



ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГРУЗОЗАХВАТНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ В ЦЕЛЯХ БЕЗОПАСНОСТИ

С. Д. Шишкина, ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет», студентка, e-mail: svetlanarainer@mail.ru

Предложены зависимости, обеспечивающие оптимальное проектирование грузозахватных приспособлений. При этом обеспечивается следующее требование: безопасность подъема и перемещения грузов при минимальном значении массы соответствующих устройств. Учтены все составляющие грузозахватных приспособлений: канатная часть и съемные детали.

грузозахватные приспособления, оптимальное проектирование, допустимая нагрузка

Конкретная цель данной работы: выявить такие зависимости, касающиеся съемных грузозахватных приспособлений (далее СГП), которые могли бы использоваться при оптимальном проектировании этих изделий. Цель такого проектирования заключается в расчете СГП, которое при минимальном весе обеспечивает необходимую грузоподъемность.

Поставлены конкретные задачи: получить зависимости веса грузовых крюков от их допустимой нагрузки, веса 1 метра стального каната от его диаметра, общего веса СГП от угла между ветвями грузового стропа.

Съемные грузозахватные приспособления являются важными элементами устройств, служащих для подъема и перемещения грузов. Большое значение имеет угол между противоположными ветвями грузовых стропов. При малом угле увеличивается длина ветвей стропов и, в целом, само изделие становится более тяжелым. При большом угле возрастает нагрузка на ветви стропа, что приводит к необходимости использования стальных канатов большего диаметра. В итоге, это также ведет к увеличению общего веса изделия. Главная цель автора состоит в определении оптимального угла между ветвями грузового стропа, при котором общий вес СГП будет наименьшим при обеспечении требуемой грузоподъемности.

1. Обработка данных из ГОСТ 25573-82 «Стропы грузовые канатные для строительства. Технические условия». Грузовые крюки

Обрабатывался ГОСТ 25573-82 «Стропы грузовые канатные для строительства. Технические условия». В этом стандарте в качестве захватов в СГП рекомендуется применять крюк исполнения К (рис. 1), данные по которому приведены в табл. 1.

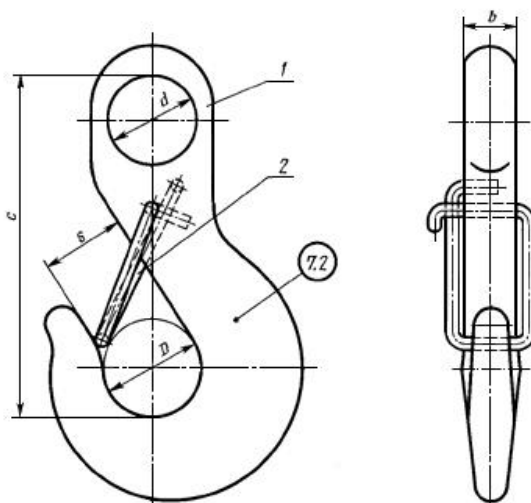


Рисунок 1 - Крюк исполнения К
1 - крюк; 2 – предохранительная планка

Таблица 1 – «Извлечение из таблицы 49 ГОСТ 25573-82»

Вес крюка, кН	Допустимая нагрузка, кН	Вес крюка, кН	Допустимая нагрузка, кН
0,000981	3,14	0,0149112	19,62
0,0014715	3,92	0,023544	24,52
0,0024525	4,9	0,030411	31,4
0,0040221	6,18	0,037278	39,24
0,0045126	7,85	0,0502272	49,05
0,006867	9,81	0,0709263	61,8
0,0079451	12,26	0,1003563	78,5
0,0122625	15,7	0,1398906	98,1

В табл. 1 данные приведены с поправкой на ускорение свободного падения [1].

По этим данным был построен график, приведенный на рис. 2. В последующем эти данные обрабатывались по методу наименьших квадратов. Рассматривались различные функции: линейная, степенная и полиномиальная.

