

УДК 621.9

П. Д. Кравченко, д – р техн. наук, проф., **Д. Н. Федоренко**
 ВИТИ НИЯУ МИФИ, г. Волгодонск, Россия
 Тел. +7 (918) 5111311; E-mail: krapa21@yandex.ru

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ПРОФИЛЯ ФАСОННОГО КРЮКА АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАХВАТА ТРУБЫ

Представлена методика расчета крюка профиля, подвешенного автоматически для захвата трубы.

Ключевые слова: профиль, крюк, расчет, автоматический захват

P. D. Kravchenko, D. N. Fedorenko

METHOD OF CALCULATION OF THE PROFILE OF THE SHAPED HOOK OF AUTOMATIC CAPTURE FOR TUBE

The technique for calculating the profile shaped hook suspended automatically capture for tube is represented.

Keywords: profile, hook shaped, calculation, automatic capture.

Исходная конструктивная схема автоматического захвата трубы (АЗТ) представлена ранее [1].

Используем конструктивную схему АЗТ для трубы длиной L , как представлено на рисунке 1, состоящей из траверсы 2, центрирующего устройства 3, наводящего ось траверсы в положение параллельно оси трубы 5, фигурного крюка 4 АЗТ и направляющей 6 для центрирующего устройства 3, как показано на виде А. Захватный элемент траверсы 2 для крюка 1 грузоподъемного крана представлен схематично. Стрелками обозначается возможное движение АЗТ только по вертикальной оси при захвате и освобождении объекта – трубы 5.

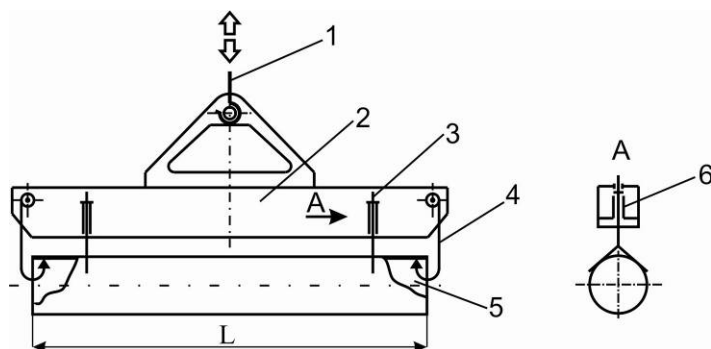


Рисунок 1. Исходная конструктивная схема АЗТ: 1 – крюк подъемного крана; 2 – траверса; 3 – наводящее и центрирующее устройство; 4 – крюк фасонный автоматического захвата устройства; 5 – труба, 6 – направляющая для наводящего и центрирующего устройства; L – длина объекта захвата – трубы 3

Одним из главных условий обеспечения работоспособности и надёжности АЗТ является создание обоснованной расчётной модели для принятой конструктивной схемы.

Рассмотрим основные расчётные схемы для расчёта элементов профиля фасонного крюка 4, исходя из отдельных положений крюка при операциях захвата и освобождения трубы 5, как представлено на рисунке 2.

