

Савченко С.А.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК ОТ АВАРИЙ

Savchenko S.A.

## THE RESEARCH OF DISTRIBUTION OF EFFORTS IN SYSTEM OF PROTECTION OF ELEVATING INSTALLATIONS FROM ACCIDENT

УДК 622: 658. 513

*В статье приведено описание стенда по исследованию системы защиты подъемных установок от аварий. Приведена расчетная схема распределения усилий в системе защиты подъемных установок.*

*In the article clause the description of the stand on research of system of protection of elevating installations from accident. The settlement scheme of distribution of efforts in system of protection of elevating is brought installations is resulted.*

Безопасность работы подъемных установок во многом зависит от состояния его механических узлов и элементов [1, 2]. Для защиты подъемного сосуда лифта от аварий предлагается натянуть по всей высоте шахты нить, закрепить на кабине лифта ролик, который будет скользить по этой нити.

Схема стенда по исследованию системы защиты подъемной установки от аварий изображена на рис. 1. Стенд представляет собой металлическую конструкцию, состоящую из жестких оснований 1, 2 и 3. По вертикальному жесткому основанию 3 скользит груз 4, имитирующий кабину лифта, который подвешен на канате 13.

На грузе 4 закреплен кронштейн 8, имеющий ролик 9, скользящий по гибкой нити 7, один конец которой через нижний шарнир 10 закреплен на поверхности жесткого основания 1, а другой конец через динамометр 5, имеющий пружину 12, через верхний шарнир 11 – к поверхности жесткого основания 2.

Параметры стенда:

$h$  – высота стенда (расстояние между жесткими основаниями 1 и 2), м;

$S$  – вертикальная координата положения груза (кабины лифта) 4, м;

$l_1$  – расстояние между верхним шарниром 11 и поверхностью жесткого основания 3, м;

$l_2$  – расстояние между нижним шарниром 10 и поверхностью жесткого основания 3, м;

$\alpha$  – угол наклона гибкой нити 7 по отношению к вертикальной оси, град.

При функционировании стенда в его силовых узлах действуют следующие усилия. Вес груза 4 (кабина лифта)

$$P = m * g, \quad (1)$$

где  $m$  – масса груза 4, кг;

$g$  – ускорение свободного падения (9,81 м/с<sup>2</sup>).

При проведении эксперимента масса груза принята равной  $m = 0,7$  кг. Сила натяжения гибкой нити 7 равна

$$F = c * \Delta x, \quad (2)$$

где  $c$  – жесткость пружины 12 динамометра 5 (Н/м);

$\Delta x$  – перемещение пружины 12 динамометра 5 (м).

Следует отметить, что форма гибкой нити 7 отличается от прямой (кривая линия), поэтому сила  $F$ , действующая вдоль гибкой нити 7, направлена по кривой линии. Расчетная схема распределения усилий в системе защиты подъемной установки показана на рис. 2.

Усилия изображены с учетом их параллельного переноса в центр ролика 9. Силу натяжения гибкой нити (позиция 7 на рис. 2)  $F$  можно разложить на вертикальную  $F_y$  и горизонтальную  $F_x$  составляющие.

Сила  $F_x$ , действуя в горизонтальном направлении вдоль кронштейна 8, прижимает груз 4 к жесткому основанию 3, вследствие чего увеличивается сила трения  $F_{тр}$ , возникающая между грузом 4 и жестким основанием 3.

