

УДК 630×36

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНОЙ РАМЫ КАБИНЫ КОЛЕСНОГО ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА

Питухин А.В., Скобцов И.Г., Хвоин Д.А.

ГОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск,
e-mail: iskobtsov@mail.ru

В статье изложена методика проведения и результаты экспериментальных исследований модели устройства защиты кабины колесного трелевочного трактора Онежского тракторного завода. Опытным путем проведена оценка напряженно-деформированного состояния защитной рамы, определена величина поглощенной энергии деформирования. Построены доверительные интервалы для математического ожидания и среднеквадратического отклонения поглощенной энергии.

Ключевые слова: колесный трелевочный трактор, устройство защиты при опрокидывании, экспериментальные исследования

THE EXPERIMENTAL ESTIMATION OF WHEELED SKIDDER'S PROTECTIVE FRAME EFFICIENCY

Pitukhin A.V., Skobtsov I.G., Khvoin D.A.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: iskobtsov@mail.ru

This paper contains the methodology and results of the experimental research of the model of wheeled skidder's roll-over protective structure, that was made at Onego Tractor Plant. The estimation of protective frame's deflected mode was done by test way, the quantity of strain energy was calculated. Confidence intervals for mathematical expectation and standard deviation were determined.

Keywords: wheeled skidder, roll-over protective structure, experimental research

Повышение энергонасыщенности лесных машин, увеличение рабочих скоростей выполнения технологических и транспортных операций влекут за собой интенсификацию труда оператора, работа которого сопровождается не только воздействием вибрации, шума, вредных примесей в воздухе, сильного мышечного и нервно-эмоционального напряжения, но и риском нанесения повреждений в случае опрокидывания управляемой им машины или падения на ее кабину спеленного дерева. С целью снижения риска нанесения повреждений оператору в подобных случаях, кабины лесозаготовительных машин оборудуются так называемыми устройствами защиты при опрокидывании (ROPS – Roll-over protective structures). Экспериментальная оценка эффективности такого устройства позволит на стадии проектирования определить соответствие ROPS нормативным требованиям безопасности [1].

Задачами данного исследования являлись построение зависимости «усилие – деформация» и определение энергии, поглощаемой устройством защиты при боковом нагружении. Действующие ГОСТы, регламентирующие порядок оценки защитных свойств ROPS [2–5], допускают проведение статических лабораторных испытаний. Испытания проводят на стендах при боковом и вертикальном нагружении, при этом деформация ROPS не должна допускать проникания своих элементов в объем ограничения деформации (DLV – deflection-limiting volume). Согласно [5], DLV – это фигура с

прямоугольными очертаниями, по размерам приблизительно соответствующая антропометрическим данным оператора по ГОСТ Р ИСО 3411 (мужчина высокого роста в положении сидя в обычной рабочей одежде и защитном шлеме) и определяющая предельно допустимую деформацию Δ_{DLV} . Объектом испытаний являлся макетный образец защитного каркаса кабины колесного трелевочного трактора ТЛК 4-01 производства Онежского тракторного завода. Модель испытываемого защитного каркаса, совмещенная с DLV, представлена на рис. 1.

