

Для даних гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов досліджуваної ділянки значення коефіцієнту  $k_1$  буде коливатися в діапазоні  $k_1 = 76,68 \dots 83,92$ , а коефіцієнт  $k_2 = 3849 \dots 4058,2$ .

**Висновки.** Серед загального переліку факторів, що визначають навантаження на секції механізованого кріплення існують пріоритетні чинники. Вони суттєво переважають інші досліджувані параметри, що останніми можна знехтувати. У заданих гірничо-геологічних умовах до головуючих параметрів слід віднести: радіус форми дуги лінії очисного вибою, град; швидкість посування очисного вибою за зміну, м/зм; довжина відходу очисного вибою від монтажного хідника (розрізної печі), м; виймальна потужність пласта, м; потужність шару порід безпосередньої покрівлі, м; межа міцності на стиск порід основної покрівлі,  $10^5$  МПа.

При збільшенні швидкості посування очисного вибою напруженість гірського масиву ( $P$ , тс/м<sup>2</sup>) зі збіжністю, що перевищує 86% визначається за допомогою логарифмічної залежності зміною абсолютної величини швидкості посування очисного вибою ( $V$ , м/зм) та емпіричними коефіцієнтами ( $k_1$ ,  $k_2$ ), що визначають гірничо-геологічну та гірничотехнічну ситуацію досліджуваної ділянки та напруженість масиву.

За допомогою такого математичного механізму можна з високим ступенем достовірності визначати гірничотехнічну ситуацію та вносити необхідні корективи у процес управління гірським масивом при комплексно-механізованому струговому вийманні тонких вугільних пластів.

#### Список літератури

1. Е.Н. Халимендиков, В.С. Теня, А.С. Янжула, Э.Г. Волков. Внедрение технологии струговой выемки угля на тонком пласте  $d_4$  // Уголь Украины. – 2009. - №10. – с. 5-7
2. Р.О. Дичковський, В.В. Руських, Є.В. Тимошенко. До питання визначення напружень при високошвидкісному вийманні тонких вугільних пластів //Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2010. - №35, т.2.- С 225-234.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бузилом В.І.  
Надійшла до редакції 20.06.11*

УДК 622.23.054.54:519.6

©Анджей Кровяк

## **МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЯ РАВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ НА РЕЗЦОВОЙ ГОЛОВКЕ УГОЛЬНОГО СТРУГА НА ОСНОВАНИИ ЗАМЕРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УГЛЯ**

В данной статье представлен метод вычисления равнодействующей режущей силы на резцовой головке угольного струга, необходимой для добычи угля. Основанием для определения данной силы являются результаты замеров механических параметров угля, выполненных с помощью специально разработанного для этих целей прибора. Данный метод состоит из двух этапов, приближающих результат теоретических вычислений к фактическим эксплуатационным условиям.

This article contains the description of a method for calculating of resultant cutting forces on the coal plough head, required to extract the coal. Results of the coal mechanical parameters measurements made by the device especially designed for this purpose are considered to be the ground for determination of such forces. Provided method consists of two stages: the theoretical calculations and determination of the adaptation factors fitting the theoretical calculations results to real exploitation conditions .

У даній статті представлений метод обчислення рівнодіючої ріжучої сили на різцевої голівці вугільного струга, необхідної для видобутку вугілля. Підставою для визначення даної сили є результати вимірів механічних параметрів вугілля, виконаних за допомогою спеціально розробленого для цих цілей приладу. Даний метод складається з двох етапів, які наближують результат теоретичних обчислень до фактичних експлуатаційних умов.

**Введение.** Общая тематика заключается в описании процесса выбора мощности приводной системы угольного струга в соответствии с горно-геологическими, техническими условиями, а также механическими особенностями добываемого угля. Отдельным вопросом, являющимся одной из составляющих общей тематики, является определение равнодействующей силы при срезании пласта угля, измеряемой на резцовой головке струга, в зависимости от механических свойств добываемого угля, на основании результатов измерений на месте („in-situ”), выполненных с помощью специально разработанного для этих целей прибора. Проблемы функции перехода между равнодействующей силой резания угля на резцовой головке струга и мощностью, необходимой для обеспечения тяги всего стругового комплекса, описаны, в частности, в публикации [1].

Основным условием данного метода предполагается, что замеры будут выполняться в том самом угольном пласте, который и будет разрабатываться. В данном случае, мы имеем дело не с построением модели начальной зависимости, а с методом экстраполяции результатов измерений на вектор равнодействующей силы на резцовой головке конкретной конструкции струга. При построении модели начальной зависимости, нам, кроме механических параметров угля, пришлось бы учитывать целый комплекс горно-геологических условий пластов, предназначенных для разработки. Применение метода экстраполяции позволяет учитывать данные условия уже непосредственно в результатах измерений.

