

УДК 662.210.587.621.572

**Шевелёва А.М.**, аспирант  
(ИТМ НАН Украины и ГКА Украины),  
**Тынына С.В.**, магистр  
(ИГТМ НАН Украины)

**ПЛОСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ  
ЗАЩИТЫ СТенок РАЗГОННОЙ ТРУБКИ СТРУЙНОГО  
ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ОТ ИЗНОСА**

**Шевельова Г.М.**, аспірант  
(ИТМ НАН України і ДКА України),  
**Тинина С.В.**, магістр  
(ИГТМ НАН України)

**ПЛОСКА МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАХИСТУ  
СТІНОК РОЗГІННОЇ ТРУБКИ СТРУМІННОГО ПОДРІБНЮВАЧА  
ВІД ЗНОСУ**

**Shevelyova A.M.**, Doctoral Student  
(ITM NAS of Ukraine & SSA of Ukraine),  
**Tynyna S.V.**, M.S. (Tech)  
(IGTM NAS of Ukraine)

**TWO-DIMENSIONAL MODEL FOR THE RESEARCH OF PROTECTION  
POSSIBILITY OF JET MILL ACCELERATING TUBE WALLS FROM  
WEAR**

**Аннотация.** Разработана плоская модель эжекторного узла газоструйного измельчителя, основанная на классической схеме эжектора. Принципиальным отличием от классической схемы является наличие канала подвода дополнительного энергоносителя. Подвод дополнительного газа осуществляется по периферии канала через щелевые отверстия в стенке. В модели предусмотрена возможность изменения конструктивных параметров элементов для исследования степени и характера влияния геометрических параметров потока на характер течения основного потока.

Разработаны этапы проведения исследований на плоской модели для определения характера износа стенок разгонной трубки, а также исследования методов его устранения.

Представлена схема и описание модели. Описанная модель позволит исследовать возможность защиты стенок разгонной трубки измельчителя от износа за счет подвода дополнительного энергоносителя.

**Ключевые слова:** плоская модель, износ, эжекторный узел, дополнительный подвод энергоносителя, отверстия подвода.

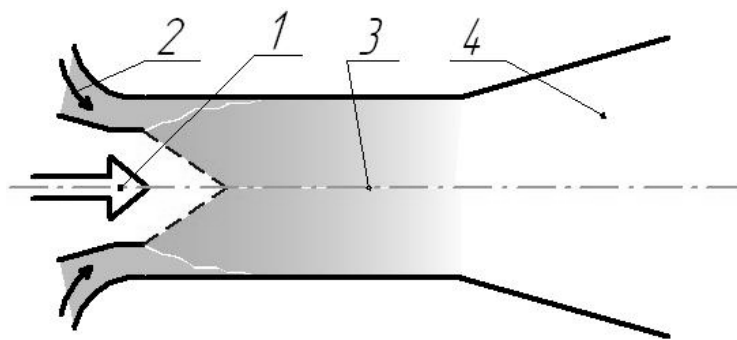
**Введение.** Струйные измельчители являются одним из наиболее перспективных видов помольных агрегатов, применяющихся в различных отраслях промышленности для тонкого и сверхтонкого измельчения материалов с различными физическими свойствами. Надежность конструкции, высокая удельная производительность, малый уровень шума при работе

обеспечивают высокую эффективность измельчения в струйных установках [1,2].

Однако применения данного типа измельчителей сдерживает повышенный износ элементов конструкции агрегата, в частности разгонных трубок, и, как следствие, загрязнение измельчаемого материала продуктами износа.

Целью данной работы является разработка плоской модели эжекторного узла струйного измельчителя для исследования методов защиты стенок разгонной трубки измельчителя от износа.

В качестве базовой компоновки модели используется классическая схема эжектора (с центральным подводом эжектирующего потока) [3], представленная на рисунке 1.



1 – сопло эжектирующего газа; 2 – сопло эжектируемого газа; 3 – камера смешения (разгонная трубка); 4 – диффузор

Рисунок 1 – Схема эжектора с центральным эжектирующим соплом

При данной конструкции эжектора происходит износ выходной части разгонного канала (рис.2 - 3).

