

УДК 622.232.71

**Н.Г. Бойко**, д-р техн. наук, проф.**Д.Е. Бойко**, спеціаліст

Донецкий национальный технический университет

**ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЕ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ПЛАСТА  
РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ ГОРНЫХ МАШИН**

*В работе впервые рассмотрен вопрос аналитического описания формирования пыли при разрушении угольных пластов режущим инструментом очистных комбайнов и устанавливаются факторы, влияющие на объем выделяемой пыли.*

**угольный пласт, аналитическое описание, режущий инструмент, очистной комбайн, пылеобразование**

***Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.***

При добыче угля очистными комбайнами, когда разрушение пласта производится с выравненной поверхности путем создания в разрушаемой его части напряжения сжатия, выделяется значительное по объему количество пыли. Выделенная пыль, находящаяся во взвешенном состоянии, ухудшает рудничную атмосферу, и является взрывоопасной. Поэтому вопрос аналитического описания процесса формирования пыли и установление путей, обеспечивающих ее снижение, является актуальным.

***Анализ исследований и публикаций.*** Рассматриваемый в данной работе вопрос и в такой постановке в периодической печати и в монографиях не рассматривался. По данной тематике авторам известны всего две публикации [1, 2], в которых либо приводятся данные образования пыли при транспортировке угля конвейерами, пересяпах и т.д., либо устанавливается ее количество при разрушении пласта тем или иным режущим инструментом. Вопрос аналитического описания образования пыли в этих работах отсутствует.

***Постановка задачи.*** В работе впервые делается попытка аналитического описания процесса формирования пыли при разрушении пласта режущим инструментом очистных комбайнов и установления путей ее снижения.

***Изложение материала и результаты.*** Угольный пласт имеет полосчатое строение. 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, дюрэн и кларен*** [ 3 ].

**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 [ 3 ].

Таким образом, из вышеизложенного и характеристики угольных пластов Донбасса, в частности, трещиноватость, наличие в пластах прослойков и твердых минеральных включений можно заключить следующее. Разрушаемый режущим инструментом очистного комбайна угольный пласт представляет собой неоднородную полосчатую или линзовидную структуру ингредиентов, которая разделена трещинами как внутри ингредиента, так и между ними. Такая структура, очевидно, обладает различными свойствами в разных направлениях и, прежде всего, свойством сопротивляться механическому разрушению режущим инструментом и образованию при этом кусковатости (формированию гранулометрического состава угля при разрушении его механическим способом). Поэтому целесообразно уголь-

ный 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.

### 1. ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЕ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ПЛАСТА ОДИНОЧНЫМ РЕЗЦОМ.

Разрушение угольного пласта режущим инструментом происходит путем вырезания из него стружки серпообразного вида, как показано на рис. 1. И это не зависит от того, каким резцом производится разрушение, – резцом существующей конструкции (типа ЗР4-80) или резцом с рабочей боковой гранью (резцом типа ЗРБ2-80Л или ЗРБ2-80П).

