

**РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН  
НАВОЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ  
НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ**

---

*На правах рукописи  
УДК 622.235*

Одилов Тухтасин Камолиддинович

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА**

на тему:

**«Совершенствование технологии ведения взрывных  
работ на месторождении Каракутан»**

Направление бакалавриата 5540200 – «Горное дело»

Работа рассмотрена и допускается к  
защите

Зав. кафедрой «Горное дело»:

\_\_\_\_\_ доц. Мислибоев И.Т.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010 г.

Научный руководитель:

\_\_\_\_\_ проф. Норов Ю.Д.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2010 г.

Одилов Т.К.

Совершенствование технологии ведения взрывных работ на месторождении Каракутан. Навоий, 2010 г.

Выпускная квалификационная научно-исследовательская работа посвящена исследованиям взрывного разрушения массива горных пород на сложноструктурном месторождении Каракутан. В результате проведенных теоретических исследований в работе разработана конструкция скважинного заряда ВВ с использованием кумулятивной воронки.

Ил. 22, список лит. 24 наим.

**Рецензенты:**

Начальник горного бюро Центральной научно-исследовательской лаборатории Навоийского горно-металлургического комбината, кандидат технических наук, доцент Назаров З.С.

Декан горного факультета Навоийского государственного горного института, кандидат педагогических наук, доцент Мислибоев И.Т.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАРАКУТАН .....	8
2. АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО УПРАВЛЕНИЮ ДЕЙСТВИЕМ ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ.....	16
Основные выводы .....	23
3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЗРЫВОМ .....	25
3.1. Общие сведения о кумуляции и кумулятивных зарядах .....	25
3.2. Механизм формирования кумулятивной струи. Возможные режимы кумуляции .....	29
3.3. Гидродинамическая теория кумуляции зарядов ВВ .....	38
3.4. Инженерный метод расчёта параметров кумулятивной струи ...	43
3.5. Определение глубины пробития пропластков.....	49
кумулятивной струей.....	49
3.5.1. Нестационарная теория .....	49
3.5.2. Стационарная теория.....	52
Основные выводы .....	53
4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ КАРАКУТАН .....	54
4.1. Разработка конструкции скважинного заряда ВВ с использованием кумулятивной воронки .....	54
4.2. Определение эффективных параметров кумулятивной воронки в конструкции скважинного заряда ВВ.....	56

Основные выводы .....	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	58
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	59

## ВВЕДЕНИЕ

В основных направлениях экономического развития Республики Узбекистан предусмотрен подъем экономики страны, главным образом, за счет ускорения научно-технического прогресса и широкого внедрения энергосберегающих технологий. Поиск эффективных путей снижения энергоемкости разрушения горных пород является одним из главных направлений современных научных исследований в горной науке.

При выполнении поставленной задачи особое место отводится горнодобывающей промышленности. Ведущую роль в общем технологическом комплексе процессов горного производства занимают взрывные работы.

Большой вклад в развитие теории разрушения и деформации горных пород взрывом внесли В.Е. Александров, Е.Г. Баранов, В.А. Боровиков, К.Е. Веницкий, О.Е. Власов, А.А. Вовк, Г.П. Демидюк, М.Ф. Друкованный, Э.И. Ефремов, Н.Ф. Кусов, Б.Н. Кутузов, Ф.И. Кучерявый, В.М. Комир, Д.М. Кушнарев, Л.Н. Марченко, Н.В. Мельников, Э.О. Миндели, П.С. Миронов, Г.И. Покровский, В.Р. Рахимов, Б.Р. Раимжанов, В.В. Ржевский, В.Н. Родионов, В.К. Рубцов, А.Ф. Суханов, В.Н. Сытенков, В.П. Тарасенко, Н.У. Турута, А.Н. Ханукаев, Е.И. Шемякин и др. В трудах этих ученых исследована физика процесса разрушения и установлены основные закономерности разрушения горных пород, а также влияние горно-технологических характеристик на эффективность ведения взрывных работ.

Широкий диапазон изменения физико-механических характеристик и многообразие горно-технологических свойств пород месторождения Каракутан требует индивидуального подхода к выбору рациональных технологических параметров горных работ для каждого разрабатываемого участка месторождения. В первую очередь это касается подготовки пород к выемке взрывным способом. Поэтому совершенствование технологии

ведения взрывных работ на месторождении Каракутан является актуальной научной задачей.

