

УДК 622.232.71

О.В. Федоров (канд. техн. наук, доц.)**В.А. Мельников**, (ст. преподаватель)

Донецкий национальный технический университет

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЗАНИЯ КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОД ИНСТРУМЕНТОМ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТЬЮ НА ВЕЛИЧИНУ УСИЛИЙ РАЗРУШЕНИЯ

В работе приведены результаты экспериментального исследования разрушения крепких горных пород инструментом с вращающейся режущей частью, а также описана методика проведения исследования.

Ключевые слова: инструмент режущий, порода, разрушение, усилия, измерение, стенд.

Актуальность вопроса. По мере отработки шахтами Донбасса запасов каменного угля, возникает необходимость разработки угольных пластов, характеризующихся менее благоприятными горно-геологическими условиями разработки. В том числе, разрабатываются пласты, имеющие сложную структуру, содержащие породные прослойки значительной мощности, имеющие протяженные породные замещения, а также пласты малой мощности, требующие выемки с присечкой вмещающих пород. Создание такого режущего инструмента, который позволял бы производить выемку как угля, так и крепкой породы существующими очистными комбайнами, является актуальной задачей.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. Режущий инструмент, используемый для оснащения исполнительных органов современных очистных комбайнов, предназначен для разрушения либо чистых углей, либо углей с породными прослойками крепостью до 5 проф. М. Протодьяконова. Многие угольные пласты, разрабатываемые шахтами Донбасса, имеют породные замещения. В основном это крепкая горная порода с крепостью не менее 8. Разрушение такой породы существующим режущим инструментом практически невозможно, поскольку из-за большой абразивности породы режущий инструмент довольно быстро выходит из строя – происходит его интенсивный износ.

Для разрушения крепких горных пород необходимо иметь такой режущий инструмент, у которого трение скольжения заменено трени-

ем качения. Поскольку силы перекачивания инструмента значительно (примерно на порядок) меньше сил трения скольжения, надо полагать, что и износ такого режущего инструмента будет значительно меньше, а ресурс его, соответственно, больше. Перспективным направлением развития режущего инструмента горных машин, позволяющего решить задачу разрушения как углей, так и крепких пород, является создание инструмента с вращающейся режущей частью [1, 2].

Анализ исследований и публикаций. Большинство исследований в области разрушения углей и пород режущим инструментом горных машин посвящено резцовому инструменту. Экспериментально-аналитический метод описания усилий, формирующихся на гранях резца, предполагает использование интегральных оценок, характеризующих свойства углей и пород применительно к конкретному процессу разрушения. [3, 4, 5] Существующие методики определения усилий резания применимы лишь в случае разрушения угля режущими инструментами традиционных конструкций. Для их использования применительно к режущему инструменту с вращающейся режущей частью, предназначенному для работы как по углю, так и по крепкой породе, в эти методики должны быть внесены существенные коррективы.

Постановка задачи. Поскольку аналитическое описание процесса разрушения породы инструментами горных машин, ввиду его сложности и многофакторности, представляется практически невозможным, общепринятым является экспериментально-аналитический метод. Для разработки математической модели формирования усилий на инструменте с вращающейся режущей частью, предназначенного для работы как по углю, так и по крепкой породе, методики расчета параметров инструмента и выбора режима его работы, необходимо проведение экспериментальных исследований по разрушению крепких пород при различных параметрах режущего инструмента и режима резания.

Изложение материала и результаты. Целью экспериментальных исследований является получение данных, необходимых для построения математической модели формирования усилий при разрушении породы вращающимся режущим инструментом и непосредственно для выбора рациональных параметров геометрии режущего инструмента и режима его работы. Необходимо определить экспериментально:

1) величину, направление и характер изменения усилия, формирующегося на вращающемся режущем инструменте при разрушении массива пласта, а также влияние на величину этого усилия геометрических и режимных параметров;

2) эффективность скалывания режущим инструментом межщелевого целика при различных геометрических и режимных параметрах.

Исследование разрушения породного массива вращающимся режущим инструментом проводится в лабораторных условиях на специально оборудованном стенде на базе продольно-строгального станка модели 7210. В качестве разрушаемого материала используется блок песчаника. Конструкция стенда позволяет изменять, задавать с достаточной точностью и выдерживать в процессе опыта режимные параметры процесса разрушения, что трудноосуществимо в шахтных условиях.

Стенд состоит из следующих элементов, рис. 1: станка 1, на суппорте которого установлен тензометрический динамометр 2 со сменным режущим инструментом 3; на столе станка закреплен породный блок. Для установки необходимой толщины и ширины срезаемой стружки суппорт станка с установленным на нем тензометрическим динамометром может перемещаться в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Измерительная схема, рис. 2, обеспечивает измерение и фиксацию трех величин, представляющих собой проекции на взаимно перпендикулярные оси координат суммарного вектора сил, действующих на режущий инструмент. Измерение составляющих усилия осуществляется трехкомпонентным тензометрическим динамометром [6]. Питание тензодинамометра производится напряжением несущей частоты (1 В 5000 Гц) от генератора тензометрической станции ZET 017-U8. Сигналы от тензодатчиков по экранированному кабелю поступают в тензометрическую станцию ZET 017-U8, где происходит их усиление и преобразование в цифровой вид. Далее оцифрованный сигнал по кабелю USB 2.0 поступает в портативную ЭВМ HP G62. Питание аппаратуры осуществляется от блоков питания, включенных в сеть 220 В. Все устройства заземляются.