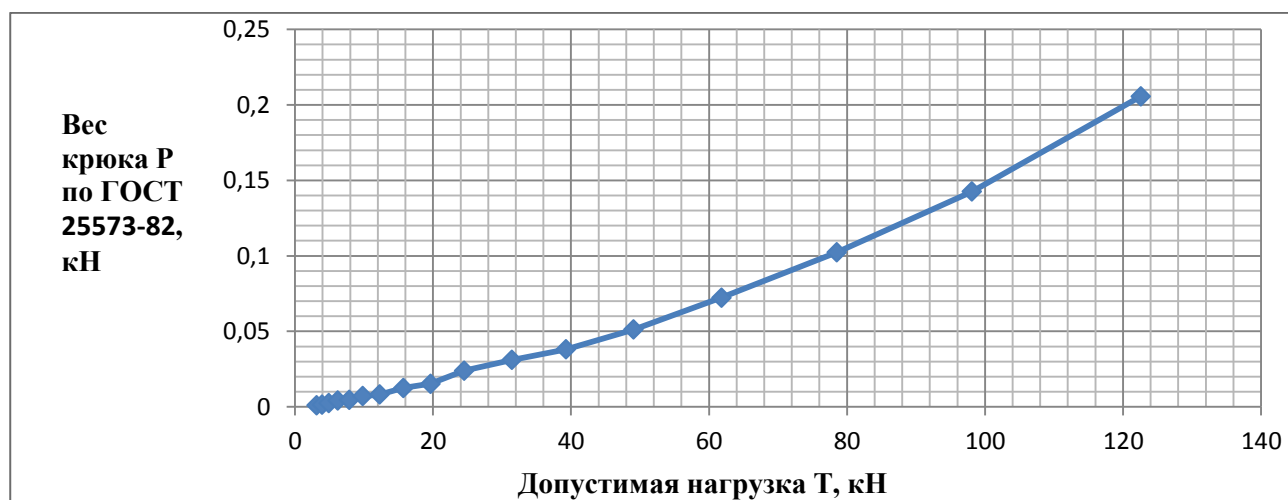


Рисунок 2 - Зависимость веса крюка по ГОСТ 25573-82 от допустимой нагрузки

Наиболее приближенной к стандартным данным оказалась полиномиальная функция второго порядка.

$$P = aT^2 + bT + c, \quad (1)$$

где P – вес крюка (кН); T – допустимая нагрузка (кН); a, b, c – коэффициенты, которые определялись по методу наименьших квадратов.

На конечном этапе была решена система из трех уравнений с тремя неизвестными. Решение этой системы позволило получить следующую эмпирическую формулу:

$$P = 0,0000079 \cdot T^2 + 0,00067 \cdot T - 0,00065. \quad (2)$$

По полученной формуле построена линия регрессии, обозначенная на рис. 3 красным цветом. На этом рисунке видно полное совпадение графиков по данным из ГОСТа 25573-82 и аппроксимирующей полиномиальной функции второго порядка с соответствующими коэффициентами.

