

ХАРАКТЕР И ПАРАМЕТРЫ РАЗРУШЕНИЯ ПЛАСТА РЕЗЦАМИ С РАБОЧЕЙ БОКОВОЙ ГРАНЬЮ

Бойко Н.Г., д.т.н., проф., Марков Н.А., к.т.н., (ЗАО «Донбассуголь»), Бойко Е.Н., к.т.н., Федоров О.В., асп.,
Донецкий государственный технический университет

В работе рассмотрены вопросы характера и параметров разрушения пласта резцами нового технического уровня – резцами с рабочей боковой гранью – и установлены их основные статистики и законы распределения вероятностей.

Behavior and parameters of coal seam disintegration with cutters of a new technical level – cutters having an working lateral face – were investigated and basic statistics and probability distribution laws were established.

Очистные комбайны относятся к классу высоко энерговооруженных технологических машин, рабочий процесс которых протекает в силовом режиме. Поэтому силовой фактор (силы, формирующиеся на гранях резцов, момент сил сопротивления) является одной из наиболее важных их характеристик, которая обуславливает как энергетические параметры, так и производительность, ресурс, характер перемещения комбайна и его устойчивость.

Кроме того, силовой фактор и, в первую очередь, силы, формирующиеся на гранях резцов, оказывают влияние на гранулометрический состав разрушаемого угля, а характер их изменения дает возможность судить и о характере разрушения пласта, и служит одним из параметров, с помощью которого следует определять гранулометрический (фракционный) состав угля.

Резцы с рабочей боковой гранью отличаются от резцов существующей конструкции тем, что одна из двух боковых граней (правая или левая в зависимости от принятой схемы разрушения пласта) является рабочей (рис.1). При этом рабочая боковая грань резца всегда должна быть расположена со стороны вновь образованной свободной поверхности разрушаемого пласта предыдущим резцом. Характер взаимодействия этой грани резца

несколько отличается от характера взаимодействия его передней и задней граней.

Передняя грань резца с рабочей боковой гранью, как и в резцах существующей конструкции, соприкасается с разрушаемым пластом, точнее, с образовавшимся уступом пласта, толщина которого определяется толщиной среза (стружки), которая, как функция угла поворота рабочего органа, изменяется по зависимости, близкой к синусоиде.

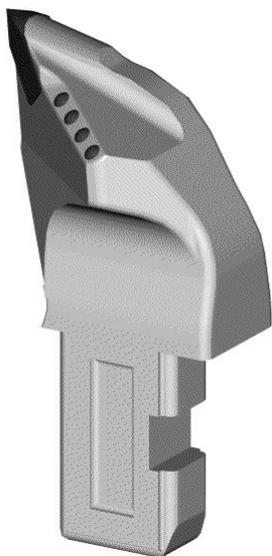


Рисунок 1 – Вид резца с рабочей боковой гранью (резец ЗРБ2-80).

Этой гранью резец, действуя на образующейся уступ, создает в этой зоне у вершины «клин», состоящий из мелкодисперсного продукта разрушения, а на оставшуюся часть уступа, равную толщине среза (стружки), воздействует, создавая в нем напряжение сжатия. При достижении напряжением сжатия величины, равной или больше допустимого для данного угля, происходит его разрушение, а поскольку массив пласта находится в естественном напряженном состоянии под действием вмещающих пород, происходит саморазрушение оставшейся части пласта между соседними резцами, т.е. межщелевого целика.

Задняя грань резцов с рабочей боковой гранью также практически не производит разрушения пласта. Этой гранью резец соприкасается с остающейся не разрушенной частью пласта, вдавливаясь в него и скользит по нем. Величина площади контакта резца по задней грани с пластом зависит как от величины затупления, конструктивного заднего угла, так и от места его положения на дуге резания и соотношения между скоростями резания и подачи комбайна, или, что тоже, подачи резца на пласт (забой). Этой гранью резец создает в остающемся не разрушенном пласте на-

пряжение сжатия, а сила, формирующаяся на этой грани, обусловливается величиной напряжения сжатия массива и площади контакта ее с не разрушенной частью пласта. В случае, когда при разрушении уступа пласта передней гранью резца или по каким-то другим причинам, например, выбиванием твердого включения из массива происходят «выколы», заходящие и в остающуюся не разрушаемую часть пласта, контакт резца по задней грани с пластом может быть потерян. В этом случае сила на задней грани резца будет уменьшаться до нуля.