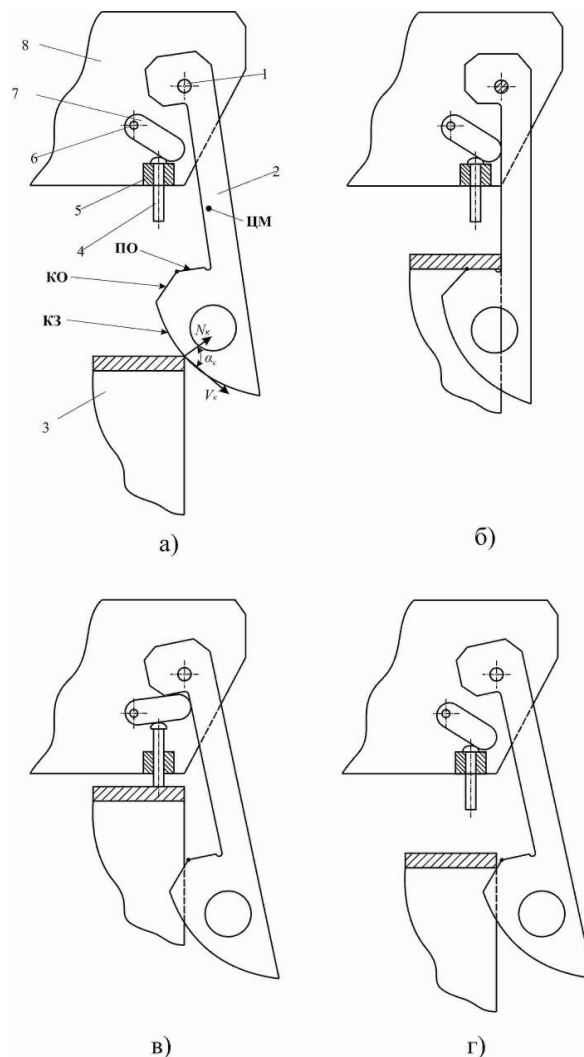


Рисунок 2. Промежуточные положения фасонного крюка при операции захвата и освобождения трубы: а – положение в момент опускания АЗТ на трубу, б – положение при подъёме АЗТ с трубой, в – положение отведения крюка, г – положение при выводе АЗТ и подготовке захвата к следующей операции. 1 – ось крюка, 2 – крюк фасонный, 3 – труба, 4 – толкатель, 5 – втулка направляющая, 6 – ось фиксатора, 7 – фиксатор, 8 – траверса, **КО**– поверхность контактная крюка 2, обеспечивающая отклонение его при поднятии траверсы 8 перед освобождением объекта – трубы 3; **КЗ**– поверхность контактная крюка фасонного 2, обеспечивающая нормальные условия скольжения крюка но наружной кромке объекта при подводе крюка и введении его под внутреннюю поверхность трубы 3; **ПО** – поверхность опорная крюка фасонного 2 в контакте с внутренней поверхностью объекта – трубы 3; N_k – нормальная составляющая реакции трубы при взаимодействии с поверхностью КЗ крюка; V_k – вектор скорости движения крюка; α_k – угол давления.

Расчётное обоснование параметров фасонного крюка

1. 1 Определение толщины крюка фасонного

Толщину крюка t находим из условия обеспечения прочности на срез и смятие на оси I (рис. 2). Назначаем диаметр оси d_0 из условия прочности на двойной срез

$$d_0 \geq \sqrt{\frac{G}{\pi[\tau]_{cp}}},$$

где G – грузоподъёмность траверсы АЗТ; $[\tau]_{cp}$ – допускаемое напряжение на срез материала оси.

Находим минимально допустимую толщину крюка из условия смятия

$$t \geq \frac{G}{d_0[\sigma]_{cm}},$$

где $[\sigma]_{cm}$ – допускаемое напряжение смятия материала крюка.

1. 2 Определение длины l_K опорной поверхности ПО

Плоская опорная поверхность (рис. 3,а) в процессе эксплуатации неизбежной приведёт к повышенному смятию и износу ПО. Лучшие условия контакта обеспечит криволинейная опорная поверхность (рис. 3,б).

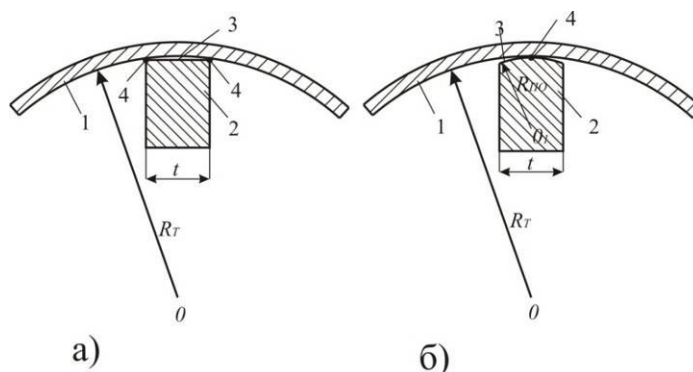


Рисунок 3. Условие контакта поверхности трубы и опорной поверхности крюка: а – плоская ПО; б – цилиндрическая ПО. 1 – труба; 2 – крюк; 3 – опорная поверхность; 4 – зона контакта; t – толщина крюка; R_T – радиус трубы; $R_{ПО}$ – радиус ПО.