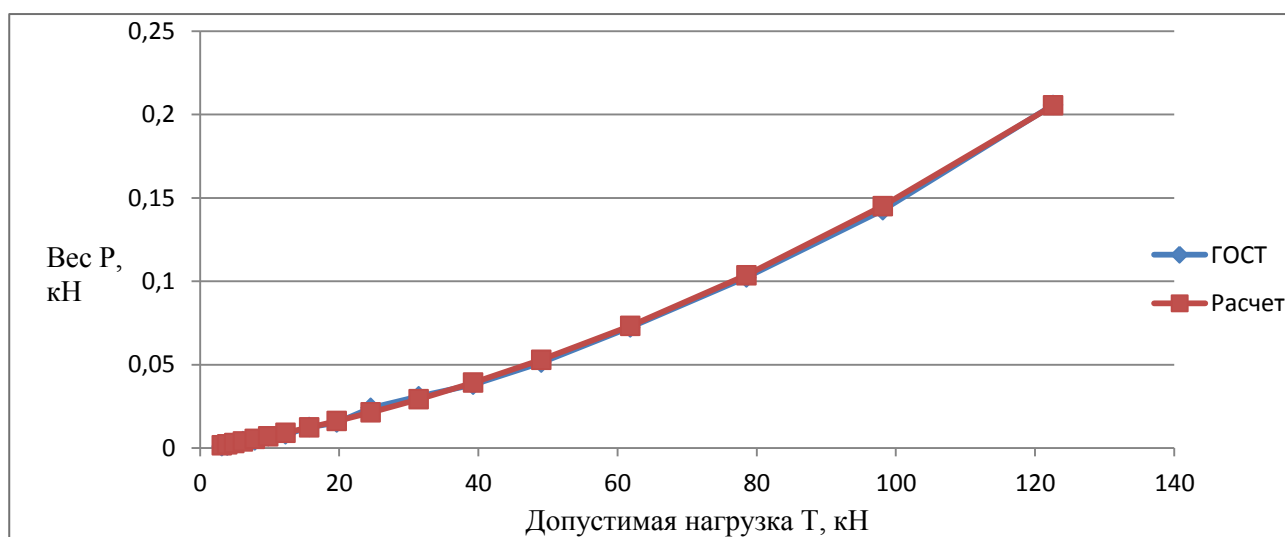


Рисунок 3 - Зависимости веса крюка от допустимой нагрузки по ГОСТ 25573-82 и по расчетной полиномиальной функции (2)

Также рассматривались линейная и степенная зависимости. Линейной зависимости соответствует функция:

$$P = k \cdot T + a, \quad (3)$$

где k – коэффициент связи допустимой нагрузки и веса крюка. В итоге была получена линейная зависимость:

$$P = 0,0016 \cdot T - 0,012. \quad (4)$$

По формуле (4) была построена линия регрессии, обозначенная на рис. 4 красным цветом. Из рисунка следует, что полного совпадения фактических и расчетных данных не наблюдается.

Была исследована также степенная функция:

$$P = a \cdot T^b, \quad (5)$$

где a и b – числовые коэффициенты.

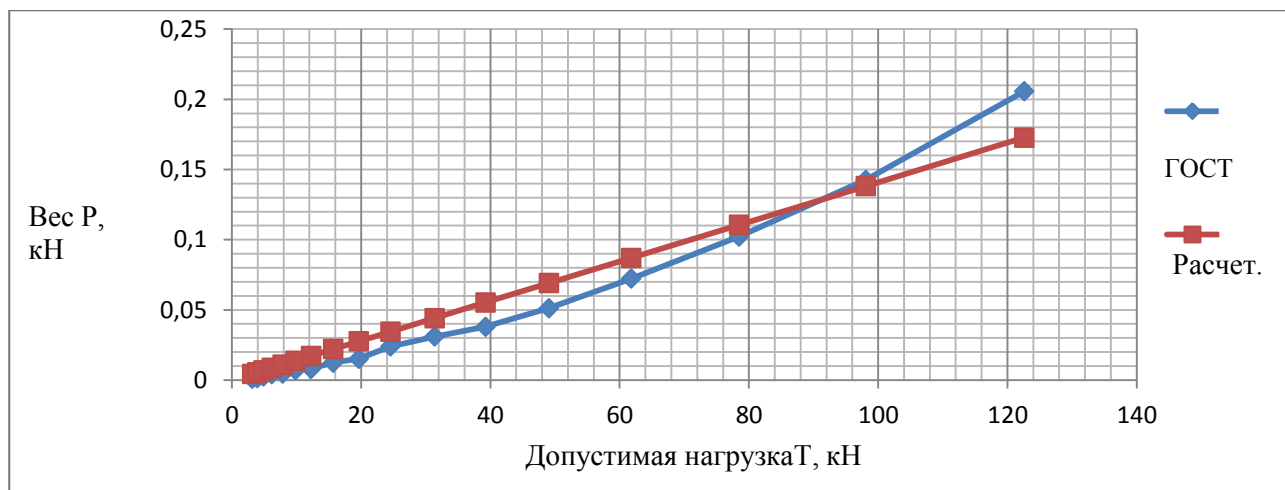


Рисунок 4 - Зависимость веса крюка от допустимой нагрузки по ГОСТ 25573-82 и расчетная зависимость по линейной функции (4)

В итоге была получена линейная зависимость:

$$P = 0,00026 \cdot T^{1,376} \quad (6)$$

На рис. 5 приведены результаты исследования, из которых видно, что, начиная с допустимой нагрузки 40 кН, наблюдается существенное расхождение фактических и расчетных данных.

