

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАГРУЗОК НА ГУСЕНИЧНЫЕ ЛЕСОПОГРУЗЧИКИ

В.Ф. Полетайкин, Г.Н. Плесовских

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный технологический университет»
660049 Красноярск, пр. Мира, 82; e-mail: poletaikin_vf@mail.ru

Исследования показывают, что динамические нагрузки, возникающие при работе лесопогрузчиков, могут в несколько раз превышать статические, поэтому учет их при проектировании является обязательным. Величина и характер действующих нагрузок, влияние на их уровень конструктивных и эксплуатационных факторов определяются в результате математического моделирования или экспериментальных исследований процессов функционирования систем (процессов грузового хода, разгона и остановки машины с грузом и других). Использование методов экспериментальных исследований обеспечивает возможность непрерывной записи измеряемых величин по времени, высокую точность и дистанционное измерение параметров процессов динамического нагружения элементов конструкции машины. В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований динамических нагрузок на подвеску корпуса и технологическое оборудование гусеничных лесопогрузчиков при движении машины с грузом через препятствия. Математическая обработка результатов исследований позволила получить уравнения регрессии, позволяющие определять значения динамических нагрузок на упругие элементы подвески корпуса лесопогрузчиков класса 40-42 кН при переезде через препятствия различной высоты с различной скоростью при разных положениях стрелы, зависимости нагрузок от эксплуатационных и конструктивных факторов, а так же определять вклад каждого из исследуемых факторов в выход процесса, включая парные взаимодействия факторов.

Ключевые слова: гусеничные лесопогрузчики, динамические нагрузки, экспериментальные исследования

Researches show that the dynamic loadings arising during the work of loggers can exceed several times static therefore the account them at design is obligatory. The size and character of the operating loadings, influence on their level of efficiency and operational factors decide as a result of mathematical modeling or pilot studies of processes of functioning of systems (processes of the cargo course, dispersal and a stop of the car on freight and others). Use of methods of pilot studies provides possibility of continuous record of the measured sizes on time, high precision and remote measurement of parameters of processes of dynamic loading of elements of a machine design. In article results of pilot studies of dynamic loads of a suspension bracket of the case and processing equipment of caterpillar loggers at the movement of the car with freight through obstacles are considered. Mathematical processing of results of researches allowed to receive the regression equations allowing to define values of dynamic loads of elastic elements of a suspension bracket of the case of loggers of a class of 40-42 kN when moving through obstacles of various height with various speed at different provisions of an arrow, dependence of loadings on operational and efficiency factors, and also to define a contribution of each of the studied factors to a process exit, including pair interactions of factors.

Keywords: caterpillar loggers, dynamic loadings, pilot studies

ЦЕЛЬ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью экспериментальных исследований является определение величины и характера нагрузок на подвеску корпуса и технологическое оборудование гусеничного лесопогрузчика класса 40 – 42 кН, доказательство достоверности математического моделирования режимов движения указанных лесопогрузчиков.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Разработка информационно - измерительной системы и методики проведения экспериментов.
2. Экспериментальные исследования режимов движения лесопогрузчика.
3. Математическая обработка результатов экспериментов. Оценка сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Измерение нагрузок на элементы конструкции лесопогрузчика в процессе движения с грузом при различных положениях стрелы производилось методом

тензометрирования. Использование данного метода обеспечивает возможность непрерывной записи измеряемых величин по времени, высокой точности и дистанционного измерения параметров процессов динамического нагружения элементов конструкции машины.

Для измерения и регистрации параметров использовались аналогово - цифровая плата L-154, преобразователь давления МП-22516, тензометрическая балка с наклееными на ее поверхностях тензометрическими датчиками 2ПКБ-20.100А, персональный компьютер, установленный на испытуемом лесопогрузчике соединенные в информационно - измерительную систему (ИИС). Исследования проводились на натурном образце лесопогрузчика перекидного типа ЛТ-65Б. на базе лесопромышленного трактора ТТ-4М. Блок-схема информационно-измерительной системы показана на рисунке 1. Тензометрическая балка предназначена для измерения деформаций рессор передней подвески корпуса при движении лесопогрузчика с грузом. На поверхностях тензо-

трической балки с двух сторон наклеивались проволоочные тензорезисторы 2ПКБ-20.100А, соединенные по схеме моста Уинстона, который через плату L-154 соединялся с персональным компьютером. Схема соединения тензорезисторов показана на рисунке 1. Тензометрическая балка одним концом закреплялась на корпусе лесопогрузчика, а другим соединялась шарнирно со штоком направляющей рессоры трактора. Таким образом, возникающие в процессе движения деформации балки и упругих элементов подвески регистрировались тензорезисторами и через плату L-154 оцифровывались и записывались на жесткий диск компьютера. Схема установки балки на испытуемом лесопогрузчике показана на рисунке 2. Питание измерительного моста тензометрической балки производилось от блока питания постоянного тока Б5-44 напряжения 12 В.

