

УДК 622. 232. 71

Е.Н. Бойко (канд. техн. наук, доц.),
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

СОРТОВОЙ СОСТАВ УГЛЯ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ПЛАСТА ОДИНОЧНЫМ РЕЗЦОМ

В работе показано формирование сортового состава угля при разрушении массива резцом новой конструкции – с рабочей боковой гранью. Разрушение пласта резцом, как существующей конструкции, так и новой по его рабочим граням производится сколами, величина которых обуславливается для резцов существующей конструкции – толщиной стружки, а для резцов с рабочей боковой гранью – и расстоянием от рабочей боковой грани до свободной поверхности. Удельные затраты энергии разрушения пласта для рассматриваемых типов резцов – величина случайная, распределение вероятностей которой не противоречит нормальному закону.

Ключевые слова: сортовой состав, разрушение, пласт, резец, боковая грань, толщина среза, расстояние, удельные энергозатраты.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Хотя разрушение пласта рабочим органом очистного комбайна производится одновременно группой резцов, число которых достигает 25, тем не менее, каждый резец производит разрушение только «своего» участка пласта. Поэтому разрушение пласта одиночным резцом представляет интерес как в теоретическом, так и практическом плане.

Фактическое разрушение пласта одиночным резцом, как установлено экспериментально, происходит сколами его, а распределение вероятностей длины скола не противоречит закону Вейбулла.

Анализ исследований.

Разрушение пласта резцом существующей конструкции.

Вероятность появления сколов размера от l_{1i} до l_{2i} определится из выражения

$$P(l_i) = \int_{l_{1i}}^{l_{2i}} \varpi(\chi_i) d\chi_i. \quad (1)$$

Оценим возможные значения сколов l_{1i} и l_{2i} . Предельная минимальная величина скола – l_{1i} , исходя из физики процесса разрушения, меньше нуля не может быть. Следовательно, предельное минимальное значение $l_{1i} = 0$. Предельная максимальная величина скола – l_{2i}

обусловливается рядом факторов, и в первую очередь, трещиноватостью, крепостью (сопротивляемостью резанию) пласта, наличием трещин, их величиной и направлением, характером разрушения – по напластованию или вкрест простирания пласта. Отметим сразу, что разрушение пласта рассматриваемыми исполнительными (рабочими) органами – шнеками – производится вкрест простирания или напластования. При имеющем место фактически случайном расположении, направлении и величине трещин в массиве пласта, случайной величине сопротивляемости угля резанию предельная максимальная величина скола будет величиной случайной. Множество факторов, влияющих на предельную величину сколов, причем факторов случайных по своей природе, не противоречит, на основании предельной центральной теоремы [1], тому, что это нормально распределенная случайная величина, т.е. распределение вероятностей значений l_{2i} не противоречит закону Гаусса,

$$f(l_{2i}) = \frac{1}{\sigma_{l_{2i}} \sqrt{2\pi}} e^{-0,5(l_{2i} - \bar{l}_{2i})^2 / \sigma_{l_{2i}}^2}, \quad (2)$$

где $\bar{l}_{2i}, \sigma_{l_{2i}}$ – соответственно математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение предельного максимального значения длины скола.

По данным экспериментальных исследований разрушения массива одиночным резцом существующей конструкции (резец типа ЗР4-80) предельное максимальное значение длины скола с вероятностью порядка 0,65-0,75 составило величину $0 < l_{2i} \leq h(\varphi_i)$ и с 0,35-0,25 – величину $h(\varphi_i) < l_{2i} \leq k_l h(\varphi_i)$, $k_l \leq 3$.

Тогда основные статистики – математическое ожидание M и дисперсия D – длины скола определяются из следующих выражений:

$$Ml_i = \int_0^{l_{2i}} \chi_i \varpi(\chi_i) d\chi_i, \quad (3)$$

$$Dl_i = \int_0^{l_{2i}} (\chi_i - Ml_i)^2 \varpi(\chi_i) d\chi_i.$$

Учитывая особенности закона Вейбулла, можно на качественном уровне говорить о более вероятном появлении разрушенного угля, размеры гранул которого ближе к размерам штыба, т.е. угля с размерами гранул 13, 18 мм, чем угля, размеры гранул которого выше 25 мм.

Постановка задачі.