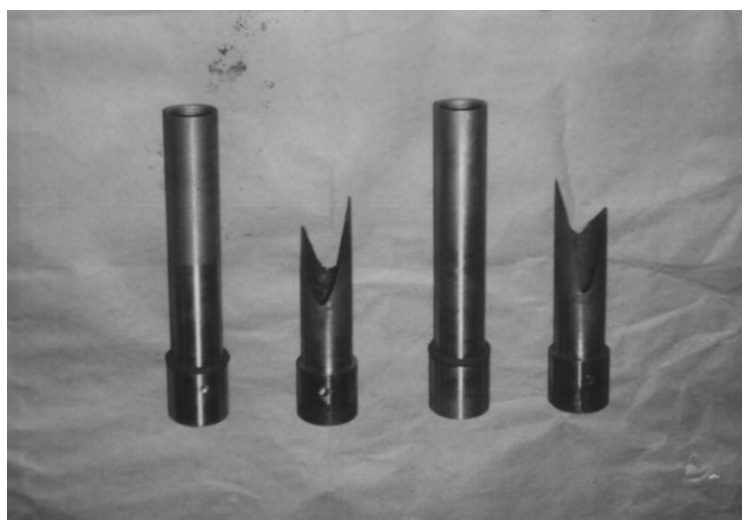
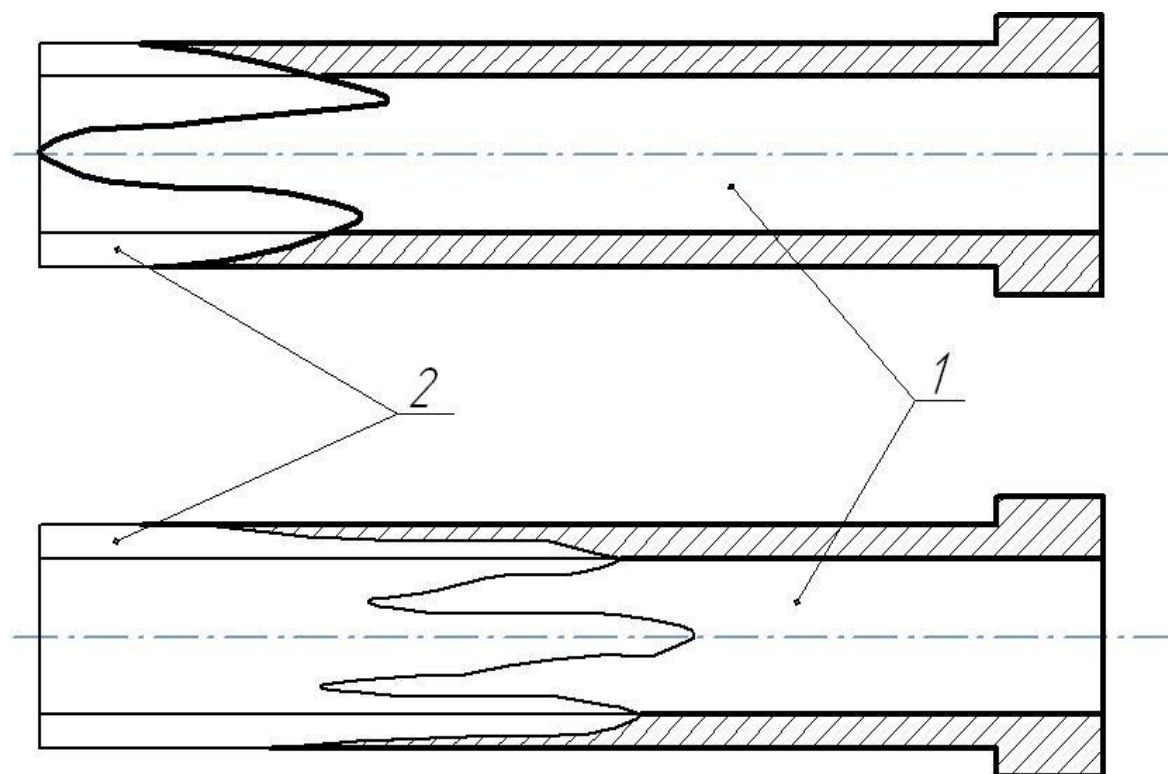


Рисунок 2 – Фото разгонных труб установки струйного измельчителя УСИ 20 до и после проведения испытаний по измельчению карбида кремния, карбида бора



1 – разгонная трубка; 2 – внешний вид износа разгонной трубки

Рисунок 3 – Схемы износа разгонных труб при воздействии двухфазных потоков

Это связано с воздействием частиц твердой фазы на стенки трубки, степень которого увеличивается в направлении движения потока [4].

