

## АНАЛИЗ ИЗНАШИВАНИЯ КРЮКОВ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ ПРИ КОНТАКТИРОВАНИИ С ТЕКСТИЛЬНЫМИ СТРОПАМИ

### ANALYSIS OF WEAR CRANE HOOKS IN CONJUNCTION WITH TEXTILE SLINGS

*Е.В. КРИВОШЕЙНА, Г.К. БУКАЛОВ, П.Н. РУДОВСКИЙ, Д.Ю. МАРТЫНОВА*

*E.V. KRIVOSHEINA, G.K. BUKALOV, P.N. RUDOVSKIY, D.YU. MARTYNova*

(Костромской государственный университет,  
Сургутский государственный университет)

(Kostroma State University,  
Surgut State University)

E-mail: elena-ot56@mail.ru; gk.bukalov44@yandex.ru; martinova@inbox.ru

*В статье анализируется изнашивание крюков текстильными стропами, которое приводит к снижению несущей способности крюков, что может служить причиной падения груза и несчастного случая. В статье указаны причины изнашивания крюков стропами, а именно раскачивание грузов на грузозахватных приспособлениях, что обуславливает скольжение строп по поверхности крюка. Предложены аналитические зависимости для описания величины изнашивания крюков текстильными стропами.*

*This article analyzes the fraying lifting hooks textile slings, which leads to a decrease in bearing capacity of hooks that can serve the cause of falling cargo and accident. In the article the reasons of wear hooks slings, namely swinging of loads on lifting devices, resulting in slipping the sling along the surface of the hook. Analytical dependences are suggested to describe the magnitude of wear lifting hooks textile slings.*

**Ключевые слова:** текстильные стропы, крюки, несущая способность, грузозахватные приспособления.

**Keywords:** textile slings, hooks, load-bearing capacity, lifting devices.

Известно, что при производстве погрузо-разгрузочных работ грузоподъемными машинами широко используются различные грузозахватные устройства и приспособления. К грузозахватным устройствам относят: крюки, грузовые захваты, а также одинарные канатные стропы, такелажные скобы и пр. К грузозахватным приспособлениям относятся: различные виды захватов, кольцевые стропы, траверсы и др., в том числе в виде крюков, к которым крепятся текстильные стро-

пы, стальные канаты и другие изделия, на которых в свою очередь прикрепляется груз.

В процессе работы стропы или канаты огибают крюки, и при их контактировании происходит взаимное изнашивание, которое ведет к снижению несущей способности крюка, что может способствовать падению груза и несчастному случаю. С целью поддержания необходимого уровня безопасности при первых признаках опасного изнашивания [1, Приложение №7] стропы и канаты выбраковываются.

Наиболее опасно возникновение канавок изнашивания стропами или канатами на крюках (рис. 1 – крюки, имеющие признаки недопустимого изнашивания).



Рис. 1

Текстильные стропы, которые используются при грузоподъемных работах, взаимодействуют и изнашивают крюки и другие грузозахватные приспособления при различных схемах строповки грузов [3]. При появлении канавок изнашивания на крюках происходит ослабление вертикального сечения крюка, то есть сечения А-А (рис. 2 – конструкция и размеры крюков) [2], которое приво-

дит к повышению риска разрушения крюка, падению груза, материальным и человеческим потерям. Крюк выбраковывается, если: износ зева крюка составляет 10% и более от первоначальной высоты сечения А-А (рис. 2). С другой стороны, известно [7], что изнашивание нитеподобными объектами может происходить как при продольном, так и поперечном движении нити или стропы. Так как на рис. 1 видно, что изнашивание происходит при продольном движении стропы, далее будем рассматривать только такое ее движение.

На рис. 2 можно видеть, что величина износа, а именно глубина канавок износа, отличается на краю контакта стропы с крюком, то есть в т. А и т. С и в центре линии контакта, то есть в т. В. Такой неравномерный износ крюка может привести к потере прочности крюка на изгиб до того, как износ в центре контакта со стропой, то есть в т. А, достигнет предельно допустимых 10% согласно [1]. Для выяснения причины такого неравномерного износа крюка стропами необходимо проанализировать процесс изнашивания.

