УДК 622.232.72.031.2

ХАРАКТЕР И ПАРАМЕТРЫ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВНЕШНЕГО ВОЗМУЩЕНИЯ ВЫЕМОЧНО-ДОСТАВОЧНОЙ МАШИНЫ ФРОНТАЛЬНОГО АГРЕГАТА

Бойко Е.Н. канд. техн. наук, доц., Голубов Н.В. асс.
Донецкий государственный технический университет

Рассмотрены вопросы характера и параметры внешнего возмущения выемочно-доставочной машины фронтального агрегата как случайного стохастического многомерного процесса с выбросами нагрузки выше установленного уровня.

The questions of character and parameters of external indignation of the machine of the frontal unit as random stochastic multidimentioned process with emissions of loading above than established level are considered.

Выемочно-доставочная машина (ВДМ) агрегата фронтального агрегата для выемки тонких пологих пластов состоит из направляющих, на которых расположены каретки, связанные между собой отрезками тяговой цепи, и приводов, расположенных на концах направляющих. Таким образом, исполнительный орган ВДМ агрегата представляет собой гибкий упругий орган, равный длине лавы, на котором расположены рабочие, оснащенные режущим инструментом, и транспортные, не оснащенные режущим инструментом, каретки.

Нагрузка на ВДМ агрегата обусловлена разрушением пласта, транспортированием разрушенного угля, трением каретки о направляющую раму, переходом кареток через стыки рам, преодолением сопротивления на изгибах направляющей рамы и при проходе под рычагами направляющей рамы.

Отличительной особенностью схемы набора режущего инструмента ВДМ является большая рассредоточенность малых групп резцов - по одному, по два резца на каретке. Ширина среза составляет около 10 см, скорость резания - порядка 1,33м/с, максимальная толщина среза ВДМ агрегата может достигать 7 см. Из приведенных данных видно, что параметры разрушения пласта ВДМ агрегата того же порядка, что и параметры разрушения пласта исполнительными органами современных очистных комбайнов. Характер усилий от разрушения пласта исполнительными органами современных очистных комбайнов рассмотрен в работе [1], из которой следует:

1. Сила на передней грани резца (сила резания) имеет явно выраженный динамический характер с крутыми фронтами ее нарастания и спаде практически до нулевого значения в 80 - 85% случаев, что свидетельствует о разрушении массива в виде отрыва от него отдельных элементов, которые именуются сколами.

2. Имеющие место значения силы на передней и задней гранях резца, близкие к нулю на довольно длинных отрезках пути (порядка 20 мм), свидетельствуют о потере контакта резца с разрушаемым массивом за счет так называемых выколов массива в глубину.

3. Распределение вероятностей длины скола не противоречит закону Вейбулла (критерий согласия Пирсона не менее 0,4), плотность распределения вероятностей для которой имеет вид

$$\omega(l)=ba^{-1}[(l-c)a^{-1}]^{b-1}exp\{-[(l-c)a^{-1}]^{b}\}$$

где a, $в$ и c - параметры, соответственно, масштаба, формы и сдвига кривой распределения.

4. Контакт резца по задней грани с разрушаемым массивом носит случайный характер, плотность распределения вероятностей которой подчиняется закону равной вероятности:

$$f(S)=\begin{cases} S_p^{-1}, & 0\le S\le S_p, \\ 0, & S\notin[0,S_p] \end{cases}$$

где S_p - площадь затупления резца по задней поверхности.

Тогда формирующиеся на гранях резца усилия при разрушении массива с учетом установленной картины разрушения и отбрасывания величин второго порядка малости можно представить в виде кусочно-линейных зависимостей:

- для усилия на передней грани резца:

$$z=\begin{cases} z_н + k_z A_p hl, & 0\le l\le l_0, \\ z_н + k_z A_p hl0[1-(l-l_0)(l_1-l_0)^{-1}], & l_0< l\le l_1, \\ z_ю & l_1 \lhd \le l_2; \end{cases}$$