Чтобы избежать данного воздействия, необходимо проводить мероприятия по защите разгонных труб. Одним из способов защиты является создание дополнительного внешнего потока [5, 6]. При данном способе защиты в периферийную часть разгонной трубки вводят дополнительный энергоноситель, тем самым создавая защитный поток, который препятствует воздействию основного потока на элементы конструкции.

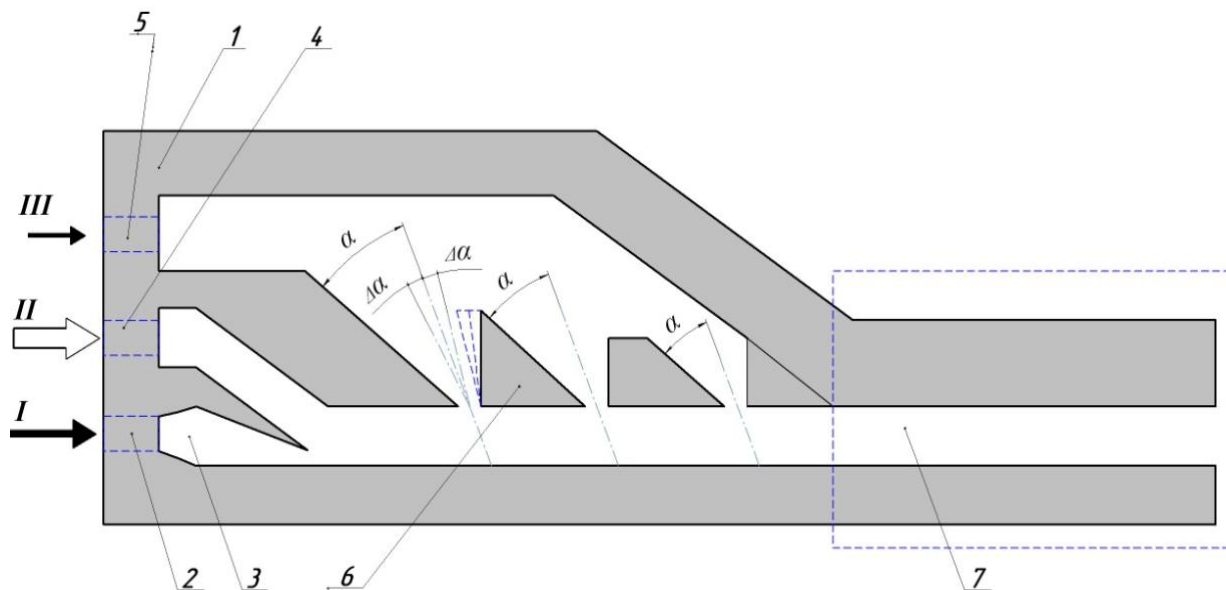
Для проведения исследований по защите разгонных трубок вышеуказанным способом была разработана плоская модель эжектора.

Схема плоской модели изображена на рисунке 4.

Модель представляет собой корпус 1, состоящий из канала подвода эжектирующего потока 2, сопла подвода высоконапорного газа 3, канала подвода твердой фазы 4, канала подвода дополнительного энергоносителя 5, включающего в себя щелевые отверстия, через которые подводится защитный поток, сменного элемента 6 и разгонного канала 7.

Экспериментальная модель обеспечивает возможность изменения исследуемых газодинамических и конструктивных параметров, а также режимов работы модели в заданных пределах. Так например, в модели предусмотрены сменные элементы 6, позволяющие варьировать геометрические параметры модели: количество щелевых отверстий, через которые осуществляется дополнительный подвод энергоносителя, и угол изменение направления движения дополни-

тельного энергоносителя.



1 – корпус модели; 2 – канал подвода эжектирующего газа; 3 – сопло эжектирующего газа; 4 – канал подвода помольного материала; 5 – канал подвода дополнительного энергоносителя (защитного потока); 6 – сменные элементы; 7 – разгонный (смесительный) канал; I – эжектирующий поток газа; II – эжектируемый поток; III – дополнительный (защитный) поток;  $\alpha$  – угол наклона подвода дополнительного потока;  $\Delta\alpha$  – изменение угла подвода

Рисунок 4 – Схема плоской модели эжекторного узла струйного измельчителя

Варьирование параметров позволяет исследовать степень влияния каждого из них на процесс течения в разгонном канале.