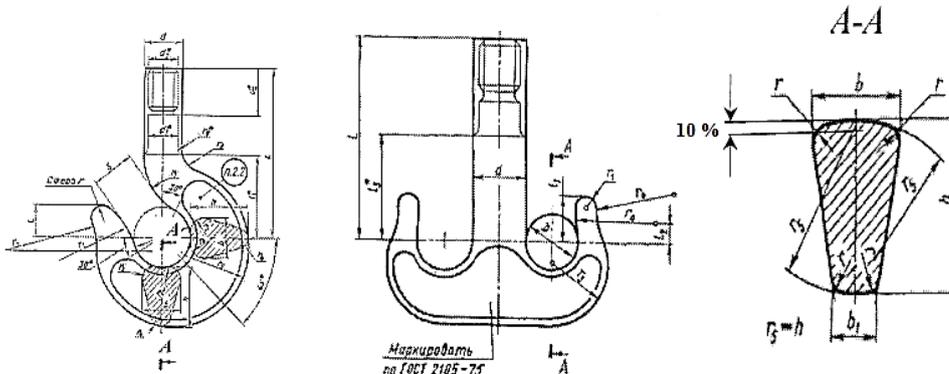


Рис. 2

Для простоты рассмотрим взаимодействие стропы с крюком, используя для описания стропы модель гибкой нити. При расчете изнашивания крюка полагаем, что стропа круглая и при взаимодействии с крюком находится в плоскости сечения крюка А-А (рис. 3 – схема взаимодействия крюка и стропы (а) и распределения нормальных давлений при движении влево (б)). Изнашивание крюка происходит при раскачивании груза, прикрепленного к стропе, в плоскости

вертикального сечения крюка А-А (рис. 3). В расчетах полагаем угол раскачивания груза малым. Отметим, что изнашивание крюка носит абразивный характер вследствие большой концентрации абразивных частиц в зоне работы подъемно-транспортных машин. Из рис. 2 видно, что сечение А-А поверхности зева крюка изнашиваемого стропами и канатами представляет собой сочетание дуг окружностей с радиусами  $r_5$  и  $r$ . Величина  $r_5$  менее  $r$  в 6...8 раз, то есть вели-

чина  $r_5$  значительно превышает величину  $r$ . Максимальный угол между стропами, охватывающими крюк  $\alpha$  (рис. 3) определяется технической документацией и равняется  $\varphi = 90^\circ$  [3].

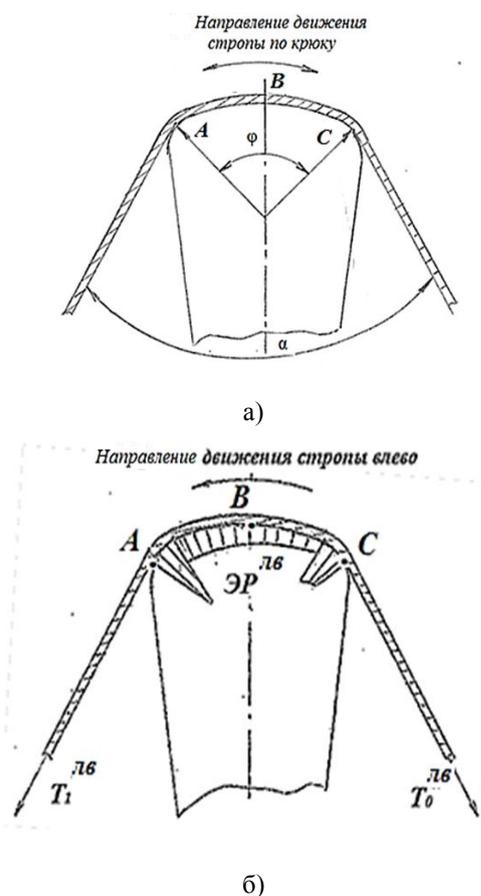


Рис. 3

Точки А, В, С были выбраны для анализа нормального давления на линии контакта, так как по отношению нормальных давлений в этих точках можно характеризовать неравномерность нормального давления по линии контакта стропа с крюком.