Приведенная статья посвящена описанию метода экстраполяции равнодействующей силы резания угля на резцовой головке струга, необходимой для добычи угля, на основании результатов измерений, выполненных специальным прибором.

Подход к решению данной проблемы состоит из двух этапов: теоретического определения данной силы, с учетом ряда условий, оптимизирующих процесс добычи угля, и адаптации данной модели с фактическими условиями добычи посредством экспериментального определения многовекторных отдельных коэффициентов подобия между значениями, полученными теоретическим способом, и фактическими значениями.

Итак, мы имеем дело с типичной проблемой моделирования процесса, состоящего из двух основных компонентов: соответствующей идентификации

и моделирования [3]. К проблеме поиска зависимости между механическими свойствами угля и горно-геологическими условиями, и мощностью тяги стругового комплекса можно также подойти и иначе, одновременно выполняя, с помощью соответствующего прибора, большое количество замеров механических параметров угля и мощности приводной системы. На основании результатов указанных измерений, можно выстраивать регрессивные модели или модели, действующие в сочетании с нейронными сетями, определяющими такие зависимости [4,5]. Однако, недостатком данного метода является необходимость выполнения чрезмерного количества измерений в разных фактических эксплуатационных условиях.

**Измерительный прибор и результаты измерений.** Указанный прибор создан Главным Институте Горного Дела в Катовице. Принцип работы этого прибора заключается в том, что соответственно проводимый, отдельный измерительный резец выполняет горизонтальные борозды (вырезы) в породе с глубинами и высотой стенок, определенными методикой измерения. Важным является то, что последовательность выполняемых операций на глубине и высоте выполнения борозд должна отвечать последовательности операций добычи угля резцами струга. Выполнение данного условия обеспечит, уже на этапе измерений, увеличенное подобие результатов измерений с фактическим процессом добычи угля.

В результате выполненных измерений мы получаем: значение силы резания  $F^t$  (действующей параллельно по отношению к боковой стенке) на измерительном резце и развертку борозды. Из развертки борозды мы можем определить усредненное значение площади поверхности поперечного профиля контрольной борозды  $S$  и усредненные значения углов бокового расщепления  $\psi$ . В расчет принимаем идеальное условие, что поперечное сечение контрольной борозды имеет геометрическую форму трапеции.

**Пространство измерений и анализов.** Для записи результатов измерений и результатов дальнейших теоретических анализов применяется трёхмерное картезианское пространство, где отдельные размеры обозначают:  $x$  - размер вдоль породы,  $y$  - размер вглубь породы,  $z$  - размер на высоте породы.

Измерительный резец уставлен под постоянным, определенным конструктивными особенностями, углом наклона  $\beta$  по отношению к поверхности породы. Это означает, что для каждого измерения существует общая зависимость:

$$F^t = F^n * \cos \beta; F^p = F^n * \sin \beta, \quad (1)$$

где  $F^n$  – среднее значение силы в оси измерительного резца для данной точки замера;  $F^t$  - среднее значение силы резания вдоль оси  $x$ ;  $F^p$  - среднее значение силы прижимания вдоль оси  $y$ ;  $\beta$  - угол наклона оси измерительного резца относительно плоскости стенки породы.

При проведении дальнейших анализов экстраполяции, мы будем использовать исключительно силу  $F^t$ . Сила  $F^n$  будет использоваться при позднейших вычислениях мощности всего струга.

В результате сканирования контрольной борозды, мы можем определить усредненную форму и площадь сечения борозды, схожие своим видом с равнобедренной трапецией (рис. 1).

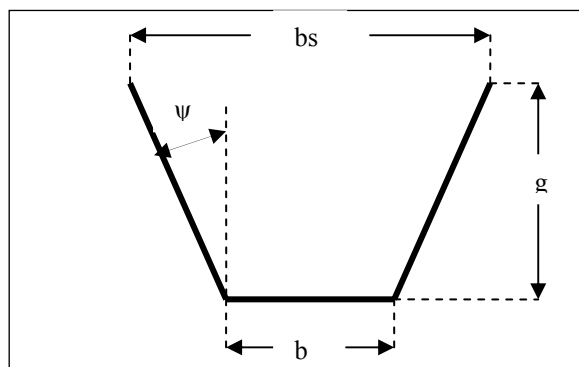


Рис. 1. Усредненная форма поперечного разреза контрольной борозды (выреза)

При выполнении данного измерения, мы можем определить площадь поверхности профиля контрольной борозды из общей математической формулы:

$$S = \frac{(bs + b) * g}{2} \quad (2)$$

где: S - площадь поперечного сечения контрольной борозды по осям  $y - z$ ;  
 bs - ширина борозды, определяемая по оси z;  
 b - ширина режущей кромки измерительного резца по оси z;  
 g - глубина борозды по оси y.

