

УДК 621.874:531.751

Семенюк В. Ф., д.т.н., Лингур В. Н., к.т.н., Критико И. А.
Одесский национальный политехнический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ ПОДНИМАЕМОГО ГРУЗА ПРИ УСТАНОВКЕ ДАТЧИКА СИЛЫ В КРЮКОВУЮ ПОДВЕСКУ

***Аннотация.** Проведен анализ причин появления погрешностей измерения массы поднимаемого груза при установке датчика силы в крюковую подвеску. Определено, что наиболее существенной является погрешность, возникающее из-за трения в направляющих хвостовика крюка. Даны рекомендации для повышения точности измерения массы поднимаемого груза.*

***Ключевые слова:** масса поднимаемого груза, погрешности измерения, датчик силы, крюковая подвеска.*

***Анотація.** Проведено аналіз причин виникнення похибок вимірювання маси піднімаемого вантажу за умови встановлення датчика сили в гакову підвіску. Визначено, що найбільш вагомою є похибка, яка виникає у зв'язку з тертям у напрямних хвостовика гака. Надані рекомендації для підвищення точності вимірювання маси піднімаемого вантажу.*

***Ключові слова:** маса піднімаемого вантажу, похибка вимірювання, датчик сили, гакова підвіска.*

***Annotation.** The analysis of the causes of errors in measuring the mass of the lifted load when installing the force sensor in the hook suspension. It is determined that the most significant is the error arising due to friction in the guide of the hook shank. Recommendations are given to improve the accuracy of measuring the mass of the lifted load.*

***Keywords:** weight of lifted load, measurement errors, force sensor, hook suspension.*

Постановка научной проблемы.

Мостовой кран как объект защиты от перегрузки будет нормально работать до тех пор, пока масса поднимаемого груза не превышает определенного, безопасного для крана, значения. Для мостовых кранов параметром защиты от перегрузки, то есть контролируемым параметром, от величины которого при неблагоприятных условиях может наступить аварийное состояние крана, является масса поднимаемого груза. Переход параметра защиты за предельно допустимое значение должен быть предотвращен срабатыванием ограничителя грузоподъемности.

©Семенюк В. Ф., Лингур В. Н., Критико И. А.

При работе мостовых кранов значение параметра защиты в различных местах силовой цепи крана различна. Поэтому при проектировании защиты крана от перегрузки величину параметра защиты необходимо определять по месту установки датчика силы ограничителя грузоподъемности.

Надежная защита мостовых кранов от перегрузки возможна в том случае, если при подъеме груза, масса которого превышает допустимое значение, сила, действующая на датчик ограничителя грузоподъемности, будет достаточной для срабатывания этого ограничителя.

Необходимое на практике преждевременное выключение механизма подъема крана или нереагирование ограничителя грузоподъемности при перегрузке объясняется тем, что нередко принятые соотношения между силами, действующими в подъемных канатах и на датчик силы ограничителя грузоподъемности, не учитывают потери на трение в силовой цепи, а также динамический характер действующих сил. Поэтому принципиальное значение для точного определения массы поднимаемого груза имеет место установки датчика силы.

Для мостовых кранов датчик силы ограничителя грузоподъемности возможно установить в крановую подвеску, в месте закрепления верхнего конца поднимаемого каната, под ось верхних блоков, под ось барабана либо под опоры грузовой тележки.

Наибольшую точность измерения массы поднимаемого груза можно получить при установке датчика силы в крюковую подвеску. Однако и в этом случае возможны погрешности измерения массы поднимаемого груза и, как следствие, снижается точность защиты мостовых кранов от перегрузки.

Цель исследования.

Целью настоящей работы является определение погрешностей измерения массы поднимаемого груза при установке датчика силы в крюковую подвеску и разработка рекомендаций для их уменьшения.

Основной материал исследования.

Точность измерения усилий в подъемных канатах и массы поднимаемого груза при установке силоизмерителя в крюковой подвеске зависит от случайных погрешностей, определяемых явлениями перекоса подвески в процессе подъема-опускания груза за счет случайного характера сил трения в блоках, входящих в полиспадную систему. Эти силы суммарно могут быть оценены с помощью коэффициента полезного действия.