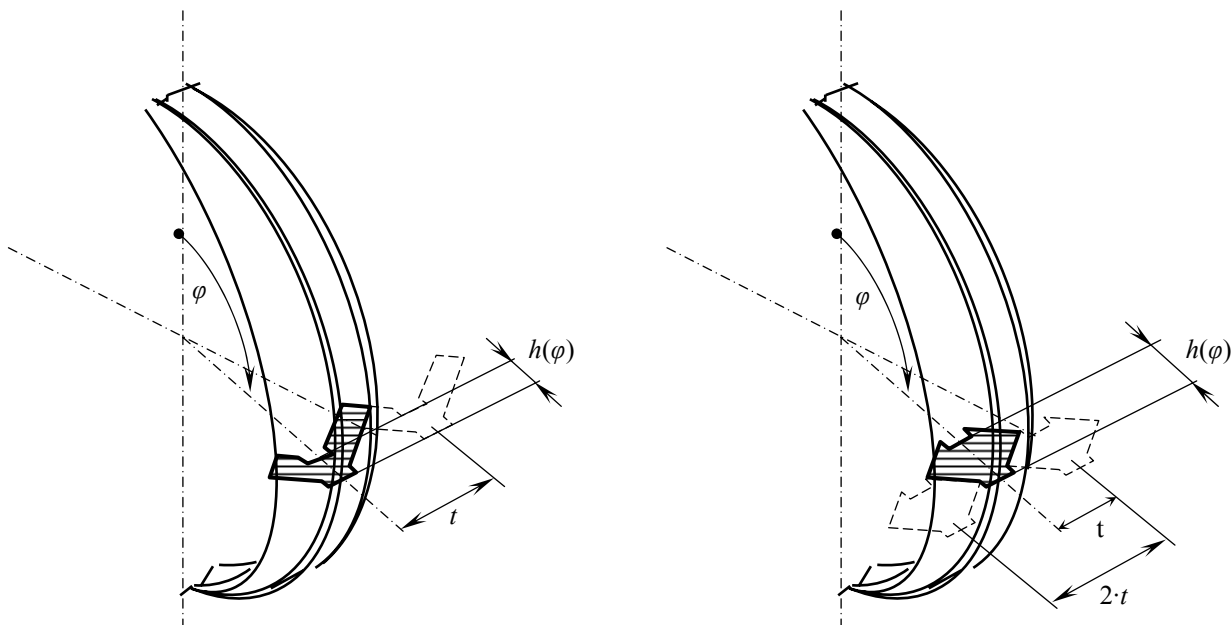


Рисунок 1. – Характер разрушения пласта одиночным резцом существующей конструкции а) и с рабочей боковой гранью б)

Независимо от типа применяемого для разрушения пласта режущего инструмента толщину стружки (среза) можно разделить на два участка:

1. Толщина среза не превышает размеров штыба – 6 мм. Это происходит при входе и выходе резца в контакт и из контакта с пластом, т.е. на таких углах поворота резца, при которых

$$h(\varphi)_{\text{вх}} = h_{\text{max}} \sin \varphi \leq 6 \text{ мм}, \quad 0 \leq \varphi \leq \varphi_{\text{в.ш}},$$

$$h(\varphi)_{\text{вых}} = h_{\text{max}} \sin \varphi \leq 6 \text{ мм}, \quad \pi/2 + \varphi_{\text{н.ш}} < \varphi \leq \pi, \quad (1)$$

где  $\varphi_{в.ш}$ ,  $\varphi_{н.ш}$  – углы поворота резца, при которых толщина среза достигает размеров штыба, соответственно, в верхней и нижней части среза, т.е. при входе резца в контакт с пластом и выходе из контакта с ним.

2. Толщина среза превышает размеры штыба – 6 мм. Это происходит на интервале угла поворота резца, при котором

$$h(\varphi) = h_{\max} \sin \varphi > 6 \text{ мм}, \quad \varphi_{в.ш} < \varphi \leq \varphi_{н.ш}. \quad (2)$$

Откуда следует, что наиболее интенсивно выделение пыли происходит при толщинах среза, величина которых не превышает размеров штыба.

Кроме того, наиболее интенсивное выделение пыли происходит при разрушении *витрена*, превращающегося в мелочь при механическом разрушении, и частично *фюзена*, как наиболее зольной составляющей угля.

Объем образовавшейся пыли зависит, с одной стороны, от объема разрушенного угля  $V_y$ , с другой, – от объемов ингредиентов. В общем случае объем пыли, образовавшейся при разрушении угля, может быть представлен в виде

$$V_n = \frac{1}{V_y} \sum_{i=1}^{N_{ing}} k_i V_i, \quad (3)$$

где  $N_{ing}$  – число ингредиентов угля,  $k_i$ ,  $V_i$  – соответственно величины, характеризующие интенсивность выделение пыли из  $i$ -го ингредиента угля, и объем  $i$ -го ингредиента.

При этом должно соблюдаться условие

$$V_y = \sum_{i=1}^{N_{ing}} V_i. \quad (4)$$

**1.1. Пылеобразование при разрушении угля резцом существующей конструкции.** При разрушении угля одиночным резцом существующей конструкции (резец типа ЗР4-80) объем разрушенного угля будет

$$V_{p.c} = (b_p + htg \psi) hl, \quad (5)$$

где  $b_p$  – ширина режущей части резца,  $l$  – путь резания или расстояние, пройденное резцом при разрушении угля,  $h$  – толщина среза,  $\psi$  – угол развала борозды резания.