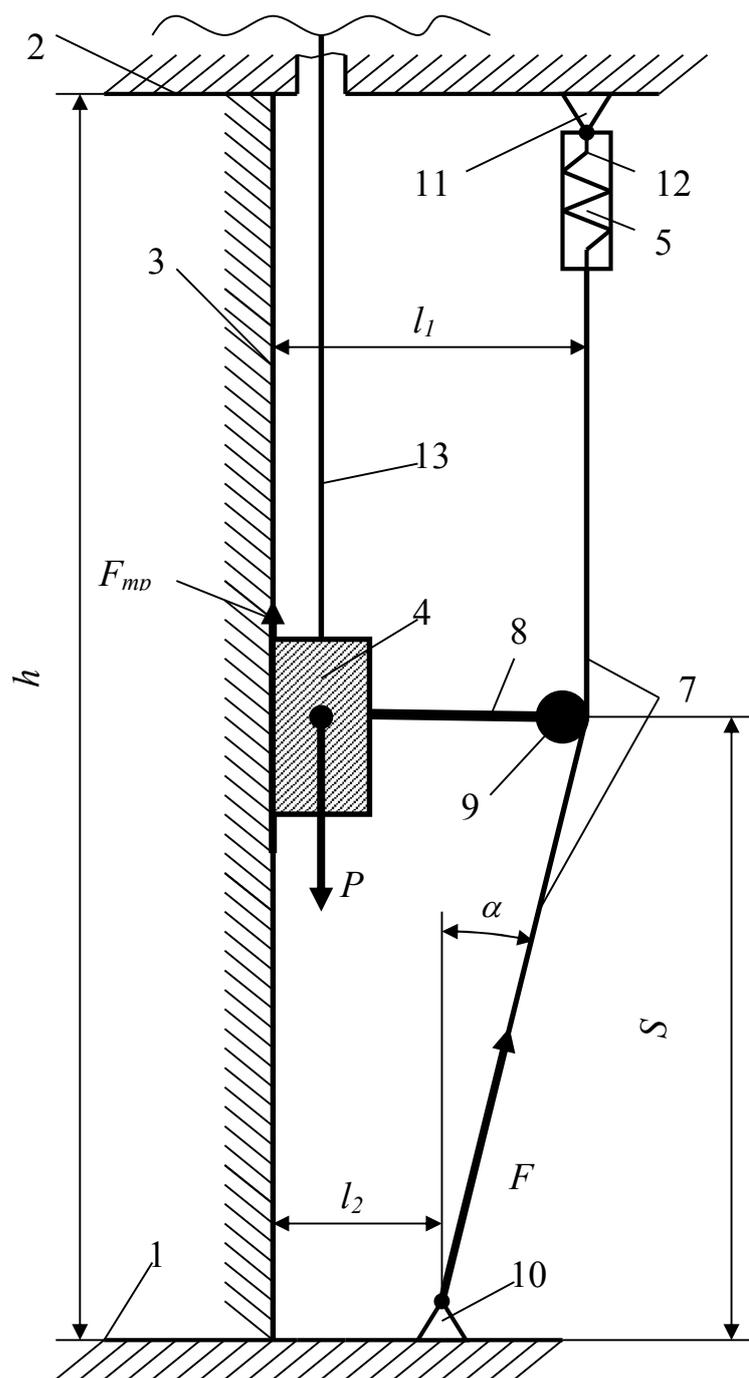


Рис. 1 Схема стенда по исследованию системы защиты подъемной установки от аварий.

Порядок проведения эксперимента заключается в следующем:

1. Груз 4 отпускается вниз по поверхности жесткого основания 3, имитируя падение кабины лифта при обрыве каната.
2. Измеряется усилие натяжения гибкой нити 7 при отпуске груза 4.
3. Изменяются соотношения длин  $l_1$  и  $l_2$ , соответствующее изменению угла  $\alpha$ .
4. Результаты измерений сводятся в таблицы.

На основании приведенной выше методики проведения эксперимента на лабораторном стенде, изображенном на рис. 1, при определенном соотношении массы груза 4, силы натяжения гибкой нити  $F$ , зависящей от угла наклона гибкой нити 7 по отношению к вертикальной оси  $\alpha$  и жесткости пружины 12 динамометра 5 груз 4, оставаясь неподвижным, размещался на гибкой нити 7. В связи с этим можно считать, что соблюдается условие  $F_{mp} = P$ .

Из расчетной схемы, представленной на рис. 2, горизонтальная составляющая усилия равна

$$F_x = F \cdot \sin(\alpha), \quad (3)$$

а вертикальная составляющая –

$$F_y = F \cdot \cos(\alpha). \quad (4)$$

Формы описания зависимостей (3) и (4) для решения практических задач неудобна тем, что при каждом дифференцировании функция  $\sin$  меняет свой знак на  $\cos$ , а  $-\cos$  – на  $-\sin$  [3]. Такое чередование тригонометрических функций и их знаков приводит к достаточно громоздкому выражению правой части дифференциального уравнения, содержащему обе эти функции.

В физике часто приходится иметь дело с векторными или скалярными величинами, которые меняются от точки к точке в заданной области. Такие области называются «полями». В нашем случае такой величиной является сила натяжения гибкой нити  $F$ , которая при движении груза (кабины лифта) меняет свои направление и значение. В связи с этим представляется возможным говорить о «поле действия силы натяжения гибкой нити  $F$ ».

