



К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СЪЕМНЫХ ГРУЗОЗАХВАТНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ ПОДЪЕМА ДЛИННОМЕРНЫХ ГРУЗОВ

П.А. Дьяченко, Е.В. Колдина, Д.А. Пилипчук, студенты,
В.М. Минько, профессор,
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Рассмотрены виды и назначение траверс, приведены требования безопасности в процессе эксплуатации и проверки состояния съемных грузозахватных приспособлений. Описана методика общего проектирования траверсы. Найден оптимальный угол между противоположными ветвями верхней канатной подвески траверсы, при котором она имеет необходимую грузоподъемность и минимальный вес. Рассмотрена методика проектирования траверсы для подъема длинномерного груза.

грузозахватные приспособления, траверса, оптимальный угол, требования безопасности

Длинномерные грузы (строительные конструкции, фермы, балки, трубы) достаточно широко используются при возведении различных сооружений. Если для подъема и перемещения таких конструкций использовать обычные грузовые стропы, то в перемещаемых конструкциях возникают большие сжимающие усилия, поэтому в таких случаях используют специальные съемные грузозахватные приспособления (далее СГП), которые получили общепринятое название – траверсы. К ним также предъявляются требования безопасности в процессе эксплуатации и проверки текущего состояния, которые указаны в Правилах безопасности опасных производственных объектов, использующих подъемные сооружения [1].

Правила устанавливают следующие требования:

- выполнять работы с применением СГП может персонал, имеющий уровень квалификации, соответствующий профессии «стропальщик»;
- эксплуатирующая организация должна выполнять все требования по обеспечению безопасного использования подъемных сооружений;
- СГП, признанные негодными к использованию в работе, а также с истекшим сроком безопасной эксплуатации, не должны допускаться к работе;
- стропальщики и крановщики должны проводить осмотр грузозахватных приспособлений перед их применением. Траверсы ежегодно должны частично разбираться для осмотра и ревизии, для контроля технического состояния;
- ремонт, реконструкция грузозахватных приспособлений должны производиться по проекту и техническим условиям;
- после ремонта СГП проводятся статические испытания с нагрузкой, превышающей на 25 % паспортную грузоподъемность СГП;
- при замене деталей грузозахватных приспособлений на новые элементы наносят маркировку изготовителя, а в паспорт делается отметка о проведении ремонта;

– должен быть назначен ответственный – специалист (специалисты), который будет проводить периодические осмотры СГП в соответствии с инструкцией. Осмотр траверс должен производиться ежемесячно. Результаты осмотра съемных грузозахватных приспособлений заносят в журнал осмотра грузозахватных приспособлений;

– при испытании траверс схема присоединения (зацепки, строповки) испытательного груза должна быть выполнена таким образом, чтобы его конструкция не препятствовала восприятию основными элементами металлоконструкции траверсы сжимающих или изгибающих усилий, возникающих при использовании траверс по назначению в эксплуатации;

– результаты статических испытаний грузозахватных приспособлений анализируют после снятия с них нагрузки. При наличии остаточной деформации, явившейся следствием испытания грузом, грузозахватное приспособление не должно допускаться к работе. Результаты испытания грузозахватных приспособлений статической нагрузкой должны быть оформлены актом (протоколом) испытания.

К сожалению, в перечисленных требованиях ничего не сообщается о том, что для обеспечения удобства обращения траверсы должны иметь необходимую грузоподъемность при минимальном весе.

Основное назначение траверс – предохранить поднимаемые элементы от воздействия сжимающих усилий, возникающих в них под воздействием натяжения в ветвях верхней канатной подвески траверсы.