- для усилия на задней грани резца:

$$y=\begin{cases} y_н + (k_y hl + k_\alpha\alpha)A_p, & 0\le l\le l_0, \\ y_н+\{ k_y hl_0[1-(l-l_0)(l_1+l_0)^{-1}]+ k_\alpha\alpha\}A_p, & l_0< l\le l_1, \\ y_ю & l_1 \lhd \le l_2; \end{cases}$$

Здесь индексами «*н*» и «*к*» обозначают начальное и конечное значение соответствующего усилия; k_z, k_y - интегральные величины, учитывающие влияние на соответствующее усилие геометрических параметров резца, схемы резания, толщины среза и скола массива; h, l - соответственно, толщина среза и длина скола массива; α - величина действительного заднего угла; k_α - величина, учитывающая влияние изменения действительного заднего угла резания на усилие; l_0, l_1 и l_2 - значения длины скола массива, при которых изменяется характер усилий на гранях резца; A_p - сопротивляемость пласта разрушению режущим инструментом.

Сопротивление пластов разрушению режущими инструментами - величина случайная, распределение вероятностей которой подчиняется закону Гаусса,

$$f\left(A_p\right)=\left(\sigma_{A_p}\sqrt{2\pi}\right)^{-1} exp\left\{-0{,}5\left(A_p-\overline{A}_p\right)^2 \sigma_{A_p}^{-2}\right\},$$

где $\overline{A}_p$, σ_{A_p} - соответственно, математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение сопротивляемости угля резанию.

Из приведенных зависимостей для усилий на гранях резца при разрушении пласта видно, что последние являются многопараметрическими величинами, три из которых, по крайней мере, являются случайными, а именно: сопротивляемость пласта разрушению - закон Гаусса; длина скола массива - закон Вейбула; площадь контакта резца с массивом - закон равной вероятности.

Следует отметить, что характерной особенностью угольных пластов является наличие в них твердых включений в виде сернистого колчедана, пирита, кварцита и др. включений, которые, как правило, не прорезаются режущим инструментом, а выбиваются последним из пласта. Это обуславливает формирование кратковременных, пикового характера, сил на гранях резца и в первую очередь - на его передней грани. Продолжительность действия пиковой нагрузки обусловливается рядом факторов, а именно жесткостью тягового органа в месте расположения твердого включения, величиной включения, характера «заделки» включения в пласте, его формы, величины «захвата» резцом этого включения и т.д. Все указанные факторы являются случайными. Поэтому будем считать такие нагрузки «выбросами» последней выше установленного уровня и для дальнейшего ее описания использовать теорию выбросов. Обозначим через z_a уровень, «выброса» силы $z(t)$, который будем рассматривать, и определим вероятность того, что в бесконечно малый промежуток времени

dt, непосредственно следующий за моментом времени t, произойдет «выброс». Для этого необходимо, чтобы осуществились два события:

1. В момент времени t ордината силы $z(t) < z_a$.
2. В момент времени $t+dt$ ордината силы $z(t+dt) > z_a$.

Тогда вероятность выброса силы будет иметь вид

$$P\{z(t) < z_a,\ z(t+dt) > z_a\},$$

Полагая, что $z(t)$ дифференцируемая случайная функция, неравенство в выражении для вероятности «выброса» с точностью до величины второго порядка малости запишется в виде двойного неравенства

$$z_a - v(t)dt < z(t) < z_a$$

где $v(t)$ - производная $z(t)$, $v(t)=z'(t)$.

Тогда

$$P\{z(t) < z_a,\ z(t+dt) > z_a\} = \int\limits_0^{\infty} \int\limits_{z_a - vdt}^{z_a} f(x,v|t))dxdv,$$

где $f(x,v|t)$ - двумерная плотность распределения вероятностей.

Внутренний интеграл, пределы которого отличаются на бесконечную величину vdt,

$$\int\limits_{z_a - vdt}^{z_a} f(x,v|t))dx = dt\, vf(z_a,v|t).$$

Тогда

$$P\{z(t) < z_a,\ z(t+dt) > z_a\} = dt \int\limits_{\infty}^{0} f(x,v|t))vdv.$$

Полученное выражение показывает, что вероятность «выброса» в течение интервала dt пропорциональна величине $\int\limits_{\infty}^{0} f(x,v|t))vdv$.