Таким образом, взаимодействие резца с рабочей боковой гранью с разрушаемым пластом по двум его рабочим граням - передней и задней – аналогично взаимодействию этих граней резца существующей конструкции и создает в нем напряжения сжатия. Разрушение пласта производится передней гранью резца за счет создания в разрушаемой части пласта – уступе - напряжения сжатия и доведения его до предельного значения.

Одна из боковых граней (левая или правая в зависимости от схемы разрушения пласта, направления вращения рабочего органа) в резцах с рабочей боковой гранью является рабочей. С этой целью эта грань наклонена под углом β , рис. 2, а высота ее может быть равна высоте передней грани.

При взаимодействии резца с пластом его рабочая боковая грань взаимодействует с углом межщелевого целика, ширина которого должна выбираться такой, чтобы он весь не само разрушался под действием естественного напряженного состояния массива пласта. Это может быть достигнуто при такой величине ширины среза, когда разрушение пласта будет происходить в режиме, близком к полублокированному резу, по крайней мере, с противоположной стороны рабочей боковой грани, т.е. со стороны нерабочей боковой грани резца, рис.2. В этом случае резец по боковой рабочей грани взаимодействует с массивом остающегося не разрушенного межщелевого целика, создавая в нем напряжение сдвига.

Правильность или, по крайней мере, не противоречие изложенной картины взаимодействия рабочих граней резца с рабочей боковой гранью с разрушаемым пластом подтверждается

результатами специальных тензометрических исследований процесса разрушения массива и формирования усилий на его гранях, рис. 3.

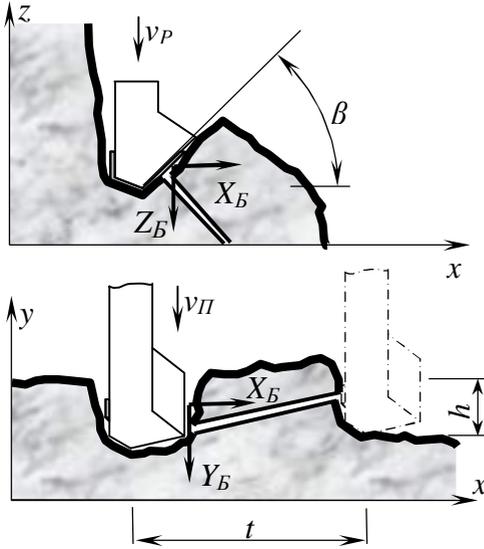


Рисунок 2 – Характер разрушения массива резцом с рабочей боковой гранью

Мгновенные значения усилий, формирующиеся на рабочих гранях резца, имеют явно выраженный динамический характер с довольно крутыми фронтами как нарастания, так и спада, что является свидетельством «скольного» характера разрушения массива по всем рабочим граням.

Распределение вероятностей длины скола массива рабочей боковой гранью резца, полученное по данным обработки результатов экспериментальных тензометрических исследований доста-

точного объема, не противоречит закону Вейбулла (критерий согласия Пирсона 0,57) и для этой грани резца, аналитическое выражения для плотности распределения вероятностей которого имеет вид

$$w(l_{ci}) = b_c / a_c [(l_{ci} - c_c) / a_c]^{b_c - 1} \exp\{-[(l_{ci} - c_c) / a_c]^{b_c}\},$$

где l_{ci} – длина скола массива рабочей боковой гранью i -го резца, a_c , b_c , c_c – величины, имеющий тот же, что и в выражении (1.25), физический смысл.

Исходя из изложенного выше и кусочно-линейного представления действительных значений усилия, формирующегося на рабочей боковой грани резца, рис. 4, аналитические выра-

