

УДК 622.232.71

## СОРТНОСТЬ УГЛЯ, ДОБЫТОГО ОЧИСТНЫМИ КОМБАЙНАМИ, И ПУТИ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

Бойко Е.Н., канд. техн. наук, доц.

Донецкий национальный технический университет

*В работе рассматривается вопрос о напряженном состоянии массива угля при разрушении его резами с рабочей боковой гранью и улучшение сортового состава добытого угля очистными комбайнами, исполнительные органы которых оснащены этим режущим инструментом.*

*In job the question on the intense condition of a file угля is considered at destruction by his cutters with a working lateral side and improvement сортового of structure extracted coal by clearing combines, which executive bodies are equipped with this cutting tool.*

**Проблема и ее связь с научными или практическими задачами.** Сортной состав угля, добытый современными очистными комбайнами, исполнительные органы которых представляют шнеки различных диаметров – в основном от 800 до 1400 мм и номинальной шириной захвата – 0,63 и 0,8 м, характеризуется показателями, приведенными в табл. 1 и 2 [1].

Таблица 1. Данные рассева энергетических углей марок Г, Т, Ж, ДГ

Класс, мм	Геологическое обозначение пласта									
	$C_1$	$C_2$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_8$	$L_3, k_5$	$C_8^g$	$C_8^H$	$H_7$
Более 150	3,0	-	2,5	3,7	1,0	4,4	-	0,8	2,3	-
150-100	5,9	0,9	3,0	3,4	3,1	4,7	11,1	1,4	6,0	1,0
100-50	3,1	5,4	3,3	4,3	10,0	5,8	5,4	4,2	9,0	1,8
50-25	3,3	15,2	2,3	3,9	9,7	5,0	10,6	5,8	10,1	2,0
<b>Более 25</b>	<b>15,3</b>	<b>21,5</b>	<b>11,1</b>	<b>15,3</b>	<b>23,8</b>	<b>19,9</b>	<b>27,1</b>	<b>12,2</b>	<b>27,4</b>	<b>4,8</b>
25-13	14,8	16,5	14,4	15,0	11,3	10,1	13,9	9,0	4,6	23,7
13-6	14,2	16,2	13,9	16,4	19,0	12,9	16,7	20,7	5,6	20,5
6 – 0	47,0	35,3	51,2	44,1	52,7	48,5	32,6	42,3	52,6	34,1
<b>0– 25</b>	<b>76,0</b>	<b>68,0</b>	<b>79,5</b>	<b>75,5</b>	<b>73,0</b>	<b>71,5</b>	<b>63,2</b>	<b>72,0</b>	<b>62,8</b>	<b>78,3</b>
Уголь	91,3	88,5	90,6	90,8	96,8	91,4	90,3	87,0	91,2	83,1
Порода. Включения	8,7	11,5	9,4	9,2	3,2	8,6	9,7	13,0	8,8	16,9

**Таблица 2. Данные рассева антрацитовых углей**

Класс, мм	Геологическое обозначение пласта					
	$k_2$	$K_5$			$k_6$	$l_6^{n-2}$
1	2	3	4	5	6	7
Более 150	-	-	0,8	-	-	-
100-150	-	1,1	5,3	0,6	1,5	-
50-100	2,6	6,4	3,7	2,7	2,7	4,6
25-50	8,1	5,9	6,2	14,5	4,8	8,0
<b>Более 25</b>	<b>10,7</b>	<b>13,4</b>	<b>16,0</b>	<b>17,7</b>	<b>9,0</b>	<b>12,6</b>
1	2	3	4	5	6	7
13-25	16,6	14,0	26,7	13,9	13,9	16,0
6-13	22,7	16,8	10,4	17,0	16,1	16,5
0 – 6	38,4	37,9	44,8	33,3	44,9	33,9
<b>0 - 25</b>	<b>77,7</b>	<b>68,7</b>	<b>81,9</b>	<b>64,2</b>	<b>74,9</b>	<b>66,4</b>
Уголь	87,8	82,1	97,9	81,9	83,9	79,0
Порода. Включе- ния	12,2	17,9	2,1	18,1	16,1	21,0

Гранулометрический (сортовой) состав угля, добытого указанными типами комбайнов, по данным его рассева, выполненного в соответствии с требованиями ГОСТ 2093-71 и ГОСТ 10742-77 работниками ОТК шахт: «Должанская-Капитальная», им. Свердлова, им. Войкова, «Красный партизан» (угли марки А), «Краснолиманская», «Комсомолец Донбасса», «Красная звезда», «Куйбышевская», «Лидиевка», «Западно-Донбасская», «Благодатная», «Терновская», «Павлоградская», «Юбилейная» (угли марок Г, Т, Ж, ДГ).