**Целью работы** является оптимизация параметров буровзрывных работ для условий месторождения Каракутан.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **основные задачи**:

- изучение горно-геологических и горно-технологических особенностей месторождения Каракутан;
- анализ литературных данных по управлению действием взрывного разрушения массива горных пород на сложноструктурных месторождениях;
- теоретические исследования разрушения массива сложноструктурных месторождений взрывом;
- разработка конструкции скважинного заряда ВВ с использованием кумулятивной воронки;
- определение эффективных параметров кумулятивной воронки в конструкции скважинного заряда ВВ.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

- на основе изучения гидродинамической теории кумуляции скважинных зарядов ВВ установлена максимальная скорость струи, зависящая от местной скорости звука и нормальной скорости струи;
- на основе гидродинамической теории кумуляции скважинных зарядов ВВ разработана методика инженерного расчета глубины проникновения кумулятивной струи с учетом сжимаемости.

**Практическая ценность работы.** Разработанная конструкция скважинного заряда ВВ с использованием кумулятивной воронки позволяет занизить подошву уступа и уменьшить расходы на буровзрывные работы. Определены эффективные параметры кумулятивной воронки в конструкции скважинного заряда ВВ.

**Апробация работы.** Основные положения научно-

исследовательской выпускной квалификационной работы докладывались на научно-технической конференции одаренных студентов и магистрантов на тему: «Фан ва техника тараққиётида ёшлар».

Автор выражает искреннюю благодарность и глубокую признательность научному руководителю – заместителю начальника по горным работам Центральной научно-исследовательской лаборатории Навоийского горно-металлургического комбината, доктору технических наук, профессору Норову Ю.Д.

## **1. КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАРАКУТАН**

Участок рудного тела 7 Зиаэтдинского рудного поля Можарской площади расположен в Пахтачинском районе Самаркандской области, географически – на северных склонах центральной части Зиаэтдинских гор.

Географические координаты:

- центра участка рудного тела 7 – с.ш. 40001'12", в.д. 65033'25";

Площадь участка рудного тела 7 – 0,15 км<sup>2</sup>. Участок рудного тела 7 находится внутри Можарской площади в ее центральной части на юге. Можарская площадь длиной 10 км и шириной 2,9 км находится на северных склонах Зиаэтдинских гор, между сухими руслами Кемине и Каракутан.

Рельеф участков гористый расчлененный с абсолютными отметками: 475-818,9 м, изрезан сетью тальвегов временных водотоков преимущественно северного направления. Наиболее протяженные тальвеги бывают слабо обводнены только во время ливневых осадков в зимне-весенний период. Селевые паводки очень редки с периодом 1 раз в 20-25 лет. В 6 км к северу протекает канал Нарпай, в 2 км – ЛЭП 220 кВ Бекабад - Навои, в 8 км проложен водовод Дамходжа - Бухара.

Климат района резко-континентальный с продолжительным жарким летом и короткой, но относительно холодной и малоснежной зимой. Регулярные метеонаблюдения в районе проектируемого опытно - промышленного карьера не проводились. Основные характеристики климатического режима района работ приняты по данным ближайшей метеостанции г. Навои.

Среднегодовая температура +14,50С. Лето жаркое и сухое со среднемесячной температурой +36 0С, максимальная в июне + 45.80С. Зимой морозы держатся непостоянно. Основная часть морозных дней

приходится на декабрь. Средняя температура января – 2,80С. Минимальная температура зимой – 28,20С.

Среднегодовое количество осадков – 199,8 мм причем лишь 38 мм выпадают в виде снега. Наиболее обильные осадки выпадают в декабре-феврале. В летние месяцы осадки практически не выпадают. Самый жаркий период года июль-август.

Район характеризуется ветрами, преимущественно восточного направления и обладает незначительными ветроэнергетическими ресурсами. Среднегодовая скорость ветра в приземном слое – 2,9 м/сек. Минимум скорости ветра - в летнее время, максимум – весной. Сильные ветры (15-25 м/сек) бывают в среднем 9 дней в году, обычно в период циклонических вторжений (весна-осень), преобладающее их направление западное, юго-западное. Число дней с сильными ветрами в отдельные годы редко превышают 2-3 дня в месяц, наибольшее – 25 дней – зарегистрировано в 1955 году.