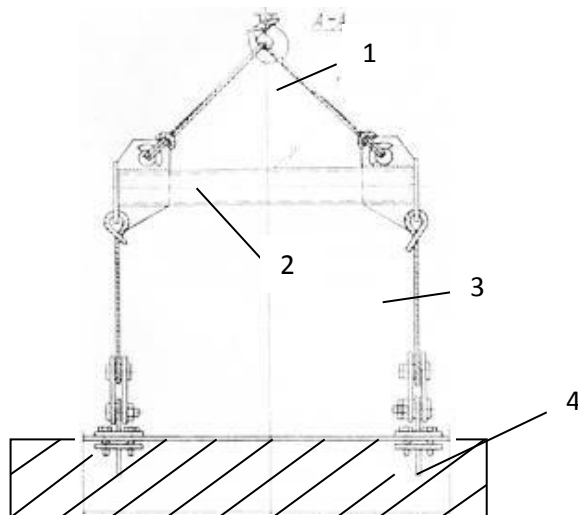


Рисунок – Траверса для подъема подкрановых балок

Траверса стандартной конструкции изображена на рисунке. Она включает верхнюю двухветвевую канатную подвеску 1, распорный элемент 2, нижнюю канатную подвеску 3. Поднимаемый длинномерный груз обозначен цифрой 4.

Расчеты и проектирование траверс конкретизируются в зависимости от их конструктивных особенностей.

Траверсы, как правило, воспринимают сжимающие или растягивающие усилия или работают на изгиб [2]. Они должны исключить возможность самопроизвольного отцепления и обеспечивать устойчивость груза во время его подъема и перемещения.

Важное значение имеет угол между противоположными ветвями верхней канатной подвески траверсы [3]. При большом угле могут возникать большие усилия в канатах и сжимающие усилия, передающиеся на распорный элемент траверсы. Соответственно увеличивается вес всего изделия.

Возникает вопрос об определении такого угла, при котором траверса имеет необходимую грузоподъемность и минимальный вес. К сожалению, в специальной литературе не определен порядок расчета такого угла. Предлагаемая методика расчета изложена ниже.

Верхняя канатная подвеска траверсы может представлять собой двухветвевую строп, который своими нижними концами соединяется с противоположными концами распорного элемента. Если длина распорного элемента траверсы составляет l , то общая длина двух ветвей верхней канатной подвески

$$L = l / \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (1)$$

где α – угол между противоположными ветвями канатной подвески.

Вес P траверсы будет состоять из веса канатной подвески $P_{к.п.}$ и веса распорного элемента траверсы P_T , в качестве которой используют прочные трубы, швеллеры, двутавры и т.д.

Общий вес P канатной подвески траверсы можно представить как

$$P_{к.п.} = (K_1 k Q l) / K_2 \cos \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (2)$$

где K_1 – размерный коэффициент, связывающий вес каната и его диаметр, кН/м²;

K_2 – размерный коэффициент, связывающий разрывную нагрузку каната с его диаметром, кН/м²;

Q – вес поднимаемого груза;

k – запас прочности, равный шести при использовании стальных канатов.

Вес распорного элемента траверсы P_T можно определить по формуле

$$P_T = \rho_T \cdot F \cdot l, \quad (3)$$

где ρ_T – удельный вес стали, используемой для изготовления траверсы, кН/м³;

F – площадь поперечного сечения трубы или двутавра, используемых для изготовления распорного элемента траверсы, м².

С учетом известных формул сопротивления материалов необходимая площадь поперечного сечения трубы или двутавра, которые можно использовать для изготовления траверсы, будет

$$F = \frac{N}{\varphi m R_T} = \frac{Q k_{п} k_{д} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\varphi m R_T}, \quad (4)$$

где N – сжимающее усилие в распорном элементе;

$k_{п}$ и $k_{д}$ – коэффициенты перегрузки и динамичности соответственно;

φ – коэффициент продольного изгиба;

m – коэффициент условий работы;

R_T – расчетное сопротивление стали.