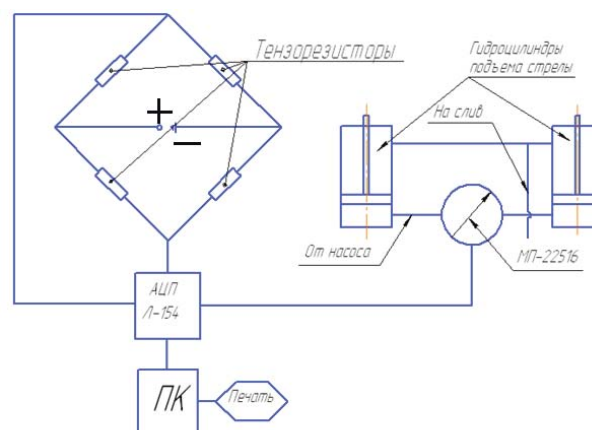


Рисунок 1 – Блок-схема информационно-измерительной системы

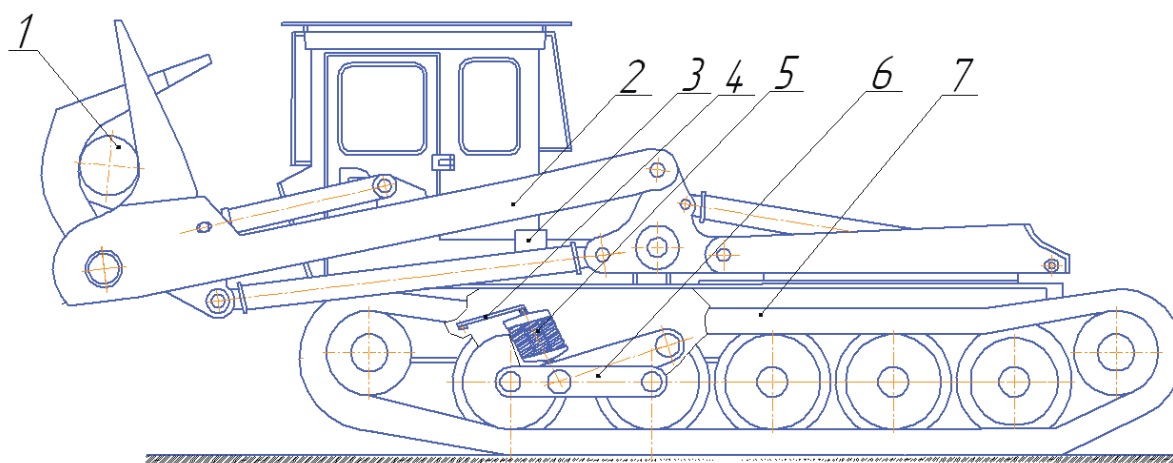


Рисунок 2 - Схема установки тензометрической балки на испытуемом лесопогрузчике: 1 - гибкий груз; 2 - стрела; 3 - преобразователь давления МП-22516; 4 - тензометрическая балка; 5 - рессоры; 6 - балансиры; 7 - корпус

С помощью преобразователя давления МП-22516 регистрировалось давление в поршневых полостях гидроцилиндров подъема стрелы. Нагрузка, приложенная к концу стрелы при подъеме груза из положения набора в транспортное и ввремя грузового хода определялась по формуле:

$$P_{\text{стр}} = \left[P_{\text{МП}} \frac{\pi D^2}{4} l \sin(\beta) \right] / l_c, \quad (1)$$

где $P_{\text{мп}}$ - давление, регистрируемое преобразователем давления МП - 22516, МПа;

D - внутренний диаметр гидроцилиндра подъема стрелы, м, [8]; l - расстояние от оси вращения стрелы до точки крепления штока гидроцилиндра к стреле, м, [8]; β - угол между осями стрелы ($0,21 \leq \beta \leq 0,29$ рад), [8]; l_c - длина стрелы, м,

