

УДК 622.232.72

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СИЛ НА ГРАНЯХ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТЬЮ

Бойко Н.Г., докт. техн. наук, проф., Бойко Е.Н., канд. техн. наук, доц., Федоров О.В., канд. техн. наук, Мельников В.А., аспирант, Донецкий национальный технический университет.

*Рассмотрен вопрос формирования сил на гранях режущего инструмента с вращающейся режущей частью применительно к исполнительным органам очистных комбайнов.*

*The problem of forces forming on edges of a cutting tool with a rotary cutting part using on effectors of cutter-loader is considered.*

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

Добыча угля подземным способом из пологих пластов в настоящее время ведется, в основном, с использованием очистных комбайнов. Наиболее широкое применение получили очистные комбайны со шнековыми исполнительными органами из-за ряда их преимуществ. Известно, что режущий инструмент, которым оснащаются исполнительные органы комбайнов, работает в сложных условиях. Серийно изготавливаемый режущий инструмент – резцы типа ЗР4-80, РКС-2 и РГ-501 – требуют практически ежесменной замены, что занимает примерно 25% времени от продолжительности смены [1]. Кроме того, серийно выпускаемые резцы оказались недостаточно прочными для возросшей мощности двигателей комбайнов и подвержены частым поломкам. Оставшиеся в резцедержателях хвостовики резцов весьма трудно извлечь. Поэтому на замену режущего инструмента тратится время, значительно большее установленной нормы, что ведет к увеличению времени простоя комбайна, обусловленных техническими причинами, и к снижению его технической производительности. Также следует отметить, что разрушение угольного массива исполнительными органами современных узкозахватных комбайнов сопровождается высокими удельными энергозатратами, переизмельчением угля и большим пылевыделением [2].

Поэтому в настоящее время актуален вопрос создания такого режущего инструмента, который произвел бы разрушение уголь-

ного пласта при малых удельных энергозатратах и имел бы высокую износостойкость, а следовательно, и малый расход.

**Анализ исследований и публикаций.** Режущий инструмент, которым оснащаются исполнительные органы очистных и проходческих комбайнов, по характеру взаимодействия с массивом разделяется на два типа.

К первому из них относятся резцы. Таким режущим инструментом оснащаются, как правило, исполнительные органы очистных комбайнов, а также исполнительные органы проходческих комбайнов при проведении выработок по относительно мягким породам. Резцы бывают радиальные (например, резец типа ЗР4-80), размещаемые в резцедержателях перпендикулярно к вектору скорости резания  $\bar{V}_p$ , и тангенциальные (например, РКС-2), устанавливаемые под некоторым углом к этому вектору  $\bar{V}_p$ . Особенностью резцов является то, что при перемещении их относительно пласта или массива породы возникают силы трения скольжения, которые и обуславливают значительный износ режущего инструмента [3, 4].

Ко второму типу режущего инструмента относятся шарошки (дисковые, штыревые и др.) [5], которыми оснащаются, как правило, исполнительные органы проходческих комбайнов при проведении выработок по крепким и весьма крепким породам – известнякам, песчаникам и др. Отличительной особенностью шарошек является то, что относительно массива породы они перемещаются путем перекачивания, а разрушение породы производят смятием [6]. Расход шарошечного инструмента всегда меньше расхода резцов [7].

Следует отметить также, что режущий инструмент не использует одно из важных с точки зрения механического разрушения свойств горных пород, сопротивление разрушению породы (и угля) путем растяжения (сдвига) в 10 – 15 раз ниже сопротивления разрушению путем сжатия. Поэтому режущий инструмент должен сочетать в себе преимущества резцового и шарошечного режущего инструмента и создавать в разрушаемом массиве угля или породы растягивающее или хотя бы комбинированное напряженное состояние, в котором преобладали бы напряжения сдвига и растяжения. Такой режущий инструмент будет износостойким и обеспечит разрушение угля или породы при малых удельных энергозатратах.

**Постановка задачи.** Для создания режущего инструмента, который сочетал бы в себе преимущества указанных его типов, т.е. про-

изводил разрушение пласта при малых удельных энергозатратах и имел бы высокую износостойкость и прочность, необходимо установить особенности и характер усилий, формирующихся на гранях режущего инструмента.

**Изложение материала и результаты.** Выполненные специальные тензометрические исследования процесса разрушения углечемента массива (блока) и формирования усилий на гранях инструмента с вращающейся режущей частью свидетельствуют о неравномерном характере сил, формирующихся на его гранях, рис. 1.