Градуировка измерительной схемы осуществляется в полностью собранном виде путем приложения к тензодинамометру статического усилия, измеряемого пружинным динамометром. Каждый канал градуируется отдельно путем приложения нагрузки параллельно соответствующей оси координат.

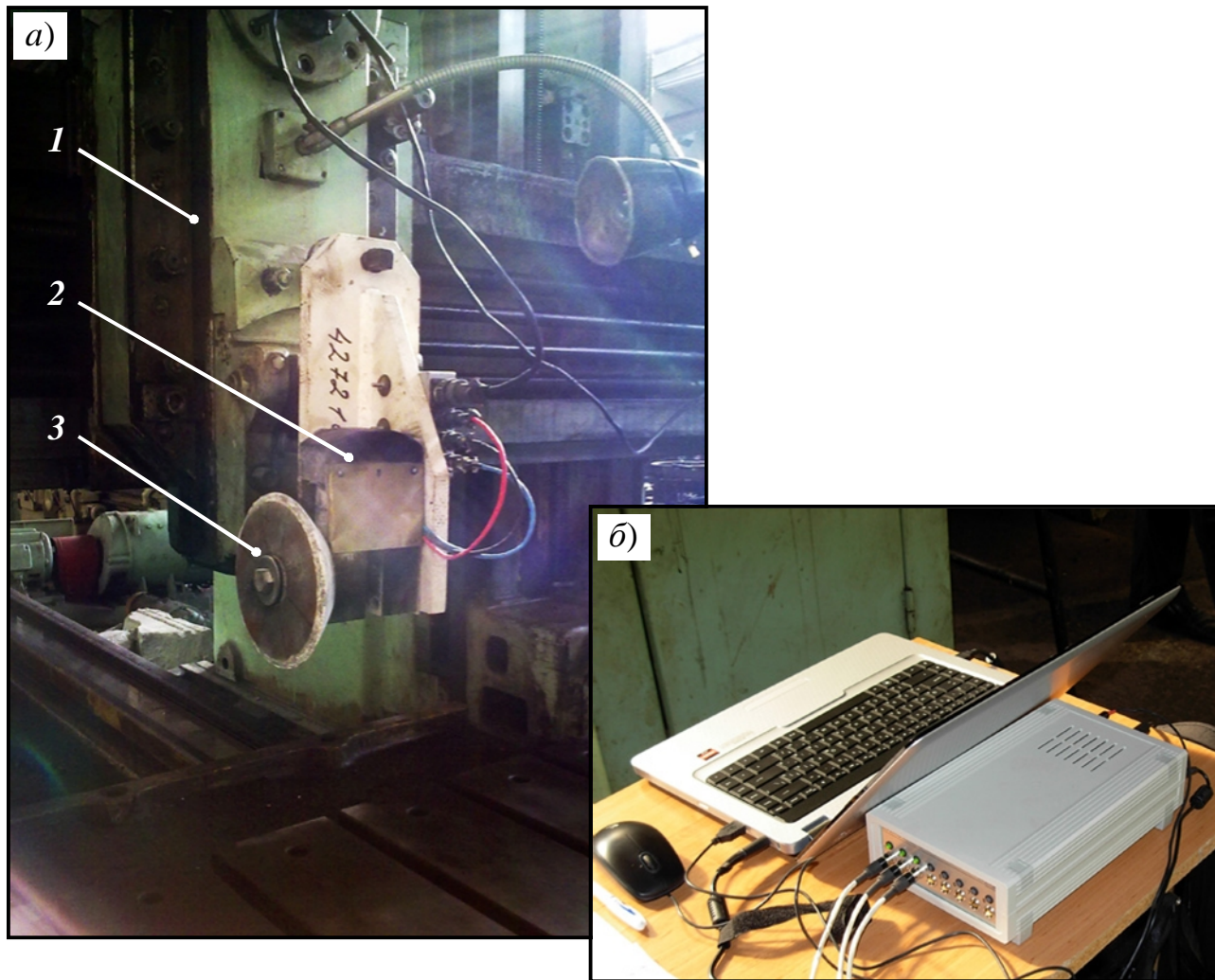


Рис. 1 – Стенд для проведения экспериментальных исследований (а) и регистрирующая аппаратура (б)