Растительность района бедна. В основном преобладает травянистая (злаковые, полынь гармала) и кустарниковая (горький миндаль) растительность.

Зиаэтинское рудное поле расположено в Зиаэтинских горах на границе Зарафшано-Алайской и Зарафшано-Туркестанской структурно-формационных зон. Сложено оно метаморфизованными эффузивно-терригенными отложениями нижнего девона, дислоцированных в крупную Катармайскую антиклиналь ассиметричного строения, крылья которой осложнены складками более высоких порядков и многочисленными разновозрастными нарушениями преимущественно субширотного простирания. Довершне-каменноугольные нарушения субширотного простирания объединены в Каракутанскую зону глубинных разломов с ее тремя ветвями - Каракутанская, Кизбибинская, Северная – протяженностью 30 км и шириной 3 км, играющих ведущую роль в локализации золотого оруденения. Кроме того, в отложения нижнего

девона внедрены мелкие штоки, дайки магматических пород среднего и кислого составов. Наиболее полно сохранилось северное крыло антиклинали, южное – срезано Наврузалинским разломом и перекрыто слабо дислоцированными осадками мезокайнозоя (графическое приложение 3).

Все месторождения, обособленные рудные тела, рудопроявления размещены в пределах северного крыла Катармайской антиклинали, внутри субширотной крутопадающей Каракутанской зоны глубинных разломов.

Можарская площадь (29 кв.км) расположена на северных склонах Зиаэтдинских гор в пределах северного крыла Катармайской антиклинали, осложненного крутопадающими субширотными ветвями (Кизбибинская, Северная) Каракутанской зоны глубинных разломов и более поздними взбросо-сдвиговыми северо-западными и северо-восточными нарушениями. В метаморфизованные эффузивно-терригенные отложения нижнего девона, слагающих северное крыло антиклинали, внедрены мелкие штоки и дайки (Катармайский дайковый пояс) магматических пород среднего и кислого составов. По склонам гор на отложениях палеозоя повсеместно налегают четвертичные осадки голодностепского комплекса, а по руслам временных водотоков - сырдарьинского комплекса. Выявлено при поисках рудное тело 7.

Рудное тело 7 было выявлено поисковыми работами, на Можарской площади проведенными в 2000 - 2005 гг. По рудному телу 7 проведена детальная оценка, и выделены промышленные запасы золота по категориям С1 и С2.

По морфологическим особенностям рудное тело относится:  
по типу – к трещинно - жильному;  
по разновидности – к прожилково – жильно - кварцевым минерализован-ным зонам тектонических нарушений.

золоторудные тела в пределах тектонических минерализованных зон

визуально определяются при наличии следующих основных элементов внутреннего строения:

кварцевых жил или жильных тел кварцевых и кварц-сланцевых брекчий;

обязательного метасоматического и прожилкового окварцевания пород;

присутствие рассеянной вкрапленности пирита, арсенопирита, галенита, последний характерен для полиметаллической, наиболее продуктивной ассоциации.

Сульфидные минералы рудных тел в приповерхностных условиях окислены и визуально хорошо отделяют бурой окраской их от вмещающих боковых пород.

Несмотря на наличие ряда визуальных признаков в определении положения рудных тел, их промышленный контур проведен по результатам опробования с использованием параметров временных кондиций. В связи с этим контакты рудных тел с вмещающими породами условные и не всегда совпадают с геологическими и тектоническими границами пород.

Рудное тело 7 сосредоточено в тектонических нарушениях субширотного простирания Кизбибинской ветви.

Протяженность 7 тела по поверхности 362 м.

Сложность морфологии тел определяется их волнистостью, как по простиранию, так и по падению, неравномерной мощностью, где пережимы от 0,19 м чередуются с раздувами до 16,18 м. Средняя мощность 7 рудного тела – 2,8 м.

Простирание рудного тела 7 субширотное с падением на север, (азимут падения – 340 - 350) под углами – 50 - 900. Максимальная установленная глубина распространения оруденения по рудному телу 7 – 205 м (скв.74.).