С целью проверки полученного на основании исследования приведенных выше зависимостей вывода рассмотрим более детально физическую картину процесса разрушения пласта одиночным резцом. Исходя из современного представления разрушения угля резцом, в нем образуется борозда резания с развалом ее боковых сторон. Площадь борозды развала

$$S(\varphi_i) = h(\varphi_i)[b_p + h(\varphi_i)tg\psi_i]. \quad (4)$$

При этом на площадку $b_p h(\varphi_i)$ давит передняя грань резца, создавая в массиве напряжение сжатия, и в размерах этой площадки наиболее вероятно появление сколов (гранул), размеры которых близки к толщине среза.

Тогда отношение площадей

$$\delta_{S_i} = b_p h(\varphi_i) / S(\varphi_i) = \frac{1}{1 + h(\varphi_i) / b_p tg\psi_i}. \quad (5)$$

Далее, записав угол развала борозды резания в виде [2], будем иметь

$$\delta_{S_i} = \frac{1}{1 + h(\varphi_i) / b_p tg[\psi_0 + C / (h_0 + h(\varphi_i)) - dA_{pi}]}. \quad (6)$$

Откуда следует:

1. Отношение δ_{S_i} – величина, максимальное значение которой равно 1. Физически это означает, что площадь, ограниченная параметрами ширины режущей части резца и толщины среза (стружки), и полная площадь борозды развала угля равны между собой.

2. При $h(\varphi_i) \rightarrow 0$ $\delta_{S_i} \rightarrow 1$, т.е. с уменьшением толщины среза (стружки) происходит выравнивание указанных площадей, а следовательно, и уменьшение площадки, в параметрах которой наиболее вероятно появление сколов (гранул) с размерами, близких к толщине среза (стружки). А поскольку толщина среза стремится к нулю, то и размеры сколов (гранул) разрушенного угля стремятся к нулю.

3. С увеличением ширины режущей части резца отношение δ_{S_i} увеличивается. Физически это означает увеличение площадки, в параметрах которой наиболее вероятно появление сколов (гранул) разрушенного угля с размерами, близких к толщине среза (стружки).

4. С увеличением сопротивляемости угля резанию δ_{S_i} увеличивается. Физически это означает уменьшение площадки, обусловленной развалом борозды резания, и относительное увеличение площадки, в

параметрах которой наиболее вероятно появление сколов (гранул) разрушенного угля с размерами, близких к толщине стружки (среза).

При $h(\varphi_i) = b_p$, характеризующей интенсивную работу комбайна (при двух резцах в линии резания и принятых частотах вращения шнеков комбайнов типа 1К-101 и К-103 скорость их перемещения составляет 3,2 м/мин),

$$\delta_{S_i} = \frac{1}{1 + \operatorname{tg}[\psi'_0 - dA_{pi}]}, \quad \psi'_0 = \psi_0 + C/(b_p + h_0). \quad (7)$$

Откуда следует: в интенсивных режимах работы комбайна гранулометрический состав угля, разрушенного одиночным резцом, обусловливается сопротивляемостью угля резанию – с увеличением сопротивляемости угля резанию отношение δ_{S_i} увеличивается. Следовательно, уменьшается площадь борозды, обусловленная ее развалом, и относительно увеличивается площадь, обусловленная шириной режущей части резца и толщиной среза (стружки), т.е. площадки, в параметрах которой наиболее вероятно появление гранул (сколов) с размерами, близких к толщине среза.

При сопротивляемости угля резанию 200-250 даН/см, наиболее характерной для пластов Донбасса, и указанной толщине среза $\delta_{S_i} \cong 0,5-0,6$ для вязких углей. Физически это означает, что при разрушении угля одиночным резцом с указанной толщиной среза ($h(\varphi_i) = 2$ см) с вероятностью примерно 0,5-0,6 возможно появление размера сколов (гранул) от 0 до 2 см, что весьма близко к данным, полученным экспериментально.

Удельные затраты энергии разрушения пласта одиночным резцом

$$W_{pi} = 1/[\pi S(\varphi_i)] \int_0^{\pi} Z_{ni}(\varphi_i) d\varphi_i. \quad (8)$$

Представляя площадь среза одиночным резцом $S(\varphi_i)$ в виде (4), а полную силу резания $Z_{ni}(\varphi_i)$ и ее составляющие по известным зависимостям, после интегрирования и приведения к удобному для анализа виду, получим

$$W_{pi} = k_w \left\{ \left[F + \frac{M}{h(\varphi_i)[b_p + h(\varphi_i)\operatorname{tg}(\psi_0 + C/(h(\varphi_i) + h_0) - dA_{pi})]} \right] A_{pi} + \frac{N}{h(\varphi_i)[b_p + h(\varphi_i)\operatorname{tg}(\psi_0 + C/(h(\varphi_i) + h_0) - dA_{pi})]} \right\}, \quad (9)$$

где k_w – размерный коэффициент, F, M, N – постоянные величины.