Поэтому, вводя временную плотность для вероятности «выброса», и обозначив $p(z_a|t)$ вероятность «выброса» за уровень z_a в момент времени t, рассчитанную за единицу времени, получим:

$$p(z_a|t) = \int\limits_{\infty}^{0} f(x,v|t))vdv$$

и определим среднее время пребывания функции $z(t)$ выше заданного уровня для любого промежутка времени T. С этой целью разобьем интервал T на n равных по величине малых подинтервалов dt_j, каждый из которых расположен вблизи момента времени t_j, $j=1,2,3....n$. Вероятность того, что $z(t)$ будет выше заданного уровня z_a,

$$P\{z(t_j)>z_a\}=\int_{\infty}^{0} f(z|t_j))dz \ ,$$

Будем полагать, что величины интервалов dt_j настолько малы, что внутри интервала функция $[z(t_j)-z_a]$ не меняет знак, и введем систему случайных чисел Δ_j:

$$\Delta_j=\begin{cases} dt_j, & [z(t_j)-z_a]>0 \\ 0, & [z(t_j)-z_a]<0 \end{cases}$$

Тогда общее время пребывания случайной функции $z(t)$ выше заданного уровня z_a

$$T_{za}=\sum_{j=1}^{n}\Delta_j .$$

Среднее время пребывания случайной функции выше заданного уровня определим, взяв от обеих частей этого равенства математическое ожидание,

$$\bar{t}_{za}=\sum_{j=1}^{n}M\left(\Delta_j\right).$$

Поскольку случайная величина Δ_j может принимать только два значения: dt_j или 0, то ее математическое ожидание

$$M\left(\Delta_j\right)=dt_j\int_{z_a}^{\infty}f(z|t)dz \ .$$

Подставив полученное выражение в выражение для $\bar{t}_{za}$ и переходя к пределу при $n\to\infty$, получим

$$\bar{t}_{za}=\int_{o}^{T}\int_{z_a}^{\infty}f(z|t)dzdt \ .$$

Среднее время пребывания случайной функции $z(t)$ выше заданного уровня z_a в течении одного «выброса»

$$\bar{\tau} = \bar{t}_{za} \cdot \bar{n}_{za}^{-1},$$

где $\bar{n}_{za}$ - среднее число «выбросов» случайной функции за рассматриваемый интервал T.

Для определения $\bar{n}_{za}$ разобьем интервал T на n равных интервалов или подинтервалов dt_j и введем вспомогательные случайные величины N_j и так, что

$$N_j = \begin{cases} 1, & \lfloor z(z_j) - z_a \rfloor > 0 \ и \ \lfloor z(z_j) - z_a \rfloor \in dt_j \\ 0, & \lfloor z(z_j) - z_a \rfloor < 0 \end{cases}$$

Тогда полное число выбросов случайной функции за интервал T

$$N_{za} = \sum_{j=1}^{n} N_j$$

Находя математическое ожидание обеих частей полученного равенства и учитывая, что математическое ожидание каждой из величин N_i численно равно вероятности «выброса» в j-том интервале $p(z_a|t_j)dt_j$, получим:

$$\bar{n}_{za} = \sum_{j=1}^{n} p(z_a|t_j)dt_j$$

Увеличивая число интервалов dt_j до бесконечности и подставляя вместо $p(z_a/t_j)$ его выражение, получим:

$$\bar{n}_{za} = \int_0^T \int_{za}^{\infty} v f(z_a, v|t) dv dt \ .$$

Тогда средняя продолжительность каждого выброса будет

$$\bar{\tau} = \int_0^T \int_{za}^{\infty} f(z|t) dz dt \Bigg/ \int_0^T \int_{za}^{\infty} v f(z_a, v|t) dv dt \ .$$

Применительно к стационарному процессу приведенные выше зависимости для определения параметров «выброса» упрощаются. Так, плотность распределения вероятностей случайной функции $f(z/t)$ и плотность распределения вероятностей ее производной $f(z,v/t)$ не зависят от времени. В этом случае:

$$\bar{t}_{z_a} = T\int\limits_{\infty}^{0} f(z)dz\ ;\ \bar{n}_{z_a} = T\int\limits_{0}^{\infty} vf(z_a, v)\,dv\ ,\ \bar{\tau} = \frac{\int\limits_{z_a}^{\infty} f(z)dz}{\int\limits_{z_a}^{\infty} vf(z_a, v)dv}.$$

