УДК 622.232.72

# ХАРАКТЕР НАГРУЗКИ НА РАБОЧЕМ ОРГАНЕ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА ПРИ РАЗРУШЕНИИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Бойко Н.Г. докт. техн. наук, проф.,
Донецкий государственный технический университет

*Рассмотрен вопрос формирования нагрузки на рабочем органе очистного комбайна как на многолезвийном режущем инструменте при разрушении хрупких материалов и установлено, что она может быть представлена в виде случайного процесса, обладающего свойствами «белого шума».*

*Questions of forming of the load onto a multipoint cutting tool when breaking the brittle materials are considered and it is ascertained that the load can be assumed to be a casual process that possesses a property of «white noise» in a wide frequency range.*

***Вводные замечания***. Очистные комбайны, как динамические системы, относятся к замкнутым с обратной связью, т.е. к таким системам, которые сами формируют свое внешнее воздействие, а величина и характер его обусловливается как режимными, так и конструктивными параметрами системы.

Разрушение угольного пласта рабочим органом комбайна производится в силовом режиме – при незначительных скоростях резания и довольно значительных силах резания. Основными параметрами, обусловливающими процесс разрушения пласта, являются:

1. Прочностные параметры – сопротивляемость угля резанию.
2. Параметры среза (стружки) – толщина и ширина.
3. Геометрические параметры режущего инструмента – передний, задний углы, угол резания и т.д.

Вместе с тем, при механическом силовом разрушении угля срез (стружка) характеризуется как указанными выше параметрами (толщиной и шириной), так и длиной скола. По данным собственных исследований [ 1 ], длина скола является величиной случайной с распределением вероятностей, не противоречащей закону Вейбулла,

$$\varpi(l) = \frac{b}{a}\left(\frac{l-c}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{l-c}{a}\right)^{b}},$$

где $a$, $b$, $c$ - параметры распределения, учитывающие соответственно масштаб, форму и сдвиг кривой распределения, $l$ – длина скола.

Корректное решение поставленной задачи сопряжено с довольно большими трудностями принципиального характера, которые обусловлены тем, что зафиксировать внешнее воздействие на рассматриваемые системы не представляется возможным. В любом случае фиксация внешнего воздействия может быть осуществлена только на «выходе» системы, т.е. практически можно зафиксировать преобразованное системой воздействие. И даже использование для анализа современного математического аппарата (корреляционного и спектрального анализа), поскольку не существует однозначной обратной связи между корреляционной функцией и случайным процессом, не дает возможности корректно решить поставленную задачу.

С учетом сказанного выше поставленную задачу будем решать для так называемых инженерных расчетов, т.е. для расчетов, которые построены на приемлемых допущениях и дают приемлемые для практики результаты. Дополнительную проверку правильности или, точнее, не противоречивости результатов проверим путем воздействия полученного внешнего возмущения на динамическую систему и сравнения данных решения (теоретических данных) с результатами тензометрических исследований этой системы для сопоставимых условий.

***Основная часть***. В общем случае внешнее возмущение удобно характеризовать вектором внешнего возмущения ($B$), представляющего собой проекции сил, формирующихся на отдельных резцах (лезвиях), находящихся в контакте с разрушаемым пластом, на оси выбранной системы координат и моментов этих сил относительно осей координат,

$$B := \{F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z\}.$$

При этом

$$F_x = \sum_{i=1}^{n_p} (z_i \cos\varphi_i + y_i \sin\varphi_i),$$

$$F_y = \sum_{i=1}^{n_p} y_i \sin\beta_i, \; F_z = \sum_{i=1}^{n_p} (z_i \sin\varphi_i - y_i \cos\varphi_i),$$

$$M_x = \sum_{i=1}^{n_p} L_i(z_i \sin\varphi_i - y_i \cos\varphi_i),$$

$$M_y = 0{,}5D\sum_{i=1}^{n_p}(z_i + y_i \sin\varphi_i \cos\varphi_i),$$

$$M_z = \sum_{i=1}^{n_p} L_i(z_i \cos\varphi_i + y_i \sin\varphi_i),$$

где $z_i$, $y_i$ – усилия, формирующиеся на передней и задней гранях i-го резца; $\varphi_i$ – угол, определяющий место положения i-го резца (лезвия) на дуге резания; $\beta_i$ – угол наклона i-го резца; $D$ – диаметр шнека; $L_i$ – расстояние от i-го резца до заданного координатного направления, $n_p$ – число резцов, одновременно находящихся в контакте с разрушаемым пластом.