Параметры модели будут изменяться в следующих пределах: давление на входе в сопло эжектирующего газа варьируется от 0,2 до 0,6 МПа, давление на входе в канал подвода защитного газа – от 0,1 до 0,4 МПа, количество отверстий изменяется от 1 до 3, угол подвода варьируется в пределах 30-90°.

Цель экспериментальных исследований на плоской модели эжекторного узла струйного измельчителя состоит в определении конструктивных параметров и режимов работы эжектора, использование которых позволит обеспечить надежную защиту стенок разгонной трубки измельчителя от износа. Уменьшение износа предполагается добиться посредством дополнительного энергоносителя, подведенного по периферии канала через щелевые отверстия в стенке.

Главная задача дополнительного подвода газа состоит в том, чтобы «отодвинуть» основной поток, несущий твердые частицы, от стенки канала, не оказывая при этом на него существенного сопротивления, т. е. не снижая скорости потока.

Задачи, решаемые с помощью плоской модели эжекторного узла:

1. Определения мест и характера износа стенок разгонной трубки струйного измельчителя.

2. Исследования влияния геометрических параметров модели и газодинамических параметров дополнительного потока газа на основной поток.

3. Исследование возможности защиты стенок разгонной трубки измельчителя за счет дополнительного подвода энергоносителя. Выбор оптимальных газодинамических и конструктивных параметров процесса.

Проводящиеся на плоской модели исследования физических процессов, которые протекают в эжекторе, работающем в среде двухфазных газовых потоков, включают в себя несколько этапов [7].

Первый этап исследований состоит в определении места осаждения частиц на стенки разгонного канала модели при различных режимах работы эжектора в условиях стандартной схемы (без дополнительного подвода). Это позволит увидеть общую картину износа стенок разгонной трубки и, следовательно, определить, в какой части разгонного канала целесообразнее установить щелевые отверстия для защиты от воздействия частиц твердой фазы.

Следующий этап заключается в исследовании влияния параметров отверстий и газодинамических параметров потока, подведенного по внешней стенке, на основной поток, движущийся в разгонном канале [8, 9]. Согласно этому этапу исследований в разгонную трубку поступает газ из канала подвода дополнительного энергоносителя через отверстия во внешней стенке смесительного канала под углом  $\alpha$ . Угол  $\alpha$  и количество отверстий варьируются, чтобы определить характер воздействия данных параметров на параметры течения основного потока.

Заключительный этап состоит в сравнительном анализе первого и второго этапов, а также в выборе оптимальной конструкции для проведения дальнейших исследований.

**Выводы.** В работе представлены схема и описание плоской модели эжекторного узла струйного измельчителя, разработанной для исследования методов защиты стенок разгонной трубки измельчителя от износа. В качестве базовой компоновки модели использована схема эжектора с центральным подводом эжектирующего газа.

Принципиальным отличием от классической схемы является наличие канала дополнительного периферийного подвода газа. Подвод защитной струи газа по внешней стенке канала позволит «отвести» от стенки основной поток, тем самым осуществив защиту разгонной трубки от износа и предотвратив загрязнение измельчаемого материала продуктами износа.

Проведение исследований на плоской модели, оснащенной сменными элементами, даст возможность определить степень и характер влияния геометрических параметров элементов, а также газодинамических параметров на входе в канал подвода на характеристики основного потока, что позволит правильно организовать защиту разгонной трубки от износа.