Из приведенных выражений следует, что для стационарного процесса параметры «выброса» $\bar{t}_{z_a}$ и $\bar{n}_{z_a}$ пропорциональны рассматриваемому промежутку времени T, а средняя продолжительность «выброса» не зависит от этого промежутка. Поэтому для стационарного процесса целесообразно ввести среднее число «выбросов» в единицу времени:

$$\bar{\mu}_{za} = \bar{n}_{za} T^{-1} \equiv \int\limits_{0}^{\infty} vf(z_a, v)dv$$

В случае нормального стационарного процесса, что имеет место для силы резания, приведенные выше зависимости для параметров «выброса» существенно упрощаются. Поскольку производная случайного процесса и сам случайный процесс для одного и того же момента времени являются не коррелированными случайными величинами, а для нормального случайного процесса - и независимыми, то

$$f(z,v) = \frac{1}{\sigma_z\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z-\bar{z})^2}{2\sigma_z^2}} \cdot \frac{1}{\sigma_v\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v-\bar{v})^2}{2\sigma_v^2}},$$

где $\bar{z}$, $\bar{v}$ - математическое ожидание случайной функции и ее производной в данный момент, σ_z, σ_v - среднеквадратичное отклонение этих же величин,

$$\sigma_z^2 = \kappa_z(0);\quad \sigma_v^2 = \frac{d^2}{d\tau^2}\kappa_z(\tau)\Big|_{\tau=0}.$$

С учетом того, что математическое ожидание $\bar{v}(t)=0$ вследствии стационарности случайного процесса, получим:

$$\bar{\mu}_{za} = \frac{\sigma_v}{2\pi\sigma_z} e^{-\frac{(z_a-\bar{z})^2}{2\sigma_z^2}},\quad \bar{\tau} = \frac{\pi\sigma_z}{\sigma_v} e^{-\frac{(z_a-\bar{z})^2}{2\sigma_v^2}} \cdot \left[1 - \Phi\left(\frac{z_a-\bar{z}}{\sigma_z}\right)\right],$$

где $\Phi[\cdot]$ - интегральная функция Лапласса.

Таким образом, процесс разрушения пласта режущим инструментом исполнительного органа ВДМ представляет собой случайный процесс с «выбросами» выше установленного уровня.

Список источников:
1. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов: Учебник для вузов/ Малеев Г.В., Гуляев В.Г. Бойко Н.Г. и др. – М,: Недра, 1998.

УДК 622.232.72

ХАРАКТЕР ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧЕЙ ГРАНИ РЕЗЦА С РАЗРУШАЕМЫМ МАТЕРИАЛОМ

Бойко Н.Г., докт. тех. наук., проф., Федоров О.В., аспирант,
Донецкий государственный технический университет

Описаны особенности работы режущего инструмента для очистных комбайнов, реализующего комбинированный способ разрушения массива хрупкого материала.

It is described running features of the cutting tool for mining machines realising combined method of fragile material destroying.

Добыча угля современными очистными комбайнами производится в силовом режиме — в режиме со значительными усилиями резания и относительно небольшими скоростями. Непосредственное разрушение пласта производится режущим инструментом, в качестве которого наибольшее распространение получили радиальные резцы типа ЗР4-80. Характерной особенностью этого типа резцов является: клиновидная передняя грань и практически параллельные между собой и вектору скорости резания боковые грани. Последние наклонены в сторону тыльной части резца под углом порядка 3°. Для этих резцов, как и для резцов других типов, различают: ширину режущей части, передний, задний углы, углы резания, заточки и другие геометрические параметры. При разрушении режущим инструментом угля имеет место его развал, параметры которого обуславливаются упруго-пластическими свойствами и напряженным состоянием угля. Угол развала борозды резания (рис.1*а*), согласно [1], составляет

$$\psi = \psi_0 + C / [h(\varphi) + h_0] - d\cdot A , \qquad (1)$$

где A — сопротивляемость угля разрушению;