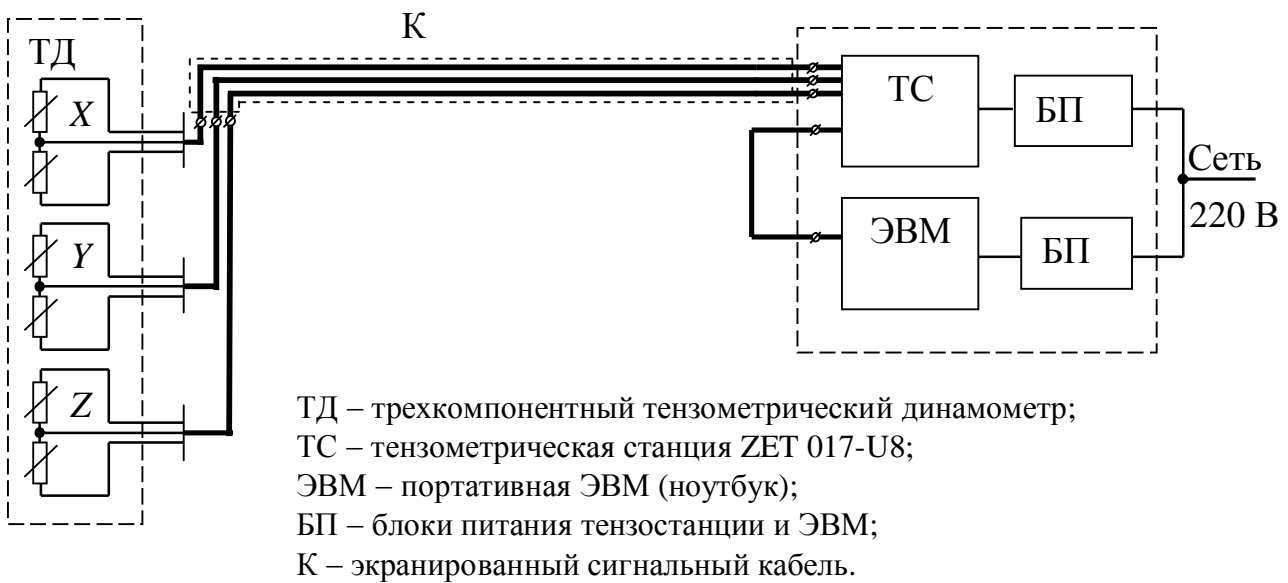


Рис. 2 – Измерительная схема, использовавшаяся при проведении экспериментальных исследований

Стендовый метод исследования процесса разрушения предполагает условия работы режущего инструмента, отличающиеся от условий его промышленной эксплуатации, что обусловило необходимость принятия дополнительных мер по обеспечению представительности условий эксперимента.

Режущий инструмент, установленный на исполнительном органе очистного комбайна, в процессе работы находится в сложном движении, являющемся суммой вращательного движения исполнительного органа, движения подачи комбайна на забой, отличающегося значительной неравномерностью, а также качания исполнительного органа в вертикальной плоскости [7]. Столь сложное пространственное движение резца оказывает влияние на режим разрушения, в особенности на толщину стружки, которая за оборот исполнительного органа меняется от нуля до своего максимального значения.

Стенд обеспечивает режущему инструменту прямолинейное возвратно-поступательное движение относительно разрушаемого материала. При этом параметры (толщина и ширина) сечения стружки в процессе резания остаются неизменными. Это позволяет получить четкие зависимости усилий резания от режимных параметров, а также исключить влияние последних при изучении зависимостей усилий резания от геометрических параметров вращающегося режущего инструмента. Влияние же быстрых изменений режима резания на формирование усилий на режущем инструменте при таком способе испытаний не может быть зафиксировано. Однако, поскольку уголь и порода являются хрупкими материалами, и поскольку скорость распространения деформаций (равная скорости звука в данной среде) значительно превышает скорость движения инструмента, по видимому, этим влиянием можно пренебречь. Об этом свидетельствует и опыт многочисленных исследований, проведенных в данной области как отечественными, так и зарубежными учеными [7]. Поэтому задачу определения усилий на режущем инструменте в процессе его работы можно свести к двум задачам: определению зависимости величины усилий, действующих на режущий инструмент, от режимных параметров его работы (что можно выполнить в вышеописанных стендовых условиях) и законов изменения этих параметров в реальных условиях эксплуатации инструмента.

В качестве модели разрушаемого массива используется блок песчаника. Для определения сопротивляемости блока резанию изготовлен измерительный резец, рис. 3 а, режущая часть которого иден-

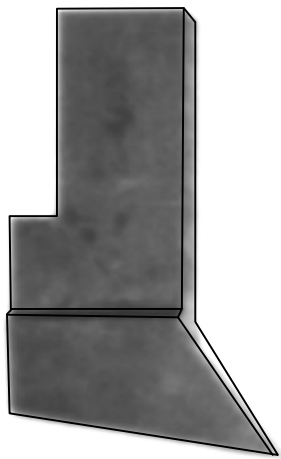
тична режущей части измерительного резца установок ДКС-1 и ДКС-2. Осуществляя резание с выровненной поверхности указанным резцом с различными толщинами стружки h_k , $k = \overline{1, K}$, и определяя при этом среднее усилие резания \overline{Z}_k , можем определить сопротивляемость породного блока резанию при резании:

$$\overline{A}_p = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{\overline{Z}_k}{h_k}; \quad (1)$$

В результате замеров получено среднее значение сопротивляемости породного блока резанию 767 кН/м, рис. 3 б).