Из приведенных в таблицах 1 и 2 данных следует:

1. Пласты, по углям которых приведены данные, являются представительными, т.к. относятся к сложным по структуре, содержащими породные прослойки и твердые минеральные включения.
2. Значительная (от 32,6 до 52,7 % для энергетических углей и от 33,3 до 44,8 % для антрацитов) доля гранулометрического (сортового) состава угля относится к мелкому классу – к классу штыба (0-6 мм).
3. В среднем около 72 % гранулометрического (сортового) состава угля относится к мелким классам (0-25 мм) и около 13-18 % – к более крупным классам (свыше 25 мм).
4. Класс 50-100 мм не превышает 10 % для энергетических углей и 5 % для антрацитов.

5. Гранулометрический (сортовой) состав углей классов свыше 100 мм исчисляется единицами процентов и практически отсутствует класс углей свыше 150 мм.

Следует указать, что значительное количество мелких фракций в добытом угле затрудняет его обогащение, и уголь с повышенной зольностью используется в дальнейшем на электростанциях и в др. сферах деятельности. Это приводит к весьма нежелательным последствиям – засорение топок, уменьшение отдачи тепла и т.д.

Поэтому увеличение гранулометрического (сортового) состава добытого угля очистными комбайнами в настоящее время является актуальной задачей как для горной промышленности, так и всего энергетического комплекса страны.

**Анализ исследований и публикаций.** Исследований, а соответственно и публикаций по рассматриваемому вопросу, как говорится, раз, два и обчелся. Первые исследования по определению сортового состава угля при добыче его очистными комбайнами относятся к шестидесятым-семидесятым годам прошлого столетия [2 – 4], которые носят утилитарный характер. В работах [2, 3] предпринята попытка на основе полученного рассева угля дать аналитическое описание сортового состава угля. Аналитическое описание в этих работах сводится к регрессионному описанию, т.е. к подбору уравнений или кривых, согласующихся с результатами отсева угля. Полученные при этом коэффициенты табулированы.

Следовательно, приведенные зависимости дают возможность оценивать сортовой состав добытого угля для существующих средств механизации его добычи в условиях, подобных тем, в которых производился эксперимент. Кроме того, в этих работах и в работе [4] не затрагивался вопрос о характере напряженного состояния массива угля, о характере его разрушения и процесс рассматривался как детерминированный.

Первой работой в направлении аналитического описания довольно сложного процесса формирования гранулометрического состава угля при добычи его существующими высоко энерговооруженными очистными комбайнами следует считать работу [5], выполненную в Донецком национальном техническом университете под руководством проф. Н.Г. Бойко. В этой работе формирование сортового состава угля представлен, как многомерный, случайный процесс, на который влияет ряд в т.ч. и случайных факторов.

В работе [6] рассматривается влияние сложного строения пласта на гранулометрический состав угля, добытого очистным комбайном.

Отметим также, что в указанных работах мало уделено внимания вопросу о напряженном состоянии массива угля при разрушении его существующим режущим инструментом.

**Постановка задачи.** Задачу, решаемую в данной работе, можно сформулировать следующим образом: привести аналитическое описание напряженного состояния разрушаемого массива угля и влияние его на гранулометрический (сортовой) состав добытого угля современными очистными комбайнами, которые оснащены шнековыми исполнительными органами и радиальными резцами.

**Изложение материала и результаты.** Режущий инструмент является тем элементом конструкции исполнительного органа комбайна, который непосредственно взаимодействует с разрушаемым пластом или массивом угля, создавая в нем дополнительное напряженное состояние, доведения его до предельной величины и последующего разрушения угля.

При взаимодействии режущего инструмента с массивом угля в работе участвуют практически две его грани – передняя и задняя, рис. 1. Боковые грани резца из-за их уклона практически не участвуют в процессе разрушения угля.

