УДК 622.673.2:534.012

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ШАХТНЫХ КОПРОВ

инж. Карпунова Е.В. *(ЭТЦ Минтопэнерго, Донецк)*

Розглянути питання подовжніх коливань в елементах конструкції металевих шахтних копрів під дією зовнішніх гармонічних навантажень.

Приведена математична модель дозволяє застосувати метод кінцевих різниць для оцінювання парціальної кінетичної енергії дискретних мас при гармонічному збудженні. Показана можливість проявлення резонансних явищ, що може привести до значного росту динамічних зусиль в елементах копрів.

A MATHEMATICAL MODEL OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF HIGH-LOADED MINE HEADFRAMES

Kargpunova E.V.

The problem of longitudinal vibrations in structural members of metal mine headframes under applied harmonic loading is considered. The mathematical model is presented, which allows implementation of finite difference method in order for estimating the partial kinetic energy of a discrete mass at harmonic excitation. Possible resonance phenomena are predicted that can cause a considerable growth of dynamic loads in headframe members.

Постановка проблемы и ее связь с научными и практическими задачами. Шахтные металлические копры, представляют собой решетчатую сварную конструкцию, основными грузонесущими элементами которой являются вертикальные стойки станка, связанные горизонтальными и диагональными связями и наклонная укосина. Динамическое состояние такой системы жестких взаимосвязанных стержней обусловлено действием внешних нагрузок, главными источниками которых являются навешенные в стволе движущиеся подъемные сосуды и подъемная машина, соединенные между собой упругими канатами.

В таком виде трудно сразу выявить основные динамические свойства каждой составляющей такой системы, и поэтому вначале следует рассмотреть более простые схемы, основанные на практических представлениях в рамках поставленной задачи.

Цель исследований и постановка задачи. На первом этапе, рассмотрим колебания стоек копра, каждую из которых будем считать самостоятельным стержнем, а учет влияния смежных такого же рода элементов учтем при помощи условных упругих связей и «присоединенных» сосредоточенных масс. Подобного типа расчетная схема представлена на рис. 1.

Изложение основного материала. Решение уравнений динамического состояния копра представляем на каждом пролете между узловыми точками в форме рядов, то есть в форме разложения по собственным

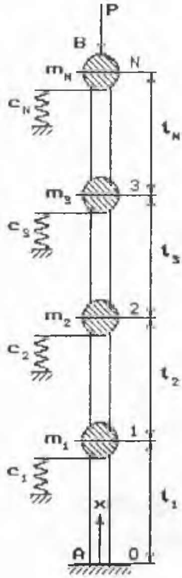

Рис. 1. Расчетная схема шахтного копра.

функциям $U_{jn}(s)$ [1]:

$$u_n(s,t)=\sum_{j=1}^{\infty}U_{jn}(s)\psi_j(t)\ \ (n=1,2,...,N), \tag{1}$$

то так называемые координатные функции $\psi_j(t)$, благодаря свойствам ортогональности собственных функций, подчиняются несвязанной системе уравнений вида

$$m_\Sigma N_j^2[\ddot{\psi}_j(t)+\omega_j^2\,\psi_j(t)]=-\Phi_{jN}P(t), \tag{2}$$

которые при нулевых начальных условиях (при $t=0$) имеют решения в форме интеграла Дюамеля [3]

$$\psi_j(t)=-\frac{\Phi_{jN}}{m_\Sigma N_j^2\omega_j}\int_0^t P(\tau)\sin\omega_j(t-\tau)d\tau, \tag{3}$$

где $P(\tau)$ – произвольная, зависящая от времени нагрузка, прикладываемая к оголовку копра (к точке B на рис. 1).

Для практики интерес представляют не столько динамические перемещения точек элементов копра, сколько динамические усилия в его поперечных сечениях, определяемые на n – ом пролете [2]

$$P_n(s,t)=EF\frac{\partial u_n(s,t)}{\partial s}=EF\sum_{j=1}^{\infty}\frac{dU_{jn}(s)}{ds}\psi_j(t)\ \ (n=1,2,...,N), \qquad (4)$$

и более того, первостепенное значение для исследователя имеют динамические усилия в узловых точках, где ожидаются наибольшие концентрации напряжений, обуславливающих усталостную прочность сооружения в целом. Иными словами, динамические усилия определим в сечениях с координатами $s=0$ и $s=l$ на каждом из пролетов. Тогда:

$$\left.\begin{aligned} P_n(0,t)&=\sum_{j=1}^{\infty}(\Phi_{jn}C'_j-\Phi_{jn-1}C_j)\psi_j(t),\\ P_n(l,t)&=\sum_{j=1}^{\infty}(\Phi_{jn}C_j-\Phi_{jn-1}C'_j)\psi_j(t).\end{aligned}\right| \qquad (5)$$

