

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАХВАТА ЛЕСОПОГРУЗЧИКА

В.Ф. Полетайкин, Е.В. Авдеева

Сибирский государственный технологический университет, пр. Мира, 82, Красноярск, Россия

Вопросы совершенствования конструкций и повышения надежности отечественных лесосечных и лесотранспортных машин, включая лесопогрузчики, являются актуальными. Для повышения надежности лесопогрузчиков перекидного типа требуется проведение комплексных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию эффективных конструкций механизмов поворота захвата. На основе уравнения тягового баланса лесопогрузчика разработаны математические модели эксплуатационных режимов системы «лесопогрузчик-груз» для трех вариантов работы: при движении по площадке без уклона, при движении на спуск и на подъем. Для моделирования влияния эксплуатационных факторов на величину касательной силы и оптимизации параметров механизма поворота применен метод покоординатного спуска. Определено влияние коэффициентов сцепления, сопротивления движению и угла уклона погрузочной площадки на величину свободной силы тяги, расходуемой на преодоление сил сопротивления внедрению захвата в штабель. Пределы варьирования эксплуатационных факторов ( $\alpha_{пл}$ ,  $f$ ,  $\varphi_{сц}$ ) *установлены на основе анализа условий эксплуатации лесопогрузчиков*. С целью проверки адекватности разработанных ранее математических моделей и достоверности результатов математического моделирования режимов работы проведены экспериментальные исследования захвата лесопогрузчика перекидного типа. В качестве объекта экспериментальных исследований был принят лесопогрузчик класса 35 кН (ЛТ-65Б). В статье рассмотрены методика и результаты экспериментальных исследований нагрузок на элементы конструкции захвата.

**Ключевые слова:** лесопогрузчики, захват, механизм поворота, динамические нагрузки, экспериментальные исследования

Questions of improvement of designs and increase of reliability domestic the lesosechnykh and the lesotransportnykh of cars, including loggers, are actual. Increase of reliability of loggers of cross over type requires carrying out complex research and developmental works on creation of effective designs of mechanisms of turn of capture. On the basis of the equation of traction balance of a logger mathematical models of the operational modes of logger freight system are developed for three options of work: at the movement on a platform without bias, at the movement on descent and to rise. The method of pokoordinatny descent is applied to modeling of influence of operational factors at a size of tangent force and optimization of parameters of the mechanism of turn. Influence of coefficients of coupling, resistance to the movement and a corner of a bias of a loading platform at a size of free force of the draft spent for overcoming of forces of resistance to introduction of capture in a stack is defined. Limits of a variation of operational factors ( $\alpha_{пл}$ ,  $f$ ,  $\varphi_{сц}$ ) are established on the basis of the analysis of service conditions of loggers. For the purpose of check of adequacy of the developed earlier mathematical models and reliability of results of mathematical modeling of operating modes pilot studies of capture of a logger of cross over type are conducted. As object of pilot studies the logger of a class of 35 kN (LT-65B) was accepted. In article the technique and results of pilot studies of loads of capture design elements are considered.

**Keywords:** loggers, capture, turn mechanism, dynamic loadings, pilot studies

Вопросы совершенствования конструкций и повышения надежности отечественных лесосечных и лесотранспортных машин, включая лесопогрузчики, являются актуальными. Для повышения надежности лесопогрузчиков перекидного типа требуется проведение комплексных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию эффективных конструкций механизмов поворота захвата. В работах [Полетайкин, 2011; Аверьянов, 2006] на основе уравнения тягового баланса лесопогрузчика разработаны математические модели и выполнено моделирование эксплуатационных режимов системы «лесопогрузчик-груз» для трех вариантов работы: при движении по площадке без уклона, при движении на спуск и на подъем. С целью проверки адекватности математических моделей и достоверности результатов математического моделирования режимов работы проведены экспериментальные исследования нагрузок на элементы захвата лесопогрузчика перекидного типа. В качестве объекта эксперименталь-

ных исследований был выбран лесопогрузчик класса 35 кН (ЛТ-65Б). Экспериментальные исследования проводились в Верхне-Бирюсинском лесничестве Учебно-опытного лесхоза СибГТУ.