Тогда объем пыли, образовавшейся при разрушении угля одиночным резцом и вращательном его движении, определится из выражения

$$V_{n.c} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ing}} k_i (b_p + h_{\max} \sin \varphi_i \operatorname{tg} \psi_i) l_i h_{\max} \sin \varphi_i}{(b_p + h_{\max} \sin \varphi \operatorname{tg} \psi) l h_{\max} \sin \varphi}, \quad (6)$$

где индексом  $i$  обозначен соответствующий параметр, характеризующий разрушение  $i$ -го инградента угля.

**1.2. Пылеобразование при разрушении угля резцом с рабочей боковой гранью.** При разрушении угля резцом с рабочей боковой гранью в разрушении участвует и рабочая боковая грань резца. Поэтому объем разрушенного угля будет большим. При этом часть разрушенного объема угля разрушается путем сдвига его, образуя гранулы угля по типу «крупного скола». В этом случае объем пыли, образующейся при разрушении угля одиночным резцом с рабочей боковой гранью и вращательном его движении, определится из выражения

$$V_{n.б} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ing}} \kappa_i k_{ni} (b_p + h_{\max} \sin \varphi_i \operatorname{tg} \psi_i) l_i h_{\max} \sin \varphi_i}{\kappa (b_p + h_{\max} \sin \varphi \operatorname{tg} \psi) l h_{\max} \sin \varphi}, \quad (7)$$

где  $\kappa_i$ ,  $\kappa$  – величины, характеризующие увеличение объема разрушенного, соответственно,  $i$ -го инградента и всего угля,  $k_{ni}$  – приведенная величина интенсивности выделения пыли,  $k_{ni} < k_i$ .

Из полученных выражений следует, что объем выделенной пыли при разрушении угля режущим инструментом обуславливается, по крайней мере, двумя факторами:

1. Максимальной толщиной среза (стружки) или, другими словами, интенсивностью режима работы – с увеличением максимальной толщины стружки (увеличением интенсивности работы) объем выделенной пыли увеличивается.
2. Местом положения в пласте наиболее пылеобразующих инградентов угля – при расположении наиболее пылеобразующих инградентов ближе к середине пласта, когда  $h(\varphi) \rightarrow h_{\max}$ , объем выделенной пыли увеличивается.

Сопоставив выражения (6) и (7), получим

$$\xi = \frac{V_{n.\bar{o}}}{V_{n.c}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ing}} \kappa_i k_{ni} (b_p + h_{\max} \sin \varphi_i \operatorname{tg} \psi_i) l_i h_{\max} \sin \varphi_i}{\kappa \sum_{i=1}^{N_{ing}} k_i (b_p + h_{\max} \sin \varphi_i \operatorname{tg} \psi_i) l_i h_{\max} \sin \varphi_i} < 1. \quad (8)$$

Откуда следует, что объем выделенной пыли при разрушении пласта резцом с рабочей боковой гранью меньше ее объема при его разрушении резцом существующей конструкции. Это обуславливается тем фактом, что при разрушении пласта резцом с рабочей боковой гранью часть угля разрушается путем сдвига, т.е. при значительно меньших удельных энергозатратах.

## 2. ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЕ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ПЛАСТА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОРГАНОМ КОМБАЙНА.

Располагается режущий инструмент на рабочем органе комбайна таким образом, чтобы образующийся межщелевой целик саморазрушался под действием внутреннего напряженного состояния угля (для резцов существующей конструкции) или его разрушение производилось рабочей боковой гранью (для резцов с рабочей боковой гранью).

**2.1. Пылеобразование при оснащении исполнительного органа резцами существующей конструкции.** При оснащении рабочего (исполнительного) органа комбайна резцами существующей конструкции (резцы типа ЗР4-80) ширина среза для них выбирается таким образом, чтобы межщелевой целик саморазрушался под действием внутреннего напряженного состояния массива угля или оставшиеся так называемые «гребешки» давали возможность производить крепление механизированной крепью. При этом верхнее перекрытие должно находиться в поджатом состоянии, а при их раздавливании кровля не имела бы резких и значительных перемещений, рис. 2, во избежание так называемых «заколов».

Объем угля, разрушенного рабочим органом комбайна за оборот, определится из выражения

$$V_{p.o} = B_3 D_{p.o} h_{\max} \int_0^{\varphi_{o\bar{o}}} \sin \varphi d\varphi \equiv B_3 H \frac{V_n}{n_{p.o} n_{p.l}}, \quad (9)$$

$V_n$  – скорость перемещения комбайна,  $\varphi_{o\bar{o}}$  – угол обхвата рабочего органа разрушаемым пластом,  $\varphi_{o\bar{o}} \leq \pi$ .