С учетом формул (2) – (4) общий вес P траверсы, включая канатную подвеску и распорный элемент, будет

$$P = \frac{K_1 k Q l}{K_2 \cos \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\alpha}{2}} + \rho_T \frac{Q k_{п} k_{д} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\varphi m R_T} l. \quad (5)$$

Дифференцируя последнее выражение по $(\alpha/2)$, получаем уравнение, из которого может быть определено значение угла α , обеспечивающее минимальный вес траверсы. Имеем

$$- 2M_1 \cdot \sin^4 \alpha / 2 + (3M_1 + M_2) \sin^2 \alpha / 2 - M_1 = 0. \quad (6)$$

Величины M_1 и M_2 с учетом выражения (5) определяются как

$$M_1 = (K_1 k Q l) / K_2; \quad M_2 = (\rho_T Q k_{п} k_{д} l) / \varphi m R_T \quad (7)$$

Принимая $\sin^2 \alpha / 2 = x$, получаем из (6)

$$- 2 M_1 x^2 + (3M_1 + M_2)x - M_1 = 0. \quad (8)$$

Это уравнение имеет решение

$$x = \frac{-(3M_1+M_2) \pm \sqrt{(3M_1+M_2)^2 - 8M_1^2}}{-4M_1} \quad (9)$$

Примем следующие значения исходных данных: $K_1 = 38 \text{ кН/м}^3$; $k = 6$; $Q = 100 \text{ кН}$; $l = 3,5 \text{ м}$; $K_2 = 432400 \text{ кН/м}^2$; $\rho_T = 78 \text{ кН/м}^3$; $k_{\Pi} = k_D = 1,1$; $\varphi = 0,4$; $m = 0,85$; $R_T = 210 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^2$.

Подставляя приведенные значения в (7), получаем $M_1 = 0,18 \text{ кН}$; $M_2 = 0,46 \text{ кН}$.

По формуле (9) находим значение $x = 0,19$. Поскольку принималось $x = \sin^2 \alpha / 2$, то из $\sin^2 \alpha / 2 = 0,19$ получаем оптимальное значение $\alpha = 55^\circ$. При таком угле между ветвями верхней канатной подвески общий вес траверсы, рассчитанной на подъем груза весом 100 кН , будет минимальным.

В последующем нами изменялся вес поднимаемого груза и аналогично вышеизложенному определялись значения величин x и α . Результаты численного эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Результаты расчетов при различном весе поднимаемого груза

Вес груза, кН	100	150	200	300
x	0,19	0,19	0,19	0,19
$\alpha, ^\circ$	55	55	55	55

Из данных табл. 1 следует, что угол между ветвями верхней канатной подвески не зависит от веса поднимаемого груза.

Рассмотрим применение методики проектирования траверсы для подъема длинномерного груза массой $G = 200 \text{ кН}$ и длиной $L = 8 \text{ м}$. Длина траверсы $l = 3 \text{ м}$. Угол между ветвями верхней канатной подвески примем 55° .

1. Находим натяжение S_1 в канатах, соединяющих груз с траверсой:

$$S_1 = \frac{G}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ кН.}$$

Требуемое разрывное усилие R_1 будет

$$R_1 = n \cdot S_1 = 6 \cdot 100 = 600 \text{ кН,}$$

где $n = 6$ – запас прочности (принимаем, что режим работы – тяжелый).

По ГОСТ 7668 подбираем, что рассчитанному разрывному усилию $R_1 = 600 \text{ кН}$ соответствует канат диаметром $d = 36,5 \text{ мм}$ при маркировочной группе $1570(160) \text{ Н/мм}^2$ (кгс/мм^2).

2. Рассчитываем натяжение S_2 в ветвях верхней канатной подвески:

$$S_2 = \frac{1}{\cos \alpha_2} \frac{G}{2} = \frac{1}{\cos 27,5^\circ} \frac{200}{2} = 110,1 \text{ кН.}$$

Требуемое разрывное усилие R_2 будет

$$R_2 = n \cdot S_2 = 6 \cdot 110,1 = 660,6 \text{ кН.}$$

По ГОСТ 7668 находим, что при маркировочной группе $1860(190) \text{ Н/мм}^2$ (кгс/мм^2), требуемый диаметр стального каната $d = 34,5 \text{ мм}$.

3. Рассчитываем сжимающее усилие в распорном элементе траверсы N [4]

$$N = G \cdot k_{\Pi} k_D \frac{\text{tg} \alpha}{2} = 200 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot \frac{\text{tg} 62,5^\circ}{2} = 232,4 \text{ кН,}$$

где k_{Π} и k_D – коэффициенты перегрузки и динамичности, соответственно равные $1,1$; α – угол между ветвью верхней канатной подвески и горизонталью.