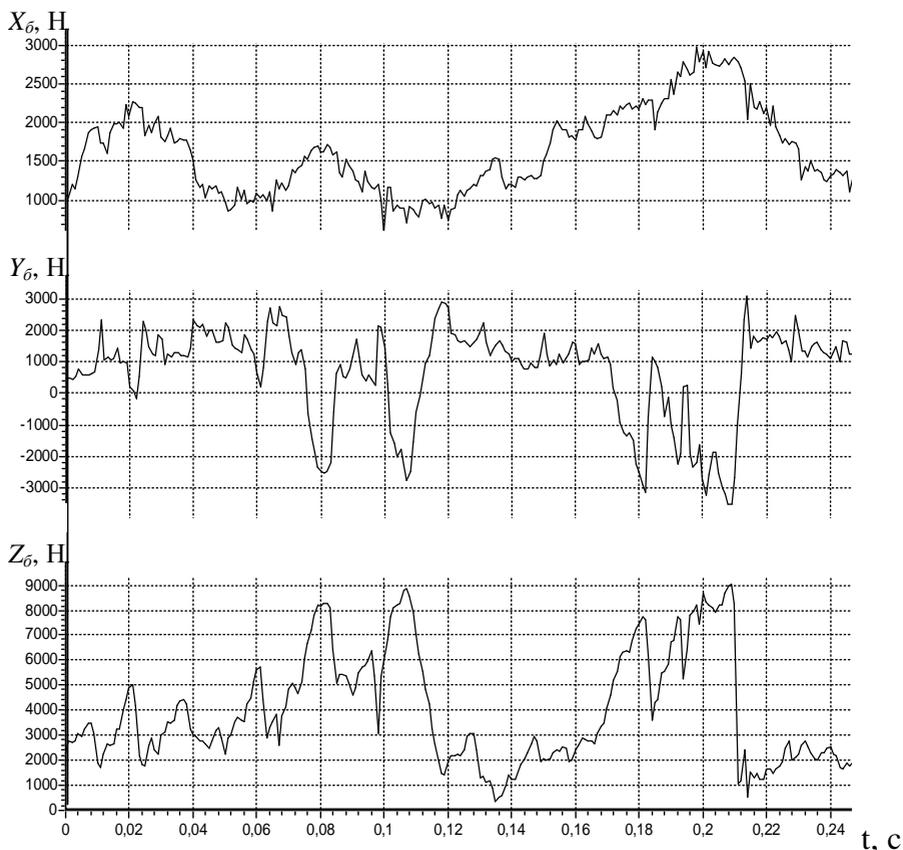


Рисунок 3. – Фрагменты осциллограмм усилий на передней Z_{δ} , задней Y_{δ} и рабочей боковой X_{δ} гранях при разрушении массива острым резцом

жения, описывающие усилия на гранях i -го резца, представим в виде [1]:

на передней грани резца

$$Z_{\delta i} = \begin{cases} z_{ni} + k_z A_{pi} h_i t_i l_i, & 0 \leq l_i \leq l_{oi}, \\ z_{ni} + k_z A_{pi} h_i t_i l_{oi} [1 - (l_i - l_{oi}) / (l_{1i} - l_{oi})], & l_{oi} < l_i \leq l_{1i}, \\ z_{ki}, & l_{1i} < l_i \leq l_{2i}; \end{cases}$$

на задней грани резца

$$Y_{\delta i} = \begin{cases} y_{ni} + (k_y h_i l_i + k_\alpha \alpha_{yi}) A_{pi}, & 0 \leq l_i \leq l_{oi}, \\ y_{ni} + \left[k_y h_i l_{oi} \left(1 - \frac{l_i - l_{oi}}{l_{li} - l_{oi}} \right) + k_\alpha \alpha_{yi} \right] A_{pi}, & l_{oi} < l_i \leq l_{li}, \\ y_{ki}, & l_{li} < l_i \leq l_{2i}. \end{cases}$$

на рабочей боковой грани резца

$$X_{\delta i} = \begin{cases} x_{ni} + k_x A_{pi} h_i t_i l_{ci}, & 0 \leq l_{ci} \leq l_{oci}, \\ x_{ni} + k_x A_{pi} h_i t_i l_{coi} \left[1 - (l_{ci} - l_{oci}) / (l_{lci} - l_{oci}) \right], & l_{oci} < l_{ci} \leq l_{lci}, \\ x_{ki}, & l_{lci} < l_{ci} \leq l_{2ci}. \end{cases}$$

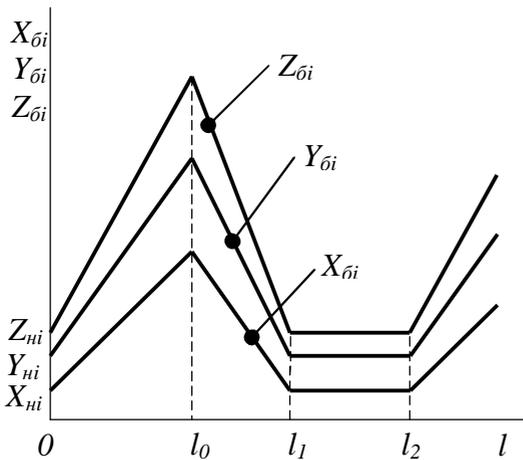


Рисунок 4 - Линеаризованное представление сил на гранях резца с рабочей боковой гранью.