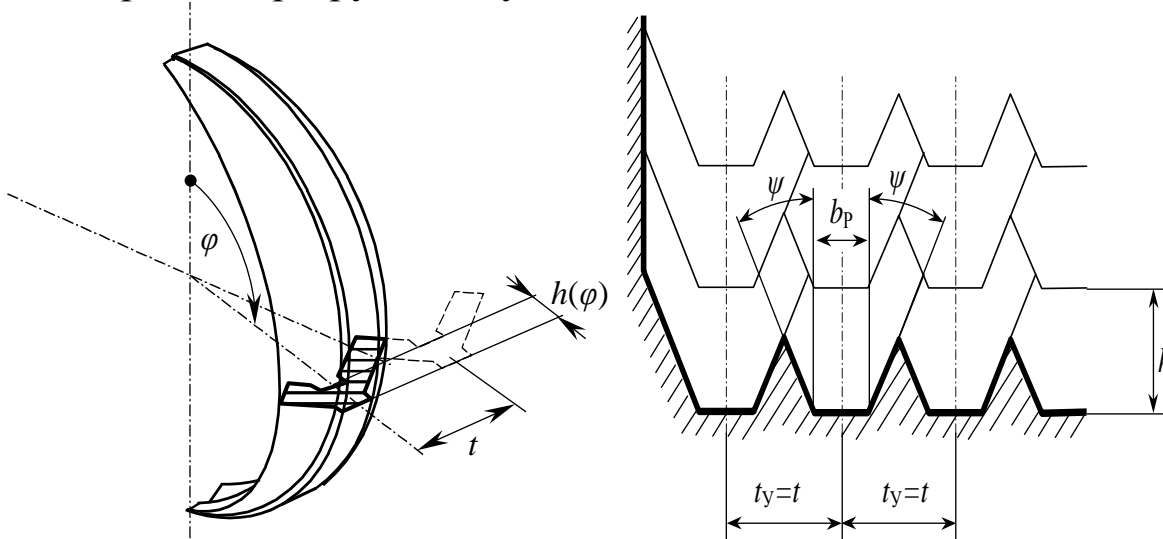


Рис. 1 – Характер «вырезаемой» резцами части пласта а) и характер его разрушения б) при последовательном резе

Возникающее при этом дополнительное напряженное состояние массива угля обусловлено как раз взаимодействием указанных граней резца с этим массивом угля, рис 2.

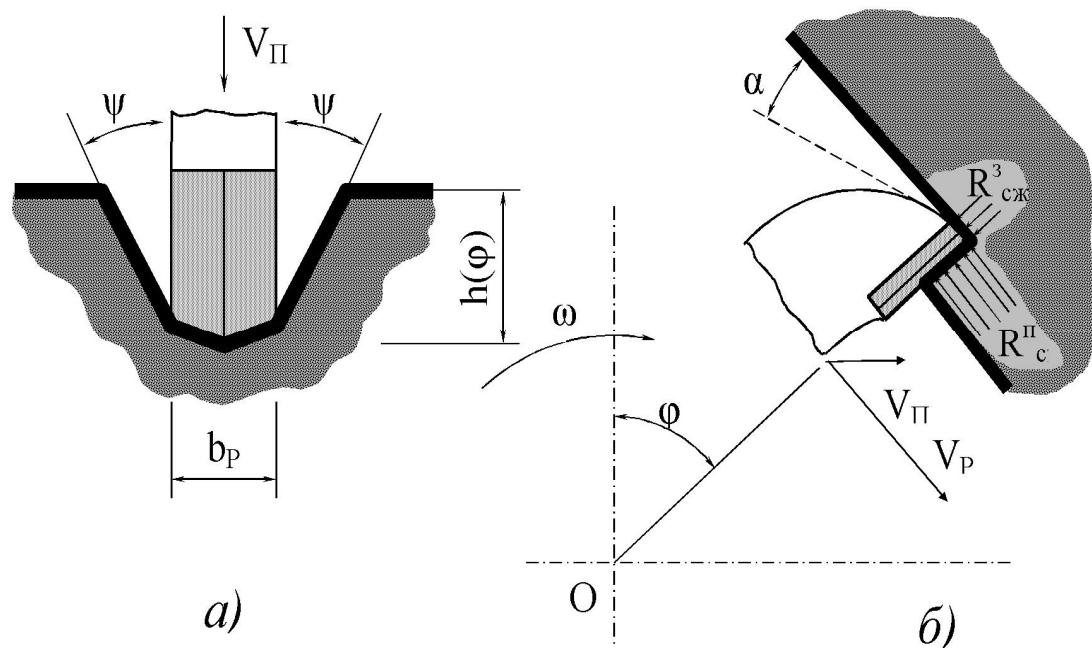


Рис. 2 – Характер напряженного состояния угля разрушаемого массива

При этом, как видно из рис. 2, дополнительное напряженное состояние угля по задней грани  $R^3_{сж}$  обусловлено взаимодействием задней грани резца с пластом и направлено или, точнее, находится в не разрушаемой в этом цикле части пласта. Величина этого дополнительного напряжения может быть оценено по зависимости