На этом же основании, из общей математической формулы мы можем также вычислить угол бокового раскroшения (для данного замера):

$$\psi = \arctg\left(\frac{bs - b}{2 * g}\right) \quad (3)$$

где:  $\psi$  - угол бокового раскroшения для данного замера по осям  $y - z$ ;

**Поле результатов измерений.** Для выполнения дальнейших анализов мы создаём *поле результатов измерений*, рассматриваемое в качестве плоскости в осях  $y$  и  $z$ . Точкой начала отсчета в оси координат является уровень подошвы и плоскости стенки выработки породы перед выполнением первого замера.

На данной плоскости мы размещаем измерительные точки на оси  $y$  и оси  $z$  на удалении от точки начала координат. В результате измерений и расчётов, для каждой измерительной точки, мы получаем следующие данные:  $F'_{yz}$ ;  $S_{yz}$ ;  $\psi_{yz}$ . Для выполнения дальнейших анализов вводим коэффициент добываемости  $A$ , определяемый по формуле [2]:

$$A = \frac{F^t}{S} \quad (4)$$

где:  $F^t$  - сила резания на резце;

S - площадь поверхности поперечного сечения борозды.

Результаты всех измерений можно представить в виде четырехмерной матрицы результатов измерений (**MWP**), в колонках ( $j$ ) которой, записываем результаты для каждой измерительной точки, полученные по оси  $y$ . Отдельные строки ( $i$ ) отвечают измерениям, выполненным на различных высотах боковых стенок.

Соответственно для координаты ( $k$ ) вносим результаты измерений и вычислений для:  $k = 1$  - силы резания  $F^t$ ;  $k = 2$  - поверхности поперечного сечения борозды  $S_{yz}$ ;  $k = 3$  - углов бокового раскрошения  $\psi_{yz}$ ;  $k = 4$  - предварительно определённого коэффициента добываемости угля  $A_{yz}$ .

Запись результатов измерений и вычислений в четырехмерной матрице будет полезным при алгоритмизации метода.

Максимальные размеры матрицы:  $j = m$  и  $i = n$ , где  $m$  - количество замеров, выполненных вглубь породы,  $n$  - количество замеров, выполненных на высоте стенки выработки породы.

**Непрерывные функции результатов замеров.** На основании дискретных значений данных в матрице **MWP**, с помощью математических методов (например, многоизмерительной регрессии), определяем непрерывные нелинейные функции:

$$f_F(y, z) - \text{для поперечных сил в контрольной борозде } F^t \quad (5)$$

$$f_S(y, z) - \text{для поверхности поперечных сечений } S \text{ контрольной борозды} \quad (6)$$

$$f_\psi(y, z) - \text{для углов бокового раскрошения } \psi \text{ контрольной борозды} \quad (7)$$

$$f_A(y, z) - \text{для введённого коэффициента добываемости угля} \quad (8)$$

Эти функции позволяют вычислить вышеуказанные параметры для произвольных расстояний от начала системы координат  $y$  и  $z$  выбранного резца струга. Логично, что граничным расстоянием  $z$  является высота боковой стенки выработки. Для координаты  $y$  мы можем выйти за границы измерений на глубине породы, принимая в расчет, что определённые функции будут выполняться с регулярным интервалом.

**Экстраполяция расположения резцов струга.** Экстраполяцию параметров работы резцов струга осуществляем посредством геометрического наложения их положения по отношению к плоскости боковой стенки выработки на плоскость *поля результатов измерений*. Таким образом, для каждого резца струга отдельно, мы можем определить значения и отношения к функции  $f_F(y, z)$ ,  $f_S(y, z)$ ,  $f_\psi(y, z)$ ,  $f_A(y, z)$ , если определим координаты положения этого резца на плоскости *поля результатов измерения*. Термин „отношение к данным функциям” относится к значению функции  $f_F(y, z)$ , и означает, что мы еще не можем непосредственно принять эти значения в качестве результатов вычислений для струга. Нам еще необходимо учесть экстраполяцию параметров, определенных в результате измерений, на фактические условия работы струга. Принимаем, что определённые значения относятся к точке оси кромки резца.

Следующим нашим заданием будет теоретическое разделение ожидаемого поперечного сечения целого захвата, осуществляемого стругом, на частичные поверхности горной породы, добываемой (срезаемой) отдельными резцами струга. Особенно важным при выполнении данных вычислений является описание последовательности операций добычи отдельными резцами струга. Также теоре-

тически принимаем, что усредненные формы поперечных сечений частичных поверхностей обрабатываемой породы будут иметь форму геометрических фигур. Частичное, теоретическое поперечное сечение для конкретного резца определяется на основании следующих данных: глубина борозды, ширина резца и угол бокового раскрошения  $\psi$ , характерный для точки оси кромки резца.