Рассмотрим четырехблочные подвески нормального и укороченного исполнений, кинематические схемы которых показаны на рис 1 и 2 соответственно. На этих рисунках приняты следующие обозначения: 1 – блоки подвески; 2 – нажимная траверса; 3 –

силоизмерители; 4 – опорная траверса; 5 – хвостовик крюка до его зева, то есть до крепления груза; 6 – щеки подвески.

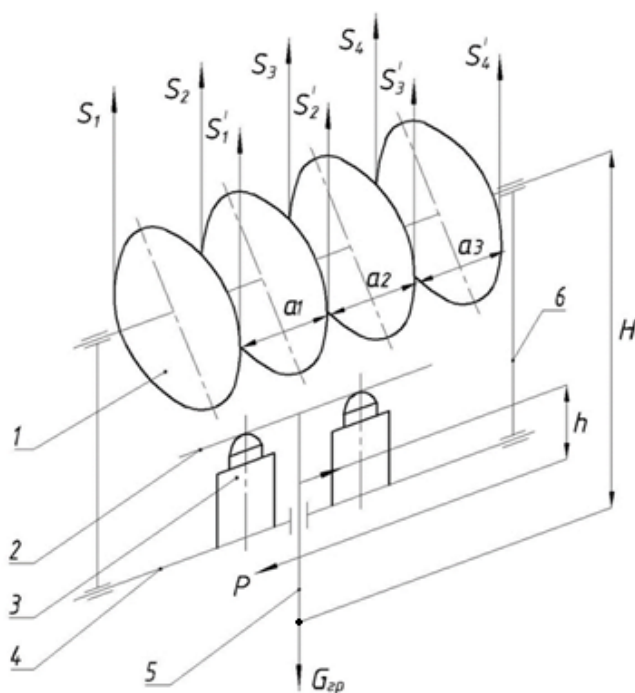


Рисунок – 1. Схема крюковой подвески нормального исполнения со встроенными силоизмерителями.

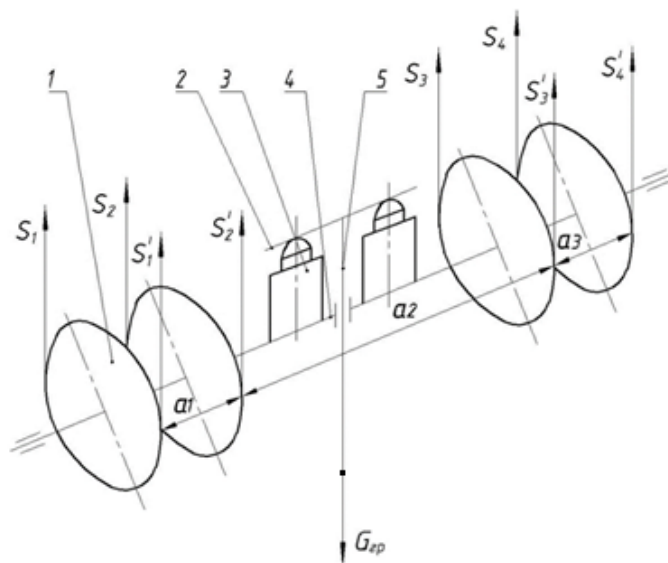


Рисунок – 2. Схема крюковой подвески укороченного исполнения со встроенными силоизмерителями.

Если подвески такого типа установлены на кране с одинарным полиспастом, то при условии равного сопротивления в опорах блоков,

натяжения в набегающих ветвях канатов $S_1 \dots S_4$ будут отличаться от натяжений сбегающих ветвей $S'_1 \dots S'_4$ на величину КПД блоков η . Так как канавки блоков расположены симметрично относительно точки пересечения оси хвостовика крюка и оси блоков, то условие равновесия подвески в статике может быть записано как:

$$\sum_{i=1}^L S_i + \sum_{i=1}^L S'_i - G_{гр} = 0. \quad (1)$$

При подъеме груза и КПД блоков $\eta \neq 0$ должно соблюдаться еще одно условие

$$(S_1 + S'_1) \left(a_1 + \frac{a_2}{2} \right) + (S_2 + S'_2) \frac{a_2}{2} - (S_4 + S'_4) \left(a_3 + \frac{a_2}{2} \right) - ((S_3 + S'_3) \frac{a_2}{2} + G_{гр} H \sin \alpha = 0, \quad (2)$$

где α – угол отклонения оси блоков от горизонтального положения из-за различия натяжений в канатах полиспаста;

H – расстояние от оси блоков до центра зева крюка.

