5. Тарировка измерительной аппаратуры 101

3.6. Методика экспериментального определения нормальной и боковой жесткости шин и коэффициентов демпфирования 104

3.7. Программа экспериментальных исследований динамической нагруженности опорных элементов 108

3.8. Методика осциллографирования исследуемого процесса 110

3.9. Методика обработки осциллограмм и погрешность измерений 111

Выводы 112

**4. Экспериментальные исследования динамических нагрузок на опорные элементы лесной колесной машины с манипулятором при функционировании в режимах погрузки и разгрузки113**

4.1. Объект исследований 113

4.2. Характеристики опытного участка и технологического процесса 114

4.3. Подготовка и условия проведения эксперимента 116

4.4. Размещение измерительной аппаратуры на объекте исследований 116

4.5. Осциллографирование процесса погрузки и раз грузки.. 121

4.6. Результаты экспериментальных исследований 125

4.6.1. Результаты экспериментальных исследований динамических нагрузок на опорные элементы при работе машины в режиме подъема (опускания) груза-пачки над возом J25

4.6.2. Результаты экспериментальных исследований динамических нагрузок на опорные элементы при работе машины в режиме поворота манипулятора в горизонтальной плоскости 130

4.6.3. Результаты экспериментальных исследований динамических нагрузок на опорные элементы при работе машины в режиме подъема (опускания) груза-пачки над землей 132,

4.6.4. Результаты экспериментальных исследований динамических нагрузок на опорные элементы при аварийных режимах нагружения 137

4.7. Сопоставление результатов экспериментальных исследований и теоретических расчетов 142

Выводы 148

**5. Обоснование компоновки и параметров динамической системы подборщика-сортриментвоза150**

5.1. Особенности работы пневматических шин как опорных элементов манипуляторных машин 150

5.2. Применение электронных моделей для исследования динамической нагруженности опорных элементов 154

5.3. Анализ компоновки манипулятора на базовой машине.. 159

5.4. Оценка влияния жесткости шин на динамическую нагруженность опорных элементов 169

5.5. Оценка влияния демпфирования в системе на динамическую нагруженность опорных элементов 180

5.6. Оценка влияния инерционных и геометрических параметров на динамическую нагруженность опорных элементов 185

Выводы и рекомендации 191

Основные выводы и рекомендации 193

Литература 196

Приложения 208

* [Анализ исследований по определению динамических нагрузок, возникающих при функционировании манипулятора лесной машины](http://www.dslib.net/les-mashyny/dinamicheskie-nagruzki-opornyh-jelementov-lesnyh-kolesnyh-podborochno-transportnyh.html#3858431)
* [Определение параметров динамической модели и обоснование эквивалентной расчетной схемы](http://www.dslib.net/les-mashyny/dinamicheskie-nagruzki-opornyh-jelementov-lesnyh-kolesnyh-podborochno-transportnyh.html#3858432)
* [Методика проведения экспериментальных исследований и фиксируемые параметры](http://www.dslib.net/les-mashyny/dinamicheskie-nagruzki-opornyh-jelementov-lesnyh-kolesnyh-podborochno-transportnyh.html#3858433)
* [Характеристики опытного участка и технологического процесса](http://www.dslib.net/les-mashyny/dinamicheskie-nagruzki-opornyh-jelementov-lesnyh-kolesnyh-podborochno-transportnyh.html#3858434)

**Введение к работе**

В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на I98I-I985 годы и на период до 1990 года", принятых на ХХУІ съезде КПСС, предусмотрено: "Обеспечить дальнейшее развитие лесозаготовительной промышленности, оснастить предприятия высокопроизводительными машинами для лесозаготовок, дорожного строительства и погрузочно-разгрузочных работ" /I/.

Для успешного выполнения поставленных задач по обеспечению лесной промышленности и лесного хозяйства новой техникой необходимо учитывать основные тенденции развития этих отраслей с тем, чтобы обеспечить опережающее создание новых машин, отвечающих перспективным требованиям.

В последние годы большое внимание уделяется разработке и созданию специальных лесных машин на колесной базе, имеющих ряд существенных преимуществ перед гусеничными /2/.