Зиаэтинское рудное поле, как составная часть Зиаэтинских гор

относится к горному артезианскому бассейну, с гидрогеологической точки зрения представляет массив с распространением подземных вод в зонах трещиноватости разломов в палеозойских отложениях и со спорадическим развитием в тальвегах поровых грунтовых вод в верхнечетвертичных аллювиально-пролювиальных и пролювиальных отложениях, основным источником питания которых являются атмосферные осадки.

Можарская площадь поисков и рудное тело 7 расположено в пределах северного крыла Катармайской антиклинали, сложенного сланцами различного состава, покровами сильно измененных рассланцованных эффузивов основного состава, мелкими линзами и протяженным слоем мощностью 10 - 80 м мраморизованных доломитов. В породы палеозоя внедрены мелкие штоки биотит-роговообманковых гранодиоритов и многочисленные дайки Катармайского дайкового пояса биотит-роговообманковых гранодиорит - порфиров, кварцевых диоритовых порфиритов и лампрофиров. Крыло антиклинали осложнено мощной (около 3 км) Катармайской зоной глубинных разломов субширотного простирания и крутого (50 - 900) падения, более поздними разломами северо-восточного и северо-западного простирания с различными углами падения.

По условиям распространения, залегания, движения подземных вод на Можарской площади и участке рудного тела 7 выделяются следующие водоносные комплексы:

- водоносный комплекс современных четвертичных отложений сырдарьинского комплекса;
- водоносный комплекс отложений катармайской свиты;
- водоносный комплекс трещиноватых магматических пород (штоков и даек).

Водоносный комплекс современных четвертичных отложений сырдарьинского комплекса приурочен к аллювиальным, аллювиально-пролювиальным осадкам, сложенным плохо окатанным дресвяно-

щебневым материалом с супесью и глыбами, особенно в северной части площади, где имеется 9 родников и 15 колодцев. В колодцах глубина залегания вод колеблется от 1,61 м до 6,04 м и зависит от рельефа местности. Годовые колебания незначительные, амплитуда - 0,28 - 1,41 м. Водообильность от 0,02 до 2,0 л/сек, удельные расходы - 0,0004-0,0006 л/сек. Водопроницаемость характеризуется коэффициентом фильтрации - 0,07 - 0,7 м/сек. Вкус воды слабо соленый - 1,2-1,8 мг/л. Общая жесткость - 8,5-12,5 мг.экв/л. Состав воды сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный, натриево-кальциево-магниевый. Содержание урана от  $1,12 \cdot 10^{-4}$  до 0,011 мг/л, радия от  $1,19 \cdot 10^{-10}$  до  $6,32 \cdot 10^{-10}$  мг/л, тория от  $2,0 \cdot 10^{-6}$  до  $2,65 \cdot 10^{-3}$  мг/л. По содержанию радиоактивных элементов, мышьяка, никеля, селена воды всех родников и колодцев превышают нормы ПДК. Бактериологический анализ воды двух колодцев и родников, используемых для водопоя скота, характеризуются содержанием микробов – 1500-2500, кишечных палочек - 23 - 230, что значительно превышает нормы ПДК.

Питание подземных вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, их движение подчинено общему склону местности на север, северо-запад.

Водоносный комплекс эффузивно-терригенных отложений катармайской свиты характеризуется наиболее обводненными слоями карбонатных пород и менее – вмещающими их эффузивами и сланцами. Удельные расходы вод составляют – 0,05-1,8 л/сек. Коэффициент фильтрации от 5,0 до 7,0 м/сутки. По химическому составу воды в основном сульфатно-гидро-карбонатно-хлоридные, натриево-кальциево-магниевые. Минерализация - 0,4-1,7 г/л, общая жесткость - 4,5-12,5 мг.экв/л. Водородный показатель (рН) от 7,3 до 8,2. По отношению к бетону и к металлам являются агрессивными.