В процессе экспериментальных исследований проводились измерения нагрузок на элементы конструкции лесопогрузчика при внедрении захвата в беспрокладочный штабель круглых лесоматериалов. Высота штабеля составляла 1,8 метра, глубина – 8 метров. Торцы бревен были выровнены. Под воздействием осадков несущая способность грунтов изменялась, вследствие чего изменялись условия движения лесопогрузчика. Тип и состояние опорной поверхности можно было охарактеризовать как грунтовая дорога в период распутицы и целина летом, увлажненная до пластичного состояния. Уклон погрузочной площадки составлял 7 градусов.

В процессе экспериментальных исследований измерялись и регистрировались следующие величины:

1. Давление в нагнетательных трубопроводах гидроцилиндров привода механизма поворота нижней челюсти захвата.

2. Напряжения в элементах конструкции нижней челюсти захвата.

Для проведения экспериментальных исследований была скомплектована информационно-измерительная система (ИИС) (рисунок 1). Основой ИИС является персональный компьютер с тактовой частотой 550 МГц. Компонентами ИИС являются плата аналого-цифрового преобразования (АЦП) L-154, тензометрический усилитель, тензометрические датчики, преобразователь давления МП-22517. Используемые измерительные приборы были тарированы и обеспечивали необходимую точность измерений. Вероятная относительная погрешность составила не более 1 %. Преобразователь давления был установлен на балке стрелы и включен в трубопровод штоковой полости гидроцилиндра (рисунок 2). Тензорезисторы наклеивались на подготовленные места на боковинах нижней челюсти для измерения нормальных напряжений и на связи нижней челюсти лесопогрузчика между фланцем и боковиной для нахождения касательных напряжений в конструкции (рисунок 3).

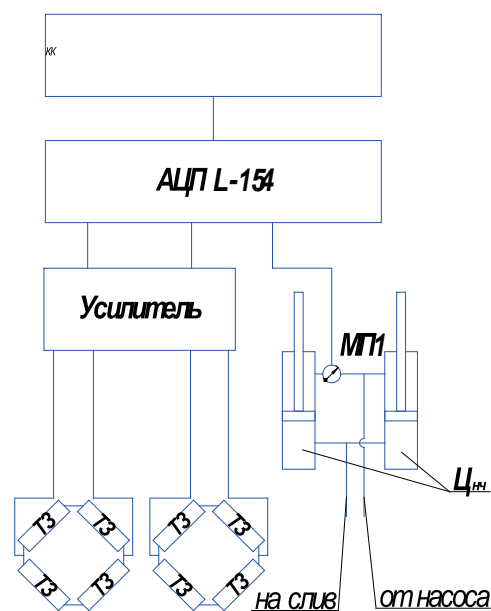


Рисунок 1 – Блок-схема информационно-измерительной системы

На рисунке 1: МП1 – преобразователь давления МП-22517; ТЗ – тензорезистор; Ц<sub>нч</sub> – гидроцилиндры привода поворота захвата.



Рисунок 2 – Установка преобразователя давления МП-22517 в гидросистему

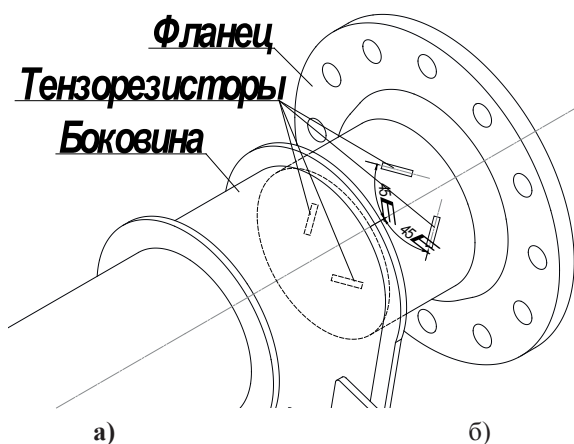


Рисунок 3 – Схема установки тензорезисторов: а – на боковину нижней челюсти; б – на участок связи нижней челюсти