В Ленинградской лесотехнической академии имени С.М.Кирова на протяжении ряда лет проводятся работы по созданию лесных колесных машин на базе серийно выпускаемых сельскохозяйственных тракторов /3,4/. Оснащение созданных по этому направлению машин современным технологическим оборудованием манипуляторного типа открывает большие перспективы их использования в лесной промышленности и лесном хозяйстве. Применение таких машин позволит "полнее использовать лесосырьевые ресурсы в европейской части страны без ущерба окружающей среде" /I/ за счет развития системы постепенных, выборочных и санитарных рубок, а также механизировать лесохозяйственные работы.

Одними из основных элементов лесных колесных машин являются пневматические шины. От их состояния в большой степени зависит эффективность, а в ряде случаев и безопасность работы колес-

- 8 -ных машин. Пневматические шины являются не только одними из наиболее ответственных и дорогостоящих элементов конструкции лесных машин, но и отличаются исключительной сложностью рабочих процессов, происходящих при выполнении шинами их функций.

Лесные колесные машины с манипуляторами выполняют помимо транспортных другие операции технологического процесса лесозаготовок, в частности, погрузочно-разгрузочные. В зависимости от режима функционирования лесной машины пневматические шины работают либо в качестве движителя, либо в качестве опорных элементов, воспринимающих динамические нагрузки, возникающие при взаимодействии манипулятора с предметом труда.

С уменьшением времени работы манипуляторной машины в транспортных режимах и соответствующим увеличением времени работы машины в режимах погрузки и разгрузки увеличивается время работы пневматических шин в качестве опорных элементов. Поэтому при выборе шин для лесных манипуляторных машин, исследовании их работы, расчете долговечности нельзя ограничиваться рассмотрением только транспортных режимов и не учитывать возможность функционирования пневматических шин в качестве опорных элементов.

Проводимые до настоящего времени исследования не затрагивали вопросы, связанные с работой шин как опорных элементов лесных колесных манипуляторных машин. Это объясняется рядом причин, одной из которых является отсутствие информации о характере и величине динамических нагрузок на опорные элементы, возникающих в процессе взаимодействия манипулятора с предметом труда. Для получения такой информации требуется всестороннее исследование режимов функционирования лесных колесных машин с манипуляторами и наличие теоретических и экспериментальных методов определения динамических нагрузок на опорные элементы.

Цель настоящей работы состоит в разработке теоретических и экспериментальных методов определения динамических нагрузок на опорные элементы (пневматические шины) лесных колесных машин с манипуляторами и обосновании рекомендаций по снижению динамической нагруженности пневматических шин подборочно-транспортных машин при их функционировании в режимах погрузки и разгрузки.

На защиту выносятся следующие основные научные положения:

1. Математические модели для расчета и исследования динамических нагрузок на опорные элементы, возникающих при функционировании манипулятора лесной колесной подборочно-транспортной машины в режимах погрузки и разгрузки.
2. Методика экспериментального определения нормальных и боковых динамических нагрузок на опорные элементы лесных колесных манипуляторных машин.
3. Основные закономерности динамических нагрузок на опорные элементы подборочно-транспортных машин при их функционировании в режимах погрузки и разгрузки воза.
4. Рекомендации по снижению уровня динамических нагрузок на опорные элементы подборочно-транспортных машин на примере подборщика-сортиментовоза Р-234 конструкции ЛТА-КарНИМЛ.

Результаты работы использованы в ЛТА им.С.М.Кирова при выполнении хоздоговорных научно-исследовательских тем № госрегистрации 0I8290450I6 1982 г., № 01830039862 1984 г. и при создании второго экспериментального образца подборщика-сортиментовоза Р-234 конструкции ЛТА-КарНИИЛП, разрабатываемого в соответствии с наряд-заказом Технического управления Минлесбумпрома СССР от 30 октября 1981 года на базе сельскохозяйственного трактора МТЗ-80.