Назначаем радиус цилиндрической поверхности из технологических соображений

$$R_{ПО} = \frac{D_T, \min}{2},$$

где D_T, \min – наименьший диаметр трубы, исходя из габаритных ограничений крюка.

Минимальную длину опорной поверхности определяем из условия прочности при контактных напряжениях [3]

$$\sigma_{\max} \leq 1,7[\sigma],$$

где σ_{\max} – наибольшее напряжение в центре площадки контакта; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение при сжатии.

Наибольшее напряжение в центре находится по таб. 60 [3] при схеме касания: цилиндр и цилиндрическая впадина с параллельными осями

$$\sigma_{\max} = 0,418 \sqrt{\frac{GE}{2l_K} \frac{R_T - R_{ПО}}{R_T R_{ПО}}}.$$

С учётом условия прочности находим

$$L_K \geq 0,03 \frac{GE(R_{T, \max} - R_{T, \min})}{[\sigma]^2 R_{T, \max} \cdot R_{T, \min}}.$$

Здесь $R_{T, \max}$ и $R_{T, \min}$ – наибольший и наименьший радиус из сортамента труб, обрабатываемых подъёмным устройством.

1. 3. Определение ширины крюка

Расчётная схема фасонного крюка, соответствующая позиции b (рис. 25), показана на рисунке 4.

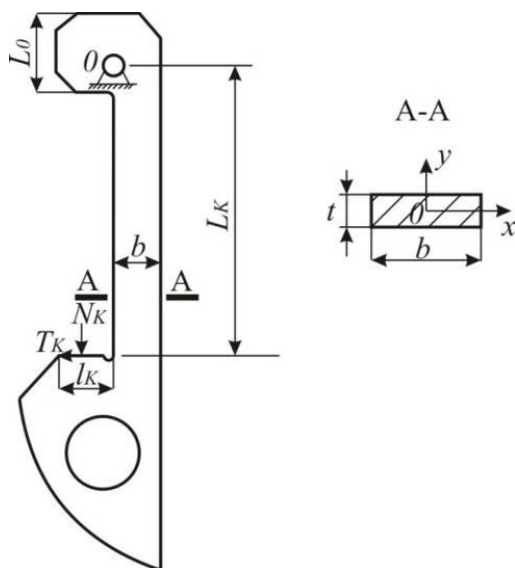


Рисунок 4. Расчётная силовая схема крюка (позиция b):

- L_0 – высота оголовка;
- L_K – длина вертикальной контактной поверхности;
- l_K – длина опорной поверхности;
- b – ширина крюка;
- t – толщина крюка;
- N_K, T_K – нормальная и касательная силы воздействия трубы на крюк.

Нормальную составляющую взаимодействия принимаем равной половине веса грузоподъёмного устройства

$$N_K = \frac{G}{2}.$$

Касательную составляющую взаимодействия находим из условия равновесия крюка

$$\sum m_0(F) = 0; T_K = \frac{Nl_K}{2(L_K - L_0/2)}.$$

Призматическая часть крюка подвержена внецентренному растяжению. Расчётным является сечение А - А, для которого

$$N = N_K = \frac{G}{2} - \text{продольная сила};$$

$$M = \frac{l_K + b}{2} N_K = \frac{l_K + b}{4} G - \text{изгибающий момент}.$$

Наибольшее напряжение и условие прочности имеют вид

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} \leq [\sigma],$$

где $A = bt$ – площадь сечения; $W = \frac{b^2 t}{6}$ – осевой момент сопротивления.