Нагрузки на элементы конструкции передней подвески корпуса определялись по формуле:

$$R_N = \mu U C, \text{ кН} \quad (2)$$

где μ - масштаб тарировочного графика, $\frac{\text{ММ}}{\text{В}}$; U - напряжение, V - ордината осциллограммы (выход-

ной сигнал); C - жесткость рессор базового трактора ($C=2,3 \text{ кН/мм}$) [76]. Таким образом, по величине ординат осциллограмм тензометрической балки строились кривые нагрузок на элементы конструкции передней подвески корпуса лесопогрузчика.

Исследования выполнены в соответствии с планом активного полно факторного эксперимента типа 2^3 . В качестве варьируемых факторов принимались: x_1 - скорость движения лесопогрузчика $-V_{\text{тр}}$, м/с; x_2 - высота преодолеваемых препятствий $-h_{\text{max}}$, м; x_3 - расстояние от центра тяжести груза до оси заднего балансира (грузовое положение стрелы) - A_1 , м; в качестве критериев оценки результатов - динамические нагрузки на упругие элементы подвески корпуса лесопогрузчика - R_N и на стрелу лесопогрузчика - $P_{\text{стр}}$ кН. Пределы варьирования факторов: $0,5 \leq x_1 \leq 0,9$; $0,1 \leq x_2 \leq 0,35$; $2,05 \leq x_3 \leq 4,55$

В процессе экспериментальных исследований нагрузок на подвеску корпуса измерялись деформации упругих элементов подвески корпуса; скорость движения лесопогрузчика; вес транспортируемого груза; высота препятствия; расстояние от центра тяжести груза до оси заднего балансира (грузовое положение

стрелы); давление в нагнетательном трубопроводе гидроцилиндров подъема стрелы.

Деформации рессор подвески корпуса от внешних динамических нагрузок в вертикальном направлении измерялись при помощи тензометрической балки. Тензометрическая балка устанавливалась на корпусе лесопогрузчика и соединялась свободным концом со штоком рессоры. По результатам обработки предварительных экспериментов определялось необходимое и достаточное количество повторений основных экспериментов. При проведении каждого опыта компьютером фиксировалось время движения лесопогрузчика через препятствие.

Скорость движения лесопогрузчика через препятствие первым катком определялась на основании следующей зависимости

$$V_{mp} = \frac{L}{t}, \quad (3)$$

где L – длина препятствия,
 t – время проезда через препятствие первой парой опорных катков.

Процесс проезда лесопогрузчика через препятствие фиксировался на видеокамеру. Время проезда определялось путем вычитания времени в момент наезда на препятствие первым катком от времени в момент съезда с препятствия первым катком. Длина препятствия замерялась рулеткой. В качестве препятствий использовались сортименты диаметром $0,20 \div 0,55$ м.

Оценка сходимости результатов проводилась по следующей методике:

- строились графики зависимости нагрузок от варьируемых факторов при переезде через препятствие лесопогрузчика, полученные в результате математического моделирования;

- проводилась оценка нагрузок, полученных в результате экспериментальных исследований и определялась сходимость результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате экспериментов получены значения нагрузок, действующих на упругие элементы передней подвески корпуса и стрелу при движении лесопогрузчика через препятствие. Образец осциллограммы, полученной в результате экспериментальных исследований, представлен на рисунке 3. На рисунке:

1 - Осциллограмма давления в гидроцилиндрах подъема стрелы;

2 - Осциллограмма деформаций упругих элементов подвески корпуса

Данные, полученные в результате экспериментальных исследований, представляют собой числовой массив, состоящий из ряда столбцов. Каждый столбец соответствует определенному каналу записи. Полученные данные, после обработки в программе PowerGraph, копировались в математический пакет MathCad в виде матрицы числовых значений. Каждый столбец матрицы умножался на необходимый тарифовочный коэффициент и на жесткость упругого элемента подвески.