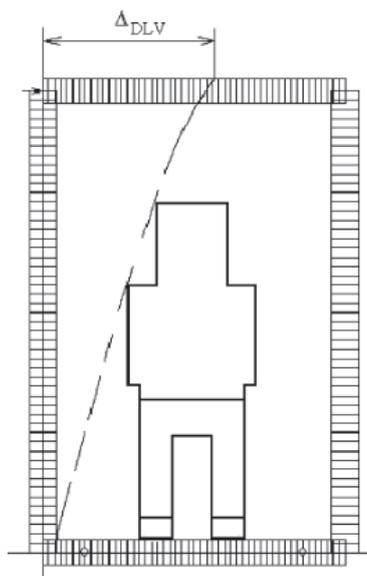


Рис. 1. Модель защитного каркаса и DLV

Испытания проводились по программе-методике [6], разработанной на Лесотехническом факультете Петрозаводского государственного университета (ПетрГУ). Изготовление макетных образцов защитного каркаса (выполнялись в уменьшенном масштабе М 1:4), а также приспособлений для их установки на стенде производилось в лаборатории сварки и лаборатории станков кафедры технологии металлов и ремонта ПетрГУ. Нагрузки макетных образцов производились в лаборатории механики ПетрГУ. В перерывах между нагрузками не допускался какой-либо ремонт или правка деформированных деталей объекта испытаний. Макетный образец устройства защиты устанавливался на стенде с помощью специального приспособления, жесткость которого в вертикальной плоскости значительно превышала жесткость макета защитного устройства. Характеристики «деформация – усилие» определялись приложением боковой нагрузки к верхнему продольному элементу защитной рамы. В качестве испытательного стенда использовалась разрывная машина Р-5 (служит для определения механических свойств материалов, а также для испытаний деталей, сборочных единиц и изделий путём повреждения или разрушения), позволявшая регистрировать следующие параметры:

– усилие, прикладываемое к устройству защиты;

– линейные деформации в точке приложения нагрузки.

Нагрузка F при боковом нагружении прикладывается к верхнему продольному элементу макета защитного устройства и увеличивается до достижения предельного значения F_{np} . Предельная нагрузка определяется по условию достижения каким либо элементом объекта испытаний или элементом крепления объекта испытаний предельного состояния, т.е. разрушения. Таким образом, имитируется процесс постепенного деформирования защитной рамы и элементов крепления при нагружении. При незначительной скорости приложения нагрузки деформацию устройства защиты при опрокидывании можно рассматривать как статическую. Значения усилий F и деформации Δ в точке приложения нагрузки регистрируются и наносятся на соответствующий график по мере увеличения деформации. Нагрузка на устройство защиты должна быть непрерывной. Полученная площадь под результирующей кривой «усилие – деформация» (диаграммой деформирования) равна поглощенной энергии (рис. 2). Площадь заштрихованной фигуры соответствует энергии U_{DLV} поглощенной конструкцией до достижения предельно допустимой деформации Δ_{DLV} . При расчете значений энергии используются фактические значения деформации по линии действия прилагаемого усилия.

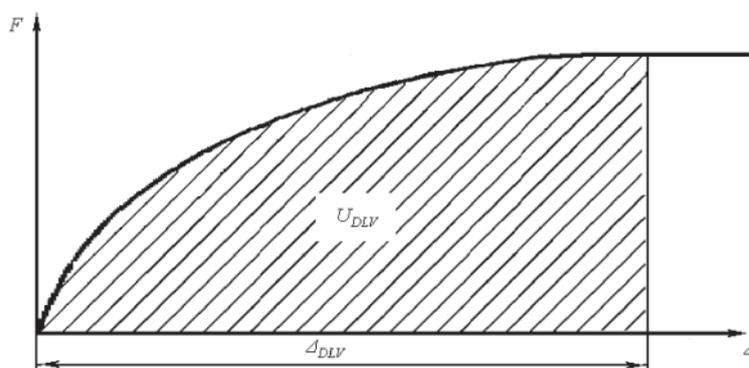


Рис. 2. Диаграмма деформирования

Обоснование числа опытов n . В основу определения числа опытов было положено стремление уменьшить суммарную случайную ошибку исходя из допущения о нормальности ее распределения. Поскольку среднеквадратическое отклонение неизвестно, следует воспользоваться квантилем распределения Стьюдента. Тогда из теории планирования эксперимента необходимое число измерений [7] составит:

$$n = \left(\frac{t_{(1-p)/2}(k)}{\varepsilon} \right)^2,$$

где $t_{(1-p)/2}(k)$ – квантиль распределения Стьюдента; p – доверительная вероятность, $p = 0,95$; k – число степеней свободы, $k = n - 1$; ε – относительная погрешность.

В данном случае, поскольку квантиль распределения Стьюдента зависит от числа степеней свободы, расчет проводится методом последовательных приближений. Так, в первой итерации задавая $k = 10$; $\varepsilon = 0,65$; $t_{(1-p)/2}(10) = 2,23$ [8], получим:

$$n_1 = \left(\frac{2,23}{0,65} \right)^2 = 11,2 \approx 12.$$

Во второй итерации, задавая $k = n_1 - 1 = 11$; $\varepsilon = 0,65$; $t_{(1-p)/2}(11) = 2,20$:

$$n_2 = \left(\frac{2,20}{0,65} \right)^2 = 11,5 \approx 12.$$

Поскольку полученные значения в первой и второй итерациях практически совпадают, принимаем $n = 12$.