С учётом введённых обозначений искомый параметр сечения крюка вычисляем из квадратного уравнения

$$b^2 - \frac{2G}{t[\sigma]} b - \frac{3l_K G}{2t[\sigma]} = 0.$$

2. Силовое взаимодействие при операции освобождения объекта

Рассмотрим силовое взаимодействие системы труба (3) – толкатель (4) – фиксатор 7 – крюк 2 при выполнении операции освобождения объекта, представленной позициями ν и ζ на рис. 2. Для выполнения операции движения сила со стороны трубы должна преодолевать силы активного и реактивного сопротивления, возникающие при повороте крюка относительно оси 1. фиксатора относительно оси 6 и перемещении толкателя 4 вдоль направляющей втулки 5 (рис. 5).

Анализ представленных схем ν и ζ показывает, что наиболее неблагоприятным расположением элементов взаимодействия является случай ζ (рис. 2). При этом расположении имеем:

- а) наименьшее плечо давления толкателя 4 на фиксатор 7;
- б) наименьшее плечо давления фиксатора 7 на крюк 2;
- в) наибольшее отклонение крюка 2 от положения равновесия.

При расчёте будем пренебрегать силами инерции в силу нагружения, близкого к статическому. Массы толкателя и фиксатора ввиду их малости не учитываем.

Обозначим:

e_T – эксцентрик оси толкателя относительно оси фиксатора;
 r_T – радиус сферического наконечника толкателя;
 l_ϕ – длина фиксатора; b_ϕ – ширина фиксатора;
 r_ϕ – радиус цилиндрической части фиксатора;
 $N_a = G_T/2$ – активная сила;
 $N_{тр}, T_{тф}$ – нормальная и касательная силы взаимодействия толкателя и фиксатора;
 $R_{тф}$ – сила трения между поверхностями толкателя и фиксатора;
 $R_{тв}$ – сила трения между поверхностями толкателя и втулки;
 $N_{фк}, T_{тф}$ – нормальная и касательная силы взаимодействия фиксатора и крюка;
 $R_{фк}$ – сила трения между поверхностями фиксатора и крюка;
 m_k – масса крюка;
 M_k – момент силы трения между элементами кинематической пары 1-2 относительно оси 1;
 M_ϕ – момент сил трения между элементами кинематической пары 7-6 относительно оси 6.

2. 1 Взаимодействие толкателя и фиксатора

Схема взаимодействия показана на рис. 5.

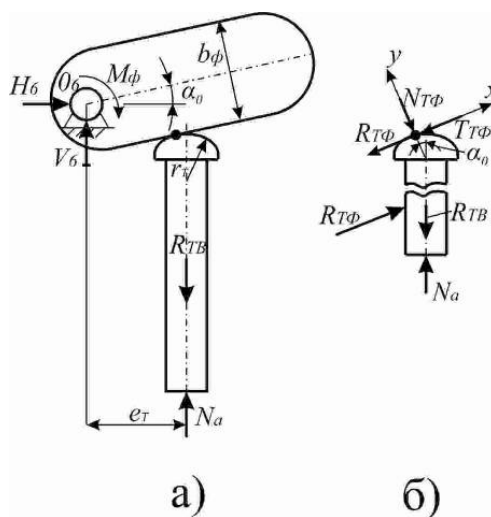


Рисунок 5. Схема взаимодействия толкателя и фиксатора:
 а – общая схема; б – силы, действующие на толкатель

Из рис. 5 б находим, полагая $R_{тф} = kN_{тф}$ $R_{тв} = kR_{тф} = k^2N_{тф} \cong 0$, где k – коэффициент трения:

$$\sum y(F) = 0; -N_{тф} - R_{тф} \cos \alpha_0 + N_a \cos \alpha_0 = 0; N_{тф} \cong N_a \cos \alpha_0.$$

$$\sum x(F) = 0; -T_{тф} + N_a \sin \alpha_0 = 0; T_{тф} = N_a \sin \alpha_0; R_{тф} = kN_a \cos \alpha_0.$$

2. 2 Взаимодействие фиксатора и крюка фасонного

Силовая схема для фиксатора показана на рис. 6.

