

**ПОСТРОЕНИЕ ОБОБЩЕННОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ОБЕЧАЙКИ БАРАБАНА ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ**

Разработан полуэмпирический метод, который позволит обоснованно подойти к выбору параметров барабанов шахтных подъемных машин, а его применение в проектировании позволит создать конкурентоспособные на мировом рынке подъемные установки, отличающиеся уменьшенной массой, повышенной прочностью и долговечностью.

Проблема и ее связь с практическими задачами. В современных условиях возрастающей технологической конкуренции большое значение имеет сокращение сроков разработки новых конструкций машин, а также повышение их качества и надежности. В связи с этим оптимальное проектирование занимает одну из основных позиций при создании современных конкурентоспособных машин.

Моделирование конструкции машины как дискретно-континуальной взаимодействующей системы позволяет определить зависимости между ее параметрами, необходимые для оптимального проектирования.

Одной из крупнейших, представляющую собой дискретно-континуальную систему, является шахтная подъемная машина (ШПМ) с разрезным цилиндрическим барабаном, которую производят в ЗАО «Ново-Краматорский машиностроительный завод» (НКМЗ). Но машины этого типа имеют высокую металлоемкость по сравнению с импортными аналогами, что снижает их конкурентоспособность на внешнем рынке.

Анализ публикаций. Исследованием подъемных машин в разное время занимались Б.А. Морозов, Б.Г. Климов, Б.И. Давыдов, Б.С. Ковальский, З.М. Федорова, А.П. Нестеров, Ф.Л. Шевченко, С.Н. Зинченко, К.С. Заболотный. Почти все работы этих ученых посвящены исследованию напряженно-деформированного состояния барабанов ШПМ и определению их рациональных параметров [1,2]. В разработанных авторами математических моделях было принято, что профилированная обечайка барабана имеет упрощенный вид. Необходимо отметить, что последняя является сложным объектом строительной механики, и для нее еще не разработаны модели напряженно-деформированного состояния, позволяющие оптимизировать конструкцию барабана шахтной подъемной машины. В настоящее время при математическом описании сложных объектов применяются полуэмпирический подход, который дает возможность получить более простую математическую модель объекта, обеспечивающую достоверные результаты [3]. Данный подход предусматривает, что для описания объекта применяется упрощенная модель, в которой используются коэффициенты, определенные опытным путем и подобранные таким образом, чтобы в данном интервале изменения параметров расчетные и экспериментальные данные хорошо согласовывались.

Цель исследования. Разработка полуэмпирического метода построения обобщенной параметрической модели (ОПМ) обечайки барабана шахтной подъемной машины на основе его представления как дискретно-континуальной системы.

Для достижения цели поставлены такие задачи:

1. Построение аналитической модели обечайки барабана ШПМ со спиральной канавкой.
2. Определение функции редуцирования изгибной жесткости обечайки.

Разработка полуэмпирического метода. Было принято [1], что применяя метод усреднения к барабану со спиральной канавкой, из-за малости отношения шага нарезки канавки t к диаметру барабана, следует моделировать профилированную обечайку барабана как осесимметричную, профиль канавки которой описывается периодической функцией $f_z(x)$.

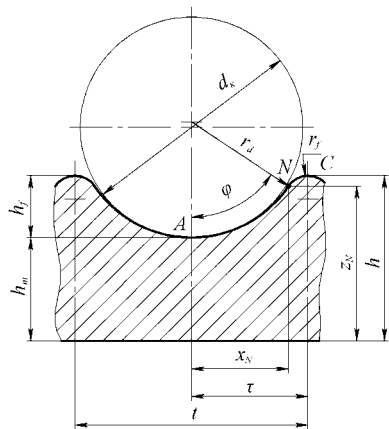


Рис. 1. Пример сечения профилированной канавки барабана

Например, применительно к ШПМ производства ЗАО «НКМЗ» профиль канавки (рис. 1) можно описать следующим образом

$$f_z(x) = \begin{cases} h_m + r_d - \sqrt{r_d^2 - x^2} - \frac{h}{2}, & \text{если } x \leq x_N; \\ \frac{h}{2} + r_f - \sqrt{r_f^2 - (x - \tau)^2}, & \text{если } x > x_N; \end{cases} \quad (2)$$

где r_d - радиус дна канавки; r_f - радиус гребешка канавки; φ - угол сопряжения; x_N и z_N - координаты точки сопряжения; h_f - высота гребешка; h_m - минимальная толщина обечайки; τ - половина шага нарезки витков; h - толщина листа.

Рассмотрим равновесие элемента обечайки (рис. 2), вырезанного двумя поперечными сечениями, находящимися на расстоянии dx , и двумя радиальными сечениями, образующими между собой угол $d\varphi$. Данный элемент подвергается равномерно распределенной нагрузке q .

Введем значения следующих внутренних силовых факторов оболочки, которая моделирует профилированную обечайку

«полуканавки» и с учетом следующих исходных данных: профиль канавки подъемной машины производства завода НКМЗ, шаг укладки $t = 62$ мм, толщина листа $h = 55$ мм, глубина нарезки $h_f = 16$ мм.