В соотношениях (5) динамические жесткости C_j и C'_j, независящие от номера пролета n в силу (3), определяются формулами [4]

$$C_j=\frac{EF}{l}\frac{\mu_j\cos\mu_j}{\sin\mu_j},\quad C'_j=\frac{EF}{l}\frac{\mu_j}{\sin\mu_j}. \qquad (6)$$

Подстановка динамических жесткостей (6) в (5) приводит к выражениям

$$\left.\begin{aligned} P_n(0,t)&=\frac{EF}{l}\sum_{j=1}^{\infty}\frac{\mu_j}{\sin\mu_j}\left(\Phi_{jn}-\Phi_{jn-1}\cos\mu_j\right)\psi_j(t),\\ P_n(l,t)&=\frac{EF}{l}\sum_{j=1}^{\infty}\frac{\mu_j}{\sin\mu_j}\left(\Phi_{jn}\cos\mu_j-\Phi_{jn-1}\right)\psi_j(t),\end{aligned}\right| \qquad (7)$$

представляющих собой основу для последующих изысканий.

Здесь:

$$\Phi_{jn}=\sin n\theta_j,\ \Phi_{jn-1}=\sin(n-1)\theta_j,\ \Phi_{jN}=\sin N\theta_j, \qquad (8)$$

причем для каждого из собственных чисел имеем

$$\theta_j=\arccos\left[\frac{1}{2}\left(\frac{\sigma}{\mu_j}-\mu_j\zeta\right)\sin\mu_j+\cos\mu_j\right], \qquad (9)$$

а нормировочные коэффициенты N_j^2 вычисляются по формулам

$$N_j^2 = \frac{1}{N(1+\zeta)} \sum_{n=1}^{N} \left[\zeta \Phi_{jn}^2 + \frac{(2\mu_j - \sin 2\mu_j)(\Phi_{jn}^2 - 2\Phi_{jn}\Phi_{jn-1}\cos\mu_j + \Phi_{jn-1}^2) + 4\Phi_{jn}\Phi_{jn-1}\sin^3\mu_j}{4\mu_j \sin^2\mu_j} \right]. \quad (10)$$

Результаты исследований. Далее изучаются характерные часто встречающиеся варианты внешних нагрузок, обуславливающих динамическое состояние копра в эксплуатационных и экстренных состояниях.

Разработанная математическая модель динамического состояния металлических копров позволяет решать задачи о импульсном возмущении, о внезапном приложении постоянной нагрузки, о гармоническом возбуждении, что дает проектировщику предпосылки предвосхитить возможные варианты нагружения металлоконетрукции и принять обоснованные решения.

Выводы.

1.В общем случае динамическое и напряженное состояние металлоконструкции копра описывается многосвязной системой дифференциальных уравнений в частных производных, решение которой представлено как разложение по собственным формам колебаний корректной граничной задачи.

2. Введение понятия *динамической жесткости* многопролетной конструкции позволяет значительно упростить задачу определения спектра собственных колебаний копра.

3. В случае однородной стержневой системы задача построения системы собственных функций сводится к уравнениям в конечных разностях, а частотное уравнение – к трансцендентному уравнению в явной форме. Предложенный способ *избирательного* вычисления частот заведомо исключает вычислительные ошибки при большом числе пролетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворников В. И. Собственные формы и частоты колебаний многопролетных балок на упругих опорах. «Прикладная механика», т.X. вып.9, Киев, 1974.
2. Грядущий Б.А., Дворников В.И., Кудрейко Н.А., Карпунова Е.В. О продольных колебаниях высоконагруженных шахтных копров. Институт физики горных процессов. Сб. научных трудов «Физико-технические проблемы горного производства», вып. 7. Донецк, 2004 г. – с 243 – 255.
3. Грядущий Б. А., Дворников В.И., Кудрейко Н.А., Карпунова Е.В. Спектры собственных продольных колебаний высоконагруженных шахтных копров. / В сборнике научных трудов НИИГМ им. М.М.Федорова «Проблеми експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок». -- Вып. 99. Донецк, 2004. – С. 143 – 157.
4. Дворников В.И., Кудрейко Н.А., Карпунова Е.В. Энергетические характеристики спектра собственных частот высоконагруженных шахтных копров. Материалы международного энергетического форума «Уголь СНГ». Тезисы докладов. 16 – 18 сентября 2004 г. Крым, Ялта.