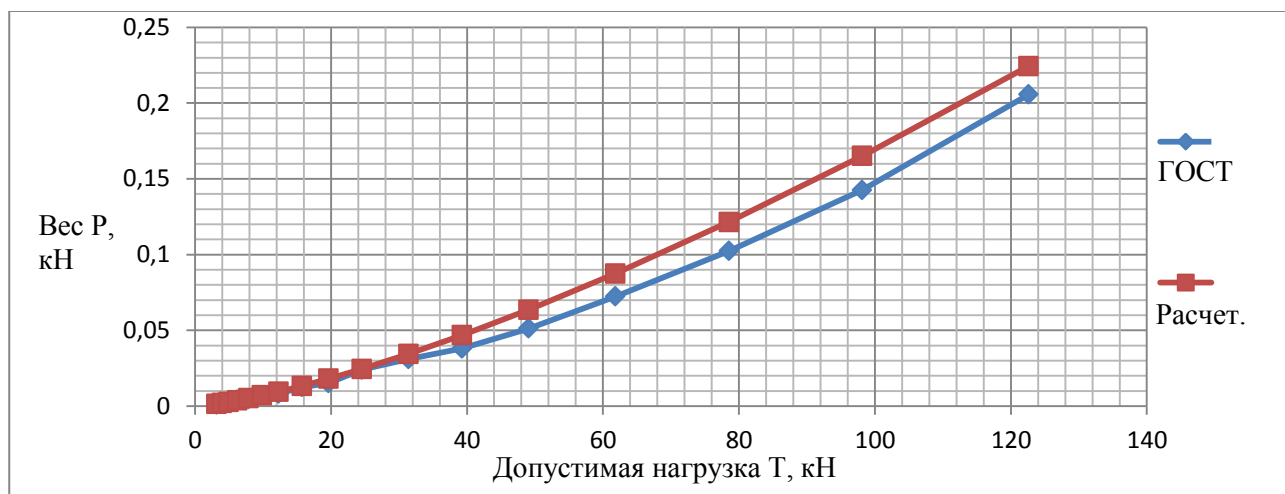


Рисунок 5 - Зависимость веса крюка от допустимой нагрузки по ГОСТ 25573 и расчетная зависимость по степенной функции (6)

2. Обработка данных из ГОСТ 3069-80 «Канат двойной свивки типа ЛК-Р».

Стальные канаты

В качестве канатной части грузовых стропов в СГП рекомендуется применять стальной канат типа ЛК-Р в 42, данные по которому приведены в табл. 2.

По данным таблицы построен соответствующий график, приведенный на рис. 6 красным цветом. Далее по методу наименьших квадратов получена линейная зависимость веса 1 метра каната от его диаметра:

$$P_k = (0,9535 \cdot d - 4,17) / 1000 \quad (\text{кН}), \quad (7)$$

где P_k – вес 1 метра каната тип ЛК-Р; d – диаметр каната ЛК-Р.

Таблица 2 – «Извлечение из таблицы 1 ГОСТ 3069-80»

Диаметр каната, мм	Вес 1 м. каната, Н	Диаметр каната, мм	Вес 1 м. каната, Н
4,7	0,775	14,5	6,971
5,6	1,122	15	7,962
6,5	1,524	16	8,992
7,5	1,993	17	10,055
8,5	2,519	19	12,439
9,5	3,010	21	15,048
10,5	3,763	22,5	17,903
11,5	4,476	24,5	21,032
12,5	5,256	26,5	24,358
13,5	6,100	28	28,007

В табл. 2 данные приведены с поправкой на ускорение свободного падения [2].