В производственных условиях груз раскачивается на стропах, что вызывает возвратно-поступательные движения стропа по крюку.

А, С – точки на краях линии взаимодействия крюка и стропа, В – точка в центре линии взаимодействия крюка и стропа,  $\varphi$  – угол охвата крюка стропами;  $\alpha$  – угол между ветвями строп, огибающих тело крюка;  $ЭР^{ЛВ}$  – эпюра распределения нормальных давлений при движении стропа влево.

Для расчета изнашивания поверхности крюка стропой рассчитаем величину нормально-

го давления стропа на крюк при движении сначала в одном направлении, например, вправо, потом влево, а затем при возвратно-поступательном движении.

Рассмотрим взаимодействие стропа с крюком при движении влево (рис. 3). Полагаем, что стропа не совершает поперечных перемещений по крюку и зависимость ее натяжения от угла охвата определяется следующей формулой:

$$T_1^{ЛВ} = T_0^{ЛВ} e^{\mu\varphi}, \quad (1)$$

где  $T_0^{ЛВ}$  – натяжение набегающей ветви стропа при движении влево;  $T_1^{ЛВ}$  – натяжение сбегающей ветви стропа при движении влево;  $\mu$  – коэффициент трения стропа - крюк; зависит от материалов стропа и крюка.

Из механики нити известно, что нормальное давление на единицу длины контакта нити в точке рассчитывается по формуле [4]:

$$p_i = T_i / R_i, \quad (2)$$

где  $T_i$  – натяжение нити в данной точке, Н;  $R_i$  – радиус кривизны поверхности крюка в данной точке, м.

Соответственно нормальное давление в т. А при движении стропа влево рассчитывается по следующей формуле:

$$P^{ЛВ}_A = T_1^{ЛВ} / r = T_0^{ЛВ} e^{\mu\varphi} / r, \quad (3)$$

нормальное давление в т. В при движении стропа влево рассчитывается по формуле:

$$P^{ЛВ}_B = T_0^{ЛВ} e^{\mu\varphi/2} / r_5, \quad (4)$$

нормальное давление в т. С при движении стропа влево определяется следующей зависимостью:

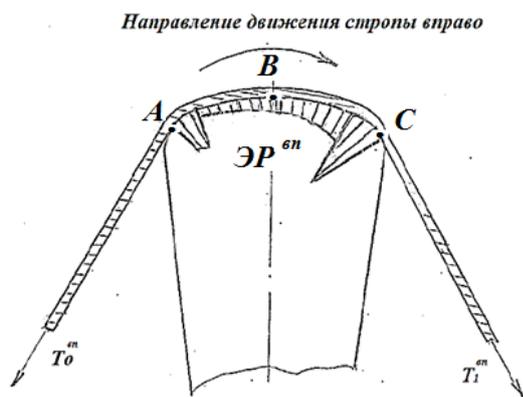
$$P^{ЛВ}_C = T_0^{ЛВ} / r. \quad (5)$$

По аналогии при движении стропа вправо (рис. 4 – распределение нормальных давлений при движении стропа по крюку: а) – вправо; б) – при реверсивном движении:  $ЭР^{ВП}$  – эпюра нормальных давлений при движении стропа по крюку вправо;  $ЭР^{РВБ}$  – эпюра нормальных давлений при реверсивном