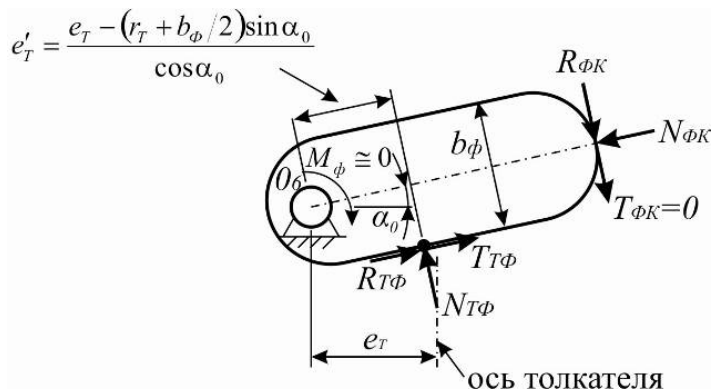


Рисунок 6. Силовая схема для фиксатора

Из рис. 6 находим, полагая $R_{\Phi K} = kN_{\Phi K}$

$$\sum m_{0\phi}(F) = 0; R_{\Phi K} \left(l_\phi - \frac{b_\phi}{2} \right) - N_{T\Phi} e'_T - (R_{T\Phi} + T_{T\Phi}) \frac{b_\phi}{2} = 0;$$

$$R_{\Phi K} = \frac{N_{T\Phi} e'_T + (R_{T\Phi} + T_{T\Phi}) b_\phi / 2}{l_\phi - b_\phi / 2} = \frac{\cos \alpha_0 e'_T + (k \cos \alpha_0 + \sin \alpha_0) b_\phi / 2}{l_\phi - b_\phi / 2} N_a;$$

$$N_{\Phi K} = R_{\Phi K} / k$$

2. 3. Условие поворота крюка фасонного на угол α

Силовая схема для положений крюка фасонного показана на рис. 7.

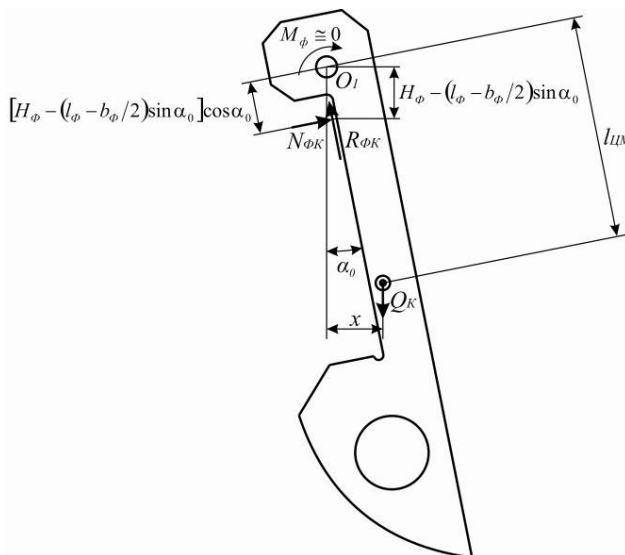


Рисунок 7. Силовая схема для предельного отклонения крюка

Записываем уровень предельного равновесия крюка

$$\sum m_{01}(F) \geq 0; N_{\phi K} [H_{\phi} - (b_{\phi} - b_{\phi}/2) \sin \alpha_0] \cos \alpha_0 - m_K g x \geq 0,$$

отсюда получаем необходимое условие

$$N_a = \frac{G_T}{2} > \frac{m_K g l_{цм} \sin \alpha_0 k (l_{\phi} + b_{\phi}/2)}{[H_{\phi} - (l_{\phi} - b_{\phi}/2) \sin \alpha_0] [e'_T \cos \alpha_0 + (k \cos \alpha_0 + \sin \alpha_0) b_{\phi}/2] \cos \alpha_0}.$$

2.4. Определение наименьшего угла α поверхности KO

Допускаемый угол скоса поверхности KO по отношению к опорной поверхности $ПО$ найдём из условия перехода скольжения в заклинивание. Рассмотрим схему (рис. 8) соответствующую началу операции z (рис. 2). Обозначим: Q – подъёмная сила со стороны траверсы; G_K – вес крюка, приложенного в центре масс; N – нормальная реакция трубы на поверхность KO ; $F_{тр}$ – сила трения между трубой и поверхности KO ; R – полная реакция трубы на поверхности KO ; V_A – скорость точки A , направленная вдоль поверхности KO ; α – угол между поверхностями $ПО$ и KO ; θ – угол давления (угол между векторами V_A и R).