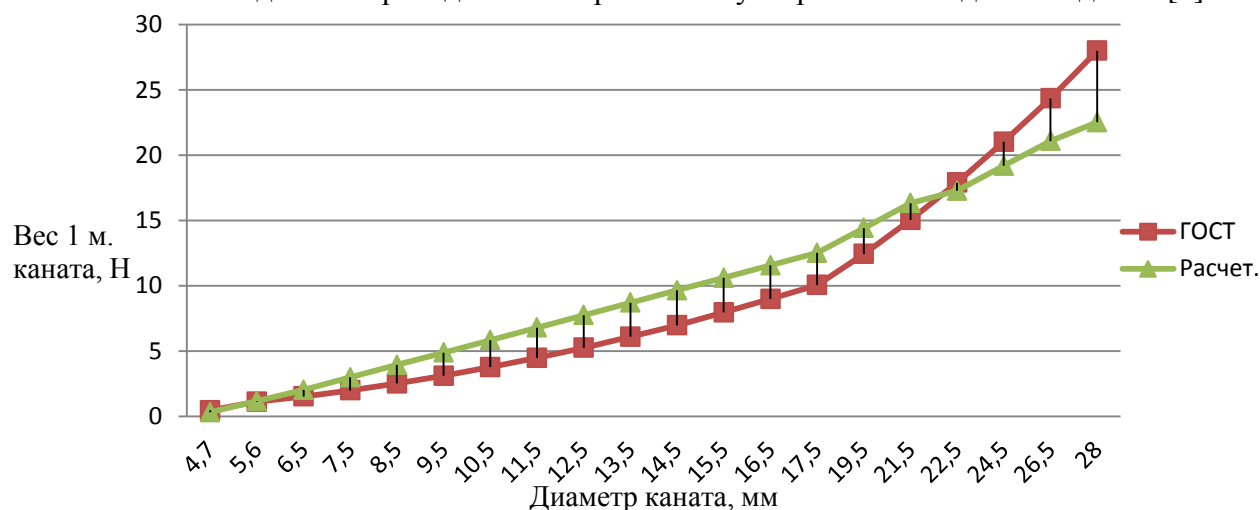


Рисунок 6 - Зависимость веса 1 метра каната по ГОСТ 3069-80 от его диаметра и расчетная зависимость (7)

По формуле (7) построена линия регрессии, приведенная на рис. 6 зеленым цветом. Из рисунка видно частичное совпадение расчетных данных и данных из ГОСТа. Поскольку, зависимость веса каната от его диаметра будет использоваться в дальнейшем при расчете общего веса СГП, было принято решение не рассматривать степенную и полиномиальную функции в виду их громоздкости.

3. Исследование зависимости общего веса СГП от угла между ветвями грузового стропа

Грузовые канатные стропы обычно состоят из крюков, скоб и канатной части. Очевидно, что общий вес $P_{общ}$ такого стропа будет определяться по формуле:

$$P_{общ} = P + n \cdot P_k + P_c, \quad (8)$$

где P – вес канатной части (кН); n – число крюков, соответствующих числу ветвей СГП; P_k – вес крюка (кН); P_c – вес скобы (кН).

В выражении (8) P_k заменим полученной формулой (7).

Для расчета веса канатной части использовалась формула:

$$P = n \cdot \frac{\sqrt{A^2+B^2}}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{k \cdot \frac{Q}{n} \cdot \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 0,78}{13500}, \quad (9)$$

где A и B – габариты, длина и ширина поднимаемого груза (м); n – число ветвей грузового стропа; α – угол между противоположными ветвями грузового стропа; $k=6$ – запас прочности; Q – вес поднимаемого груза (кН) [3].

Подставляя в формулу (8) выражения (7) и (9) без учета веса скобы, получаем:

$$P_{\text{общ}} = n \cdot \frac{\sqrt{A^2+B^2}}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{k \cdot \frac{Q}{n} \cdot \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 0,78}{13500} + n \cdot (0,0016 \cdot T - 0,012). \quad (10)$$

Допустимая нагрузка T на соединительные крюки в данном случае будет зависеть от натяжения ветвей стропа S , которое находится по формуле:

$$S = \frac{Q}{n} \cdot \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}}. \quad (11)$$

Нагрузка T определяется как:

$$T = S \cdot k_d \cdot k_n, \quad (12)$$

где $k_d = 1,1$ – коэффициент динамичности; $k_n = 1,1$ – коэффициент перегрузки [3].

С учетом формулы (11) для вычисления допустимой нагрузки T имеем:

$$T = \frac{Q}{n} \cdot \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} \cdot k_d \cdot k_n. \quad (13)$$

После подстановки в формулу (10) выражения (13), выполнив преобразования, получаем:

$$P_{\text{общ}} = n \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{\sqrt{A^2+B^2}}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{k \cdot \frac{Q}{n} \cdot \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 0,78}{13,5} + 1,6 \cdot \frac{Q}{n} \cdot \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} \cdot k_d \cdot k_n - 12 \right), \text{ кН}. \quad (14)$$

При оптимальном проектировании СГП принимаются как заданные следующие величины: n – число ветвей грузового стропа; $k=6$ – запас прочности; Q – вес поднимаемого груза (кН); A и B – длина и ширина поднимаемого груза (м). Искомым параметром остается лишь угол α между противоположными ветвями грузового стропа.