Усилия, формирующиеся на гранях резца при механическом разрушении угля, как отмечалось выше, являются многопараметрическими величинами, зависящими, по крайней мере, от трех групп факторов, и по данным собственных исследований, на одиночном резце крайне неравномерны, рис. 1, *а)*. Пренебрегая малыми сколами материала (величинами второго порядка малости), аналитические выражения для этих сил, согласно рис. 1, *б*), представим в виде кусочно-линейных функций

на передней грани i-го резца

$$z_{ni} k_z A_{pi} h_i t_i l_i, \qquad 0 \le l_i \le l_{oi},$$

$$z_{ni} + k_z A_{pi} h_i t_i l_{oi}[1-(l_i - l_{oi})/(l_{1i} - l_{oi})], \quad l_{oi} < l_i \le l_{1i},$$

$$z_{ki}, \qquad l_{1i} < l_i \le l_{2i};$$

на задней грани i-го резца

$$y_{ni} + (k_y h_i l_i + k_\alpha \alpha_{yi}) A_{pi}, \qquad 0 \le l_i \le l_{oi},$$

$$y_{ni} + \left[k_y h_i l_{oi}\left(1 - \frac{l_i - l_{oi}}{l_{1i} - l_{oi}}\right) + k_\alpha \alpha_{yi}\right] A_{pi}, \quad l_{oi} < l_i \le l_{1i},$$

$$y_{ki}, \qquad l_{1i} < l_i \le l_{2i}.$$

Здесь индексы «*н*» и «*к*» означают соответственно начальное и конечное значение силы, $A_p$ – сопротивляемость угля резанию, $h_i$, $t_i$, $l_i$ – соответственно толщина, ширина стружки и длина скола для i-го

резца, $l_{oi}$, $l_{1i}$, $l_{2i}$ - значения длины скола материала, при которых изменяется характер сил на гранях i-го резца, $\alpha_i$ - изменение заднего угла i-го резца, $k$, $k_y$, $k_\alpha$ - коэффициенты пропорциональности.

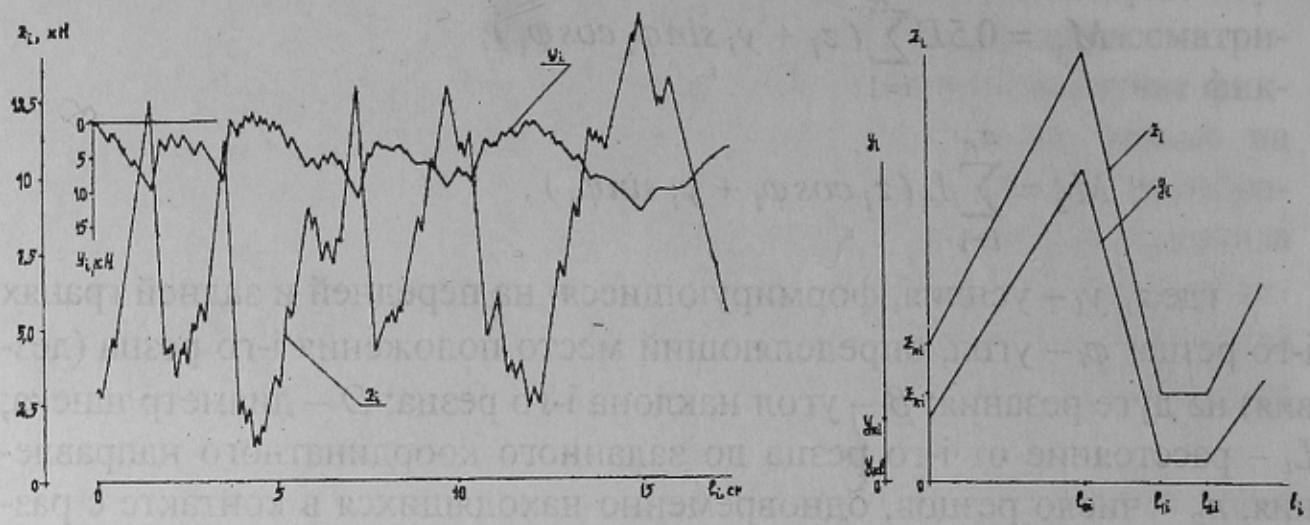

Рисунок 1 - Фрагмент осциллограммы усилий, формирующихся на гранях одиночного резца при разрушении хрупкого материала, (а) и их линейное представление (б)

Прочностные параметры материала – величина случайная. Для углей распределение вероятностей прочности не противоречит нормальному закону

$$f(A_p) = \frac{1}{\sigma_{A_p}\sqrt{2\pi}} e^{-0,5(A_p-\overline{A}_p)^2/\sigma^2_{A_p}},$$

где $A_p$, $\sigma_{A_p}$ – математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение сопротивляемости угля резанию.