$$R^3_{сж} = \frac{F^3_{\max} \sin \varphi}{S_3 \cos \alpha} \equiv \frac{F^3_{\max} \sin \varphi}{S_3 \cos \left( \alpha_{\kappa} - \arctg \frac{V_n}{V_p} \sin \varphi \right)}, \quad (1)$$

где  $F^3_{\max}$  – максимальная сила сжатия массива,  $S_3$  – так называемая площадь затупления резца по задней грани,  $\alpha$ ,  $\alpha_{\kappa}$  – соответственно действительный и конструктивный задний угол резца,  $V_n$ ,  $V_p$  – соответственно скорость подачи (перемещения) резца на пласт (забой) и скорость резания,  $\varphi$  – угол поворота резца.

Из приведенной зависимости следует, что при входе резца в контакт с пластом ( $\varphi = 0$ ) дополнительное напряжение сжатия массива равно нулю; максимального значения это напряжение достигает максимума в так называемой диаметральной плоскости, т.е. при  $\varphi = \pi / 2$ . При выходе резца из контакта с пластом, т.е. при  $\varphi = \pi$  дополнительное напряжение сжатия снова равно нулю.

Величина максимальной силы сжатия обусловливается прочностными свойствами угля, в качестве которого принята сопротивляемость угля резанию.

Угольный пласт, как правило, имеет полосчатое строение [ 7 ]. При этом полосы и линзы блестящие или полублестящие чередуются с матовыми полосами, которые достигают мощности 0,5 м. В угле различают 4 инградента: *витрен*, *фюзен*, *дюрен* и *кларен*.

*Витрен* – вещество коллоидного характера, которое придает углю хрупкость и раковистый излом. Линзы и прослойки *витрена*, как правило, пронизаны резко выраженными трещинами. Вследствие хрупкости и трещиноватости при механическом разрушении *витрен* превращается в мелочь, т.е. в класс, который принято называть штыбом (размер частиц от 0 до 6 мм).

*Фюзен* – вещество, которое по макроскопическому строению напоминает древесный уголь и встречается в виде отдельных линз и включений. Он легко истирается в пыль при разрушении. Это наиболее зольная составляющая часть угля.

*Дюрен* представляет собой матовую разновидность, основная его масса – бесструктурная, в нее включены скопления растительных остатков: форменных элементов, фюзенизированных обрывков растительной ткани и смоляных телец. *Дюрен*, будучи значительно более прочным, чем *витрен*, придает углям устойчивость при дроблении.

*Кларен* – неоднородная составляющая угля и состоит из более или менее прозрачной основной массы и некоторого количества форменных элементов и содержится в углях полублестящего типа, из которых иногда состоят целые пласты.

Состав петрографических компонентов угольных пластов Донбасса соответствует блестящему типу углей с небольшим количеством полублестящих петрографических разновидностей. Содержание полуматового угля весьма незначительно. Микрокомпоненты группы *витринита* преобладают во всех генетических типах углей Донбасса, составляя основную часть угольного вещества (от 70 до 90 %). Количественный петрографический состав донецких углей довольно постоянен.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что разрушаемый режущим инструментом очистного комбайна угольный пласт представляет собой неоднородную полосчатую или линзовидную структуру различных инградентов, разделенных как внутри инградента, так и между ними трещинами. Такая структура, очевидно, обладает

различными свойствами в разных направлениях и, прежде всего, свойством сопротивляться механическому разрушению режущим инструментом и образованию при этом кусковатости, т.е. формированию гранулометрического (сортового) состава при разрушении механическим способом. Поэтому целесообразно применительно к решаемым задачам в данной работе в дальнейшем угольный пласт рассматривать в виде анизотропной среды, состоящей из отдельных элементов или линз со случайными параметрами, связанных между собой и имеющих случайно расположенные трещины и твердые минеральные включения, которые, как правило, не прорезаются режущим инструментом, а выбиваются из пласта.