В зависимости от режима работы механизма подъема, осуществляемого перед началом измерения (подъем или опускание груза), подвеска будет поворачиваться в плоскости рисунка по или против часовой стрелки от вертикального положения, то есть диапазон изменения угла составит 2α . Рассматривая конкретный случай измерения массы груза при его подъеме и выразив натяжения в ветвях каната через S_1 и КПД блоков η , а также полагая $I + \frac{1}{\eta} \approx 2$, отношения $\frac{a_2}{a_1} = K_1$, и $\frac{a_1}{H} = K_2$, запишем уравнение 2 в следующем виде:

$$S_1 a_1 \left[(2 + K_1) \left(1 - \frac{1}{\eta^6} \right) + \left(\frac{1}{\eta^2} - \frac{1}{\eta^4} \cdot K_1 \right) \right] + G_{гр} H \sin \alpha = 0, \quad (3)$$

откуда

$$\sin \alpha = \frac{K_2 S_1}{G_{гр}} \left[(2 + K_1) \left(\frac{1}{\eta^6} - 1 \right) + K_1 \left(\frac{1}{\eta^4} - \frac{1}{\eta^2} \right) \right]. \quad (4)$$

Из рис. 1 и 2 видно, что воспринимаемое силоизмерителем усилие от веса груза будет составлять $G_{гр} \cdot \cos \alpha$, то есть в измерение будет внесена первая составляющая погрешности

$$(\Delta G_{гр})_1 = G_{гр} - G_{гр} \cdot \cos \alpha,$$

или

$$\delta_1 = (1 - \cos \alpha). \quad (5)$$

Здесь и далее под погрешностью, обусловленной КПД, подразумевается погрешность, вызванная случайным характером изменения сил трения.

Вторая составляющая погрешности возникает из-за колебаний сил трения скольжения в направляющих хвостовика крюка, то есть в

подвижном соединении деталей 4 и 5 подвески. Так как полный рабочий ход силоизмерителя составляет около 0,5 мм, то в этом случае можно предположить, что в направляющих будет возникать сопротивление от сил трения покоя, а не движения. Кромочные давления в направляющих при их длине h составят

$$P = \frac{H}{h} G_{\text{гр}} \sin \alpha. \quad (6)$$

При коэффициенте трения f в направляющих уменьшение усилия, передаваемого на силоизмерители, составит

$$(\Delta G_{\text{гр}})_2 = 2G_{\text{гр}} \frac{H}{h} f \cdot \sin \alpha,$$

или в относительных единицах при $\frac{H}{h} = K_3$

$$\delta_2 = (2K_3 \cdot f \cdot \sin \alpha). \quad (7)$$

Общая относительная погрешность определится как

$$\delta = \delta_1 + \delta_2,$$

или

$$\delta = (1 - \cos \alpha + 2K_3 f \sin \alpha). \quad (8)$$

Особенностью относительных погрешностей δ_1 и δ_2 является то, что они ни при каких условиях не могут иметь разные знаки, но их величина носит случайный характер, так как значение угла α в реальных условиях эксплуатации за счет чередования подъема и спуска груза могут изменяться в пределах $0 \leq \alpha \leq \alpha_{\text{max}}$.

Приняв длину h направляющих хвостовика крюка равной высоте датчика (~ 200 мм), определим значения погрешностей δ_1 и δ_2 для ряда значений КПД блоков. Расчеты выполнены для четырехблочных подвесок нормального и укороченного исполнений [1] с номинальной грузоподъемностью 32 т. Значения исходных параметров крановых подвесок приведены в табл.1, а значения погрешностей δ_1 , δ_2 и углов перекоса α – в табл.2 для одинарных полиспастов.