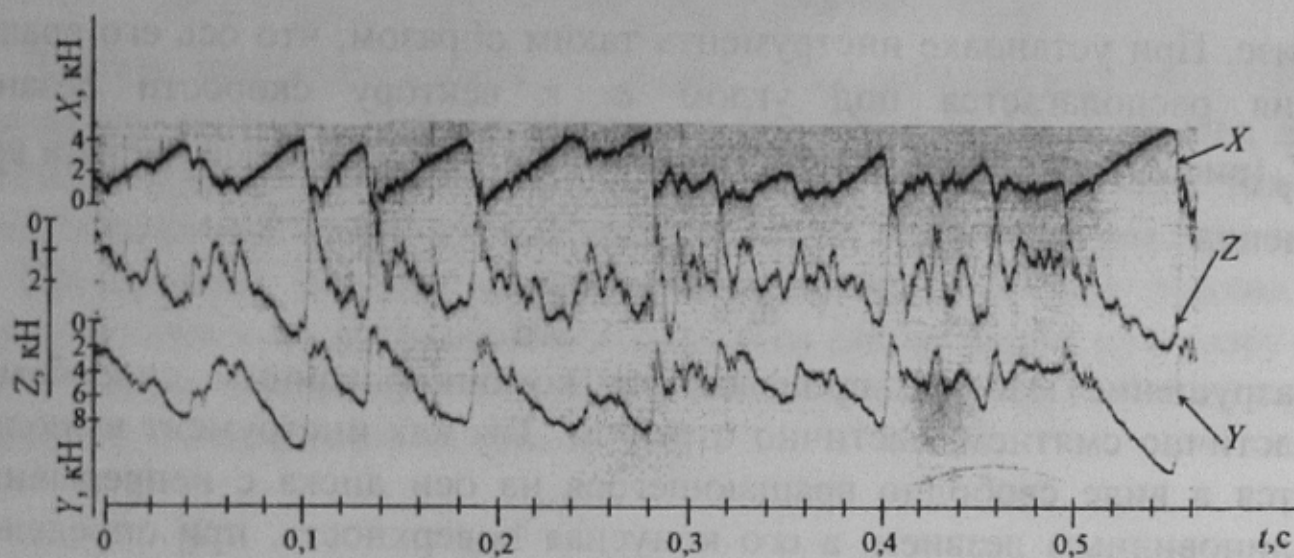


Рисунок 1 – Фрагмент оциллограммы усилий на гранях режущего инструмента с вращающейся режущей частью при разрушении углечемента массива.

Рассмотрим процесс разрушения массива указанным режущим инструментом. При установке инструмента таким образом, что ось вращения его режущей части перпендикулярна  $\overline{V}_p$  (рис. 2а), инструмент будет обкатываться вокруг своей оси с частотой

$$\omega = \frac{2V_p}{d},$$

где  $d$  – диаметр режущего инструмента;

и разрушать массив путем смятия, как шарошечный инструмент. Если же инструмент установить таким образом, что ось его вращения совпадает с  $\overline{V}_p$  (рис. 2б), инструмент превращается в обычный резец и при перемещении его с той же скоростью частота вращения равна нулю. Разрушение массива производится путем раздавливания уступа высотой равной толщине среза, т.е. проявляются все признаки резца. Такая схема установки используется только при теоретическом ана-

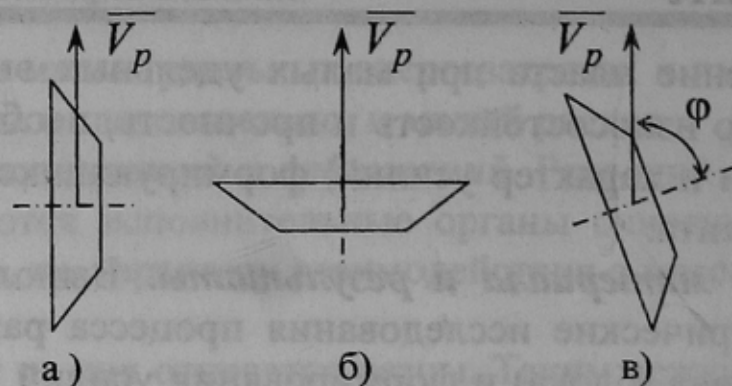


Рисунок 2 – Схемы установки режущего инструмента с вращающейся режущей кромкой.

лизе. При установке инструмента таким образом, что ось его вращения располагается под углом  $\varphi$  к вектору скорости резания  $\overline{V}_p$  (рис.2в) и перемещение инструмента с той скоростью частота вращения

$$\omega = \frac{2V_p \sin \varphi}{d},$$

разрушение массива производится комбинированным способом – частично смятием, частично отрывом. Так как инструмент выполняется в виде свободно вращающегося на оси диска с непрерывным клиновидным лезвием, а его конусная поверхность, при определенных параметрах, создает в массиве комбинированное напряженное состояние, то данный способ разрушения может быть достигнут и при первой схеме установки инструмента.