Учитывая, что *фюзен* является наиболее зольная составляющая угля, и взаимодействие резца с разрушаемым пластом по задней его грани образуется в основном пыль. При этом дополнительное напряжение массива угля «входит» в не разрушаемую в данном цикле часть пласта. Поэтому существенного влияния это напряжения на сортовой состав оказывать не будет.

Напряжение сжатия по передней грани резца  $R_c^n$  формируется в разрушаемой части пласта – в уступе, толщина которого равна толщине среза  $h(\varphi)$ . Величину этого напряжения можно оценить по зависимости

$$R_c^n = \frac{F_{\max}^n}{S_n} \sin \varphi, \quad (2)$$

где  $F_{\max}^n$  – максимальная сила сжатия массива под передней гранью резца,  $S_n$  – площадь контакта резца по передней грани с массивом угля.

Представим  $F_{\max}^n$  в виде

$$F_{\max}^n = kA_p h_{\max}, \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности,  $A_p$  – сопротивляемость угля резанию,  $h_{\max}$  – максимальная толщина среза.

Площадь контакта резца с массивом угля по его передней грани

$$S_n = 2S_{zp} \cos \delta_{zp} \equiv 2h_{\max} b_{cp} \sin \varphi \cos \delta_{zp}, \quad (4)$$

где  $b_{cp}$ ,  $\delta_{zp}$  – средняя ширина грани твердой вставки и угол ее уклона.

Тогда

$$R_c^n = k \frac{A_p}{b_{cp} \cos \delta_{zp}} \sin \varphi. \quad (5)$$

Откуда следует, что дополнительное напряжение массива угля под передней гранью резца изменяется по синусоидальному закону и изменяется от нуля при входе (выходе) резца в контакт (из контакта) с массивом угля до максимального значения в диаметральной плоскости, т.е. при  $\varphi = \pi / 2$  и обуславливается сопротивляемостью угля резанию – является его линейной функцией.

Для разрушения угля необходимо выполнение условия

$$R_c^n \geq [R_c^n], \quad (6)$$

где  $[R_c^n]$  – предельное напряжение сжатия, т.е. это напряжение сжатия, при котором происходит разрушение массива.

Из зависимости ( 5 ) следует, что при входе (выходе) резца в контакт (из контакта) с массивом угля (при малых углах  $\varphi$  при входе резца в контакт с пластом и углах, прилегающих к  $\pi$ , при выходе резца из контакта с пластом) величина  $R_c^n \rightarrow 0$ . В этих зонах разрушения массива если и происходит, то в основном это мелкие (менее 6 мм) фракции угля. При дальнейшем повороте органа и резца разрушение пласта происходит более крупными фракциями (более 6 мм) путем создание в массиве угля напряжения  $R_c^n \geq [R_c^n]$ .

Таким образом, независимо от того, в какой зоне происходит разрушением массива угля (в зоне, когда толщина среза до 6 мм, или в зоне, когда толщина среза более 6 мм) однозначно можно утверждать, что разрушение пласта происходит путем сжатия массива угля и создания в нем напряжения, равного предельному напряжению сжатия, т.е. разрушение угля происходит путем его раздавливания. Это самый энергоемкий процесс разрушения материала, в т. ч. и угля, и ожидать существенного улучшения гранулометрического (сортового) состава добытого угля даже при увеличении толщины среза (при увеличении скорости перемещения комбайна) не приходится. Об этом свидетельствуют данные рассева угля и антрацита, приведенные выше в табл. 1 и 2.

Для улучшения гранулометрического (сортового) состава добытого угля очистными комбайнами следует значительно (в несколько раз) снизить удельные затраты энергии на его разрушение. Это также следует из зависимости для медианного диаметра гранулы [ 5 ],



$$d_m = 2 \sqrt{\frac{\bar{k}_w A_p}{\widehat{W}_p}}, \quad (7)$$

где  $\bar{k}_w$  – интегральный коэффициент пропорциональности,  $\widehat{W}_p$  – суммарные удельные затраты энергии разрушения угля.