Разработаны порядок и этапы проведения исследований на плоской модели, направленные на выявление характера износа и исследование методов его устранения.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Александров, В.Ю. Оптимальные эжекторы (теория и расчет) / В.Ю. Александров. – М.: Машиностроение, 2012. – 136 с.
2. Опыт эксплуатации экспериментальной газоструйной мельницы при получении тонкодисперсных порошков различного минерального сырья / Н.Д. Коваленко, Л.Ж. Горобец, А.Г. Ежов [и др.] // Труды V-го конгресса обогатителей стран СНГ. – М., 2005. – Т. 2. – С. 113-114.
3. Аркадов, Ю. К. Новые газовые эжекторы и эжекционные процессы / Ю.К. Аркадов. – М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2001. – 336 с.
4. The role of pair dispersion in turbulent flow / M.Bourgoin, N.T.Ouelette, H.Xu, J.Berg, E. Bodenschatz // Science, 2006. - Vol. 311. - pp. 835-838.
5. О возможности повышения надежности разгонных сопел помольной камеры противоточной струйной мельницы / Н.Д. Коваленко, Г.А. Стрельников, С.В. Тынына [и др.] // Труды V-го конгресса обогатителей стран СНГ. – М., 2005. – Т. 2. – С. 114-115.
6. Пат. № 31326 UA, МПК F04F 5/00, B02C 19/6, G01M 9/00(2006). Кольцевое эжекторное устройство/ С.В. Тынына, А.И.Астапов, А.Д. Чалпиц, Н.И.Тощая, Ю.С Яцук. – u200706582; заявлен. 12.06.2007; опубл. 10.04.2008, Бюл.№7–4с. : ил.
7. Бурькин, А.А. Теория эксперимента. Курс лекций / А.А.Бурькин. – Екатеринбург: УРФУ, 2012. – 163 с.
8. Шмыглевский, Ю.Д. Аналитические исследования динамики газа и жидкости / Ю.Д. Шмыглевский. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 232 с.
9. Давидсон, В.Е. Основы гидрогазодинамики в примерах и задачах: Учеб. пособие / В.Е. Давидсон. – Днепропетровск: Изд-во ДНУ, 2006. – 380 с.

## REFERENCES

1. Aleksandrov, V.Ju. (2012), *Optimal'nye jezhektory (teorija i raschet)* [Optimal ejectors (theory and calculation)], Mashinostroenie, Moscow, Russia.
2. Kovalenko, N.D., Gorobec, L.Zh., Ezhov, A.G., Strel'nikov, G.A., and Tynyna, S.V. (2005), “Operating experience of the experimental gas jet mill in obtaining fine powders of different minerals” *Trudy V Kongressa obogatitelej stran SNG*, Moscow, Vol. 2, pp. 113-114.
3. Arkadov, Ju. K. (2001), *Novye gazovye jezhektory i jezhekcionnye process* [New gas ejector and ejection processes], Izd-vo Fiziko-matematicheskoy literatury, Moscow, Russia.
4. Bourgoin, M., Ouelette, N.T., Xu, H., Berg, J. and Bodenschatz, E. (2006) „The role of pair dispersion in turbulent flow”, *Science*, vol. 311, pp. 835-838.
5. Kovalenko, N.D., Strel'nikov, G.A., Tynyna, S.V. and Astapov, A.I. (2005), “On the possibility of increasing the reliability of the booster nozzles mill chamber countercurrent jet mill” *Trudy V Kongressa obogatitelej stran SNG*, Moscow, Vol. 2, pp. 114-115.
6. Tynyna, S.V., Astapov, A.I., Chalpic, A.D., Tockaja, N.I. and Jacuk. Ju.S. (2007), *Kolcevoe ezhektornoe ustroystvo* [The annular ejector apparatus], State Register of Patent of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 31326.
7. Burykin, A.A. (2012), *Teorija jeksperimenta. Kurs lekcij* [The theory of the experiment. A course of lectures], URFU, Ekaterinburg, Russia.
8. Shmyglevskij, Ju.D. (1999), *Analiticheskie issledovanija dinamiki gaza i zhidkosti* [Analytical studies of the dynamics of gas and liquid], Editorial URSS, Moscow, Russia.
9. Davidson, V.E. (2006), *Osnovy gidrogazodinamiki v primerakh i zadachakh* [Fundamentals of fluid dynamics in examples and problems], Izd-vo DNU, Dnepropetrovsk, Ukraine.

## Об авторах

**Шевелёва Анна Михайловна**, аспирант, Институт технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины (ИТМ НАНУ и ГКАУ), Днепропетровск, Украина, [belgorod98@i.ua](mailto:belgorod98@i.ua).

**Тынына Сергей Владимирович**, младший научный сотрудник отдела Механики эластомерных конструкций горных машин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [otd-8-11@mail.ru](mailto:otd-8-11@mail.ru).

### About the authors

*Shevelyova Anna Mihaylovna*, Doctoral Student, Institute of Technical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine (ITM, NASU & SSAU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [belgorod98@i.ua](mailto:belgorod98@i.ua).

*Tynyna Sergey Vladimirovich*, Master of Science, Junior Researcher at the Department of Elastomeric Component Mechanics in Mining Machines, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [otd-8-11@mail.ru](mailto:otd-8-11@mail.ru).