Вращающейся режущий инструмент представляет собой диск с клиновидным профилем. Поскольку такой режущий инструмент промышленностью не выпускается, разработаны и изготовлены полно-размерные модели, отличающиеся от режущего инструмента с вращающейся частью, предназначенного для промышленного использования отсутствием армирования рабочих поверхностей твердосплавными вставками (так как износ режущего инструмента в процессе стендовых испытаний невелик).

а)



б)

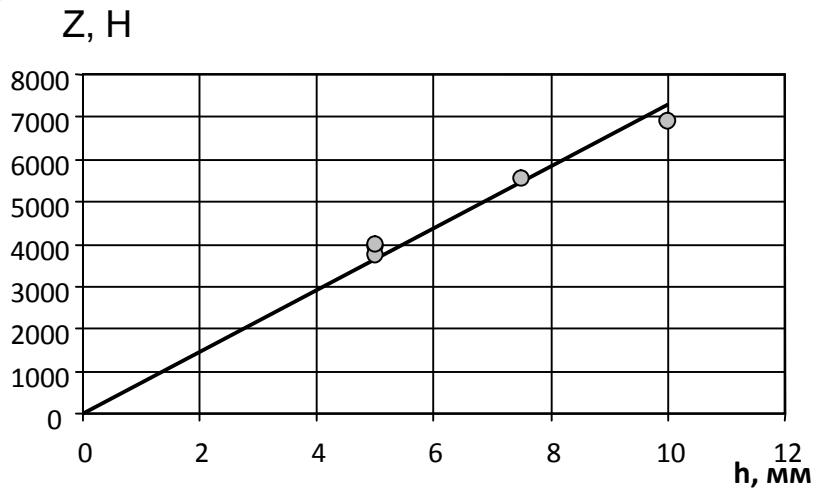


Рис. 3 – Определение сопротивляемости породного блока: измерительный резец (а) и график зависимости усилия резания от толщины стружки (б)

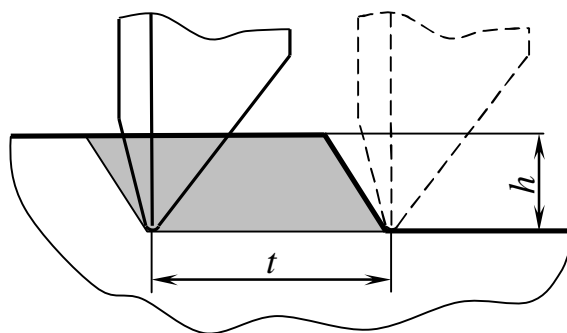


Рис. 4 – Сечение среза массива вращающимся режущим инструментом при имитации последовательной схемы резания

В ходе экспериментальных исследований осуществляется имитация воздействия на забой режущих инструментов, установленных на исполнительном органе по последовательной схеме резания. Для этого на предварительно выровненном породном блоке проводятся несколько последовательных резов одиночным вращающимся режущим инструментом с шагом t и толщиной стружки h . Получаемое таким образом сечение среза, рис. 4, идентично сечению среза при работе режущих инструментов, установленных на исполнительном органе очистного комбайна по последовательной схеме резания.

При проведении опытов фиксируются:

- мгновенные значения составляющих X , Y и Z усилий, формирующихся на инструменте с вращающейся режущей частью;
- средняя глубина борозды резания h_d ;
- суммарная длина $L_{ост}$ и средняя ширина $t_{ост}$ остатка межщелевого целика.

Мгновенные значения составляющих X , Y и Z усилий, формирующихся на инструменте с вращающейся режущей частью, измерялись непосредственно в процессе опыта и записывались в память ЭВМ в виде числового массива. Частота квантования – 5000 Гц.

После проведения опыта (реза) выполнялись замеры средней глубины борозды резания h_d , суммарной длины $L_{ост}$ и средней ширины $t_{ост}$ остатка межщелевого целика при помощи штангенциркуля.

Тензометрическая станция формирует массив чисел – мгновенных значений усилий, действующих на режущий инструмент

$$\{t_i, Y_{i,j}\}, i = (1; n_p), j = (1; n_M), \quad (2)$$

здесь t_j – значение времени в j -й точке квантования кривой; $Y_{i,j}$ – значение i -й случайной величины в момент времени t_j ; n_p – количество рядов данных; n_M – количество отсчетов.

При определении числовых статистических характеристик (математическое ожидание, дисперсия), корреляционном и спектральном анализе использовались расчетные зависимости [8].