Из табл.2 видно, что наиболее существенной является погрешность, возникающая из-за трения в направляющих хвостовика крюка, которая уменьшается с увеличением КПД блоков полиспаства. При этом укороченные подвески менее приемлемы для встройки силоизмерителей, а КПД блоков существенным образом влияет на величину погрешности при определении веса поднимаемого груза

В случае применения указанных подвесок в сдвоенных полиспастных системах их перекося в плоскости чертежа будет определяться КПД уравнительного блока, то есть возможностью перемещения каната в условиях различной его вытяжки в полиспаствах

в процессе эксплуатации крана. В этом случае при принятых ранее обозначениях и допущениях получаем

$$\sin\alpha = \frac{S_1}{G_{гр}} K_2 \left(\frac{1}{\eta_y} - 1 \right) \left(2 + K_1 + K_1 \frac{1}{\eta^2} \right), \quad (9)$$

где η_y – КПД уравнительного блока.

Таблица - 1. Значения исходных параметров крановых подвесок

Параметры	Тип подвески	
	Нормальная	Укороченная
K_1	0.7	3.8
K_2	0.17	0.13
K_3	5.5	3.0
f	0.05	0.05

Таблица - 2. Значения погрешностей δ_1 , δ_2 и углов перекоса α для одинарных полиспастов

Тип подвески	Расчетные параметры	КПД блоков полиспаста, η					
		0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
Подвеска нормальная	δ_1 , %	0,039	0,025	0,015	0,008	0,003	0,001
	δ_2 , %	1,54	1,24	0,95	0,69	0,44	0,26
	α , град	1,6	1,28	0,99	0,71	0,46	0,22
Подвеска укороченная	δ_1 , %	0,133	0,086	0,051	0,027	0,011	0,003
	δ_2 , %	1,55	1,24	0,95	0,69	0,44	0,21
	α , град	2,95	2,37	1,82	1,31	0,84	0,40

Величины погрешностей δ_1 , δ_2 и углов перекоса α для сдвоенных полиспастных систем приведены в табл.3. В соответствии с результатами исследований [2] КПД уравнительного блока может существенно отличаться от КПД остальных блоков за счет меньшего допустимого значения D/d .

Таблица - 3. Значения погрешностей δ_1 , δ_2 и углов перекоса α для сдвоенных полиспастов

Тип подвески	Расчетные параметры	КПД блоков полиспаста	КПД уравнительного блока, η_y					
			0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
Подвеска нормальная	δ_1 , %	0,94	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
		0,98	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	δ_2 , %	0,94	0,26	0,21	0,16	0,12	0,083	0,04
		0,98	0,26	0,21	0,16	0,12	0,083	0,04
	α , град	0,94	0,36	0,22	0,17	0,13	0,09	0,04
		0,98	0,36	0,22	0,17	0,13	0,09	0,04
Подвеска укороченная	δ_1 , %	0,94	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001
		0,98	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001
	δ_2 , %	0,94	0,31	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05
		0,98	0,31	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05
	α , град	0,94	0,63	0,49	0,39	0,29	0,19	0,09
		0,98	0,61	0,47	0,38	0,28	0,18	0,09

Сравнение значений погрешностей по табл.2 и табл.3 показывает, что для сдвоенных полиспастных систем погрешности δ_1 и δ_2 меньше, чем у одинарных.

Выводы:

1. При установке датчика силы в крюковой подвеске наиболее существенной является погрешность, возникающая из-за трения в направляющих хвостовика крюка, которая уменьшается с увеличением КПД блоков полиспаста.

2. Укороченные подвески менее приемлемы для встройки датчика силы, а КПД блоков существенным образом влияет на величину погрешности при измерении массы поднимаемого груза.

3. Для сдвоенных полиспастных систем погрешности δ_1 и δ_2 меньше, чем для одинарных.

4. В сдвоенных полиспастных системах необходимо использовать уравнительные блоки на опорах с высоким КПД и не занижать их диаметры, целесообразно в качестве уравнительных использовать рычажные системы.

5. В крюковых подвесках использование направляющих скольжения приводит к большим погрешностям измерения массы поднимаемого груза.

Для уменьшения погрешностей измерения массы поднимаемого груза необходимо применять либо направляющие качения, либо упругие кинематические устройства типа упругих направляющих или мембран.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальский Б.С. Потери на блоках канатных полиспастов // Вестник машиностроения. – 1965. - №10. – с. 34 - 37.
2. Марон Ф.Л., Кузьмин А.В. Справочник по расчетам механизмов ПТМ. – Минск: Высшэйшая школа. – 1977. – 272 с.