Водообильность сланцев и эффузивов меньше, чем карбонатных пород. В сланцах коэффициент фильтрации колеблется от 0,007 до 0,07

м/сутки, трещиноватых эффузивов от 0,7 до 7,0 м/сутки. В 6-ти скважинах, по которым проводились опытные работы, расход воды незначительный - 0,009 - 0,017 л/сек, удельный расход 0,00037 - 0,0009 л/сек. Минерализация - 0,7-1,8 мг/л. Общая жесткость - 7,1-9,5 мг.экв/л, водородный показатель (рН) - 7,7 - 8,0, агрессивность отсутствует. Качество воды сульфатно - гидрокарбонатно - хлоридное, натриево - кальциево - магниевое. Температура воды - 15 – 19 0С.

Водоносный комплекс трещиноватых магматических пород характеризуется водообильностью меньше, чем карбонатных пород, в зонах повышенной трещиноватости увеличивается. Коэффициент фильтрации - 0,7-7,0 м/сутки. Общая жесткость - 2,4 - 2,45 мг.экв/л. Водородный показатель (рН) - 7,0-8,3. Качество воды сульфатно – гидрокарбонатно - азотная, кальциево – натриево - магниевая. Содержание урана -  $2,11 \cdot 10^{-4}$  мг/л, радия -  $1,19 \cdot 10^{-10}$  мг/л, тория –  $1,46 \cdot 10^{-3}$  мг/л. По содержанию радиоактивных элементов и никеля воды превышают ПДК.

Гидрогеологические исследования показывают, что в пределах Можарской площади и на участке рудного тела 7 запасы подземных вод очень малы. По качеству они непригодны для хозяйственно - питьевых нужд. Единственным источником технического водоснабжения является канал Нарпай, протекающий в 6 км севернее, а питьевого водоснабжения - водовод Дамходжа - Бухара в 8,5 км севернее.

Рудное тела 7 подготовлено к промышленному освоению на основании следующего:

район Зиаэтдинского рудного поля покрыт Государственной геологической съемкой масштаба 1:25000;

на участке рудного тела 7 проведена инструментальная топографическая съемка масштабов 1:2000, все выработки привязаны инструментально;

геологическое строение участка рудного тела 7 изучено достаточно детально, проведен комплекс работ, включающий проходку канав,

расчисток, подземных горизонтальных выработок, бурение колонковых скважин, опробование, лабораторные и технологические исследования;

по сложности геологического строения участки отнесены к 4 группе;  
сеть разведочных пересечений для запасов категория С1 и С2 соответствует рекомендациям ГКЗ для 4 группы месторождений;

все выработки задокументированы по типовой форме и опробованы;  
обработка проб велась по разработанным схемам, исходя из величины коэффициента неравномерности руд - 0,7;

лабораторные работы включали определение по всем точечным, бороздовым, керновым и геохимическим пробам золота, по части проб серебра и 25 элементов; по шлифам и аншлифам изучен вещественный состав вмещающих пород и руд, по монолитам определены объемная масса и естественная влажность руд.

## **2. АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО УПРАВЛЕНИЮ ДЕЙСТВИЕМ ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ**

Для описания процесса управления взрывным разрушением разнопрочных горных пород на сложноструктурных месторождениях с применением скважинных зарядов ВВ необходимо особое внимание уделять выявлению физических особенностей их разрушения в зависимости от конкретных структурных и прочностных особенностей взрываемого массива горных пород.

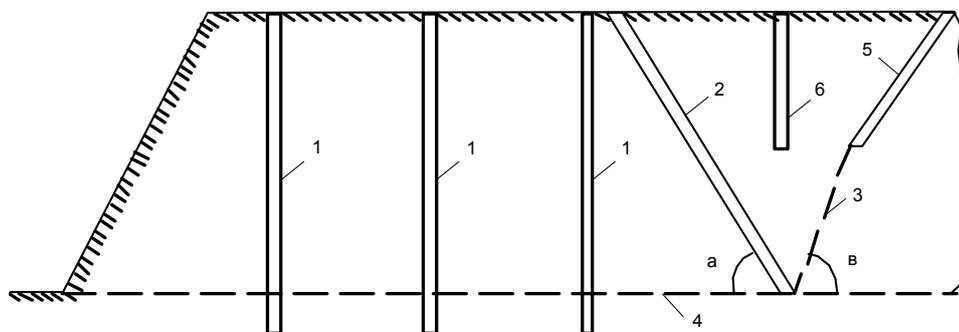
На основании теоретических и экспериментальных работ В.Н.Байкова, И.П.Бибика, Г.М.Ляхова, О.Н.Мальгина, В.Н. Мосинца, В.Н.Родионова, С.К.Рубцова, В.П. Смирнова, В.Н.Сытенкова, Б.П.Юматова и других ученых [1-3] исследовались закономерности управления взрывным разрушением горных пород на сложноструктурных месторождениях.