Анализ характера усилий, формирующихся на инструменте с вращающейся режущей частью при разрушении породного блока, а также пример расчета автокорреляционной функции и спектральной плотности дисперсии составляющих усилия резания, представлены в статье [1].

Дальнейшая статистическая обработка результатов эксперимента осуществляется по методике [9] и включает:

1. Определение средних значений составляющих X , Y и Z усилия, формирующегося на инструменте с вращающейся режущей частью – выполняется путем осреднения массива данных, содержащего квантованные значения составляющих мгновенного усилия на инструменте за один опыт.

2. Группирование опытов, выполнявшихся при одинаковых значениях уровней факторов (толщина и ширина стружки, геометрия инструмента) с последующей статистической обработкой полученных выборок выходных величин – определением выборочного среднего, среднеквадратичного отклонения, доверительного интервала, проверкой однородности выборок и проверкой однородности дисперсий всех выборок, подлежащих в дальнейшем совместной обработке. Объем таких выборок, согласно плану эксперимента, равен шести.

Анализ влияния на составляющие X , Y и Z усилия, формирующегося на инструменте с вращающейся режущей частью, толщины h и ширины t среза, рис. 5 и 6, показал:

1. С увеличением глубины внедрения инструмента h все составляющие сил резания увеличиваются. При этом крутизна зависимости существенно зависит от ширины срезаемой стружки t – при ширине стружки $t = 10 \dots 20$ мм с увеличением h наблюдается существенный рост всех составляющих усилия на инструменте. При больших значениях ширины стружки эта зависимость становится менее заметной, а для шарошки диаметром 180 мм при ширине стружки $t = 30$ мм наблюдается обратная зависимость.

2. С увеличением ширины среза t составляющая Y (сила внедрения) увеличивается, а составляющие Z (сила перекатывания) и X (боковая сила) уменьшаются.