Откуда следует, что удельные затраты энергии разрушения пласта одиночным резцом являются в общем случае нелинейной параболического типа функцией сопротивляемости угля резанию и гиперболического типа функцией толщины среза асимптотически стремящейся к $W_{pimin} = k_w F A_{pi}$.

Нелинейность зависимости (9) обусловлена переменностью углового коэффициента, которым является сомножитель при A_{pi} , состоящий из двух частей – постоянной и переменной. Хотя переменная часть углового коэффициента и изменяется при изменении сопротивляемости угля резанию, однако, общая его величина является медленно меняющейся величиной в незначительных пределах (не более 10 %) и с достаточной для инженерных расчетов точностью, не нарушая физики процесса, может быть принята постоянной для данной толщины среза [4].

С учетом сказанного выражение (9) запишем в виде

$$W_{pi} = k_w \left\{ \left[F + \frac{M}{S(\varphi_i)} \right] A_{pi} + \frac{N}{S(\varphi_i)} \right\}, \quad (10)$$

которое является практически линейной функцией сопротивляемости угля резанию, аргумент которой – величина случайная с распределением вероятностей по нормальному закону. Тогда, согласно [1], и удельные затраты энергии разрушения угля одиночным резцом являются величиной случайной с распределением вероятностей по нормальному закону

$$f(W_{pi}) = \frac{1}{\sigma_{w_{pi}} \sqrt{2\pi}} e^{-0,5(W_{pi} - \bar{W}_{pi})^2 / \sigma_{w_{pi}}^2} \quad (11)$$

с параметрами:

- математическое ожидание $\bar{W}_{pi} = k_w \left\{ \left[F + \frac{M}{S(\varphi_i)} \right] \bar{A}_{pi} + \frac{N}{S(\varphi_i)} \right\},$

- среднеквадратичное отклонение $\sigma_{w_{pi}} = \left| k_w \left[F + \frac{M}{S(\varphi_i)} \right] \right| \sigma_{A_{pi}}.$

Изложение материала и результаты.

Разрушение пласта резцом с рабочей боковой гранью.

При разрушении пласта этим резцом рабочими являются уже три грани – передняя, задняя и одна из боковых граней. При этом разрушение пласта производится двумя гранями – передней и рабочей боковой. С этой целью боковая грань располагается под некото-

рым углом β [3]. Разрушение пласта передней гранью рассматриваемого резца происходит аналогично его разрушению передней гранью резцом существующей конструкции. В этой связи, параметры разрушения массива передней гранью и для этого резца аналогичны приведенным выше параметрам для передней грани резца существующей конструкции.

Остающийся не разрушенный межщелевой целик (при выборе соответствующим образом параметров разрушения) будет разрушаться рабочей боковой гранью. Разрушение межщелевого целика происходит путем сдвига его и, как показали специальные тензометрические исследования также сколами. Распределение вероятностей длины скола рабочей боковой гранью не противоречит закону Вейбулла. Тогда вероятность появления сколов с размерами от l_{1ci} (по тем же, что и выше, соображениям $l_{1ci} = 0$) до l_{2ci} определится из выражения

$$P(l_{ci}) = \int_0^{l_{2ci}} \varpi(\chi_{ci}) d\chi_{ci}. \quad (12)$$

Предельная максимальная величина l_{2ci} обуславливается теми же, что и предельная максимальная величина l_{2i} , и поэтому распределение ее вероятностей не противоречит нормальному закону

$$f(l_{2ci}) = \frac{1}{\sigma_{l_{2ci}} \sqrt{2\pi}} e^{-0,5(l_{2ci} - \bar{l}_{2ci})^2 / \sigma_{l_{2ci}}^2}. \quad (13)$$

Основные статистики для этой величины определяются из выражений

$$Ml_{ci} = \int_0^{l_{2ci}} \chi_{ci} \varpi(\chi_{ci}) d\chi_{ci},$$

$$Dl_{ci} = \int_0^{l_{2ci}} (\chi_{ci} - Ml_{ci})^2 \varpi(\chi_{ci}) d\chi_{ci}. \quad (14)$$