**Общие принципы экстраполяции поперечных сил.** Теоретически принято, в качестве первого приближения, что силы резания, фактически возникающие на резцах резцовой головки, будут пропорциональны площади поверхности поперечного сечения выполняемой борозды или срезаемого „припуска”. Такое условие позволит нам определить экстраполяцию частичных сил, вычисленных измерительным резцом, на силы, фактически действующие на отдельных резцах струга.

**Примеры конкретной экстраполяции поперечных сил.** Ниже приведены несколько примеров способов экстраполяции сил резания, возникающих на измерительном резце, на силы, фактически действующие на резцах струга. Приведенные примеры не учитывают все возможные комбинаций экстраполяций, но являются наглядной иллюстрацией применяемого метода вычислений. В приведенных примерах принимаются следующие обозначения:  $F^t$  - сила резания на измерительном резце;  $S$  – площадь поверхности поперечного сечения измерительной борозды;  $\psi$  - угол бокового раскрошения, определённый на основании замеров. Принимается, что он будет аналогичным для всех борозд, выполненных резцами струга.

Экстраполяция, вытекающая из разницы угла наклона стругового резца по отношению к углу наклона измерительного резца принимается, что поперечная сила  $F^{t'}$  для стругового резца должна быть такой же, как и сила  $F^t$  для измерительного резца, работающего на соответствующей для него глубине  $u$  и высоте  $z$ . При другом угле выставления стругового резца по отношению к углу выставления измерительного резца, изменяется только значение силы противодействия. То есть, получаем зависимость:

$$F^{t'} = F^t \quad (9)$$

Экстраполяция, вытекающая из разницы формы стругового резца по отношению к форме измерительного резца принимаем, что введённый коэффициент добываемости  $A$  и угол бокового раскрошения  $\psi$  для измерительного и стругового резца являются одинаковыми. Дополнительно принимаем, что струговой резец выполняет полную борозду с сечением в виде равнобедренной трапеции, без воздействия (взаимодействия) других резцов струга. Струговой резец может иметь ширину, отличную от ширины измерительного резца, и выполнять борозду с глубиной, слегка отличающейся от глубины борозды, выполняемой измерительным резцом. При таких условиях, мы получаем зависимость:

$$F^{t'} = F^t * \frac{S}{(d' * g' + g'^2 * tg \psi)} \quad (10)$$

где:  $F^{t'}$  – откорректированная сила резания на струговом резце;  $d'$  - ширина стругового резца;  $g'$  - глубина борозды, выполненной струговым резцом.

Экстраполяция, вытекающая из параллельной работы двух резцов струга, выполняющих неполные борозды при выполнении данной экстраполяции, принимается, что два резца струга работают параллельно (рядом друг с другом) в плоскости, параллельной к стенке выработки. Каждый из них выполняет неполную борозду, так как профили борозд от этих резцов получаются сцепленными (рис.2). Рассмотрим случай работы двух резцов с разной шириной (резец 1 - ширина  $d'$ , резец 2 - ширина  $d''$ ).

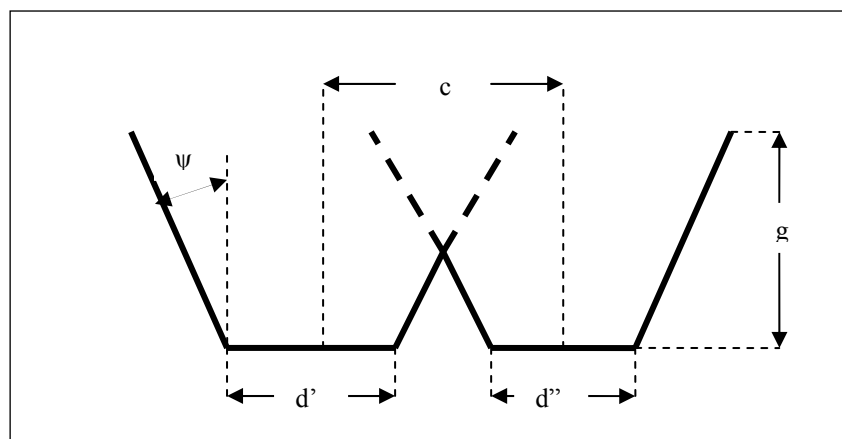


Рис. 2. Усредненная форма поперечного сечения борозды (выреза) для параллельной работы двух резцов с оставлением припуска

Расстояние между осями этих резцов обозначим буквой  $c$ . Для параллельной работы данных резцов применяем зависимость:

$$c > 0,5 * d' + 0,5 * d'' \quad (11)$$

При условии (11) в профиле борозды, выполненной одновременно двумя резцами, появляется „утолщение” невыбранного угла. Теперь, определим площадь поверхности поперечного сечения данного утолщения:

$$S^{IV} = 0,25 * [c - 0,5 * (d' + d'')]^2 * ctg \psi \quad (12)$$

где:  $S^{IV}$  - площадь поверхности поперечного сечения „припуска” в борозде, выполненной двумя резцами, работающими параллельно;

$c$  - расстояние между осями резцов;

$d'$  - ширина первого резца струга;

$d''$  - ширина второго резца струга.