Здесь z_{ni} , y_{ni} , x_{ni} - начальное усилие соответственно на передней, задней и боковой гранях i -го резца; k_z, k_y, k_α - математическое ожидание коэффициентов, учитывающих изменения соответствующих сил при изменении толщины среза и действительного заднего угла резца; h_i, t_i - соответственно толщина и ширина среза i -го резца; A_{pi} - сопротивление углю резанию

в месте установки i -го резца; α_{yi} - изменение действительного заднего угла i -го резца; l_i, l_{ci} - длина скола массива соответственно i -м резцом и его боковой гранью; $l_{oi}, l_{li}, l_{2i}, l_{oci}, l_{lci}, l_{2ci}$ - граничные значения длины скола массива, при которых меняет-

ся характер сил на гранях резца; z_{ki} , y_{ki} , x_{ki} – конечные значения сил соответственно на передней, задней и боковой гранях i -го резца.

Для дальнейшего анализа представим силы на гранях резца в виде

на передней грани резца

$$Z_{\delta i} = \begin{cases} z_{ni} + z_{1i}, & 0 \leq l_i \leq l_{oi}, \\ z_{ni} + z_{2i} + z_{3i}, & l_{oi} < l_i \leq l_{1i}, \\ z_{ki}, & l_{1i} < l_i \leq l_{2i}; \end{cases}$$

на задней грани резца

$$Y_{\delta i} = \begin{cases} y_{ni} + y_{1i} + y_{2i}, & 0 \leq l_i \leq l_{oi}, \\ y_{ni} + y_{3i} + y_{4i} + y_{5i}, & l_{oi} < l_i \leq l_{1i}, \\ y_{ki}, & l_{1i} < l_i \leq l_{2i}. \end{cases}$$

на рабочей боковой грани резца

$$X_{\delta i} = \begin{cases} x_{ni} + x_{1i}, & 0 \leq l_{ci} \leq l_{oci}, \\ x_{ni} + x_{2i} + x_{3i}, & l_{oci} < l_{ci} \leq l_{1ci}, \\ x_{ki}, & l_{1ci} < l_{ci} \leq l_{2ci}; \end{cases}$$

Здесь

$$\begin{aligned} z_{ni} &= f y_{ni} = z_{ki}, & y_{ni} &= k_s S_i A_{pi} = y_{ki}, & x_{ni} &= k_x S_{\delta i} A_{pi} = x_{ki}, \\ z_{1i} &= k_z A_{pi} h_i t_i, & z_{2i} &= k_z A_{pi} h_i t_i l_{oi}, & z_{3i} &= k_z A_{pi} h_i t_i l_{oi} (l_i - l_{oi}) / (l_{1i} - l_{oi}), \\ y_{1i} &= k_y A_{pi} h_i t_i, & y_{2i} &= k_{\alpha} \alpha_{yi} A_{pi}, & y_{3i} &= k_y h_i l_{oi} A_{pi}, \\ y_{4i} &= k_y h_i l_{oi} (l_i - l_{oi}) / (l_{1i} - l_{oi}) A_{pi}, & y_{5i} &= y_{2i}, \\ x_{1i} &= k_x A_{pi} h_i t_i l_{ci}, & x_{2i} &= k_x A_{pi} h_i t_i l_{oci}, \\ x_{3i} &= k_x A_{pi} h_i t_i l_{oci} (l_{ci} - l_{oci}) / (l_{1ci} - l_{oci}). \end{aligned}$$

Из приведенных выражений следует, что формирующиеся на гранях резца с рабочей боковой гранью усилия при разрушении пласта аналогичны по структуре усилиям, формирующимся

на гранях радиального реза существующей конструкции, и представляют собой суммы произведений многомерных случайных величин. Поэтому и для усилий рассматриваемых резов с рабочей боковой гранью имеют место полученные и приведенные выше соотношения как по основным статистикам, так и другим параметрам. Так, например, совместная плотность распределения сопротивляемости угля резанию и длины скола боковой гранью имеет вид

$$\lambda_{\bar{\sigma}}(A_{pi}, S_{\bar{\sigma}i}) = 1 / (S_{\bar{\sigma}} \sigma_{A_{pi}} \sqrt{2\pi}) \exp \left[-0,5 (A_{pi} - A_p)^2 / \sigma_{A_{pi}}^2 \right],$$