Отметим, по крайней мере, две особенности разрушения массива рабочей боковой гранью резца и в этой связи процесс формирования длины скола. Во-первых, разрушение пласта боковой гранью происходит при напряжении сдвига, разрушающая величина которого значительно ниже разрушающей величины напряжения сжатия. Поэтому сколы пласта, вероятней всего, будут происходить по трещинам больших размеров. Это обуславливает повышенную вероятность появления сколов более крупных размеров. Во-вторых, эффективное разрушение пласта происходит при наличии дополнительной

обнаженной поверхности со стороны рабочей боковой грани. Поэтому предельная величина скола массива $l_{2ci} = t/\cos\beta$. По данным специальных тензометрических исследований установлено, разрушение массива резцом с рабочей боковой гранью происходит при расстоянии до свободной поверхности, равному удвоенному значению ширины среза, принимаемой для резцов существующей конструкции. Тогда в общем случае можно записать, что $l_{2ci} = k_t t/\cos\beta$, $k_t \leq 2$.

Перейдем к толщине среза и обозначив отношение t/h через $k_{t/h}$, $k_{t/h} \leq 3$, предельную величину скола l_{2ci} запишем в виде $l_{2ci} = k_t k_{t/h} h \cos\beta$. По данным тех же экспериментальных исследований установлено, что с вероятностью 0,5-0,6 длина скола находилась в пределах от 0 до $k_{t/h}h$ и с вероятностью 0,4-0,5 – от $k_{t/h}h$ до $k_t k_{t/h} h \cos\beta$.

Учитывая те же особенности закона Вейбулла, можно на качественном уровне говорить о более вероятном появлении разрушенного угля, размеры гранул которого ближе к размерам $0-k_{t/h}h$, чем угля, размеры гранул которого находятся в пределах $k_{t/h}h-k_t k_{t/h} h \cos\beta$.

Отсюда также следует, что гранулометрический состав угля, разрушенного резцом с рабочей боковой гранью, выше по сравнению с его гранулометрическим составом, разрушенного резцом существующей конструкции.

Удельные затраты энергии разрушения угля резцом с рабочей боковой гранью

$$W_{\bar{\sigma}pi} = 1/[\pi S_{\bar{\sigma}}(\varphi_i)] \int_0^{\pi} Z_{\bar{\sigma}ni}(\varphi_i) d\varphi_i. \quad (15)$$

Площадь среза рассматриваемым резцом с допускаемой погрешностью (без учета площади развала борозды резания с нерабочей боковой грани резца)

$$S_{\bar{\sigma}}(\varphi_i) = h(\varphi_i)(b_p + k_t k_{t/h} / \cos\beta). \quad (16)$$

При разрушении пласта одиночным резцом с рабочей боковой гранью отношение площади, на которой разрушение угля происходит путем раздавливания (сжатия) к площади среза,

$$\delta_{S_{\bar{\sigma}i}} = \frac{1}{1 + k_t k_{t/h} / (b_p \cos\beta)}. \quad (17)$$

Откуда следует, что при изменении $k_{t/h}$, при изменении, собственно, толщины среза (стружки) величина $\delta_{S_{\bar{\sigma}i}}$ изменяется от 0 при

$h(\varphi_i) = 0$ ($k_{t/h} = \infty$) до 1 при $h(\varphi_i) = \infty$ ($k_{t/h} = 0$). Физически это означает, что с увеличением толщины среза (стружки) указанные площади выравниваются.

После интегрирования полного усилия $Z_{\bar{\sigma}ni}(\varphi_i)$ и приведения подобных, получим

$$W_{\bar{\sigma}pi} = k_w \left\{ \left[F_{\bar{\sigma}} + \frac{M_{\bar{\sigma}}}{S_{\bar{\sigma}}(\varphi_i)} \right] A_{pi} + \frac{N_{\bar{\sigma}}}{S_{\bar{\sigma}}(\varphi_i)} \right\}, \quad (18)$$

где $F_{\bar{\sigma}}$, $M_{\bar{\sigma}}$, $N_{\bar{\sigma}}$ – постоянные величины.