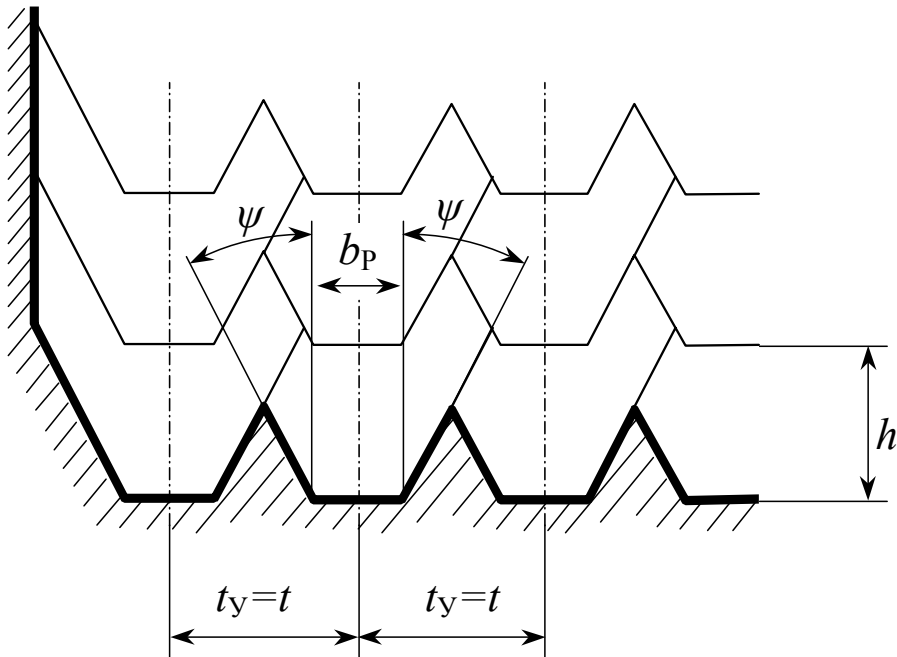


Рисунок 2. – Схема разрушения пласта режущим инструментом существующей конструкции

Выражение (9) дает возможность определить суммарный объем угля, разрушенного органом за оборот. Фактическое изменение объема угля по обороту рабочего органа определяется по выражению

$$V_{p.o}(\varphi) = 0,5D_{p.o}S_{cp}\varphi \equiv 0,5D_{p.o}th_{\max}\varphi \sin \varphi, \quad (10)$$

имеющего синусоидальный характер – объем угля, разрушенного рабочим органом увеличивается от 0 до  $V_{p.o}(\varphi)|_{\varphi=\pi/2} = V_{p.o}^{\max}$  и от  $V_{p.o}^{\max}$  до 0 при  $\pi/2 < \varphi = \pi$ , рис. 3 (кривая 1).

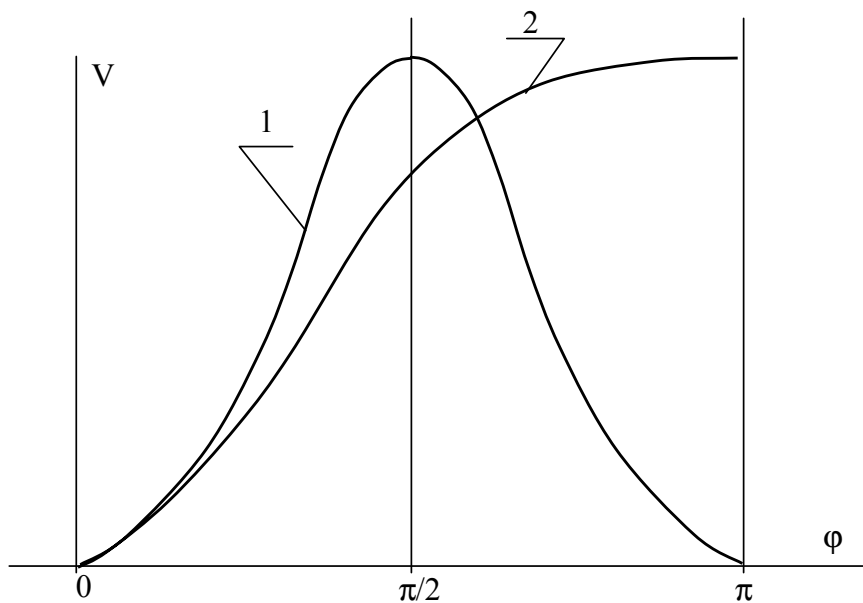


Рисунок 3 – Изменение объема угля, разрушенного 1 и перемещаемого 2 рабочим органом комбайна, как функции угла его поворота