Оба резца выполняют неполные борозды, т.е. часть общей борозды выбирается одновременно двумя резцами. Принимается, что линия раздела работы резцов проходит через половинное расстояние между осями обоих резцов.

Теперь, определяем площади поверхностей сечения общей борозды, выбранных отдельными резцами.

$$S' = 0,5 * d' * g + 0,5 * g^2 * tg \psi + 0,5 * (c * g - S^{IV}) \quad (13)$$

$$S'' = 0,5 * d'' * g + 0,5 * g^2 * tg \psi + 0,5 * (c * g - S^{IV}) \quad (14)$$

где:  $S'$  - площадь поверхности поперечного сечения борозды, выбранной резцом 1;

$S''$  - площадь поверхности поперечного сечения борозды, выбранной резцом 2;

$g$  - глубина общей борозды.

Для резцов струга и измерительного резца, работающих на одинаковой глубине, значения коэффициента добываемости  $A$  являются аналогичными. Отсюда, определяем зависимости экстраполяции:

$$F^{t'} = F^t * \frac{S'}{S} = F^t * \frac{[0,5 * d' * g + 0,5 * g^2 * tg\psi + 0,5 * (c * g - S^{IV})]}{S} \quad (15)$$

$$F^{t''} = F^t * \frac{S''}{S} = F^t * \frac{[0,5 * d'' * g + 0,5 * g^2 * tg\psi + 0,5 * (c * g - S^{IV})]}{S} \quad (16)$$

где:  $F^{t'}$  - откорректированная поперечная сила на резце 1;

$F^{t''}$  - откорректированная поперечная сила на резце 2.

Экстраполяция, вытекающая из обычной работы двух резцов струга со смещенными осями принимается, что оба резца работают в плоскости, параллельной к боковой стенке выработки, на одной и той же глубине. Тогда первый резец работает самостоятельно, выбирая полную борозду. Следующий за ним, второй резец выбирает неполную борозду. Принимаем также, что расстояние между осями этих резцов выбрано таким образом, что после прохода обоих резцов, не остается „припуск” (рис.3).

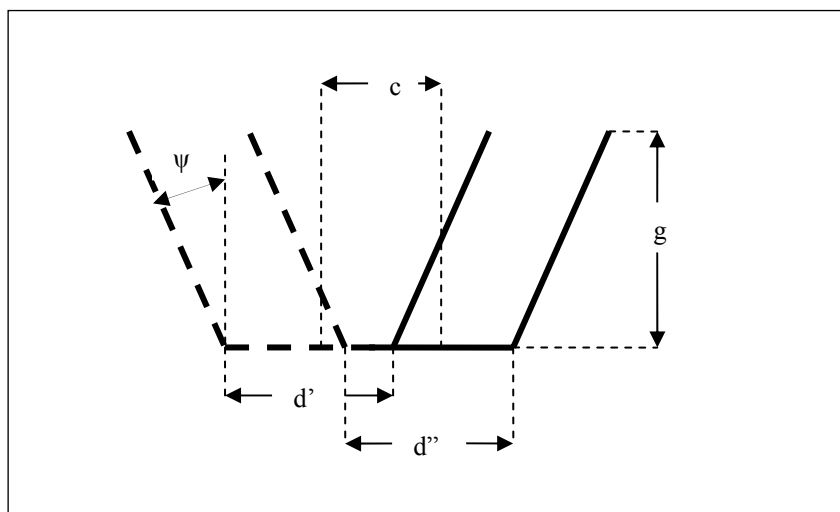


Рис. 3. Усредненная форма поперечного сечения борозды (выреза) для обычной работы двух резцов, второй из которых, выбирает неполную борозду без оставления припуска

Решение проблемы заключается в определении площади поверхности поперечного сечения борозды, формируемой вторым резцом. Экстраполяция будет касаться только второго резца. Площадь поверхности поперечного сечения



неполной борозды будет иметь вид наклонного параллелограмма, с углом наклона  $\psi$ .

Для работы этих резцов, выполняется условие:

$$c < 0,5 * (d' + d'') \quad (17)$$

где:  $c$  - расстояние между осями обоих резцов;

$d'$  - ширина первого резца (проходящего первым);

$d''$  - ширина второго резца (следующего за первым).