Достичь значительного снижения удельных затрат энергии разрушения угля можно, использовав известное свойство горных пород, в т. ч. и угля значительно (примерно на порядок) меньшего сопротивления разрушения растяжением или, по крайней мере, путем сдвига. Необходимо создание такого режущего инструмента при механическом разрушении массива угля, который создавал бы в разрушаемом массиве угля если и не полностью напряжения растяжения или сдвига, то хотя бы комбинацию этих напряжений с преимущественным значением напряжения растяжения или сдвига.

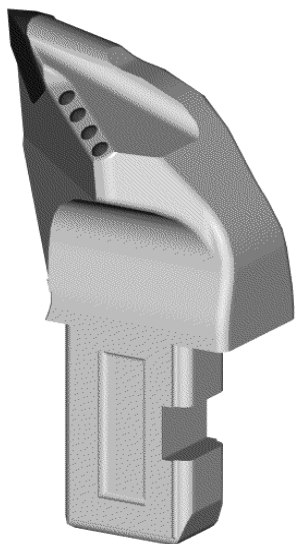


Рис. 3 – Вид резца с рабочей боковой гранью

В Донецком национальном техническом университете под руководством проф. Н.Г. Бойко создан такой режущий инструмент – резец с рабочей боковой гранью [ 8 ], рис. 3.

Характерной особенностью процесса разрушения массива резцом с рабочей боковой гранью является тот факт, что разрушение производится как передней, так и боковой гранями резца, рис. 4. При этом разрушение массива рабочей боковой гранью производится путем сдвига угля, т.е. в массиве создается напряжение сдвига.

Величина боковой силы или силы сдвига массива может быть оценена по зависимости

$$X_{\sigma} = R_{c\sigma} S_{\sigma} \sin \beta \equiv 0,1 R_c^n S_{\sigma} \sin \beta, \quad (8)$$

где  $R_{c\sigma}$  – напряжение сдвига,  $S_{\sigma}$ ,  $\beta$  – соответственно площадь и угол наклона рабочей боковой грани резца.

Удельные затраты энергии на разрушение этой части массива угля можно оценить по зависимости

$$W_{p,\sigma} = \frac{X_{\sigma}}{S_{p,\sigma}} = \frac{0,1 R_c^n S_{\sigma} \sin \beta}{2 t_p h_{cp}} \equiv \frac{0,05 R_c^n S_{\sigma} \sin \beta}{t_p h_{cp}}, \quad (9)$$

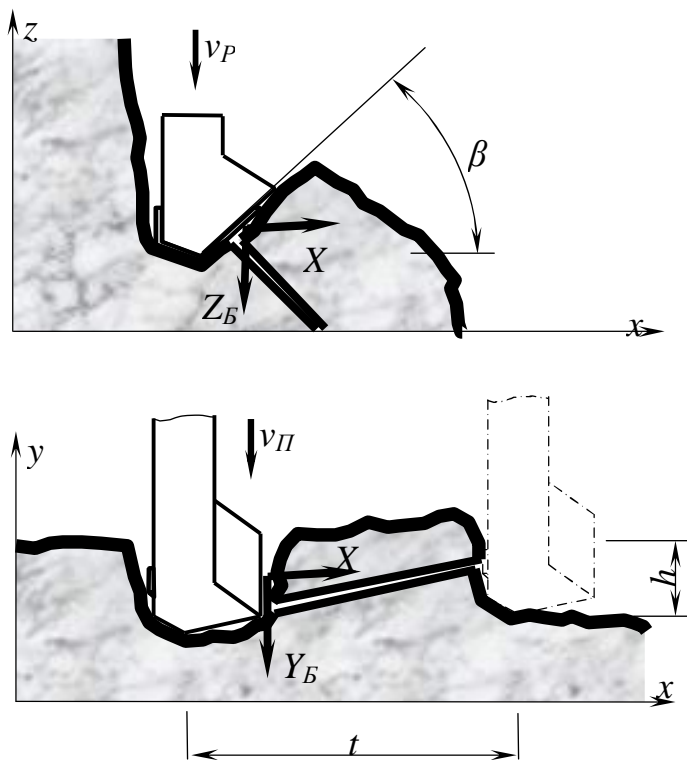


Рис. 4 – Схема разрушения угля резцом с рабочей боковой гранью

где  $S_{p.б}$  – площадь сечения разрушаемого массива рабочей боковой гранью резца,  $t_p, h_{cp}$  – соответственно ширина и средняя толщина среза,  $\beta$  – угол наклона рабочей боковой грани.