Фактическое изменение объема угля, перемещаемого рабочим органом комбайна, как функции угла поворота имеет вид [ 4 ]

$$V_{p.o}^c(\varphi) = \begin{cases} V_{yuu}(0) = V_{\delta} + 0,5\rho D \int_0^{\varphi_{об}} h(\varphi) f(\varphi) d\varphi, & \varphi = 0, \\ V_{yuu}^1(\varphi) = V_{yuu}(0) + 0,5\rho D S_{cp.max} \int_0^{\varphi} f(\gamma) d\gamma, & 0 \leq \varphi \leq 2C_{uu}\pi, \\ V_{yuu}^1 + 0,5\rho D \int_{\varphi-2C_{uu}\pi}^{\pi} h(\gamma) f(\gamma) d\gamma, & 2C_{uu}\pi < \varphi \leq (2C_{uu} + 1)\pi; \end{cases} \quad (11)$$

Здесь  $V_{\delta}$  – объем угля, разрушенного резцами отрезного диска и поступившего в рабочий объем шнека,  $\rho$  – коэффициент разрыхления угля,  $f(\varphi)$ ,  $f_{\delta}(\varphi)$  – уравнение линии расположения режущего инструмента соответственно для шнека и барабана,  $S_{cp.max}$  – максимальное сечение среза,  $C_{uu}$  – конструктивный параметр соответственно органа (шнека).

Под *конструктивным параметром органа* ( $C_{uu}$ ), согласно [ 4 ], понимается отношение длины проекции лопасти (или, что то же, длины проекции линии расположения режущего инструмента) на развертку,  $L_d$ , к длине развертки рабочего органа того же диаметра  $d$ , т.е.  $C_{uu} = L_d/(\pi d)$ .

Приведенные зависимости для определения объема угля, разрушенного органом, в явном виде могут быть решены в случае, когда известна зависимость линии расположения режущего инструмента  $f(\varphi)$ . В частности, при линейной зависимости  $f(\varphi)$  эта задача решена в [ 4 ]. При нелинейных зависимостях  $f(\varphi)$  задача по определению указанного объема угля сравнительно просто решается на ЭВМ.

Из приведенных выше зависимостей и полученных по ним значениям объема разрушенного органом угля следует:

1. Объем разрушенного угля, как функция угла поворота рабочего органа, монотонно нарастающая на рассматриваемом угле его поворота.
2. Интенсивность роста объема угля, поступающего в рабочий объем органа, различна на различных интервалах угла его поворота. Максимальная интенсивность роста объема разрушенного угля соответствует тому интервалу угла его поворота, при котором площадь сечения среза максимальная.



3. С увеличением толщины среза (или, что, тоже, с ростом интенсивности работы комбайна) объем разрушенного угля увеличивается.

Графически зависимость объема угля, разрушенного органом, как функция его поворота, представлена на рис. 3 (кривая 2).

При рассмотрении вопроса пылеобразования при разрушении угля рабочим органом комбайна необходимо учитывать и тот факт, что на рабочем органе имеется так называемый «отрезной диск», на котором установлены резцы с шагом резания примерно в 3 раза меньшим, чем для резцов забойной группы, т.е. резцов, установленных на лопастях шнека. Кроме того, число резцов в линии резания на «отрезном диске» больше в 2 раза, чем резцов в линии резания забойной группы.

Например, при максимальной толщине среза резцами забойной группы 2,4 см (скорость перемещения комбайна типа 1К-101У или К-103М при 2-х резцах в линии резания 3,84 м/мин) максимальная толщина среза резцами кутковой группы будет 0,6 см. Рабочие скорости перемещения указанных типов комбайнов составляют 3-3,5 м/мин. Тогда максимальная толщина среза резцами кутковой группы будет 0,47-0,54 см. Учитывая уменьшенную ширину среза резцами кутковой группы, максимальное сечение среза этими резцами 0,07-0,13 см<sup>2</sup>. Это означает, что весь объем разрушенного угля резцами кутковой группы, – это штыб, основную часть которого составляет пыль.