Для рассматриваемой установки режущего инструмента разру-

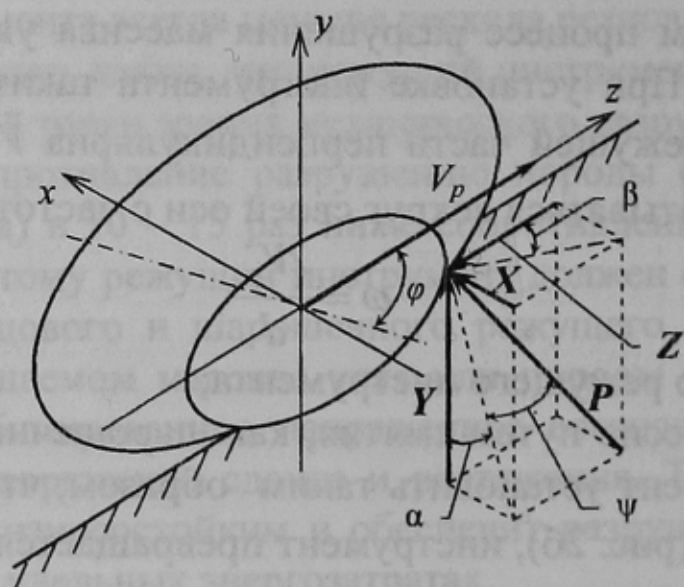


Рисунок 3 – Схема усилий, формирующихся на режущем инструменте с вращающейся режущей кромкой при разрушении пласта.

шение пласта производится путем откалывания от него отдельностей, которые будем называть сколами [2].

На рис. 3 представлена схема усилий, действующих на инструмент с вращающейся режущей частью при разрушении пласта. На режущую часть действует реакция массива, распределенная по параболической кривой [5]. Равнодействующая распределенных сил  $P$  расположена под углом  $\psi$  к оси  $y$  и может быть разложена на три составляющие:  $Z$  - усилие перекатывания,  $Y$  - усилие подачи и  $X$  - боковое усилие:

$$Z = P \sin \psi \cos \beta; Y = P \cos \psi \cos \alpha; X = Y \operatorname{tg} \alpha.$$

Усилия, формирующиеся на гранях режущего инструмента при разрушении массива, крайне неравномерны (рис. 1). Их величина и характер обуславливаются сопротивляемостью пласта резанию, толщиной и шириной среза, длиной скола массива и другими факторами [2]. Пренебрегая малыми сколами, мгновенные значения усилий, формирующихся на вращающемся режущем инструменте при разрушении пласта, представим в виде кусочно-линейных функции пути, пройденного инструментом, рис. 4, [2]:

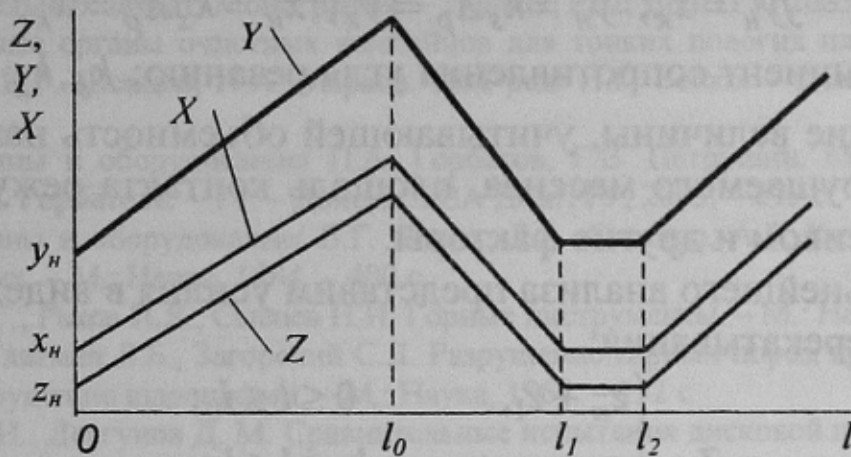


Рисунок 4 – Линеаризованное представление мгновенных усилий, формирующиеся на гранях режущего инструмента.

$$Z = \begin{cases} z_H + k_z A_p h t l, & 0 \leq l \leq l_0; \\ z_H + k_z A_p h t l_0 [1 - (l - l_0) / (l_1 - l_0)], & l_0 < l \leq l_1; \\ z_K, & l_1 < l \leq l_2. \end{cases}$$

$$Y = \begin{cases} y_H + k_y h l A_p, & 0 \leq l \leq l_0; \\ y_H + k_y h l_0 [1 - (l - l_0) / (l_1 - l_0)] A_p, & l_0 < l \leq l_1; \\ y_K, & l_1 < l \leq l_2. \end{cases}$$

$$X = \begin{cases} x_H + k_x A_p h t l, & 0 \leq l \leq l_0; \\ x_H + k_x A_p h t l_0 [1 - (l - l_0) / (l_1 - l_0)], & l_0 < l \leq l_1; \\ x_K, & l_1 < l \leq l_2, \end{cases}$$