В качестве граничных применены следующие условия: передняя и левая грани – симметрия; правая грань не изгибается, а только поворачивается как жесткое целое под действием приложенного сосредоточенного момента M , нижняя левая кромка полуканавки зафиксирована.

При обработке результатов использовались такие безразмерные параметры:

приведенная высота гребешка $\varepsilon = h_f/h_m$,

приведенный шаг нарезки канавки $\zeta = t/h_f$.

С учетом вычисленных перемещений точек v_1, v_2 кривизна

$$\kappa = \frac{v_1 - v_2}{\tau h}. \quad (14)$$

Введем понятие приведенной изгибной жесткости

$$i_\nu = \frac{12M(1-\mu^2)}{Eh_m^3 \kappa b}. \quad (15)$$

Вычислительный эксперимент предусматривал определение вектора i_ν , а затем, вектора коэффициента редуцирования, а именно

$$\vec{k} = \vec{i}_\nu \frac{D}{D_a(\varepsilon, \zeta)}, \quad (16)$$

где изгибная жесткость листа обечайки без гребешков

$$D = \frac{Eh_m^3}{12(1-\mu^2)}.$$

Полученные результаты были обработаны методом наименьших квадратов, следствием чего стала зависимость коэффициента редуцирования k от безразмерных параметров ε и ζ , то есть

$$k(\varepsilon, \zeta) = 1,34723 - 0,50156 \cdot \varepsilon - 0,29519 \cdot \zeta + 0,61212 \cdot \varepsilon^2 + 0,01659 \cdot \varepsilon \cdot \zeta + 0,07385 \cdot \zeta^2 - 0,19478 \cdot \varepsilon^3 - 0,02106 \cdot \varepsilon^2 \cdot \zeta + 0,00692 \cdot \varepsilon \cdot \zeta^2 - 0,00626 \cdot \zeta^3. \quad (17)$$

При этом абсолютная среднеквадратичная погрешность аппроксимации не превышает - 1,6%, а максимальная относительная - 5,3 %.

Таким образом, изгибная жесткость конструктивно-ортотропной оболочки, которая моделирует профилированную обечайку, может определяться по следующей формуле

$$D_p = k \frac{E\tau}{(1-\mu^2)} \left(\int_0^\tau \left(\frac{h^3}{96} + \frac{f_z(x)h^2}{16} + \frac{f_z^2(x)h}{8} + \frac{f_z^3(x)}{12} \right) dx \right)^{-1}. \quad (18)$$

При этом следует учитывать что формула (17), по которой определяется коэффициент k , справедлива для профиля с функцией (1). Предположим, что в расчете других профилей можно использовать ту же функцию редукиции. Чтобы оценить погрешность этого предположения применительно к двум профилям [2,5], был проведен численный эксперимент. Он заключался в том, что для граничных значений параметров проводилось сравнение экспериментальных и редуцированных величин изгибной жесткости. Численный эксперимент показал, что погрешность определения жесткости по формуле (18) не превысила 6 %.

Выводы и направления дальнейших исследований. Таким образом, разработанный полуэмпирический метод состоит в том, что для расчета изгиба профилированной обечайки барабана ШПМ используется аналитическая модель конструктивно-ортотропной оболочки, кольцевая жесткость которой определяется по формуле (12) а редуцированная изгибная жесткость D_p по формуле (18), где значение коэффициента k соответствует выражению (17).

В дальнейшем будут разработаны и исследованы аналитические модели лобовин и различных подкреплений, на основе синтеза которых будет разработана обобщенная параметрическая модель всего барабана ШПМ.

Список литературы

1. Заболотный, К.С. Научное обоснование технических решений по повышению канатоемкости и уменьшению габаритов шахтных подъемных машин с цилиндрическими барабанами [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук./ К.С Заболотный. – Д., 1997. – 295 с.
2. Безпалько, Т.В. Оптимизация по канато-емкости проектных параметров барабанов шахтных подъемных машин [Текст]: дис. ... канд. техн. наук./ Т.В. Безпалько. – Д., 2004. – 209 с.
3. Яновский, Ю.Г. Композиты на основе полимерных матриц и углеродно-силикатных нанонаполнителей. Квантово-механическое исследование механических свойств, прогнозирование эффекта усиления. [Текст] / Ю.Г. Яновский Е.А. Никитина, С.М. Никитин, Ю.Н. Карнет // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2009. – Т. 15, – № 4. – С. 566–589.
4. Андрианов, И.В. Метод усреднения в статике и динамике ребристых оболочек [Текст] / И.В. Андрианов, В.А. Лесничая, Л.И. Маневич. – М.: Наука, 1985. – 223 с.
5. Димашко, А.Д. Шахтные электрические лебедки и подъемные машины [Текст] / А.Д. Димашко, И.Я. Гершиков, А.А. Кренивч // Справочник. – М.: Недра, 1973. – 363 с.

Рукопись поступила в редакцию 16.04.12