Исследованиями авторами работ [1-3] установлено, что важной областью управления полем напряжения в процессе разрушения массива горных пород взрывом является метод управления процессом детонации и давлением продуктов взрыва в зарядной камере, основанный на применении метода инициирования скважинного заряда ВВ.

Известен способ [4] отбойки горных пород на карьерах сложноструктурных месторождений, включающий бурение рядов скважин, бурение ряда скважин с обратным углом наклона по отношению к плоскости уступа до границы нижней бровки, зарядание скважин ВВ, забойку и взрывание с миллисекундным замедлением.

Известен также способ [5] включающий бурение вертикальных скважин – 1 с расположением их в несколько рядов, бурение последующего ряда скважин – 2 с обратным углом наклона по отношению

к плоскости – 3 откоса вновь образуемого уступа до границы нижней его бровки – 4, зарядание скважин ВВ, забойку, взрывание с миллисекундным замедлением, погрузку и транспортировку взорванной горной массы (рис. 2.1).



**Рис. 2.1. Способ отбойки горных пород на карьерах сложноструктурных месторождений**

С целью обеспечения качественного дробления горных пород, представленных сложноструктурным массивом, по контуру выполаживаемой части уступа бурят экранирующий ряд наклонных скважин - 5 на глубину не более половины высоты уступа, а между этим рядом скважин и предпоследним бурят вспомогательный ряд скважин - 6 на глубину, соответствующую дну экранирующих скважин - 5, причем после зарядания и забойки экранирующий, вспомогательный, предпоследний и последующий ряды скважин взрывают с замедлением по отношению друг к другу.

Главным недостатком вышеперечисленных способов отработки уступов на карьерах является то, что они не обеспечивают качественного дробления горных пород, представленных сложноструктурным массивом.

Известен способ [6] взрывного разрушения горных пород на сложноструктурных месторождениях с использованием встречного инициирования скважинных зарядов ВВ. Встречное инициирование осуществляется за счет установления патрона боевиков в нижней и

верхней частях торцов зарядов ВВ, позволяющей создать внутри скального прослоя высокую концентрацию напряжения при встрече детонационных волн.

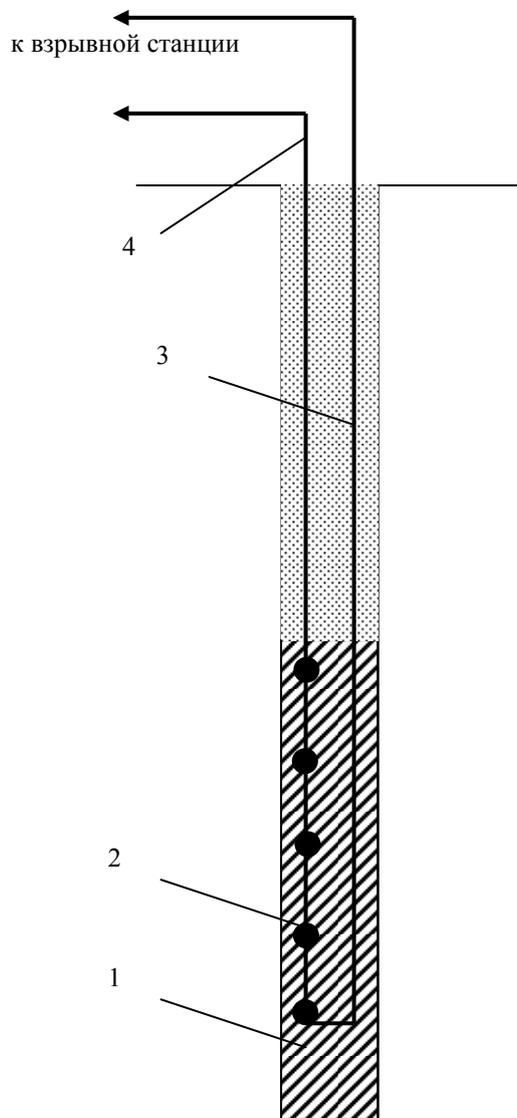
При разрушении горных пород на сложноструктурных месторождениях наиболее эффективно применение конструкции комбинированных скважинных зарядов ВВ. При этом высокоскоростное детонационное промышленное ВВ размещается непосредственно в самом пропластке, а низкоскоростное – над и под пластом. В связи с этим для достижения качественного дробления разработан способ [6] разрушения горных пород, при котором располагается наиболее мощное промышленное ВВ, состоящее из комбинированного скважинного заряда. Это даст возможность в пределах требуемого радиуса разрушения получить более высокую объемную энергию.