Площадь поверхности поперечного сечения неполной борозды, выбираемой вторым резцом, составляет:

$$S'' = g * [0,5 * d' + (c - 0,5 * d'')] * \sin \psi \quad (18)$$

Принимая, что коэффициент добываемости,  $A$  для обоих резцов струга и измерительного резца является аналогичным, получаем зависимость экстраполяции:

$$F^{t''} = F^t * \frac{S''}{S} = F^t * \frac{g * [0,5 * d' + (c - 0,5 * d'')] * \sin \psi}{S} \quad (19)$$

где:  $F^{t''}$  – откорректированная поперечная сила для второго резца;

$S''$  - площадь поперечного сечения борозды, выполненной вторым резцом;

- остальные обозначения – в соответствии с предыдущими формулами.

Экстраполяция для третьего выравнивающего резца. Два резца, работающие параллельно к плоскости боковой стенки выработки, выбирающие уголь при взаимодействии друг с другом, оставили „припуск” между ними. Заданием третьего резца является выравнивание этого „утолщения”. Принимается, что он имеет ширину  $d'''$ , достаточную для выравнивания „утолщения” (рис.4).

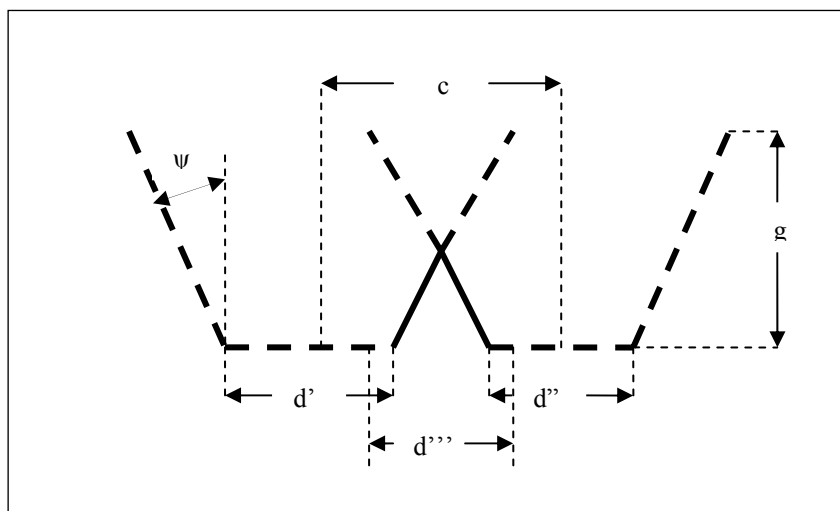


Рис. 4: Усредненная форма поперечного сечения борозды (выреза) для работы третьего выравнивающего резца без оставления припуска

Работа двух первых резцов описана в предыдущих параграфах. Для определения площади поперечного сечения данного „утолщения”  $S^{IV}$ , мы применяем математическую формулу (12).

Для третьего резца коэффициент добываемости  $A$  является таким же, как и для измерительного резца, работающего в этих же координатах.

Из этого вытекает соотношение экстраполяции:

$$F^{t'''} = F^t * \frac{S^{IV}}{S} = F^t * \frac{0,25 * [c - 0,25 * (d' + d'')]^2 * ctg \psi}{S} \quad (20)$$

где  $F^{t'''}$  – откорректированная поперечная сила для третьего резца;

- остальные обозначения – в соответствии с предыдущими формулами.

Экстраполяция для третьего срезающего резца, выполняющего неполную борозду принимается, что два первых резца, работающие в одной плоскости, выполняют две, не соединяющиеся краями, борозды. Между ними остаётся „утолщение” в виде равнобедренной трапеции с меньшей стороной возле боковой стенки выработки. Третий резец с шириной  $d'''$ , следующий за первыми двумя резцами, предназначен для срезания этого „утолщения” (рис.5).