С преобразователя давления МП-22517 снималось напряжение, которое поступало на плату аналого-цифрового преобразователя L-154. Сигналы с диагоналей тензометрических мостов поступали на тензоусилитель, далее на каналы платы аналого-цифрового преобразователя и записывались на жесткий диск компьютера. Запись результатов экспериментальных исследований осуществлялась блоками в программе «PowerGraph», предназначенной для регистрации, обработки и хранения аналоговых сигналов, записанных с помощью аналого-цифровых преобразователей. Каждый блок это непрерывный набор данных, полученных для каждого канала записи. Записи на осциллограммах отражают процесс в функции времени, ось времени располагается вдоль осциллограммы и является абсциссой графика, изменение исследуемого процесса записано по ординате

(рисунок 4). Обработка полученных экспериментальных данных осуществлялась следующим образом:

с помощью модуля послесезансовой обработки программы «PowerGraph» полученный сигнал очищался от помех; ординаты осциллограмм, соответствующие нормальному ( $\sigma_n$ ), касательному ( $\sigma_c$ ) напряжениям или давлению (P) при максимальной силе тяге, а следовательно при максимальной силе отпора штабеля, найденные с помощью инструментов программы «PowerGraph» копировались в табличный процессор Excel;

- полученные массивы данных умножались на соответствующие тарировочные коэффициенты для преобразователя давления и тензорезисторов и получалось, соответственно, давление в штоковых полостях гидроцилиндров или напряжения в сечениях боковины и связи нижней челюсти.

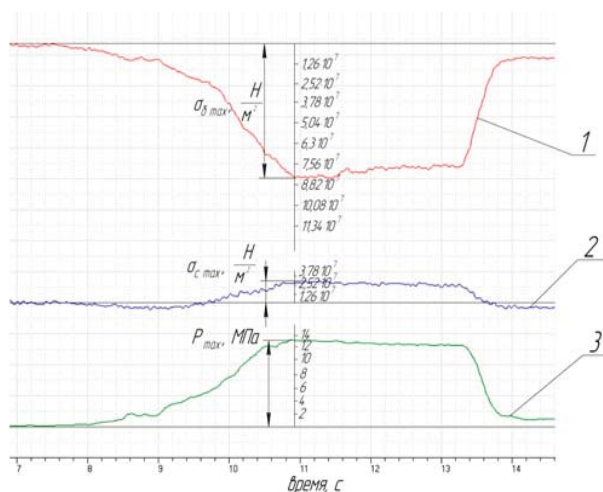


Рисунок 4 – Фрагменты осциллограмм нагрузок в режиме внедрения захвата в штабель

На рисунке 4: 1 – сигнал от тензометрического моста на боковине нижней челюсти; 2 – сигнал от тензометрического моста на связи нижней челюсти; 3 – сигнал от преобразователя давления МП – 22517.

В результате обработки полученных экспериментальных данных, найдены усилия на штоках гидроцилиндров и изгибающий момент в сечении, а также крутящий момент, действующий на связь нижней челюсти. Сила сопротивления внедрению определялась из уравнений равновесия системы относительно оси вращения захвата.

Экспериментальные исследования подтвердили выводы теоретических исследований о величине нагрузок на элементы конструкции захвата лесопогрузчика перекидного типа в процессе внедрения захвата в штабель. Расхождение результатов не превышает 14,8 %.

На рисунке 5 приведены зависимости изменения силы сопротивления внедрению при варьировании коэффициента сцепления, сопротивления движения при разных углах уклона погрузочной площадки. Точками отмечены силы сопротивления внедрению захвата в штабель, полученные в результате экспериментальных исследований.