где  $z_H, y_H, x_H$  - составляющие начального усилия;  $k_z, k_y, k_x, k_\alpha$  - математическое ожидание коэффициентов, учитывающих влияние хрупко-пластических свойств пласта и геометрических параметров режущего инструмента на величину усилий разрушения пласта инструментом;  $A_p$  - сопротивляемость угля резанию в зоне, разрушаемой в заданный момент времени режущим инструментом;  $h$  - толщина среза инструмента;  $t$  - ширина среза инструмента;  $l, l_0, l_1, l_2$  - соответственно, текущее значение пройденного пути инструментом с вращающейся режущей частью и значения длины скола массива, при которых меняется характер сил;  $z_K, y_K, x_K$  - составляющие конечного усилия.

Величину начального (конечного) усилия на режущем инструменте представим в виде:

$$z_H = f y_H = z_K; \quad y_H = k_s A_p = y_K; \quad x_H = k_x A_p = x_K,$$

где  $f$  - коэффициент сопротивления угля резанию;  $k_s, k_x$  - математическое ожидание величины, учитывающей объемность напряженного состояния разрушаемого массива, площадь контакта режущего инструмента с массивом и другие факторы.

Для дальнейшего анализа представим усилия в виде: усилие перекатывания:

$$Z = \begin{cases} z_H + z_1, & 0 \leq l \leq l_0; \\ z_H + z_2 + z_3, & l_0 < l \leq l_1; \\ z_K, & l_1 < l \leq l_2. \end{cases}$$

усилие подачи:

$$Y = \begin{cases} y_H + y_1, & 0 \leq l \leq l_0; \\ y_H + y_2 + y_3, & l_0 < l \leq l_1; \\ y_K, & l_1 < l \leq l_2. \end{cases}$$

боковое усилие:

$$X = \begin{cases} x_H + x_1, & 0 \leq l \leq l_0; \\ x_H + x_2 + x_3, & l_0 < l \leq l_1; \\ x_K, & l_1 < l \leq l_2. \end{cases}$$

Здесь  $z_1 = k_z A_p h l$ ,  $z_2 = k_z A_p h l_0$ ,  $z_3 = k_z A_p h l_0 (l - l_0) / (l_1 - l_0)$ ,  
 $y_1 = k_y A_p h l$ ,  $y_2 = k_y A_p h l_0$ ,  $y_3 = k_y A_p h l_0 (l - l_0) / (l_1 - l_0)$ ,  $x_1 = k_x A_p h l$ ,  
 $x_2 = k_x A_p h l_0$ ,  $x_3 = k_x A_p h l_0 (l - l_0) / (l_1 - l_0)$ .

Из приведенных выражений следует, что формирующиеся на режущем инструменте с вращающейся режущей частью усилия при разрушении пласта представляют собой суммы произведений случайных величин.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Таким образом, на основании выполненных исследований получено, что формирующиеся на режущем инструменте с вращающейся режущей гранью усилия являются случайными многомерными величинами, случайный характер которых обусловлен случайным характером тех же факторов, что и для радиальных резцов. Кроме того, разрушение массива рассматриваемым режущим инструментом имеет ярко выраженный характер процесса скалывания.

#### Список источников.

1. Бойко Н.Г., Бойко Е.Н. Повышение нагрузки на лаву и улучшение сортового состава угля без дополнительных затрат. Монография. – Донецк, РВД ДонНТУ, 2003. – 80 с.
2. Исполнительные органы очистных комбайнов для тонких пологих пластов/ Н.Г. Бойко, А.В. Болтян, В.Г. Шевцов, Н.А. Марков. Под ред. Н.Г. Бойко. – Донецк, «Донеччина». 1996. – 223 с.
3. Горные машины и оборудование/ П.А. Горбатов, Г.В. Петрушин, М.М. Лысенко; Под общ. ред. П.А. Горбатова. – Т1. – Донецк: РВА ДонНТУ, 2003. – 295 с.
4. Горные машины и оборудование/ В.Г. Яцких, Л.А. Спектор, А.Г. Кучерявый. Под общ. ред. В.Г. Яцких. – М.: Недра, 1984. – 400 с.
5. Крапивин М.Г., Раков И.Я., Сысоев Н.И. Горные инструменты. – М.: Недра, 1990. – 256 с.
6. Барон Л.И., Глатман Л.Б., Загорский С.Л. Разрушение горных пород проходческими комбайнами. Разрушение шарошками. – М.: Наука, 1969. – 152 с.
7. Коршунов А.Н., Дергунов Д. М. Сравнительные испытания дисковой шарошки и радиального резца в лабораторных условиях// Вопросы механизации горных работ. – Кемерово: КузПИ, 1972. – Вып. 46. – с. 3-7.