4. Для изготовления траверсы используем стальную трубу. Определяем площадь F_T поперечного сечения стальной трубы, принимая коэффициент продольного изгиба $\varphi_0 = 0,4$

$$F_T = \frac{N}{\varphi_0 m R \cdot 0,1} = \frac{232,4}{0,4 \cdot 0,85 \cdot 210 \cdot 0,1} = 32,5 \text{ см}^2,$$

где $m = 0,85$ – коэффициент условий работы для грузозахватных приспособлений;

R – расчетное сопротивление прокатной стали, МПа. При напряженных состояниях в виде растяжения, сжатия, изгиба для сталей класса с 38/23 $R = 210$ МПа.

5. По ГОСТ 8732-78 подбираем стальную трубу сечением 102/78 с площадью сечения $F^T = 33,9 \text{ см}^2$ и радиусом инерции $r^T = 3,21 \text{ см}$.

6. Находим расчетную длину траверсы, считая, что концы траверсы закреплены шарнирно.

$$L_T = \mu \cdot l = 1,0 \cdot 300 = 300 \text{ см},$$

где μ – коэффициент приведения длины

7. Определяем гибкость траверсы:

$$\lambda = L_T / r^T = 300 / 3,21 = 93,5 < [\lambda] = 180;$$

$[\lambda] = 180$ – предельно допустимое значение гибкости.

8. Находим коэффициент продольного изгиба $\varphi_x = 0,654$.

9. Полученное сечение траверсы проверяем на устойчивость:

$$\frac{N}{F_T \varphi_x} \leq m \cdot R$$

$$\frac{232,4}{32,5 \cdot 0,654} = 10,9 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = 109 \text{ МПа};$$

$$m \cdot R = 0,85 \cdot 210 = 178,5 \text{ МПа}.$$

Соблюдение данного неравенства свидетельствует об устойчивости расчетного сечения.

С учетом исходных данных $K_1 = 38 \text{ кН/м}^3$; $k = 6$; $Q = 200 \text{ кН}$; $l = 3 \text{ м}$; $K_2 = 432400 \text{ кН/м}^2$; $\rho_T = 78 \text{ кН/м}^3$; $k_{\Pi} = k_D = 1,1$; $\varphi = 0,654$; $m = 0,85$; $R_T = 210 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^2$ общий вес траверсы, рассчитанный по формуле (5), будет $P = 0,932 \text{ кН}$.

$$P = \frac{K_1 k Q l}{K_2 \cos \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\alpha}{2}} + \rho_T \frac{Q k_{\Pi} k_D \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\varphi m R_T} l.$$

Для изготовления распорного элемента траверсы применение стальной трубы не является оптимальным вариантом. Общий вес траверсы мог бы уменьшиться при использовании для ее изготовления трубы прямоугольного сечения или двутавра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения (Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности). – Новосибирск: Норматика, 2015. – 84 с.
2. Оберман, Я. И. Строповка грузов / Я. И. Оберман. – Москва: Металлургия, 1990. – 336 с.
3. Минько, В. М. Математическое моделирование в охране труда: моногр. / В. М. Минько. – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2008. – 248 с.
4. Матвеев, В. В. Примеры расчета такелажной оснастки / В. В. Матвеев, Н. Ф. Крупин. – Ленинград: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 320 с.

TO DESIGN HANDLING REMOVABLE DEVICES LIFTING LONG LOADS

P.A. Dyachenko, E.V. Koldina, D.A. Pilipchuk, students,
V.M. Minko, professor,
mcotminko@mail.ru
Kaliningrad State Technical University

The types and purpose of traverse, given the security requirements in service and checking the status of handling removable devices. A method for designing a common yoke. The optimal angle between the opposite branches of the cable suspension upper crosspiece at which traverse has the necessary load capacity and minimum weight. The method of design for traverse lift long loads.

handling devices, traverse the optimum angle, safety requirements