Нормальный закон распределения определяется двумя параметрами: математическим ожиданием m_U и среднеквадратическим отклонением σ_U . Число измерений n всегда ограничено, и поэтому найти истинные значения этих параметров не представляется возможным. В этом случае используем оценки:

– выборочная средняя (оценка математического ожидания) поглощенной энергии

$$\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n},$$

где U_i – результат i -го опыта;

– оценка дисперсии поглощенной энергии

$$S_U^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2;$$

– оценка среднеквадратического отклонения поглощенной энергии

$$S_U = \sqrt{S_U^2}.$$

По полученным оценкам определим границы доверительных интервалов для математического ожидания

$$\bar{U} - t_{(1-p)/2}(\alpha, k) \cdot \frac{S_U}{\sqrt{n}} < m_U < \bar{U} + t_{(1-p)/2}(\alpha, k) \cdot \frac{S_U}{\sqrt{n}}$$

и среднеквадратического отклонения поглощенной энергии

$$\sqrt{\frac{(n-1) \cdot S_U^2}{\chi_{(1+p)/2}^2}} < \sigma_U < \sqrt{\frac{(n-1) \cdot S_U^2}{\chi_{(1-p)/2}^2}}.$$

Здесь $\chi_{(1+p)/2}^2$, $\chi_{(1-p)/2}^2$ – квантили распределения Пирсона.

Опытные данные, а также результаты их обработки представлены в таблице.

Результаты экспериментальных исследований энергии деформирования, Дж

№ п/п	U_i	\bar{U}	Границы доверительного интервала для m_U	S_U	Границы доверительного интервала для σ_U	$U_{ст}$
1	20687	20150	Верхняя граница, $(t_{(1-p)/2} = 2,20)$ 2278	1193	Верхняя граница, (= 3.82) 7013	19890
2	27064					
3	26405					
4	25739					
5	18890					
6	19127		Нижняя граница, $(t_{(1-p)/2} = 2,20)$ 1753		Нижняя граница, (= 21.9) 2929	
7	19784					
8	16963					
9	16594					
10	15690					
11	19634					
12	15283					

Примечание. * $U_{ст}$ – значение энергии деформирования, рекомендованное стандартом [2].

Вывод: экспериментальным путем определена величина потенциальной энергии деформирования защитного каркаса кабины трелевочного трактора. Определены доверительные интервалы для математического ожидания и среднеквадратического отклонения поглощенной энергии. Полученные значения удовлетворяют требованиям действующих стандартов.

Список литературы

1. Машины лесозаготовительные, тракторы лесопромышленные и лесохозяйственные. Требования безопасности: ГОСТ Р 51863–2002.
2. Машины лесозаготовительные, тракторы лесопромышленные и лесохозяйственные. Устройство защиты при опрокидывании. Требования безопасности и методы испытаний: ГОСТ Р ИСО 8082–99.
3. Машины лесозаготовительные, тракторы лесопромышленные и лесохозяйственные. Устройство защиты от падающих предметов. Требования безопасности и методы испытаний: ГОСТ Р ИСО 8083–99.
4. Машины лесозаготовительные, тракторы лесопромышленные и лесохозяйственные. Устройство защиты оператора. Требования безопасности и методы испытаний: ГОСТ Р ИСО 8084–99.

5. Машины землеройные. Защитные устройства. Характеристика объема ограничения деформации при лабораторных испытаниях: ГОСТ Р ИСО 3164–99.

6. Питухин А.В. Программа-методика проведения испытаний макетного образца защитной рамы кабины колесного трелевочного трактора / А.В. Питухин, И.Г. Скобцов, Д.А. Хвоин // Труды лесинженерного факультета ПетрГУ. – Вып. 8. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. – С. 117–119.

7. Налимов В.В. Теория эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 208 с.

8. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. для вузов. – 9-е изд. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

Рецензенты:

Патякин В.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой технологии лесозаготовительных производств ГОУ ВПО «Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия им. С.М. Кирова», г. Санкт-Петербург;

Заика Ю.В., д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией моделирования природно-технических систем Института прикладных математических исследований Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск.

Работа поступила в редакцию 02.06.2011.