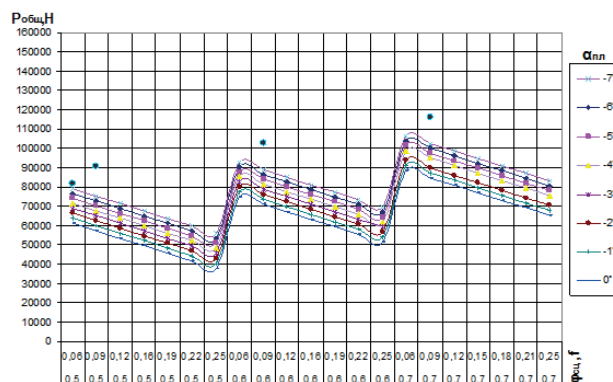


Рисунок 5 – Сравнение данных теоретических и экспериментальных исследований

С целью исследования зависимости нагрузок на механизм поворота от конструктивных и эксплуатационных факторов, выполнен вычислительный (машинный) эксперимент на математических моделях с использованием метода имитационного моделирования. Для этого применялся математический аппарат планирования многофакторного эксперимента и полученные ранее математические модели движения систем «Лесопогрузчик - груз», «Механизм поворота – рабочий орган – груз».

Регрессионные модели, полученные в результате обработки вычислительного (машинного) эксперимента позволяют оценить влияние каждого конструктивного и эксплуатационного фактора на уровень нагрузок на элементы конструкции, эффекты парных взаимодействий факторов, определить оптимальные конструктивные параметры механизма. Расхождение результатов, полученных по математическим моделям и уравнениям регрессии не превышает 1%.

Уравнение регрессии для режима движения лесопогрузчика на спуск получено в следующем виде:

$$Y_1 = -0,008 \cdot 123084,494 \cdot X_1 + 137060,255 \cdot X_2 + 150660,559 \cdot X_3 + 8362,125 \cdot X_1 X_3 - 8362,128 \cdot X_2 X_3. \quad (1)$$

В уравнении (1):  $Y_1$  – свободная сила тяги;  $X_1$  – коэффициент сопротивления качению;  $X_2$  – коэффициент сцепления;  $X_3$  – угол уклона погрузочной площадки. Уравнение регрессии для режима отделения пачки лесоматериалов от штабеля (2) получено в следующем виде:

$$Y_3 = 4150863,557 - 9473,183 \cdot X_1 - 22972,382 \cdot X_2 - 443,41 \cdot X_3 + 48,895 \cdot X_1 X_2 + 1,051 \cdot X_1 X_3 + 0,781 \cdot X_2 X_3. \quad (2)$$

В уравнении (2):  $Y_3$  – усилия на штоках гидроцилиндров;  $X_1$  – параметр кинематики  $l_4$ ;  $X_2$  – параметр кинематики  $l_2$ ;  $X_3$  – масса поднимаемого груза.

## ВЫВОДЫ

1. В результате теоретических и экспериментальных исследований обоснованы оптимальные параметры рычажного механизма поворота нижней челюсти с учетом инерционных нагрузок, а также конструктивных и технологических ограничений.

2. Разработаны регрессионные модели, позволяющие определять величины внешних воздействий при внедрении захвата в штабель, оптимальные кинематические параметры рычажного механизма поворота захвата, а также оценить степень влияния конструктивных ( $l_2, l_4$ ) и эксплуатационных (коэффициентов сопротивления движения и сцепления и угла уклона погрузочной площадки) факторов на уровень динамической нагруженности элементов конструкции захвата и его механизма поворота.

3. Экспериментальными исследованиями установлено, что математическое описание сил сопротивления внедрению с помощью уравнения тягового баланса достоверно отражает величины нагрузок, действующих в процессе внедрения захвата в штабель, расхождение не превышает 14,8 %, что позво-

ляет сделать вывод об адекватности математических моделей и достоверности полученных результатов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Полетайкин В.Ф. Прикладная механика лесных подъемно-транспортных машин [Текст]: Монография / В.Ф. Полетайкин. – Красноярск: СибГТУ, 2010. 247 с.

Полетайкин В.Ф. Проектирование специальных лесных машин [Текст]: учебное пособие для студентов специальности 170401 всех форм обучения / В.Ф. Полетайкин. – Красноярск: - СибГТУ, 2011. – 282с.

Аверьянов, В. С. Совершенствование механизма поворота нижней челюсти захвата перекидного лесопогрузчика / В. С. Аверьянов // Вестник КрасГАУ. – Красноярск: КрасГАУ, Выпуск 13, 2006. – С. 475 – 480.

---

Поступила в редакцию 29.06.16  
Принята к печати 29.12.16