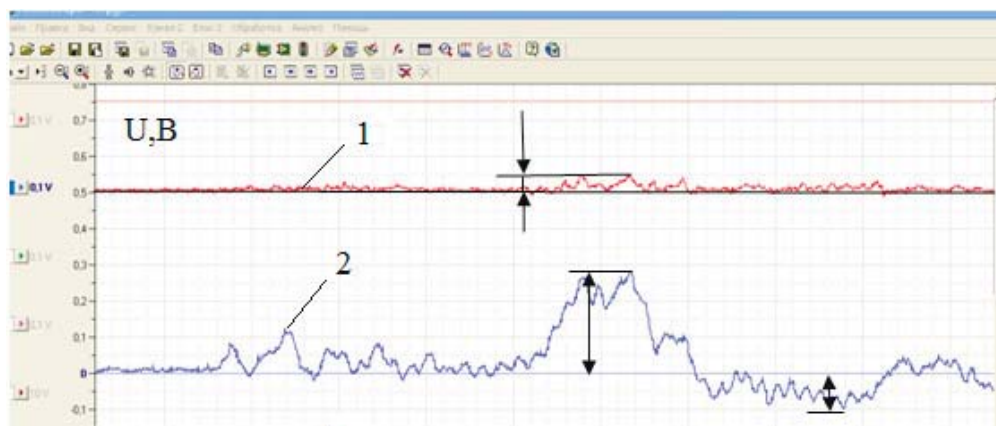


Рисунок 3 – Образец осциллограмм, полученных в результате экспериментальных исследований: 1 - осциллограмма давления в гидроцилиндрах подъема стрелы; 2 - осциллограмма деформаций упругих элементов подвески корпуса

После выбора матрицы и интервалов варьирования проводились экспериментальные исследования, результаты которых позволили рассчитать уравнение регрессии следующего вида:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_{12} + b_{13}x_{13} + b_{23}x_{23}, \quad (4)$$

где Y – значение критерия оценки результатов экспериментов (выхода процесса);

x_1, x_2, x_3 – значение уровней факторов, влияющих на процесс; b_1, b_2, b_3 – коэффициенты регрессии, отражающие степень влияния каждого фактора

на выход процесса; b_0 – остаточный член в уравнении регрессии, характеризующий средний выход процесса; b_{12}, b_{13}, b_{23} – коэффициенты регрессии, соответствующие эффектам парных взаимодействий факторов. Значимость коэффициентов и адекватность уравнения регрессии проверены по критериям Стьюдента и Фишера.

В таблице 1 приведены значения коэффициентов уравнения регрессии для определения нагрузок на подвеску корпуса лесопогрузчика при натуральных значениях факторов

Таблица 1- Значение коэффициентов уравнения регрессии для определения нагрузок на подвеску корпуса лесопогрузчика при натуральных значениях факторов

Обозначение коэффициентов	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}
Значения коэффициентов	62468	103	421	535	179	661	460

Полученное уравнение регрессии позволяет определять значения динамических нагрузок на упругие элементы подвески корпуса лесопогрузчика класса 40-42 кН при переезде через препятствия различной высоты с различной скоростью при разных положениях стрелы. При этом можно определять вклад каждого из исследуемых факторов в выход процесса, включая парные взаимодействия факторов.

На рисунках 4 и 5 показаны кривые изменения динамических нагрузок на упругие элементы подвески корпуса и стрелу лесопогрузчика при переезде через препятствие с гибким грузом, полученные в результате теоретических и экспериментальных исследований.

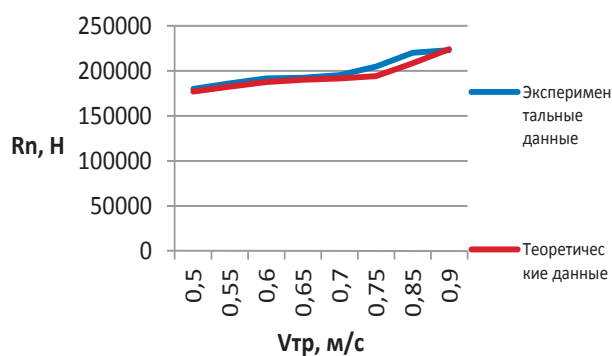


Рисунок 4 – Динамические нагрузки на подвеску корпуса при движении лесопогрузчика с гибким грузом ($A1=3,1 м$; $h_{max}=0,25 м$)