При разрушении угля возможны так называемые «выколы», заходящие вглубь массива пласта, и обусловленная этим явлением потеря контакта резца (лезвия) по задней грани с материалом. А поскольку эти явления («выколы») происходят случайно, случайными будут и контакт резца по задней грани с пластом и сила, формирующая на задней грани резца. Положим, что наличие контакта резца по задней грани $S_k$ не противоречит равновероятному закону распределения

$$r(S_к) = \begin{cases} 1/S_p, & 0 \le S_к \le S_p, \\ 0, & S_к \notin S_p, \end{cases}$$

где $S_p$ – площадь затупления резца по задней грани.

Толщина среза в общем случае является величиной случайной. Это обусловлено неравномерностью перемещения режущего инструмента и др. факторами. Согласно [1], распределение вероятностей для толщины среза не противоречит закону «арктангенса» от нормально распределенной величины.

Итак, силы, формирующиеся на гранях резца при разрушении хрупкого материала, являются многопараметрическими случайными величинами, случайный характер которых обусловлен: случайным характером сопротивляемости угля резанию (нормальный закон), длины скола (закон Вейбулла), толщины стружки (закон «арктангенса» от нормально распределенной величины.), наличие контакта резца с материалом по задней грани резца (закон равной вероятности).

Для рассматриваемых режущих инструментов, максимальное число резцов (лезвий), одновременно находящихся в контакте с разрушаемым материалом, составляет 25-35. Тогда составляющие вектора внешнего возмущения представляют собой суммы указанного числа случайных величин, для которых аналитические выражения настолько громоздки, что практически не представляется возможным их анализ. Поэтому с целью решения указанной задачи была разработана программа в соответствии с изложенными выше положениями применительно к ПЭВМ типа Pentium, промоделирован процесс формирования вектора внешнего возмущения и выполнен корреляционный и спектральный анализ результатов.

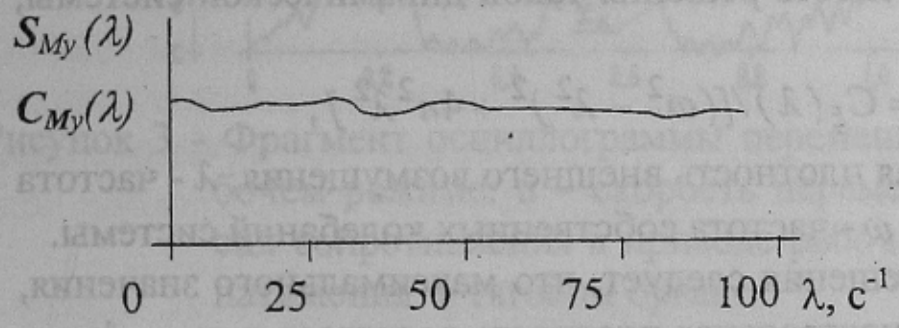


Рисунок 2 - График нормированной спектральной плотности составляющей вектора внешнего возмущения - момента сил сопротивления

На рис. 2 в качестве примера приведена нормированная спектральная плотность одной из составляющих вектора внешнего возмущения - момента $M_y$ (момента сил сопротивления разрушению), из которого видно, что спектральная плотность указанной составляющей ***B*** представляет собой практически прямую линию, параллельную оси частот в широком диапазоне частоты. А это означает: случайный процесс, имеющий такую спектральную плотность, обладает

в указанном диапазоне частот свойствами «белого шума», т.е. независимостью дисперсии от частоты. Такие же результаты получены и для других составляющих вектора внешнего возмущения.

Таким образом, на основании решения задачи и анализа полученных результатов можно сделать вывод о том, что формирующийся на многорезцовых (многолезвийных) инструментах при разрушении хрупких материалов вектор внешнего возмущения не противоречит случайному процессу со свойствами «белого шума».

С целью проверки полученных результатов воздействуем случайным процессом со свойствами «белого шума» на динамические системы, тензометрические исследования которых проведены в представительных реальных условиях эксплуатации. Такими динамическими системами является система привода рабочего органа очистного комбайна и система его перемещения. При этом первая из указанных систем с достаточной для инженерных расчетов точностью описывается линейным дифференциальным уравнением второго порядка вида

$$\frac{d^2\gamma}{dt^2} + 2n\frac{d\gamma}{dt} + \omega^2\gamma = \xi(t),$$

где $\gamma$ - угол закручивания системы, $n, \omega$ - параметры системы, определяющие соответственно ее диссипативные и жесткостные свойства, $\xi(t)$ – случайный «белый шум».