Откуда следует, что удельные затраты энергии при разрушении угля путем сдвига (резцами с рабочей боковой гранью) значительно ниже удельных затрат энергии при разрушении его путем раздавливания (резцами существующей конструкции). Поэтому сортовой (гранулометрический) состав угля, добытого

комбайнами, исполнительные органы которых оснащены резцами с рабочей боковой гранью, должен быть значительно лучше. Правильность этого теоретически полученного вывода подтверждается данными рассева угля под лавой при добыче его комбайном, исполнительные органы которого были оснащены резцами с рабочей боковой гранью – резцами типа ЗРБ2-80Л и ЗРБ2-80П, табл. 3.

Таблица 3. Данные рассева угля под лавой

АП «Шахта им А.Ф. Засядько», пласт I <sub>1</sub> , мощность пласта 1,9 м, комбайн типа 1ГШ-68, шнеки диаметром 1250 мм, шириной захвата 0,63 м, $t_y=45$ мм								
Класс, мм	+ 150	150-100	100-50	50-25	150-25	25-13	13-6	6-0
Относит. содерж., %	При оснащении шнеков резцами типа ЗР4-80							
	7,1	3,1	9,6	9,1	<b>28,9</b>	13,4	15,4	36,8
	При оснащении шнеков резцами типа ЗР2-80Л, ЗРБ2-80П							
	15,2	5,5	14,5	18,1	<b>54,3</b>	7,7	12,0	26,5
Изменение	+2,14	+1,77	+1,51	+2,0	<b>+1,88</b>	-0,57	-0,78	-0,72

Примечание. 1. Знаком “+” обозначено увеличение, знаком “-” - уменьшение.

Как следует из таблицы выход крупно сортовых классов при применении резцов с рабочей боковой гранью (резцы типа ЗРБ2-80Л, ЗРБ2-80П) увеличился в среднем в 1,88 раза по сравнению с выходом этих классов при применении резцов типа ЗР4-80.

Таким образом, одним из наиболее эффективных способов улучшения сортового состава угля, добываемого современными очистными комбайнами, является снижение удельных затрат энергии на его разрушение, которое достигается за счет создания в разрушаемом массиве напряжения сдвига или разрыва угля.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Выполненные исследования и полученные результаты, подтвержденные данными экспериментальных исследований в реальных шахтных условиях, свидетельствуют о том, что и при применении современных очистных комбайнов практически без изменения их конструкции существуют пути значительного улучшения сортового состава добытого угля.

В дальнейшем следует вести исследования над созданием такого режущего инструмента, который создавал бы в разрушаемом массиве угля напряжения разрыва.

Список источников.

1. Антипов И.В. Геомеханические и технологические основы создания нового уровня крепей очистных забоев тонких пологих пластов. Дисс. ... докт. техн. наук. Донецк, ДонНТУ, 1995. – 199 с.
2. Сортность угля при работе выемочных машин и пути ее увеличения // В.Г. Яцких, В.И. Кутовой, И.Г. Шапиро. М., Госгортехиздат, 1962. – 163 с.
3. Кутовой В.И. Исследование факторов, влияющих на измельчение угля при работе узкозахватных комбайнов с роторным исполнительным органом. Дисс. ... канд.техн.наук, Донецк, ДонУГИ. 1965. – 211 с.
4. Повышение сортности угля, добываемого комбайнами со шнековыми исполнительными органами // В.И. Коновалов, Н.Г. Бойко, Н.Г. Афендиков. Уголь Украины, № 8, 1976. – с. 46–47.
5. Формирование гранулометрического состава угля при добыче его очистными комбайнами.// Н.Г. Бойко, Н.А. Марков, Е.Н. Бойко и др. Наукові праці Донецького державного технічного університету. Випуск 27, серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: Донату, 2001. – с. 35-64.
6. Бойко Е.Н. Особенности формирования гранулометрического состава угля при разрушении пластов сложного строения. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 51, серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2002. – с. 17-21.
7. Апраксин А.А. Физика угля. М., Недра, 1965. – 352 с.
8. Різець гірничої машини / М.Г. Бойко, В.Г. Шевцов, М.О. Марков. Патент на винахід. E21C25/38. Опубл. в бюл. № 4, 2002.

Дата поступления статьи в редакцию 09.11.2007