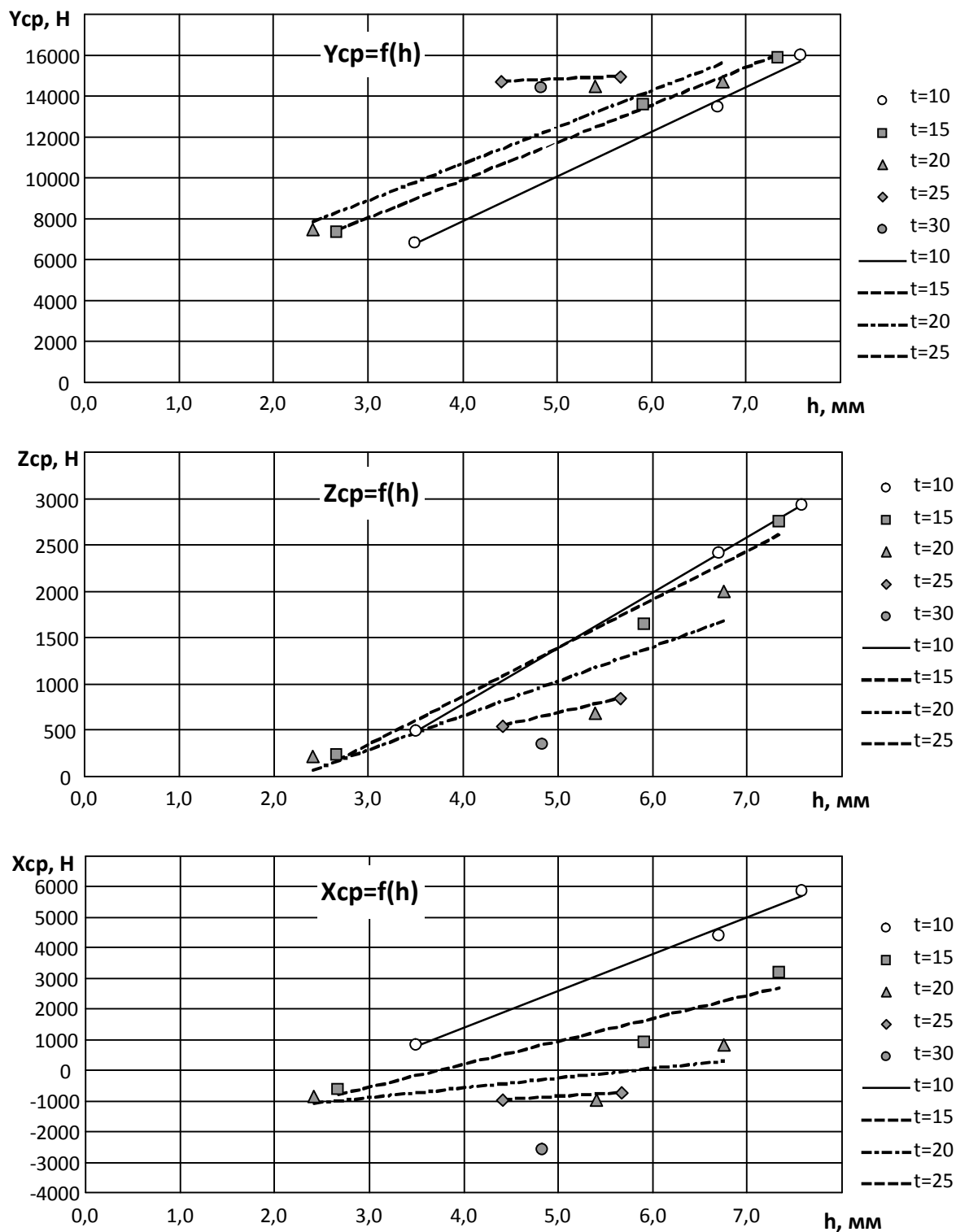


Рис. 5 – Зависимость осредненных составляющих X , Y и Z усилия, формирующегося на инструменте с вращающейся режущей частью, от толщины h и ширины t стружки для инструмента диаметром 130 мм

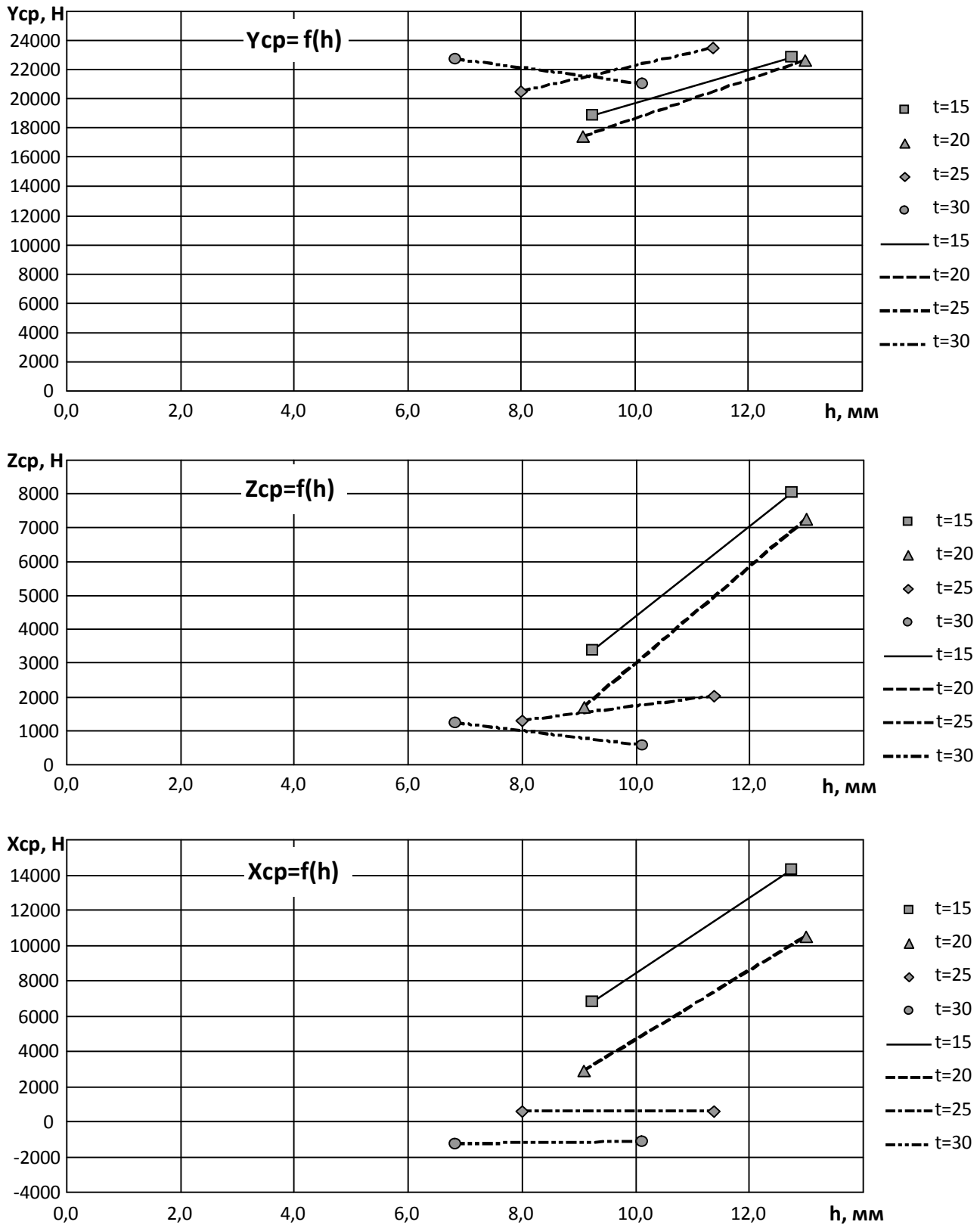


Рис. 6 – Зависимость осредненных составляющих X , Y и Z усилия, формирующегося на инструменте с вращающейся режущей частью, от толщины h и ширины t стружки для инструмента диаметром 180 мм

Объяснением этих фактов, судя по всему, является переход инструмента с увеличением ширины стружки из режима скалывания межщелевого целика в режим формирования борозды резания путем раздавливания материала.