## Анализ исследований по определению динамических нагрузок, возникающих при функционировании манипулятора лесной машины

Внешними причинами являются возмущения, приложенные к системе извне: микронеровности поверхности пути, изменения скорости движения, изменения внешней нагрузки на технологическое оборудование машины при выполнении различных технологических операций и т.д. Классификация различных видов возмущающих сил, действующих на лесные машины при их функционировании в процессе заготовки древесины, проведена А.В.Жуковым и Л.И.Кадолко /17/. Динамические воздействия на лесные машины подразделяются на следующие основные группы: - воздействия на ходовые органы машины и деревья (хлысты) при трелевке или подтаскивании от неровностей дорог или волоков; - редкоизменяющиеся инерционные силы при изменении скорости движения машин или направления их движения; - изменяющиеся по времени нагрузки в силовых элементах привода погрузочно-разгрузочных, валочных и валочно-пакетирующих лесозаготовительных машин; - импульсные ударные нагрузки, возникающие при валке деревьев и их пакетировании гравитационным способом. Исследование качественных и количественных характеристик различных возмущающих сил необходимо для решения разнообразных задач, связанных с определением динамических нагрузок в лесных машинах.

Ряд источников возмущения, виды возмущающих сил и их характеристика достаточно основательно изучены и освещены в специальной литературе. Это, в основном, относится к исследованиям по изучению характеристик воздействия на транспортные средства от неровностей дорог /18,19,20 и др./ К сожалению, в литературе нет полных и обобщенных данных по характеристикам возмущающих воздействий, появляющихся при формировании пачек деревьев, погрузочно-разгрузочных и других операциях лесосечных работ, а также воздействий, возникающих при изменении режимов и скоростей движения транспортных средств и т.д. В данном случае, при исследовании процессов погрузки и разгрузки, нас интересуют вынужденные колебания машины, вызванные колебаниями нагрузки на манипулятор. Изучению динамических нагрузок, возникающих в грузоподъемных механизмах при их функционировании в различных режимах, посвящены работы М.С.Комарова /21,22/, Д.П.Волкова /23,24/,А.Н.Го-лубенцева /25/, Н.И.Григорьева /26/ и многих других. В этих работах сформулированы основополагающие принципы определения динамических нагрузок. Механизмы грузоподъемных машин представляются в виде приведенных (динамических) схем с различным количеством приведенных масс, соединенных упругими звеньями. Возможность такого упрощения позволяет характеризовать положение каждой сосредоточенной (приведенной) массы одной обобщенной координатой.

В этом случае движение машины описывается ограниченным числом дифференциальных уравнений. Вид этих уравнений зависит от числа степеней свободы механической системы и характере накладываемых связей. По результатам решения уравнений, описывающих движение механической системы, эквивалентной грузоподъемной машине, определяются динамические нагрузки в различных механизма. В последнее время появился ряд работ, посвященных исследованига динамических нагрузок, возникающих в грузоподъемных механизмах лесных машин, в том числе - манипуляторных. Одной из первых работ в этом направлении является работа Г.А.Рахманина /27/. В ней излагается методика аналитического определения величины и характера изменения динамических нагрузок на конструкцию и гидропривод манипулятора лесного погрузчика при его работе в переходных режимах: разгон при подъеме и торможение при опускании груза. Автором работы отмечено, что возмущающее воздействие формируется в приводе гидроманипулятора. Изменение этого воздействия и его интенсивность могут быть различными в зависимости от величины действующих ускорений и характера их действия. При расчете динамических нагрузок Г.А.Рахманиным принят наиболее тяжелый случай динамического нагружения манипулятора - случай его установки на жестком основании. Реальная конструкция манипулятора представлена идеализированной схемой, состоящей из сосредоточенных масс, соединенными упругими звеньями. На основании принципа Даламбера составлены уравнения движения механической системы для рассматриваемых режимов нагружения. Полученные выражения позволяют определять расчетным путем параметры исследуемых процессов - частоту, период, амплитуду колебаний нагрузки на конструкцию манипулятора. Наиболее полно вопросы исследования динамических нагрузок на конструкцию манипулятора при его функционировании, освещены в работах В.А.Александрова /28-34/. В этих работах приведены расчетные схемы динамических моделей для исследования переходных процессов в технологическом оборудовании лесосечных машин в наиболее тяжелых режимах их функционирования. Каждая из схем представлена также в виде системы сосредоточенных дискретных масс, соединенных упругими невесомыми связями. Разработанные математические модели позволяют определять динамические нагруз-ки на металлоконструкцию манипулятора для различных режимов его работы при функционировании как с дискретным жестким грузом (сортименты, пни), так и с грузом, обладающим упругими свойствами (дерево, хлыст). В работе /31/ рассматривается возможность аналитического решения полученных дифференциальных уравнений, а также их решения с использованием вычислительной техники. Применение этих моделей позволяет теоретически определять характер изменения и величину динамических нагрузок на манипулятор лесосечной машины для различных градаций погружаемых деревьев, характеристик манипулятора, скорости подъема груза и т.д. Таким образом, использование разработанных методик позволяет определить величину возмущающей силы, действующей на манипулятор при его работе и вызывающей колебания базы. Исследованиям динамических нагрузок в грузоподъемных механизмах лесных погрузчиков посвящены также работы В.И.Алябьева и В.Ф.Мушты /35/, А.И.Глебова и Л.П.Яновского /36/, В.И.Шустова /37/, В.А.Чернцова /38,39/ и других.