**Анотація.** Розроблено плоску модель ежекторного вузла газоструминного подрібнювача, засновану на класичній схемі ежектора. Принциповою відмінністю від класичної схеми є наявність каналу підводу додаткового енергоносія. Підведення додаткового газу здійснюється по периферії каналу через щілинні отвори в стінці. У моделі передбачена можливість змінювання конструктивних параметрів елементів для дослідження степені й характеру впливу геометричних параметрів моделі на характер руху основного потоку.

Розроблено етапи проведення досліджень на плоскій моделі для визначення характеру зносу стінок розгінної трубки, а також дослідження методів його усунення.

Представлено схему й опис моделі. Описана модель дозволить досліджувати можливість захисту розгінної трубки подрібнювача від зносу за рахунок підведення додаткового енергоносія.

**Ключові слова:** плоска модель, знос, ежекторний вузол, додаткове підведення енергоносія, отвори підведення.

**Abstract.** A two-dimensional model of gas-jet mill ejector assembly has been developed basing on classical ejector scheme. Principal difference of this model from the classical scheme is a channel for supplying additional energy resource. Additional gas is supplied along the accelerating channel periphery through the slots in the wall. In this model, it is possible to modify design parameters of the elements in order to study extent and nature of impact of the flow geometrical parameters on the underlying stream character.

Stages have been established for researching, with the help of the two-dimensional model, character of the accelerating tube walls wear and methods of preventing it.

The article presents scheme and description of the model. The described model allows to study a possibility to protect the accelerating tube mill against the wear by supplying additional energy resource.

**Keywords:** two-dimensional model, wear, ejector assembly, an additional supply of energy resource, supplying slots.

*Стаття поступила в редакцію 30.09.2014*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.П. Надутым*

УДК 622.235.8

**Коновал С.В.**, аспирант  
(Государственный ВУЗ «ЧГТУ»)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ СРЕД ЗАРЯДАМИ ВВ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ**

**Коновал С.В.**, аспірант  
(Державний ВНЗ «ЧДТУ»)

## **МОДЕЛЮВАННЯ ВИБУХОВОГО РУЙНУВАННЯ ТВЕРДИХ СЕРЕДОВИЩ ЗАРЯДАМИ ВВ РІЗНОЇ ФОРМИ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕТИНУ**

**Konoval S.V.**, Doctoral Student  
(State H E I «CSTU»)

## **SIMULATION OF EXPLOSIVE BREAKING OF SOLID MEDIA BY EXPLOSIVE CHARGES WITH DIFFERENT CROSS-SECTION SHAPES**

**Аннотация.** Проведено исследование механизма хрупкого разрушения твердых сред и параметров волн напряжений от взрыва зарядов ВВ различной формы поперечного сечения. В лабораторных условиях для проведения экспериментальных исследований изготавливались песчано-цементные модели кубической формы при соотношении компонентов 1:1. В процессе изготовления моделей для оценки результатов дробления и параметров волн напряжений от взрыва заряда ВВ различной формы поперечного сечения в песчано-цементное тесто размещали вставки для формирования зарядной полости и датчики из ЦТС-19. Для разрушения моделей использовали ВВ типа Комполайт. Инициирование зарядов осуществляли нелинейной системой инициирования типа «Импульс», «Искра», NONEL. Результаты дробления оценивали методом ситового анализа. По полученным результатам построены зависимости распределения гранулометрического состава разрушенных моделей зарядами различной формы. Рассчитаны амплитудные значения максимальных волн напряжений в волне сжатия. Сформулированы выводы по результатам экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** твердая среда, взрывчатое вещество, скважинные заряды, взрыв, волны напряжений, разрушение.

**Введение.** Взрывные работы на горных предприятиях в значительной мере определяют эффективность последующих технологических процессов. Одним из методов управления действием взрыва, а, следовательно, и дроблением горных пород, является правильный выбор конструкции заряда ВВ. При этом важно, чтобы по высоте колонки удлиненного заряда ВВ осуществлялось неоднородное нагружение окружающей заряд среды, поскольку возрастает роль растягивающих и сдвигающих напряжений в процессе ее разрушения.

**Актуальность работы.** Полезное действие взрывных нагрузок в значительной степени зависит от условий передачи энергии разрушаемым средам.

Уменьшить потери энергии в ближней зоне на переизмельчение до пылевидных фракций и перераспределить ее на общий объем разрушения