Анализ результатов исследований в виде безразмерных величин показал наличие зависимостей отношения составляющих сил резания X/Y и Z/Y , т.е. тангенсов углов наклона вектора равнодействующей сил резания в плоскостях XoY и ZoY , от безразмерной ширины среза t/h , рис. 7, что также свидетельствует о переходе от скалывания межщелевого целика к раздавливанию массива с соответствующим увеличением силы внедрения Y и уменьшением силы перекатывания Z и боковой силы X , при увеличении безразмерной ширины среза t/h свыше 3.

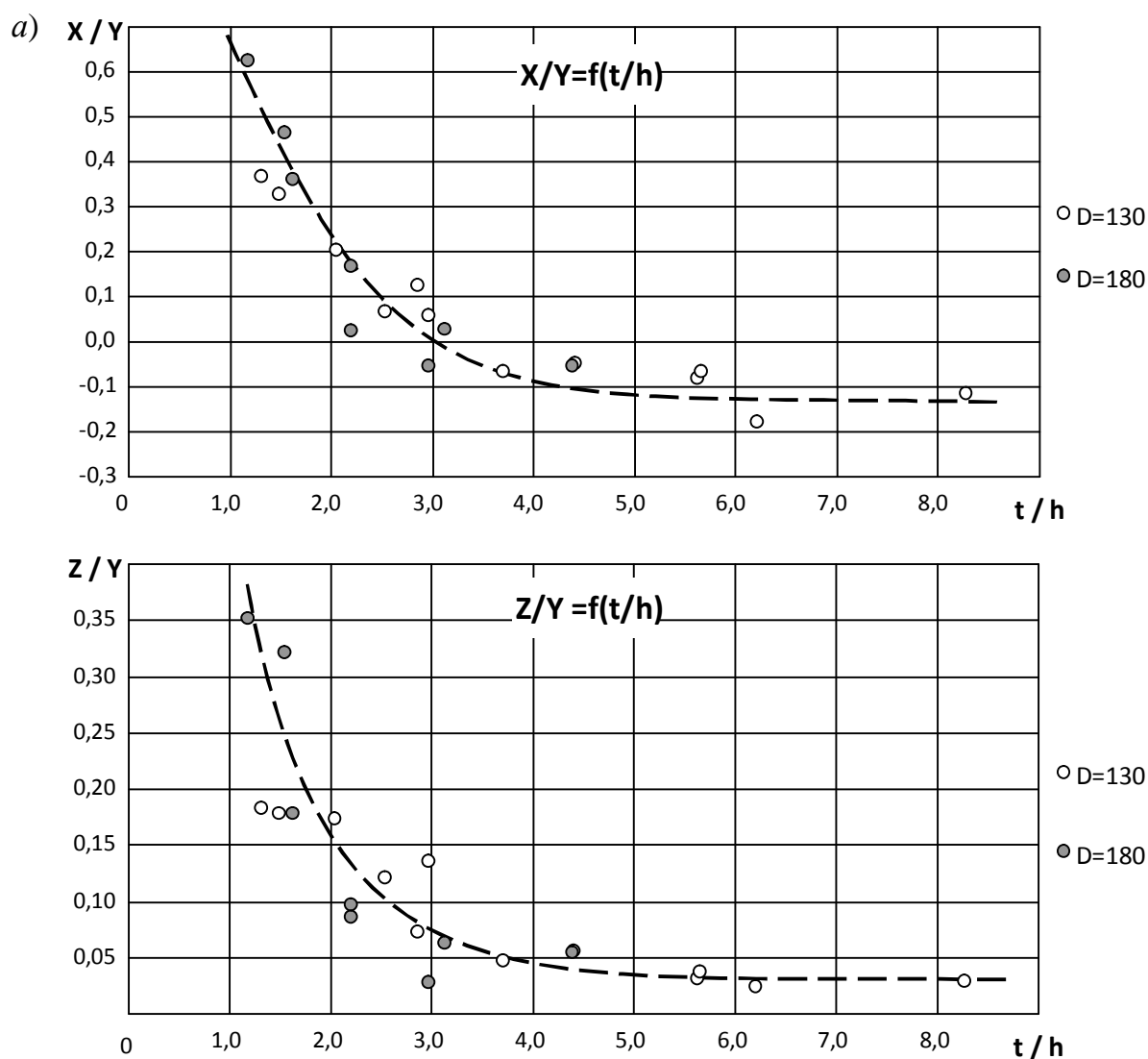


Рис. 7 – Зависимости отношения составляющих сил резания X/Y (а) и Z/Y (б) от безразмерной ширины среза t/h для инструментов диаметром 130 мм и 180 мм

Выводы и направление дальнейших исследований.