## Определение параметров динамической модели и обоснование эквивалентной расчетной схемы

Максимальные динамические нагрузки на опорные элементы в рассматриваемом случае возникают при торможении манипулятора на максимальном вылете в процессе подъема (опускания) груза-пачки над возом, что соответствует первому расчетному режиму. Состояние исследуемой системы определяется координатами зс и \, На систему действует сила r\tJ и момент М„(Ц. Уравнения, описывающие движение системы для этого случая соответствуют уравнениям (а) и (б) исходной системы (2.42). Пренебрегая диссипативны-ми силами,уравнения можно переписать в виде Уравнения (2.51) не связаны с уравнениями (в,г,д,е) системы (2.42), что позволяет рассматривать колебания машины в продольно--вертикальной плоскости независимо от колебаний в поперечной плоскости. Это дает возможность аналитически исследовать нагруженность опорных элементов в первом расчетном режиме с использованием плоской расчетной схемы (рис.2.3).

Перейдем от координат х и п к координатам % и %я - вертикальным перемещениям передней и задней осей машины, пользуясь тем, что между этими координатами существует связь /80/ Введя в системе уравнений (2.51) замену (2.52), после преобразований получим На практике встречается случай расположения центров масс секций над осями машины. В этом случае Я = Cf и v = vi , условие (2.57) не выполняется. Несмотря на это, колебания передней и задней осей в данном случае можно также рассматривать раздельно при выполнении условия инерционной симметрии /98/ где Ju - момент инерции всей машины; )т - масса всей машины; - расстояние от точки центра масс всей машины до передней оси; юл - расстояние от точки центра масс всей машины до задней оси. Уравнения (2.56) для данного случая можно записать в виде или, вводя соответствующие обозначения при условии инерционной симметрии, будем иметь Расчеты конкретных параметров ряда машин показывают, что условие (2.57) или (2.58) выполняются, следовательно, исследование нагруженности опорных элементов в первом расчетном режиме можно проводить раздельно для передней и задней осей по одномассовым расчетным схемам (рис.2.4).

Уравнение, описывающее движение по одномассовой расчетной схеме без учета демпфирования,имеет вид где С- жесткость двух шин. Приведем уравнение (2.61) к стандартному виду здесь р = л/-гг" - собственная частота колебаний системы; В рассматриваемом случае возмущающая сила изменяется по закону "7=6 Psi nCot /27,31/ и ее амплитуда уменьшается с течением времени. Для исследуемой механической системы выполняется условие 6t -U) и, следовательно, демпфированный период колебаний возмущающей силы практически не отличается от незатухающих гармонических колебаний /99/. Поэтому, пренебрегая как и прежде диссипатив-ными потерями, примем гармонический закон изменения возмущающей силы. Описание колебательного процесса, вызываемого гармонической возмущающей силой,можно получить при помощи формулы /100/: Вычислив интеграл, найдем при (бо Р)