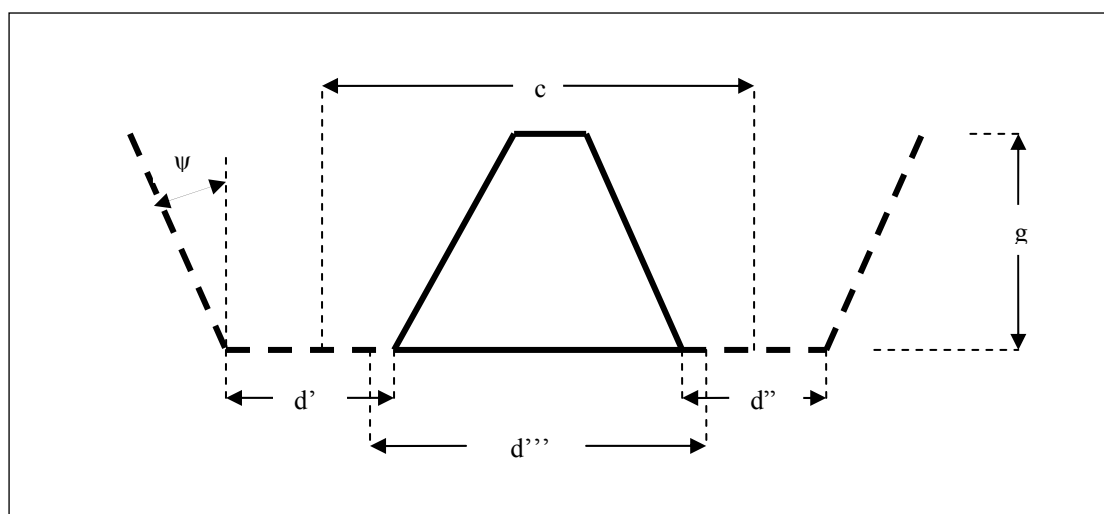


Рис. 5: Усредненная форма поперечного сечения борозды (выреза) для работы третьего выравнивающего резца без оставления припуска (для припуска, оставленного в форме трапеции двумя предыдущими резцами)

Площадь поперечного сечения „утолщения” рассчитывается из математической формулы:

$$S^{IV} = \frac{[2 * c - (d' + d'') - 2 * g * tg \psi] * g}{2} \quad (21)$$

где  $S^{IV}$  - площадь поверхности „утолщения”, убираемого третьим резцом;

$c$  - расстояние между осями двух первых резцов;

$d'$  - ширина первого резца;

$d''$  - ширина второго резца;

$g$  - высота „утолщения” в виде трапеции (соответствует глубине борозд, выполненных двумя первыми резцами).

Исходя из того, что коэффициент добываемости угля  $A$  является одинаковым для измерительного резца и третьего резца струга, можем принять, что:

$$F^{t'''} = F^t * \frac{S^{IV}}{S} = F^t * \frac{0,5 * [2 * c - (d' + d'') - 2 * g * tg \psi] * g}{S} \quad (22)$$

где  $F^{t'''}$  - откорректированная сила резания для третьего резца;

- остальные обозначения – в соответствии с предыдущими формулами.

При данной экстраполяции принимается, что ширина третьего резца струга является большей на столько, на сколько достаточно для срезания всего „утолщения”.

**Адаптация модели к фактическим условиям.** После выполнения теоретических расчётов, нам необходимо приступить к адаптации модели к фактическим условиям работы струга, трактуя это в качестве последовательного приближения. В математических расчетах, такая адаптация может быть учтена в виде экспериментального определения коэффициента экстраполяции  $\mu$ , умножая теоретически определенные в примерах откорректированные поперечные силы на отдельных резцах струга на данный коэффициент. Адаптация результатов теоретических вычислений с фактическими условиями может также быть осуществлена с применением соответствующего метода и последовательности измерений, выполняемых на описанном ранее измерительном приборе.

Ниже приведены нескольких способов получения такого подобия между теоретическими и фактически существующими значениями.

**Учёт ослабления напряжений в породе.** Вскрывающие резцы струга, выполняя операции подрезания породы, вызывают ослабление напряжения в выбираемой угольной породе. Это влияет на поперечные силы на других резцах струга, необходимые для добычи угля. Учёт последствий данного ослабления напряжения можно осуществить посредством выполнения контрольных надрезов с помощью специального устройства, начиная серии измерений от вскрывающих надрезов. В таком случае, результаты последующих измерений в серии будут относиться к угольной породе с ослабленным напряжением.

**Учёт взаимодействия двух резцов, работающих параллельно, с формированием борозд с частично накладывающимися профилями.** Это требует незначительной переделки измерительного прибора. Вместо одного, используются два измерительных резца (каждый может иметь меньшую ширину), установленные с определенным расстоянием друг от друга. Измеряем поперечные силы на этих резцах и сканируем выполненную борозду. По результатам данных замеров, используя математические формулы, приведенные выше в статье, мы можем определить коэффициент  $\mu$ .

**Учёт взаимодействия трёх резцов, два первых из которых, оставляют между собой припуск, который необходимо срезать.** Данный случай предпо-

лагает определение коэффициента  $\mu$  для третьего выравнивающего резца. Его можно вычислить посредством выполнения, в соответствующей последовательности, надрезов при помощи измерительного прибора. Сначала делаем два параллельных надреза с расстоянием, отвечающим расстоянию между двумя первыми резцами. Затем выполняем замеры сил резания на измерительном резце, срезающем оставленный между этими бороздами припуск. Применяя математические формулы, приведенные в описании метода теоретических вычислений, можем определить коэффициент  $\mu$ .