а совместная плотность распределения начальных и конечных значений усилий на гранях реза

$$\varphi(z_{ni}) = 1 / (k_s S_p \sigma_{A_{pi}} \sqrt{2\pi}) \int_{\xi}^{\infty} \xi^{-1} e^{-\frac{(\xi - A_p)^2}{2\sigma_{A_{pi}}^2}} d\xi,$$

$$\gamma(y_{ni}) = 1 / (k_s S_p \sigma_{A_{pi}} \sqrt{2\pi}) \int_{\zeta}^{\infty} \zeta^{-1} e^{-\frac{(\zeta - A_{pi})^2}{2\sigma_{A_{pi}}^2}} d\zeta,$$

$$\vartheta(x_{ni}) = 1 / (k_x S_{\bar{\sigma}} \sigma_{A_{pi}} \sqrt{2\pi}) \int_{\xi}^{\infty} \xi^{-1} e^{-\frac{(\xi - A_p)^2}{2\sigma_{A_{pi}}^2}} d\xi,$$

В связи с тем, что аналитические выражения для плотностей распределения вероятностей других слагаемых усилий для рассматриваемых резов более громоздки, чем в случае для резов существующей конструкции, приведем зависимости только для их основных статистик – математического ожидания M и дисперсии D .

$$Mz_{hi} = 0,5fk_s S_p A_{pi} ,$$

$$Dz_{hi} = 1/3(fk_s S_p A_{pi})^2(v_{A_{pi}}^2 + 1/4) ,$$

$$My_{hi} = 0,5k_s S_p A_{pi} ,$$

$$Dy_{hi} = 1/3(k_s S_p A_{pi})^2(v_{A_{pi}}^2 + 1/4) ,$$

$$Mz_{1i} = k_1 [c + a/b\Gamma(1/b)] A_{pi} ,$$

$$Dz_{1i} = k_1^2 \{ \sigma_{A_{pi}}^2 [c^2 + 2a/b \langle c\Gamma(1/b) + a\Gamma(2/b) \rangle] + A_{pi}^2 [a^2 / b \langle 2\Gamma(2/b) - 1/b\Gamma^2(1/b) \rangle] \} ,$$

$$Mz_{2i} = k_2 A_{pi} , \quad Dz_{2i} = k_2^2 \sigma_{A_{pi}}^2 ,$$

$$Mz_{3i} = k_3 A_{pi} [c_1 + a/b\Gamma(1/b)] ,$$

$$Dz_{3i} = k_3^2 \{ \sigma_{A_{pi}}^2 [c_1^2 + 2a/b \langle c_1\Gamma(1/b) + a\Gamma(2/b) \rangle] + A_{pi}^2 [a^2 / b \langle 2\Gamma(2/b) - 1/b\Gamma^2(1/b) \rangle] \} ,$$

$$Mz_{ki} = 0,5fk_s S_p A_{pi} ,$$

$$Dz_{ki} = 1/3(fk_s S_p A_{pi})^2(v_{A_{pi}}^2 + 1/4) .$$

$$Mx_{hi} = 0,5fk_s S_{\sigma} A_{pi} ,$$

$$Dx_{hi} = 1/3(fk_s S_{\sigma} A_{pi})^2(v_{A_{pi}}^2 + 1/4) ,$$

$$Mx_{1i} = k_1 [c_c + a_c/b_c\Gamma(1/b_c)] A_{pi} ,$$

$$Dx_{1i} = k_1^2 \{ \sigma_{A_{pi}}^2 [c_c^2 + 2a_c/b_c \langle c_c\Gamma(1/b_c) + a_c\Gamma(2/b_c) \rangle] + A_{pi}^2 [a_c^2 / b_c \langle 2\Gamma(2/b_c) - 1/b_c\Gamma^2(1/b_c) \rangle] \} ,$$

$$Mx_{2i} = k_2 A_{pi} , \quad Dx_{2i} = k_2^2 \sigma_{A_{pi}}^2 ,$$

$$Mx_{3i} = k_3 A_{pi} [c_{c1} + a_c/b_c\Gamma(1/b_c)] ,$$

$$Dx_{3i} = k_3^2 \{ \sigma_{A_{pi}}^2 [c_{c1}^2 + 2a_c / b_c \langle c_{c1} \Gamma(1/b_c) + a_c \Gamma(2/b_c) \rangle] + A_{pi}^2 [a_c^2 / b_c \langle 2\Gamma(2/b_c) - 1/b_c \Gamma^2(1/b_c) \rangle] \},$$