## Методика проведения экспериментальных исследований и фиксируемые параметры

При экспериментальных исследованиях динамической нагружен-ности опорных элементов манипуляторной машины, функционирующей в режимах погрузки и разгрузки, определяем следующие параметры: - величину динамической нагрузки на манипулятор, возникающей при его функционировании; - угловые перемещения элементов манипулятора, позволяющие анализировать движение манипулятора по этапам и опреде лять фактические скорости перемещения элементов манипу лятора; с этой целью осуществляется замер углов 1) , if , - нормальную и боковую деформацию шин. С целью повышения достоверности экспериментальных данных параллельно с замером нормальной и боковой деформации опорных элементов производится регистрация непосредственно нормальной и боковой нагрузки на опорные элементы. К аппаратуре, применяемой для экспериментальных исследований лесных машин, обычно предъявляются следующие общие требования: - простота конструкции и регулировки, небольшие габариты, удобство монтажа и демонтажа; - надежность работы при длительной эксплуатации; - необходимая точность измерений; - аппаратура должна быть надежно защищена от пыли, влаги и механических повреждений; на показаниях приборов не должны существенно отражаться изменения влажности, температуры и вибрации; - безинерционность измерительной аппаратуры и воспринимающих элементов; собственная частота регистрирующего прибора и датчиков должна находиться в соответствии с продолжительностью действия нагрузок и величиной усилий; - измерительная и регистрирующая аппаратура, источники питания не должны существенно влиять на параметры исследуемой машины; - воспринимающие элементы датчиков должны допускать возможность статической тарировки; - обработка записанных данных не должна быть трудоемкой. К аппаратуре, применяемой для исследования динамической на-груженности опорных элементов, помимо общих предъявляются особые требования. Аппаратура должна осуществлять дифференцированную регистрацию нормальных и боковых нагрузок на опорные элементы, позволять исключить влияние проскальзывания и прогиба шины, возникающего от нормальной нагрузки на колесо, на регистрируемое значение боковой деформации шины. В качестве источников питания потенциометрических и тензо-датчиков годны только аккумуляторы, напряжение которых держится постоянным в течении всего времени измерений. Применение выпрямителей здесь нецелесообразно в силу того, что напряжение на их зажимах может колебаться вместе с колебаниями напряжения в сети. При выборе источников питания нужно учесть время, в течение] которого аккумулятор может работать при неизменном напряжении на его зажимах. После того, как аккумулятор отдает запасенную им энергию, напряжение на зажимах быстро падает. Кроме того, некоторое время после зарядки аккумулятор имеет повышенное напряжение.

Для того, чтобы напряжение аккумулятора было постоянным в течение всего времени измерения, питание датчиков нужно начинать - 92 -после 10 % разрядки аккумулятора от максимального значения емкости. Контроль за напряжением на зажимах аккумулятора необходимо производить на всем протяжении экспериментальных исследований. При параллельном включении датчиков в измерительную схему время, в течение которого аккумулятор обеспечит гарантированное напряжение, определяется по формуле /104/ где оп- паспортная емкость акумулятора; Н - сопротивление датчика; U - напряжение на колодках цепи датчиков; Л - количество датчиков. Для питания осциллографа допускается применение выпрямителей переменного тока с выходным напряжением 24 -г 27 В. Исследование машины связано с изменением изучаемых параметров во времени, что требует фиксации на соответствующем записывающем устройстве. Запись всех регистрируемых параметров осуществляется на осциллограф К-І2-22 с отметкой времени 0,1 с. Питание осциллографа осуществляется от двух аккумуляторных батарей типа 6СТ-І28, включенных последовательно для обеспечения напряжения 24 В, либо от блока питания типа П-001. Замер нагрузки на манипулятор, возникающей при его функционировании, осуществляется кольцевым тензометрическим звеном (рис.3.2). В качестве преобразователей в нем применяются фольговые тензорезисторы с параметрами: тензочувствительность К =2,2; сопротивление К = 200 Ом. Расчет тензометрического звена производится по известной методике /105,106,107/. Замер угловых перемещений стрелы, рукояти, угла поворота манипулятора в горизонтальной плоскости осуществляется потенцио-метрическими датчиками типа ППБ-ЗВ, сопротивлением 470 0м. Датчик I устанавливается в металлический корпус 2, закрывается крышкой 3 (рис.3.3). Для предохранения попадания в корпус датчика пыли и влаги, он изолируется водонепроницаемыми материалами.

Нормальная деформация шины замеряется с помощью потенциоме-трического датчика линейных перемещений особой конструкции (рис. 3.4). Датчик представляет собой стальную трубу І, в которой перемещается поршень 2 со штоком 3. Поршень опирается на пружину 4, имея возможность возвратно-поступательного движения. На штоке поршня установлена катушка потенциометра 5 сопротивлением I кОм. В корпусе трубы просверлено отверстие, в которое запрессована втулка б. Внутри втулки находится бронзовый ползунок 7. Ползунок прижимается к катушке потенциометра пружинкой 8. Сила прижатия пружинки регулируется винтом 9. Общий вид датчика показан на рис.3.5.