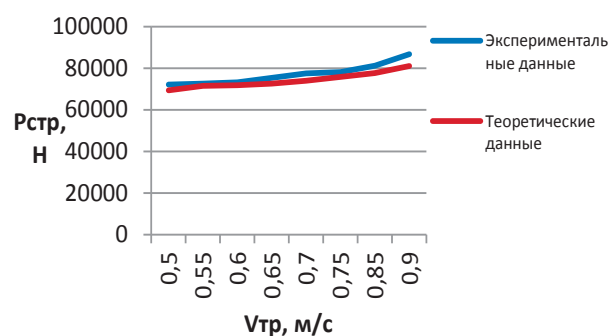


Рисунок 5 – Динамические нагрузки на стрелу при движении лесопогрузчика с гибким грузом ($A1=3,1 м$; $h_{max}=0,25 м$)

В таблицах 2 и 3 представлены значения нагрузок на подвеску корпуса и стрелу лесопогрузчика при изменении высоты препятствий от 0,15 м до 0,35 м при $A1=3,1 м$; $V_{тр}=0,7 м/с$.

Таблица 2 – Значения нагрузок на подвеску корпуса при изменении высоты препятствий ($A1=3,1 м$; $V_{тр}=0,7 м/с$)

$h_{max}, м$	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
$R_{N^2}, Н$ Экспериментальные данные	180254	196201	198679	239894	243288
$R_{N^2}, Н$ Теоретические данные	176157	188352	191767	223978	238354

Таблица 3 – Значения нагрузок на технологическое оборудование полученные при теоретических и экспериментальных исследованиях при изменении высоты препятствий ($A1=3,1 м$; $V_{тр}=0,7 м/с$)

$h_{max}, м$	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
$P_{стр}, Н$ Экспериментальные данные	72246	76728	78210	80216	85024
$P_{стр}, Н$ Теоретические данные	71196	72412	74024	77428	78451

ВЫВОДЫ

1. При увеличении скорости движения от 0,5 м/с до 0,9 м/с нагрузки на технологическое оборудование возрастают на 16 - 18 % при движении с гибким грузом и на 23 - 24 % - при движении с жестким грузом

2. При увеличении высоты препятствий от 0,15 м до 0,35 м нагрузки на технологическое оборудование при движении с гибким грузом возрастают на 8 - 10 %, при движении с жестким грузом на 6 - 8 %.

3. При увеличении скорости движения от 0,5 до 0,9 м/с нагрузки на переднюю подвеску корпуса лесопогрузчика возрастают на 26,6 % при движении с гибким грузом, и на 9 - 10 % при движении с жестким грузом

4. При увеличении высоты препятствия 0,15 до 0,35 м нагрузки на подвеску корпуса (при постоянной скорости) при движении с гибким грузом возрастают до 35 %, а при движении с жестким грузом на 6,6 %.

5. Анализ данных показал, что расхождение теоретических данных с экспериментальными составляет не более 9,0 %. Аналогичные результаты получены при других положениях стрелы с грузом (при варьировании $A1$). Экспериментальные исследования подтвердили выводы теоретических исследований о величине динамических нагрузок на стрелу и подвеску корпуса лесопогрузчика 40...42 кН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Артеменко, Е.М. Совершенствование виброизоляции силовых агрегатов для снижения динамических нагрузок корпуса гусеничных машин [Текст] / Е.М.Артеменко, Диссертация. - Барнаул.2004.-157с.
- Вострокнутов, Н.Н. Цифровые измерительные устройства. Теория погрешностей, испытания, проверка [Текст]/ Н. Н. Вострокнутов.– М.: Энергоатомиздат, 1990. – 208с.
- Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных [Текст] / Г.В. Веденяпин. – М. : Колос, 1973.-199 с.
- Методическое и программное обеспечение автоматизированного эксперимента в динамике машин [Текст] ; отв. ред. С.А. Добрынин. – М. : Наука, 1989. – 292 с.
- Клубничкин, Е.Е. Повышение долговечности ходовой системы гусеничной лесозаготовительной машины [Текст] / Е.Е. Клубничкин, Диссертация. - Москва.2008. - 208с
- Максимов, В.П. Измерение, обработка и анализ быстропеременных процессов в машинах [Текст] / В.П. Максимов. – М. : Машиностроение, 1987. –207 с.
- Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А.Б.Сергиенко. – СПб. : Питер, 2002. – 608 с
- Полетайкин, В. Ф. Прикладная механика лесных подъемно-транспортных машин. Лесопогрузчики гусеничные. [Текст]: Монография / В.Ф. Полетайкин. – Красноярск: СибГТУ, 2010. – 247с.

Поступила в редакцию 30.07.15
Принята к печати 28.12.2015