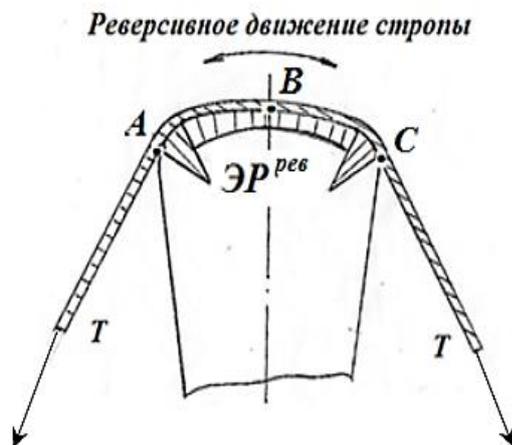
движении стропы по крюку) зависимость ее натяжения от угла охвата определяется следующей формулой:

$$T_1^{вп} = T_0^{вп} e^{\mu\phi}, \quad (6)$$

где  $T_0^{вп}$  – натяжение набегающей ветви стропы при движении вправо;  $T_1^{вп}$  – натяжение сбегающей ветви стропы при движении вправо.



а)



б)

Рис. 4

Соответственно нормальное давление в т. А при движении стропы вправо рассчитывается по следующей формуле:

$$P^{вп}_A = T_0^{вп}/r, \quad (7)$$

нормальное давление в т. В при движении стропы вправо рассчитывается по формуле:

$$P^{вп}_B = T_0^{вп} e^{\mu\phi/2} / r_5, \quad (8)$$

нормальное давление в т. С при движении стропы вправо рассчитывается по следующей формуле:

$$P^{вп}_C = T_1^{вп}/r = T_0^{вп} e^{\mu\phi}/r. \quad (9)$$

Распределение нормальных давлений при движении стропы по крюку реверсивно (рис. 4) определяется суммой нормальных давлений в данной точке при движении стропы по крюку вправо и влево.

При дальнейших расчетах учитываем, что  $T_0^{лв} = T_0^{вп} = T_0$ . Соответственно нормальное давление в т. А при движении стропы реверсивно рассчитывается по следующей формуле:

$$\begin{aligned} P^{рв}_A &= P^{лв}_A + P^{вп}_A = \\ &= T_0^{лв} e^{\mu\phi}/r + T_0^{вп}/r = T_0(e^{\mu\phi} + 1)/r. \end{aligned} \quad (10)$$

Нормальное давление в т. В при реверсивном движении стропы рассчитывается по формуле:

$$P^{рв}_B = T_0^{лв} e^{\mu\phi/2} / r_5 = 2T_0 e^{\mu\phi/2} / r_5, \quad (11)$$

нормальное давление в т. С при реверсивном движении стропы рассчитывается по следующей формуле:

$$P^{рв}_C = T_0^{лв}/r + T_0^{вп} e^{\mu\phi}/r = T_0(1 + e^{\mu\phi})/r. \quad (12)$$

Видно, что значения  $P^{рв}_B = P^{рв}_C$ .

Необходимо отметить, что важной характеристикой изнашивания поверхности имеет неравномерность ее износа [5], [6]. Для характеристики неравномерности изнашивания крюка по длине контакта со стропой будем использовать отношение износа в центре кривой, по которой движется стропа, и на краю. Полагаем, что износ носит абразивный характер. Рассчитываем его по формуле для абразивного изнашивания:

$$U = npL, \quad (13)$$

где  $n$  – коэффициент изнашивания, характеризующий материалы стропы и крюка и условия изнашивания, м/Н;  $L$  – путь трения, м;  $p$  – нормальное давление, Н/м.

Учитывая приведенные зависимости, формула (13) может быть преобразована к следующему виду:

$$U_i = nLT_i/R_i. \quad (14)$$

Рассчитаем величину износа в следующих зонах: начале, середине и конце контакта стропы с крюком. Отметим, что с учетом реверсивного движения стропы величина износа одинакова в начале, то есть в т. А, и конце контакта, то есть в т. С (рис. 4).