## Характеристики опытного участка и технологического процесса

Эксплуатационные исследования подборщика-сортиментовоза проводились в Ладвинском леспромхозе КарНИШШа (Карельская АССР) на рубках прореживания. Лесозаготовительные условия были такими: тип леса - сосняк-брусничник; состав насаждения - 7С30с+Б; полнота - 0,8; класс возраста - Ш; рельеф - всхолмленный; запас на одном гектаре - 180 м3; объем выборки с I га - 50 м3; средний объем хлыста вырубаемой части .древостоя - 0,09 м3. Заготовка леса осуществлялась по следующей технологии. На опытном участке по параллельной схеме прорубались волоки шириной 4 м на расстоянии друг от друга 30 м. При помощи харвестера "Маккери" производилась валка деревьев, транспортировка их с пасеки к волоку в вертикальном положении, обрезка сучьев и раскряжевка на сортименты длиной 2 и б м, которые закладывались в пачки вдоль волока. Подборщик-сортиментовоз, передвигаясь с остановками по волоку, осуществлял сбор, погрузку на себя, подвозку,раз грузку и штабелевку сортиментов на погрузочную площадку.

Подвозка сортиментов осуществлялась на расстоянии до 300м, рейсовая нагрузка составила при подвозе коротья - 3,4 м , дол-готья - 4,0 м3. Средняя производительность за час оперативной работы составила на подвозке двухметровых сортиментов - 4,05 м3; на подвозке шестиметровых сортиментов - 6,05 м3. Средний объем пачки сортиментов погружаемой (разгружаемой) за один цикл работы манипулятора составляет - 0,2 м3. Подготовка эксперимента заключалась, собственно, в подготовке трактора к работе; монтаже приспособлений и измерительной аппаратуры на тракторе; присоединении датчиков к пульту управления и регистрирующей аппаратуре и проверке исправности и работоспособности всего измерительного-регистрирующего комплекса. Размещение измерительной и регистрирующей аппаратуры при исследовании процесса погрузки-разгрузки производилось,исходя из следующих требований: -наименее возможные расстояния от места размещения регистрирующей аппаратуры до объекта исследований; - надежное крепление измерительной аппаратуры на объекте исследований; - защита аппаратуры от воздействий влаги, пыли и механических повреждений; - удобство прокладки соединительных проводов на объекте исследований и подвода питания для аппаратуры ; - обеспечение удобства работы исследователя и оператора.

При подготовке к работе осциллографа проверялась: - освещенность всех шлейфов; - работа электрочасов и отметчика времени; - работа лентопротяжного механизма; - исправность всех соединений и тумблеров. Проверка источников питания заключалась в постоянном контроле напряжения, подаваемого на датчики измерительной схемы и на осциллограф. После отладки и проверки работоспособности всей элпаратуры проводилась запись пробных осциллограмм и определялось необходимое количество опытов. Экспериментальные исследования динамической нагруженности опорных элементов проводились в п.Шокша Ладвинского леспромхоза Карельской АССР и в г.Петрозаводске на испытательном полигоне КарНИИЛПа. Особенности разработанной аппаратуры и самого исследуемого процесса требовали проведения эксперимента в стационарных условиях на специально оборудованных площадках. Условия процесса погрузки-разгрузки были максимально приближены к лесным; сортименты располагались относительно трактора определенным образом, аналогично их расположению при работе машины в лесу.

Опыты проводились согласно программе исследований с погрузкой (разгрузкой) как пачек, так и отдельных сортиментов и хлыстов. Подъем деревьев при погрузке (разгрузке) осуществлялся на высоту, необходимую для поворота манипулятора при погрузке (разгрузке), а также на максимальную высоту. Исследовался как процесс погрузки-разгрузки, так и отдельные режимы (подъем груза с земли, поворот манипулятора с грузом в горизонтальной плоскости, опускание груза на воз, работа манипулятора в режимах торможения, аварийное открытие захвата и т.д.). В качестве операто pa использовался тракторист, имеющий опыт работы на манипулятор-ных машинах.