При этом объем разрушенного угля резцами кутковой группой составляет (22-17)% в зависимости от ширины захвата рабочего органа – 0,63 или 0,8 м.

Кроме того, рабочие (исполнительные) органы очистных комбайнов одновременно с разрушением пласта производят и погрузку разрушенного угля на забойный конвейер, перемещая его от отрезного диска к разгрузочному торцу органа, – шнека. Перемещаемый внутри органа разрушенный уголь находится, как правило, в напряженном состоянии, величина которого, по данным [ 4 ], достигает 120 кПа. Следовательно, и при погрузке угля рабочим органом происходит его дополнительное измельчение и дополнительное пылеобразование.

В общем случае, объем пыли, образующейся при разрушении угля (пласта) рабочим органом комбайна и погрузки его на забойный конвейер, представим в виде

$$V_{n.op}^c = V_n^{n2} + V_n^p + V_n^{mn}, \quad (12)$$

где  $V_n^{n2}$ ,  $V_n^p$ ,  $V_n^{mn}$  – объемы пыли, соответственно, природно-генетического характера, разрушения, транспортировки и погрузки разрушенного угля на забойный конвейер.

**2.2. Пылеобразование при оснащении исполнительного органа резцами с рабочей боковой гранью.** При оснащении исполнительного органа комбайна резцами с рабочей боковой гранью они устанавливаются только на лопастях органа (шнека) и, как правило, с удвоенным шагом резания для обычных (без рабочей боковой грани) резцов, рис. 4.

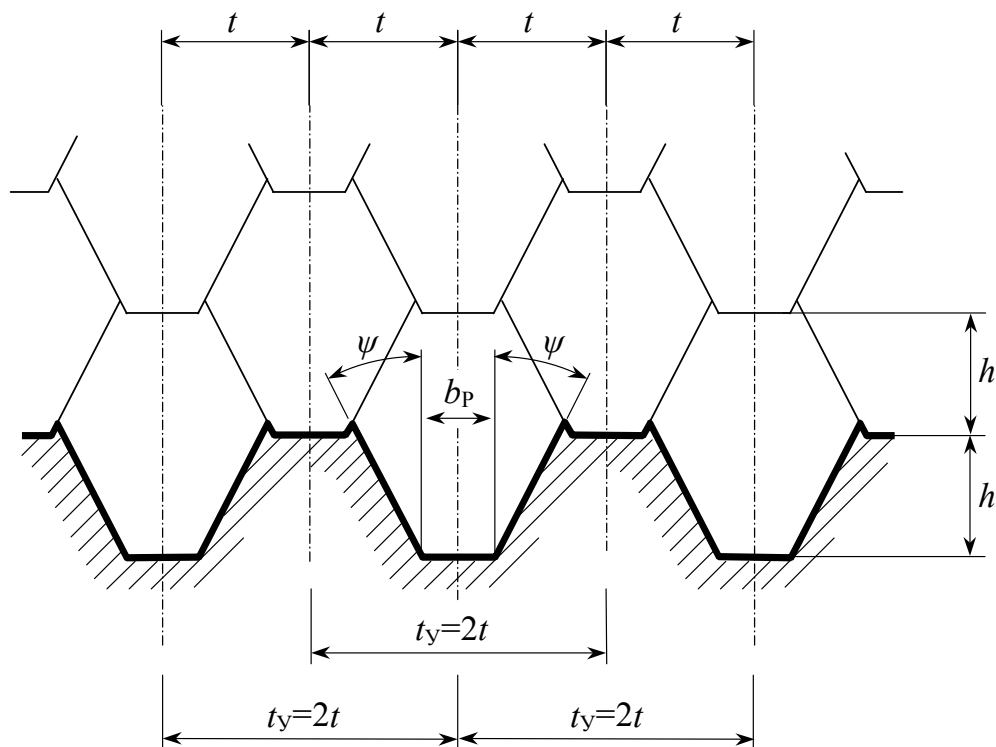


Рисунок 4 – Схема разрушения пласта режущим инструментом (резцами) с рабочей боковой гранью