Величина износа в т. А и т. С выражается зависимостью:

$$U_{AC} = nLT_0/r + nLT_0 e^{\mu\varphi}/r = nLT_0(1 + e^{\mu\varphi})/r. \quad (15)$$

Величина износа в т. В выражается следующей зависимостью:

$$U_B = 2 nLT_0 e^{\mu\varphi/2}/r_5. \quad (16)$$

Интересующее нас отношение износов на краях и в середине линии контакта стропы с крюком  $U_{AC}/U_B$  после упрощения будет выражаться следующей зависимостью:

$$U_{AC}/U_B = \frac{1 + e^{\mu\varphi}}{2e^{\mu\varphi/2}} \frac{r_5}{r}. \quad (17)$$

Получено выражение, характеризующее неравномерность износа крюка с сечением стандартной геометрии при трении стропой, движущейся продольно реверсивно.

## ВЫВОДЫ

1. Изучение изнашивания крюков гибкими грузозахватными приспособлениями является актуальным.

2. При выбраковке изношенных крюков необходимо учитывать вид грузозахватного приспособления, вызвавшей износ (стропы, такелажные скобы и пр.).

3. Износ крюка существующей конструкции стропой носит неравномерный характер.

4. Получено выражение, характеризующее неравномерность износа крюка при реверсивном движении стропы.

1. Приказ Ростехнадзора "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения" от 12.11.2013 № N533 ред. от 12.04.2016 // Российская газета. Российская газета, 2013, г. № 39.

2. ГОСТ 6628–73. Крюки двурогие. Заготовки. Типы. Конструкция и размеры. Дата введения 01.01.1975.

3. СТО 43.99.90. Погрузо-разгрузочные работы и схемы строповки грузов. От 29 декабря 2012. – Челябинск, 2012.

4. Меркин Д.Р. Введение в механику гибкой нити. – М.: Наука, 1980.

5. Кривошеина Е.В., Букалов Г.К., Булатов В.В., Сусоева И.В. Анализ изнашивания пластин тормоза уточной нити станка СТБ // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 3. С.139...141.

6. Кривошеина Е.В., Букалов Г.К. Повышение износостойкости пластины тормоза уточной нити станка СТБ // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 4. С. 120...123.

7. Букалов Г.К., Рудовский П.Н., Кривошеина Е.В., Горюнов А.А. Классификация деталей, контактирующих с текстильными стропами, входящими в состав СИЗ при работе на высоте // Механизация строительства. – 2017. Т. 78, № 2. С. 48...52.

## REFERENCES

1. Prikaz Rostekhnadzora "Ob utverzhdenii Federal'nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoy bezopasnosti "Pravila bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov, na kotorykh ispol'zuyutsya pod'emnye sooruzheniya" ot 12.11.2013 № N533 red. ot 12.04.2016 // Rossiyskaya gazeta. Rossiyskaya gazeta, 2013, g. № 39.

2. GOST 6628–73. Kryuki dvurogie. Zagotovki. Tipy. Konstruktsiya i razmery. Data vvedeniya 01.01.1975.

3. STO 43.99.90. Pogruzo-razgruzochnye raboty i skhemy stropovki грузов. Ot 29 dekabrya 2012. – Chelyabinsk, 2012.

4. Merkin D.R. Vvedenie v mekhaniku gibkoy niti. – M.: Nauka, 1980.

5. Krivosheina E.V., Bukalov G.K., Bulatov V.V., Susoeva I.V. Analiz iznashivaniya plastin tormoza utochnoy niti stanka STB // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2013, № 3. S. 139...141.

6. Krivosheina E.V., Bukalov G.K. Povyshenie iznosostoykosti plastiny tormoza utochnoy niti stanka STB // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2013, № 4. S. 120...123.

7. Bukalov G.K., Rudovskiy P.N., Krivosheina E.V., Goryunov A.A. Klassifikatsiya detaley, kontaktiruyushchikh s tekstil'nymi stropami, vkhodyashchimi v sostav SIZ pri rabote na vysote // Mekhanizatsiya stroitel'stva. – 2017. T. 78, № 2. S. 48...52.

Рекомендована кафедрой техносферной безопасности КГУ. Поступила 24.01.19.