Стендовые исследования разрушения породного блока инструментом с вращающейся режущей частью показали работоспособность данного инструмента, подтвердили гипотезу о том, что разрушение крепких пород происходит «сколами». Установлено, что величина усилия на инструменте зависит от сопротивляемости породы резанию, диаметра инструмента, ширины и толщины срезаемой стружки, а направление действия этого усилия – только от соотношения ширины и толщины стружки. Последняя зависимость показывает наличие двух зон, соответствующих различным режимам работы инструмента – режиму скалывания межщелевого целика и режиму заблокированного резания путем раздавливания массива.

В дальнейшем планируется разработка математической модели усилий резания породы указанным инструментом, и на основе этой модели – методики определения рациональных значений параметров инструмента и режима его работы, обеспечивающих разрушение как угля, так и крепких пород.

Список литературы

1. Разрушение крепких горных пород режущим инструментом с вращающейся режущей частью / Н.Г. Бойко, О.В. Федоров, Е.Н. Бойко и др. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. – 2012. – Вип. 23(196). – С. 18-26.
2. Промышленные испытания режущего инструмента с вращающейся режущей частью / Н.Г. Бойко, Е.Н. Бойко, О.В. Федоров, В.А. Мельников // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. – 2010. – Вип. 20(176). – С. 3-11.
3. Влияние физико-механических свойств и анизотропии угля на процесс разрушения его дисковыми шарошками / А.Н. Коршунов, Ф.В. Корчуганов, Д.М. Дергунов, А.С. Шанин // Вопросы механизации горных работ. – 1972. – Вып. 46. – С. 7-10.
4. Герике Б.Л. Исследование возможности отработки трудноразрушаемых пластов / Б.Л. Герике, А.С. Шанин, А.Б. Раскин // Механизация горных работ. – Кемерово: КузПИ, 1975. – Вып. 75. – С. 48-53.
5. Коршунов А.Н. О расчете сил резания и подачи шнекового исполнительного органа узкозахватного комбайна, оснащенного дисковыми шарошками / А.Н. Коршунов, Ф.В. Корчуганов, В.Н. Вернер // Механизация горных работ. – 1973. – Вып. 63. – С. 22-28.
6. Трехкомпонентное тензометрическое устройство: а.с. 1041886 СССР / Я.И. Альшиц, Н.Г. Бойко, А.К. Семенченко и др. – Опубликовано в Б.И., 1983, Бюл. № 34.
7. Бойко Н.Г. Очистные комбайны для тонких пологих пластов / Н.Г. Бойко. – Донецк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2010. – 476 с.
8. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций / А.А. Свешников. – М.: Наука, 1968. – 464 с.
9. Тимошенко Г.М. Теория инженерного эксперимента / Г.М. Тимошенко, П.Ф. Зима. – К.: УМК ВО, 1991. – 124 с.

Стаття надійшла до редакції 07.10.2012

О.В. Федоров, В.О. Мельников. Донецький національний технічний університет

Вплив параметрів різання міцних гірських порід інструментом з різальною частиною, що обертається, на величину зусиль руйнування

У роботі наведені результати експериментального дослідження руйнування міцних гірських порід інструментом з різальною частиною, що обертається, а також описана методика проведення дослідження.

Стендові тензометричні дослідження руйнування породного блоку інструментом з різальною частиною, що обертається, виконувалися з метою встановити величину, напрям і характер зміни зусилля, що формується на обертовому ріжучому інструменті при руйнуванні пласта, а також вплив на величину цього зусилля геометричних і режимних параметрів. Дослідження показали працездатність даного інструменту, підтвердили гіпотезу про те, що руйнування міцних порід інструментом відбувається «відколами». Встановлено, що величина зусилля на інструменті залежить від опірності породи різанню, діаметра інструмента, ширини і товщини зрізаної стружки, а напрямок дії цього зусилля – тільки від співвідношення ширини і товщини стружки. Остання залежність показує наявність двох зон, що відповідають різним режимам роботи інструменту – режиму сколювання міжщільного цілика та режиму блокового різання шляхом роздавлювання масиву з відповідним збільшенням сили втискування і зменшенням сили перекочування і бічної сили.

Ключові слова: інструмент ріжучий, порода, руйнування, зусилля, вимірювання, стенд.

O. Fedorov, V. Melnikov. Donetsk National Technical University

Influence of the Parameters of Hard Rock Cutting Using A Tool with a Rotating Cutting Part on the Value of Destruction Effort.

The paper presents the results of an experimental study of hard rocks destruction using a tool with a rotating cutting part. Tensometric studies of rock destruction using a tool with a rotating cutting part were carried out to define the value, direction and nature of the change of the effort, which is formed on the rotating cutting tool in the process of seam destruction. Besides, we studied the influence of geometrical and mode parameters on the value of this effort.

Keywords: cutting tool, rock, destruction, efforts.