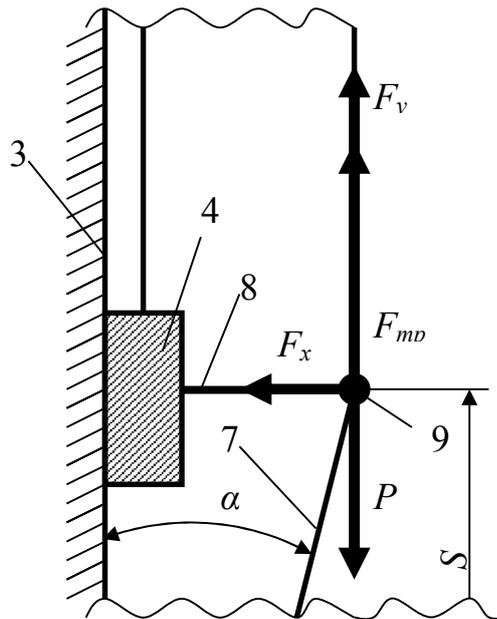


Рис. 2 Расчетная схема распределения усилий в системе защиты подъемной установки.

Более удобной является общепринятая комплексная форма описания силы натяжения гибкой нити

$$F = F \cdot \cos(\alpha) + j \cdot F \cdot \sin(\alpha) \quad (3)$$

или

$$F = F_y + j \cdot F_x \quad (4)$$

Тогда силу натяжения гибкой нити  $F$  удобно изобразить вектором на комплексной плоскости (рис. 3), а её проекцией на действительную ось  $\text{Re}\{F\}$  будет вертикальная составляющая  $F_y$ , а на мнимую ось  $\text{Im}\{F\}$  – её горизонтальная составляющая  $F_x$ .

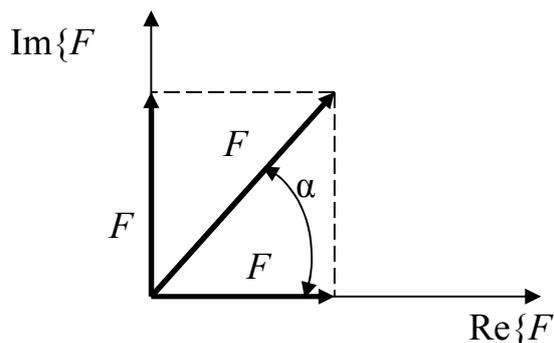


Рис. 3 Изображение силы натяжения гибкой нити  $F$  вектором на комплексной плоскости

Если каждому значению скалярного аргумента  $t$  поставить в соответствие вектор  $r(t)$ , то  $r(t)$  называется векторной функцией (вектор-функцией) скалярного аргумента  $t$ . Если  $r(t)$  (радиус-вектор) поместить в постоянную точку  $O$ , то конец радиус-вектора  $r(t)$  опишет пространственную кривую, которую называют годографом векторной функции [3]. Проведём радиус-вектор в точку, служащую центром ролика (рис. 1):

$$r(t) = x(t)*i + y(t)*j + z(t)*k, \quad (5)$$

где  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$  – координаты центра ролика 9 (рис. 1), которые являются функциями от  $t$ ;  $i, j, k$  – основные вектора в выбранном масштабе.

Поскольку лифтом называется транспортное устройство прерывного действия, предназначенное для подъема и спуска людей (грузов) с одного уровня на другой [4], т.е. кабина лифта может передвигаться только в вертикальном направлении, тогда поле действия силы натяжения гибкой нити  $F$  лежит в плоскости  $x, y$  и не зависит от  $z$ .

В связи с выше сказанным, будем считать, что поле действия силы натяжения гибкой нити  $F$  – это плоское поле  $F = F(x, y)$ . И поэтому выражение для радиус-вектора  $r(t)$  имеет вид

$$r(t) = x(t)*i + y(t)*j. \quad (6)$$

Модуль радиус вектора может быть определен по формуле

$$|r| = \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (7)$$

Пусть  $F(r)$  – скалярное поле силы натяжения гибкой нити, где  $r$  является радиус-вектором, проведенным в точку, служащую центром ролика 9 (рис. 2). Свойства скалярных полей можно наглядно изучить при помощи поверхностей уровня [3]. В плоском скалярном поле поверхности уровня вырождаются в линии уровня. Линии уровня – это кривые, на которых  $F$  остается постоянным  $F(x, y) = const$ .

Таким образом предлагаемая защита подъемного сосуда от аварий может быть оснащена, предложенной системой, а её расчет – выполнен по приведенной выше методике.

#### Литература:

1. Шамсутдинов М.М. Шахтные подъемные установки (безопасность эксплуатации)/Кыргызско-Российский Славянский университет. – Бишкек, 2000. – 103 с.: 36 рис.
2. Предварительный патент № 481. Способ обнаружения мест дефектов стальных канатов. Нифадьев В.И., Шамсутдинов М.М., Токарев А.В., Юданов В.А., Савченко С.А. (KG) 13 февраля 2001
3. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981.
4. Чутчиков П.И. Ремонт лифтов: Учеб. пособие для сред. проф.-техн. училищ.– М.: Стройиздат, 1983.–271 с., ил.