Разрушение пласта при этом происходит комбинированным способом. Разрушение пласта передней гранью резца происходит аналогично его разрушению резцом существующей конструкции, а именно: создается напряжение сжатия в части пласта по толщине, равной толщине среза, и разрушение его происходит, когда напряжение сжатия достигает предельной величины. Другими словами, передняя грань резца с рабочей боковой гранью производит разрушение пласта раздавливанием. Оставшийся межщелевой целик, параметры которого больше параметров целика для резцов существующей конструкции, разрушается путем сдвига его рабочей боковой гранью

резца. Поскольку разрушение горных пород, в том числе и угля сдвигом происходит при значительно меньших усилиях (примерно в 15-20 раз), удельные энергозатраты разрушения при таком способе разрушения значительно меньше, а крупность угля – больше. Согласно [ 2 ], удельные энергозатраты  $\bar{W}_p$  при этом способе разрушения пласта могут быть представлены в виде

$$\bar{W}_p = 4 \frac{k_w \bar{A}_p}{d^2}, \quad (13)$$

где  $k_w$ ,  $\bar{A}_p$  – коэффициент пропорциональности и сопротивляемость угля резанию соответственно,  $d$  – медианный диаметр гранул.

Расчеты показывают, что при разрушении пласта с рабочей боковой гранью удельные энергозатраты уменьшаются в 2-2,5 раза, значительно уменьшается пылеобразование. Это подтверждается данными испытаниями резцов с рабочей боковой гранью в реальных (шахтных) условиях – увеличение в среднем в 2 раза сортового (гранулометрического) состава угля и во столько раз снижение штыба. При этом значительно уменьшается запыленность рудничной атмосферы.

#### ***Выводы и направление дальнейших исследований.***

На вышеизложенного следует:

1. Разрушение пласта резцами существующей конструкции производится путем раздавливания его части, равной толщине среза. Это наиболее энергоемкий процесс, который сопровождается значительным выделением пыли.

2. Разрушение пласта резцами с рабочей боковой гранью производится комбинированным способом – раздавливанием по передней грани и сдвигом образующего межщелевого целика. При этом способе разрушение пласта энергоемкость разрушения примерно в 2-2,5 раза ниже энергоемкости раздавливанием части пласта, значительным улучшением (примерно в 2 раза) сортового (гранулометрического) состава угля, уменьшением во столько же раз штыба и значительным уменьшением пылеобразования.

3. Дальнейшие исследования вопроса пылеобразования при добыче угля очистными комбайнами, разрушение пластов которыми производится механическим способом путем и создания в разрушаемой части пласта напряжения сжатия, должны быть направлены на более детальное аналитическое описание этого процесса и экспериментальную проверку полученных аналитическим путем результатов.

Список источников:

1. Кутовой В. И. Исследование факторов, влияющих на измельчение угля при работе узкозахватных комбайнов с роторными исполнительными органами. Дисс. ... канд. техн. наук. Донецк, ДонУГИ, 1965. – 211 с.
2. Бойко Н.Г. Формирование сортового состава угля при добыче его очистными комбайнами: Монография. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ». 2009 – 246 с.
3. Апраксин А.А. Физика угля. М., Недра, 1965.– 352 с. 2. Бойко Н.Г. Погрузка угля очистными комбайнами. – Донецк: РВА ДонНТУ, 2002. – 157 с.
4. Погрузка угля очистными комбайнами. – Донецк: РВА ДонНТУ, 2002. – 157 с.

**М.Г.Бойко, Д.Є.Бойко.** Пилоутворення при руйнуванні пласта ріжучим інструментом гірничих машин. В роботі вперше розглянуто питання аналітичного опису формування пилу при руйнуванні вугільних пластів різальним інструментом очисних комбайнів та встановлення факторів, які впливають на об'єм пилу.

**вугільний пласт, аналітичний опис, ріжучий інструмент, очисний комбайн, пилоутворення**

**N.Boyko, D.Boyko.** Forming of dust at destruction of layer by cutting tools of mining machines. In work the question of analytical description of forming of dust is first considered at destruction of coal layers by cutting tools of cleansing combines and factors, influencing on the volume of the formed dust, are certain.

**coal layer, analytical description, cutting tools, cleansing combine, forming of dust**

*Стаття надійшла до редколегії 01.09.2010*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.К.Семенченко*

© М.Г.Бойко, Д.Є.Бойко, 2010