Спектральная плотность решения такой динамической системы, согласно [2], будет

$$S_\gamma(\lambda) = C_\xi(\lambda)/[(\omega^2 - \lambda^2)^2 + 4n^2\lambda^2],$$

где $C_\xi(\lambda)$ – спектральная плотность внешнего возмущения, $\lambda$ - частота внешнего возмущения, $\omega$ - частота собственных колебаний системы.

Из полученного решения следует, что максимального значения, равного $C_\xi(\lambda)/(4n^2\lambda^2)$, спектральная плотность достигает при $\omega=\lambda$, т.е. при совпадении частоты внешнего возмущения с частотой собственных колебаний системы. Отсюда также следует, что максимальных значений (всплесков) спектральная плотность решения будет иметь столько, сколько частот собственных колебаний системы. Для одномассовой системы, с помощью которой производились тензометрические замеры, как показали результаты исследований, имеет место один всплеск спектральной плотности момента сил сопротивления на частоте, близкой к собственной частоте системы. Это не противоречит тому, что внешним возмущением может быть случайный процесс,

обладающий свойством «белого шума».

При воздействии случайным процессом со свойствами «белого шума» на нелинейную динамическую систему типа системы Ван дер Поля, которой является система перемещения комбайна (перемещение с сухим трением) и которая описывается уравнением вида

$$d^2u/dt^2 = \nu(1-r^2u^2)du/dt - \nu\varsigma(t),$$

где $u$ – скорость перемещения комбайна, $\nu$ - малый параметр, $r$ – параметр системы перемещения, $\varsigma(t)$ – случайный «белый шум», и решении ее методом Колмогорова-Фоккера-Планка [ 3 ], получим

$$u_a = r^{-1}\sqrt{2+2\sqrt{1-1/\chi}},$$

где $u_a$ – амплитуда скорости, $\chi = (2/\nu)^{1/2}$, и при $\nu \to 0$ $u_a \to 2/r$ с наибольшей вероятностью. Это означает, что в установившемся режиме движения перемещение комбайна будет представлять собой устойчивый автоколебательный процесс, о чем свидетельствует фрагмент осциллограммы, приведенный на рис. 3.

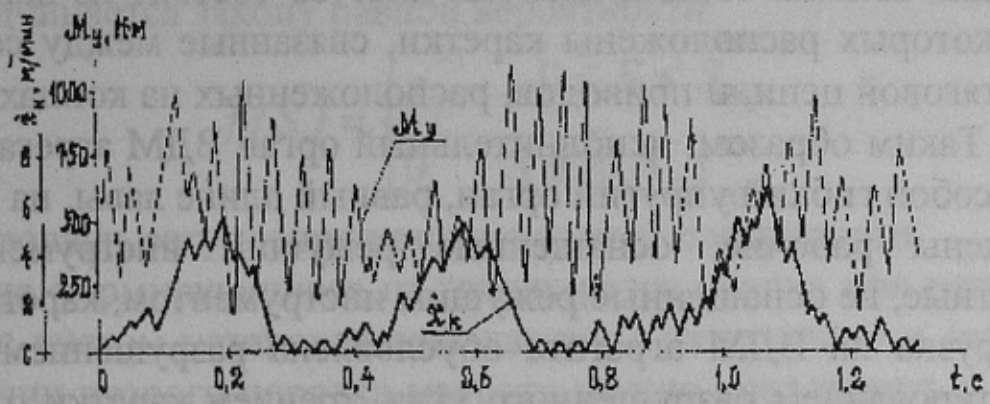


Рисунок 3 - Фрагмент осциллограммы перемещения комбайна в рабочем режиме: u – скорость перемещения, $M_y$ – момент сил сопротивления в приводе рабочего органа, $Q_p$ – сила натяжения в тяговом органе.

***Заключение.*** На основании выполненных исследований (теоретических и экспериментальных) и полученных результатов можно сделать следующее заключение – при разрушении угольных пластов рабочими органами очистных комбайнов нагрузка, формирующаяся на них, не противоречит случайному процессу в широком диапазоне частот обладающего свойствами «белого шума».

Список литературы.

1. Исполнительные органы очистных комбайнов для тонких пластов // Н.Г. Бойко, А.В. Болтян, В.Г. Шевцов и др.- Донецк, «Донеччина», 1996. – 224 с.
2. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. – М.:Наука, 1968.–464 с
3. Митропольский Ю.А. Метод усреднения в нелинейной механике. Киев, Наукова думка, 1971.-440с.