Принимаем для расчета следующие исходные данные:

$n=4$, $A=1,5$ м, $B=6$ м. $Q=100$ кН, $k=6$

После подстановки этих данных в формулу (14) и ее обработки получаем

$$P_{\text{общ}} = 4 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{\frac{927,75}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 4,824}{27 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{48,4}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 12 \right), \text{ кН}. \quad (15)$$

Для того чтобы найти наименьший вес грузового стропа, необходимо взять производную от функции (15), приравнять ее к нулю, найти точку минимума на интервале $[0; 160^\circ]$ и найти значение функции в точке минимума. График зависимости (15) показан на рис. 7. Находим точку минимума функции на интервале $[0; 160^\circ]$: при $\alpha=0,4568 \cdot \pi$ общий вес СГП наименьший и равен 0,3336 кН при заданных условиях. Угол α будет равен $82^\circ 10'$.

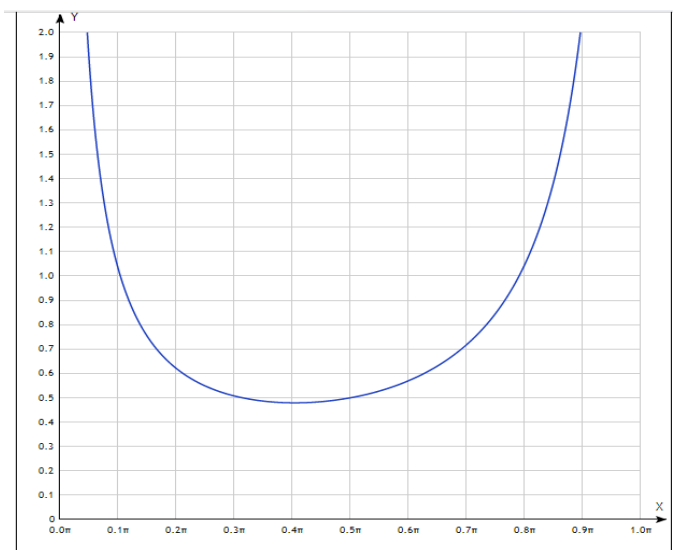


Рисунок 7 – Зависимость между общим весом СГП и углом между его стропами

Из рис. 7 следует, что отклонение от оптимального значения угла α приводит к существенному увеличению общего веса СГП. Это создает неудобства для работников, увеличение стоимости изделия.

Дальнейшие исследования будут направлены на учет веса соединительных скоб, которые служат для соединения крюков с канатной частью грузового стропа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25573-82. «Стропы грузовые канатные для строительства. Технические условия».
2. ГОСТ 3069-80. «Канат двойной свивки типа ЛК-Р».
3. Минько, В.М. К обоснованию некоторых требований безопасности, относящихся к съёмным грузозахватным приспособлениям / В.М. Минько // Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2012: X Междунар. науч. конф.: труды. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2012. – Ч. 1. – С. 305-308.

Автор выражает благодарность и глубокую признательность д.т.н., профессору, заведующему кафедрой техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» Виктору Михайловичу Минько за советы и ценные замечания при работе над данной статьей.

ELIMINATION OF DEPENDENCY FOR THE OPTIMAL DESIGN OF HOISTING DEVICES

S. D. Shishkina, FGBOU VO Kaliningrad state technical University, student,
e - mail: svetlanarainer@mail.ru

The destruction of load gripping devices almost always leads to accidents, so the relevance of such dependencies is shown. They play a big role for safe lifting and moving of various cargoes. The existing dependencies in this field, which were improved by the author on the basis of available data in the scientific literature, are analyzed. On the basis of the study the author proposes the following dependencies: the weight of the hook on its load capacity, the total weight of the load gripping device from the angle between the branches of the load sling, the weight of the rope from its diameter. With the help of the latter dependence is determined by the minimum allowable weight of the sling, which significantly reduces the cost of its acquisition.

gripping device, addiction, hook, lanyard, diameter, load limit