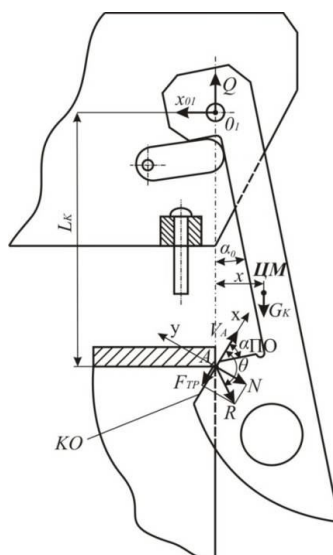


Рисунок 8. Обоснование угла α наклона поверхности KO

Запишем условия равновесия крюка.

$$\begin{aligned} \sum x(F) = 0; & -F_{тр} + Q \sin(\alpha + \alpha_0) - X_{o1} \cos(\alpha + \alpha_0) = 0; \\ \sum y(F) = 0; & -N + Q \cos(\alpha + \alpha_0) + X_{o1} \sin(\alpha + \alpha_0) = 0; \\ \sum m_A(F) = 0; & X_{o1} L_K / \cos \alpha_0 - G_K x = 0. \end{aligned}$$

Исключаем из последнего уравнения реакцию X_0 (распор)

$$X_{o1} = \frac{G_K x \cos \alpha_0}{L_K}.$$

Из уравнения проекций находим

$$F_{TP} = Q \sin(\alpha + \alpha_0) - \frac{G_K x \cos \alpha_0 \cos(\alpha + \alpha_0)}{L_K};$$

$$N = Q \cos(\alpha + \alpha_0) + \frac{G_K x \cos \alpha_0 \sin(\alpha + \alpha_0)}{L_K}$$

Используем условие заклинивания

$$F_{TP} \leq fN,$$

где f – коэффициент трения между поверхностью K_0 и трубой.

Представляя выражения реакций, получаем:

$$Q \sin(\alpha + \alpha_0) - \frac{G_K x \cos \alpha_0 \cos(\alpha + \alpha_0)}{L_K} \leq f \left[Q \cos(\alpha + \alpha_0) + \frac{G_K x \cos \alpha_0 \sin(\alpha + \alpha_0)}{L_K} \right].$$

Решая неравенство численным методом (метод подбора), находим минимальное значение угла α , при котором возможно заклинивание.

Если пренебречь весом крюка, полагая $G_K = 0$, получим

$$\sin(\alpha + \alpha_0) \leq f \cos(\alpha + \alpha_0),$$

откуда

$$\alpha \leq \arctg f - \alpha_0 = \arctg f - \arctg \frac{l_K}{L_K}.$$

Очевидно, что для условия возможного скольжения (исходя из геометрических параметров, указанных на рис. 4) при подъёме необходимо обеспечить

$$\alpha > \arctg f - \arctg \frac{l_K}{L_K}$$

Вышеприведённая расчётная схема позволяет определить основные параметры крюка фасонного и перейти к его конструктивному расчёту и оформлению.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кравченко, П. Д. Методика усовершенствования конструктивной схемы траверсы для автоматического захвата трубы. Машиностроение и техносфера XXI века / П. Д. Кравченко, Д. Н. Федоренко // Сборник трудов XXIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12-18 сентября 2016 г. – Донецк: МСМ, 2016. – Т. 1. – С. 181-186.

2. Писаренко, Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко – Киев: Наук. думка, 1988. – 736 с.

Поступила в редколлегию 31.05.2017 г.