$$Mx_{ki} = 0,5 f k_x S_{\bar{\sigma}} A_{pi},$$

$$Dx_{ki} = 1/3 (f k_x S_{\bar{\sigma}} A_{pi})^2 (v_{A_{pi}}^2 + 1/4).$$

Совместные плотности распределения вероятностей усилий, формирующихся на гранях резца и имеющих взаимное влияние, определяются свертками их плотностей распределения вероятностей:

$$\phi(Y_{\bar{\sigma}i}, X_{\bar{\sigma}i}) = f_y(Y_{\bar{\sigma}i}) \otimes f_x(X_{\bar{\sigma}i})$$

$$\chi(Z_{\bar{\sigma}i}, Y_{\bar{\sigma}i}, X_{\bar{\sigma}i}) = f_z(Z_{\bar{\sigma}i}) \otimes f_y(Y_{\bar{\sigma}i}) \otimes f_x(X_{\bar{\sigma}i}).$$

Здесь знак \otimes обозначает свертку плотностей распределения вероятностей соответствующих усилий.

Представляя и для рассматриваемых резцов полное усилие в виде [2], получим

$$Z_{\bar{\sigma}ni} = Z_{\bar{\sigma}i} + f(Y_{\bar{\sigma}i} + X_{\bar{\sigma}i} \cos \beta).$$

Основные статистики – математическое ожидание M и дисперсия D - полного усилия на резце с рабочей боковой гранью будут

$$MZ_{\bar{\sigma}ni} = MZ_{\bar{\sigma}i} + f(MY_{\bar{\sigma}i} + MX_{\bar{\sigma}i} \cos \beta),$$

$$DZ_{\bar{\sigma}ni} = DZ_{\bar{\sigma}i} + f^2(DY_{\bar{\sigma}i} + DX_{\bar{\sigma}i} \cos^2 \beta) + 2K(Z_{\bar{\sigma}i}, Y_{\bar{\sigma}i}, X_{\bar{\sigma}i}),$$

где $(Z_{\bar{\sigma}i}, Y_{\bar{\sigma}i}, X_{\bar{\sigma}i})$ – корреляционный момент указанных усилий.

Суммарный вектор сил, формирующихся на гранях резца, в общем случае может быть представлен в виде

$$P_{\bar{\sigma}i} = \sqrt{Z_{\bar{\sigma}ni}^2 + Y_{\bar{\sigma}i}^2 + X_{\bar{\sigma}i}^2 \cos^2 \beta}.$$

Частота усилия, формирующегося на рабочей боковой грани резца,

$$\omega_{Z_{\delta i}} = 2\pi V_p l_{2ci}^{-1}.$$

Откуда следует, что частота силы, формирующейся на рабочей боковой грани резца, – монотонно убывающая функция длины скола массива, плотность распределения вероятностей для которой будет

$$\gamma_{\delta}(\omega_{Z_{\delta i}}) = \frac{2\pi V_{pi} b_c}{a_c \omega_{Z_{\delta i}}^2} \left(\frac{2\pi V_{pi} - c_c \omega_{Z_{\delta i}}}{a_c \omega_{Z_{\delta i}}} \right)^{b_c - 1} \times \\ \times \exp\left[-\left(\frac{2\pi V_{pi} - c_c \omega_{Z_{\delta i}}}{a_c \omega_{Z_{\delta i}}} \right)^{b_c} \right],$$

представляющая собой закон Вейбулла.

Таким образом, на основании выполненных исследований получено, что формирующиеся на гранях резца с рабочей боковой гранью усилия являются многомерными случайными величинами, случайных характер которых обусловлен случайным характером тех же, что и для радиальных резцов параметрами и, кроме того, случайным характером длины скола массива боковой гранью резца (закон Вейбулла). Частота усилия, формирующегося на боковой грани рассматриваемых резцов, является случайной величиной, плотность распределения вероятностей которой не противоречит закону Вейбулла.

Список источников

1. Исполнительные органы очистных комбайнов для тонких пологих пластов // Н.Г. Бойко, А.В. Болтян, В.Г. Шевцов, Н.А. Марков. Донецк, «Донецчина». 1996. – 223 с.
2. Позин Е.З. Сопrotивляемость углей разрушению режущими инструментами. М., Наука, 1972. – 240 с.