Выражение (18) является линейной функцией сопротивляемости угля резанию и гиперболической функцией площади (толщины) среза (стружки). Поэтому и для него справедлив закон распределения вероятностей удельных затрат энергии разрушения пласта резцом существующей конструкции – закон Гаусса с параметрами:

- математическое ожидание $\bar{W}_{\bar{\sigma}pi} = k_w \left\{ \left[F_{\bar{\sigma}} + \frac{M_{\bar{\sigma}}}{S_{\bar{\sigma}}(\varphi_i)} \right] \bar{A}_{pi} + \frac{N_{\bar{\sigma}}}{S_{\bar{\sigma}}(\varphi_i)} \right\},$

- среднеквадратичное отклонение $\sigma_{w_{\bar{\sigma}pi}} = \left| k_w \left[F_{\bar{\sigma}} + \frac{M_{\bar{\sigma}}}{S_{\bar{\sigma}}(\varphi_i)} \right] \right| \sigma_{A_{pi}}.$

Из сравнения выражений (10) и (18) следует, что удельные затраты энергии разрушения пласта резцами с рабочей боковой гранью значительно ниже удельных затрат энергии разрушения его резцами существующей конструкции. Это обусловлено незначительным увеличением полной силы резания (порядка 20 %) и значительным увеличением площади среза (стружки) – в среднем в 5-7 раз.

Выводы и направления дальнейших исследований.

Таким образом, из полученных результатов, подтвержденных данными специальных тензометрических исследований, следует:

1. Разрушение пласта резцом, как существующей конструкции, так и с рабочей боковой гранью по всем рабочим граням производится сколами, величина которых обуславливается, в первую очередь, для резцов существующей конструкции – толщиной среза (стружки), для резцов с рабочей боковой гранью – и расстоянием от рабочей боковой грани до свободной поверхности.

2. Длина скола с большей вероятностью принимает значения ближе к размерам мелких фракций угля (13, 18 мм) для резцов существующей конструкции и к размерам больших фракций (свыше 25 мм) для резцов с рабочей боковой гранью. При этом абсолютные значения этой вероятности для резца с рабочей боковой гранью больше.

3. Удельные затраты энергии разрушения пласта для рассматриваемых типов резцов – величина случайная, распределение вероятностей которой не противоречит нормальному закону. При этом удельные затраты энергии разрушения пласта резцом существующей конструкции выше удельных затрат энергии разрушения его резцом с рабочей боковой гранью.

Список литературы

1. Крапивин М.Г. Горные инструменты / М.Г. Крапивин, И.Я. Раков, Н.И. Сысоев. - [3-е изд.]. – М.: Недра, 1990. – 256 с.
2. Антипов И.В. Геомеханические и технологические основы создания нового уровня крепей очистных забое тонких пологих пластов: дисс. ...док. техн. наук / И.В. Антипов. – Донецк: ДонГТУ, 1995. – 199 с.
3. Різець гірничої машини: Патент на винахід / М.Г. Бойко, В.Г. Шевцов, М.О. Марков. - № Е21С25/38; Опубл. в бюл. № 4, 2002.
4. Статистические и аналитические материалы Минуглепрома Украины [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.mvp.gov.ua/mvp/control/uk/hublish/category?catid=52294>.

Стаття надійшла до редакції 08.05.2013

Є.М. Бойко. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Сортовий склад вугілля при руйнуванні пласта одиночним різцем

У роботі показано формування сортового складу вугілля при руйнуванні масиву різцем нової конструкції – з робочою бічною гранню. Руйнування пласта різцем, як існуючої конструкції, так і нової, по його робочим граням виконується сколками, розмір яких обумовлюється для різців існуючої конструкції – товщиною стружки, а для різців з робочою бічною гранню – і довжиною від робочої бічної грані до незалежної поверхні. Питомі витрати енергії руйнування пласта для розглядаємих типів різців – обсяг випадковий, розподіл ймовірностей якого не суперечить нормальному закону.

Ключові слова: сортовий склад, руйнування, пласт, різець, бічна грань, товщина зрізу, питомі енерговитрати.

E. Boyko. Donetsk National Technical University

High-Quality Composition of Coal in the Process of Seam Destruction by a Single Cutter

The paper describes the formation of high-quality composition of coal in the process of rock mass destruction by a cutter of a new design (with a working lateral side). Specific energy consumption for considered types of cutters are random values, the probability distribution of which does not contradict the normal law.

Keywords: high-quality structure, destruction, seam, cutter, lateral side, cut thickness, distance, specific energy consumption.