**Учёт взаимодействия двух резцов, работающих в последовательном режиме.** Принимаем, что первый резец формирует борозду с полным профилем, а следующий резец – неполную борозду, расположенную рядом с бороздой, выполненной первым резцом. Сначала, с помощью измерительного устройства, выполняем борозду с полным профилем. Затем, на определенной высоте, передвигаем резцовую головку измерительного прибора на расстояние, равное расстоянию между осями резцов, работающих в последовательном режиме. Измеряем поперечную силу во время выполнения второго контрольного надреза. Применяя математические формулы, приведенные в описании метода теоретических вычислений, можем определить коэффициент  $\mu$  для второго последующего резца.

**Общая методика проведения исследований и вычислений.** Указанная методика состоит из отдельных, ниже описанных шагов:

Шаг 1: Измерения на месте („in-situ”). Замеры с помощью измерительного прибора выполняются на разных глубинах породы и на разных высотах, определяемых от подошвы. В результате измерений и начальных вычислений мы получаем множество дискретных данных, касающихся переменных:  $F^t$ ,  $S$ ,  $\psi$  и  $A$  для точек, определённых координатами  $y$  и  $z$ . Буквенные символы обозначают соответственно:  $F^t$  - сила резания для измерительного резца, рассчитанная параллельно к боковой стенке выработки;  $S$  - площадь поперечного сечения борозды, выполненной измерительным резцом;  $\psi$  - угол бокового раскрошения борозды, выполненной измерительным резцом;  $A$  - описанный в статье коэффициент добываемости угля.

Шаг 2: Определение непрерывных функций. На основании дискретных значений, определённых в Шаге 1, с помощью математических методов (напр. многоизмерительной регрессии), мы определяем непрерывные нелинейные функции:  $f_F(y, z)$  - для поперечных сил в контрольной борозде;  $f_S(y, z)$  - для поверхности  $S$  поперечных сечений контрольной борозды;  $f_\psi(y, z)$  - для углов  $\psi$  бокового раскрошения контрольной борозды;  $f_A(y, z)$  - для описанного коэффициента добываемости.

Шаг 3: Составление карт положения резцов струга. Составляем карты положения всех резцов струга в системе координат  $y - z$ , принятых для измерительной системы. Для каждой кромки резцов (в оси резца) мы определяем координаты  $y_i$  и  $z_j$ . На основании функций (5), (6), (7) и (8), определяем начальные значения параметров  $F^t$ ,  $S$ ,  $\psi$  и  $A$ . Тем самым, мы получаем измерительные значения для этих точек.

Шаг 4: Составление карт сечения. Для каждого резца струга, с учётом последовательности их работы, проектируем теоретическую форму поперечного сечения борозды, с учётом коэффициента  $\psi$ , характерного для глубины работы резца в породе. Определяем значения площади поперечного сечения этих борозд  $S^n$ . Принимая во внимание последовательность работы резцов, для некоторых из них, борозды будут неполные.

Шаг 5: Теоретическая экстраполяция сил. В зависимости от комбинации работы резцов, мы теоретически определяем экстраполяцию поперечных сил  $F^t$ , вычисленных измерительным прибором, на фактические силы  $F^n$ , ожидаемые при работе отдельных резцов. При определении этих сил, мы используем описанные в статье способы экстраполяции.

Шаг 6: Практическая экстраполяция сил. На основании исследований, проведенных на месте („in-situ”), мы определяем коэффициенты экстраполяции  $\mu$  значений поперечных сил, определённых теоретически в *Шаге 5*, на фактические значения, имеющие места во время разработки пласта.

Шаг 7: Суммирование сил. Суммируем силы  $F^n$ , определённые в Шаге 6, получая в результате равнодействующую силу резания  $F$  на резцовой головке струга.

**Выводы.** Представленный в статье метод определения равнодействующей силы на резцовой головке угольного струга является компонентом общей методики определения мощности тяги струга, работающего в определённых горно-геологических условиях, и добывающего уголь с определёнными механическими свойствами.

К преимуществам данного опытно-измерительного метода можно также отнести то, что при определении коэффициента  $\mu$  экстраполяции теоретически вычисленных сил на фактически действующие силы, его значения определяются исходя из конкретного пласта, предназначенного для разработки.

Определённые с помощью данного метода силы необходимо считать приближенными к фактическим силам, действующим при разработке пласта. В рамках практических исследований, в будущем, необходимо будет определить, в какой степени такое приближение отвечает действительности.

#### Список литературы

1. Dolipski M., „Modelowanie i badania zespołów strugowych”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1993
2. Opolski T., Brączek E. – „Strugi węglowe – zasady budowy, działania i eksploatacji”, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice, 1969
3. Osowski S. – „Modelowanie i symulacja układów i procesów dynamicznych”; Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2007
4. Wiczorek T. – „Neuronowe modelowanie procesów technologicznych”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2008
5. Zieliński J.S. – „Inteligentne systemy w zarządzaniu – teoria i praktyka”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2000

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бузилом В.І.  
Надійшла до редакції 20.06.11*