Известен способ [7] отбойки горных пород взрывом скважинных зарядов ВВ на карьерах сложноструктурных месторождений, включающий бурение вертикальных скважин, опускание в скважину промежуточных детонаторов с ДШ, состоящие из 3 и более тротиловых шашек марки Т-400 для обеспечения многоточечного инициирования скважинного заряда ВВ. Далее следует зарядание скважин, забойка и взрывание, схема которых приведена на рис. 2.2.

Вышеназванный способ прошел опытно-экспериментальную проверку на карьерах месторождения Учкудук. В результате опытно-промышленных взрывов установлено, что для более лучшего дробления целесообразно увеличение числа точек инициирования до 3-4. В этом случае давление на фронте волны напряжения увеличивается на 20-30%, а импульс взрыва на 20-40%. Установлено, что для пропластков с определенной мощностью можно рекомендовать следующие схемы инициирования:  $m \leq 0,5$  м – одностороннее;  $0,5 \text{ м} < m \leq 1,5$  м – двукратное;  $1,5 \text{ м} < m \leq 2,5$  м - трехкратное;  $m > 2,5$  м – четырехкратное.

Инициирование скважинного заряда ВВ в 3 и 4 точках

рекомендуется обеспечивать за счет использования маломощного ДШ марки ДШЭ-2 с тротиловой шашкой Т-400 в качестве нижнего боевика и размещения в заряде ВВ промежуточных боевиков из насыпного или патронированного аммонита 6ЖВ.



1 – заряд ВВ

3 – забойка

2 – боевик с электродетонаторами

4 - электропровод

**Рис. 2.2. Схема расположения боевиков в заряде и их взрывание при многоточечном инициировании**

Исследованиями также установлено, что в общем количестве заряжаемых на каждом блоке скважин с двукратным инициированием

составляет в среднем - 9,4%, с трехкратным – 2,5%, с четырехкратным – 2,1%.

Главным недостатком предложенного способа отбойки горных пород взрывом скважинных зарядов ВВ с многоточечным инициированием на карьерах сложноструктурных месторождений является сложность размещения в конструкции скважинных зарядов ВВ промежуточных детонаторов, состоящих из 3-х и более тротиловых шашек.

Анализ литературных данных, приведенных авторами работ [8-10] по рыхлению горных пород на сложноструктурных месторождениях показывают, что качество и себестоимость их дробления зависят от эффективных параметров буровзрывных работ, результаты которых приведены на рис. 2.3.

В результате статистической обработки данных авторами [8] получены следующие эмпирические закономерности изменения выхода негабаритной фракции в зависимости от параметров расположения сетки в диапазоне 16-40 м<sup>2</sup>:

$$n_{np+}(S) = C \cdot S^{15} \cdot e^{-0,01S}, \quad (2.1)$$

$$n_{np+}(S) = 4.7 \cdot S - 18, \quad (2.2)$$

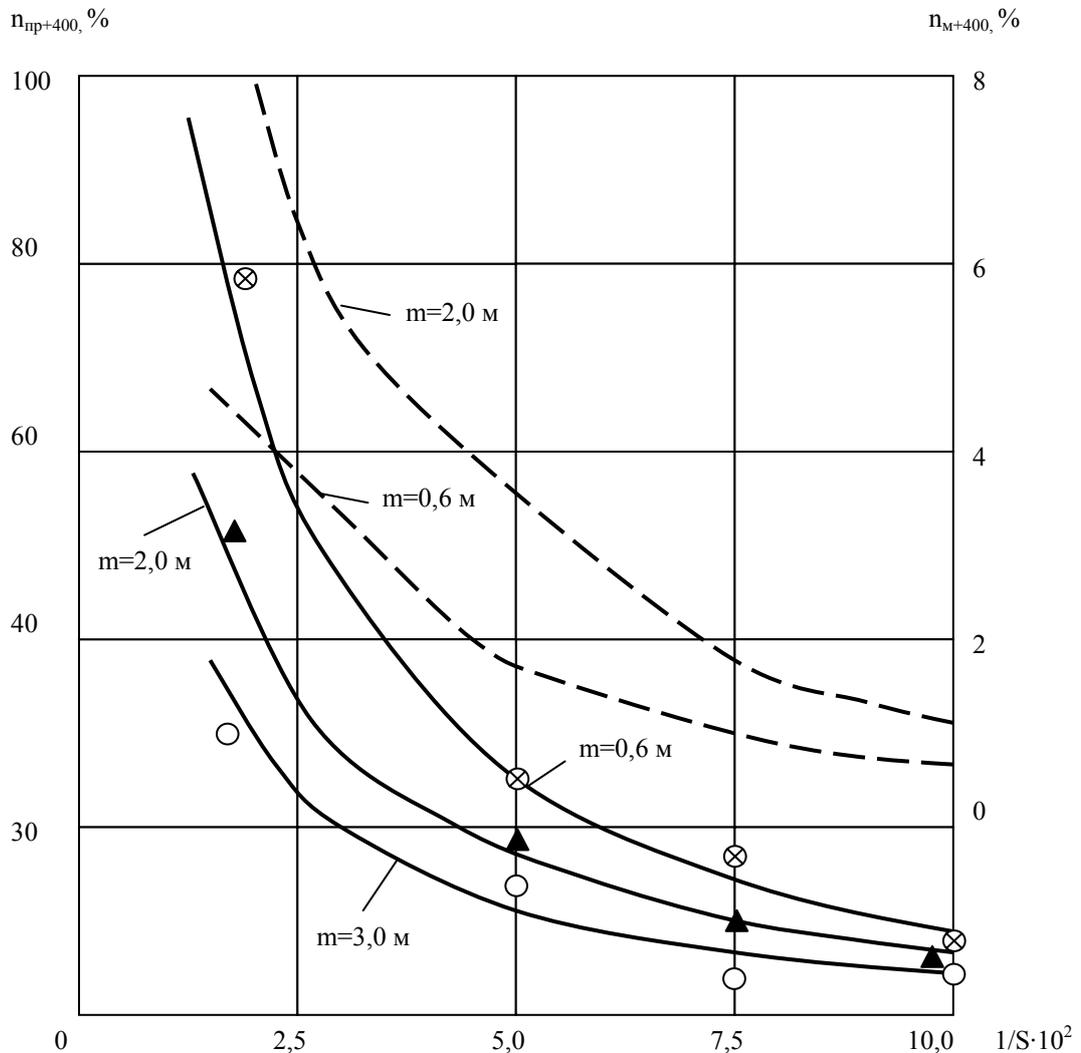
где С - коэффициент, учитывающий мощность пропластка и глубину его залегания.

Исследованиями установлено, что существенных изменений качества дробления в зависимости от длины заряда за счет расположения части заряда ВВ по сравнению с результатами взрывания зарядами ВВ, длина которых соответствовала мощности пропластка.

В результате опытно-промышленных взрывов, проведенных авторами работ [11-13] определены закономерности изменения массы скважинного заряда ВВ в зависимости от мощности разрушаемого массива, диаметра и плотности скважинного заряда ВВ, которая может быть выражена в виде:

$$Q = \frac{\pi d_c^2}{4} \cdot \rho_{\text{вв}} (m + 2), \quad (2.3)$$

где  $d_c$  - диаметр скважинного заряда ВВ, мм;  $\rho_{\text{вв}}$  - плотность заряжения, т/м<sup>3</sup>;  $m$  - мощность пропластка, м.

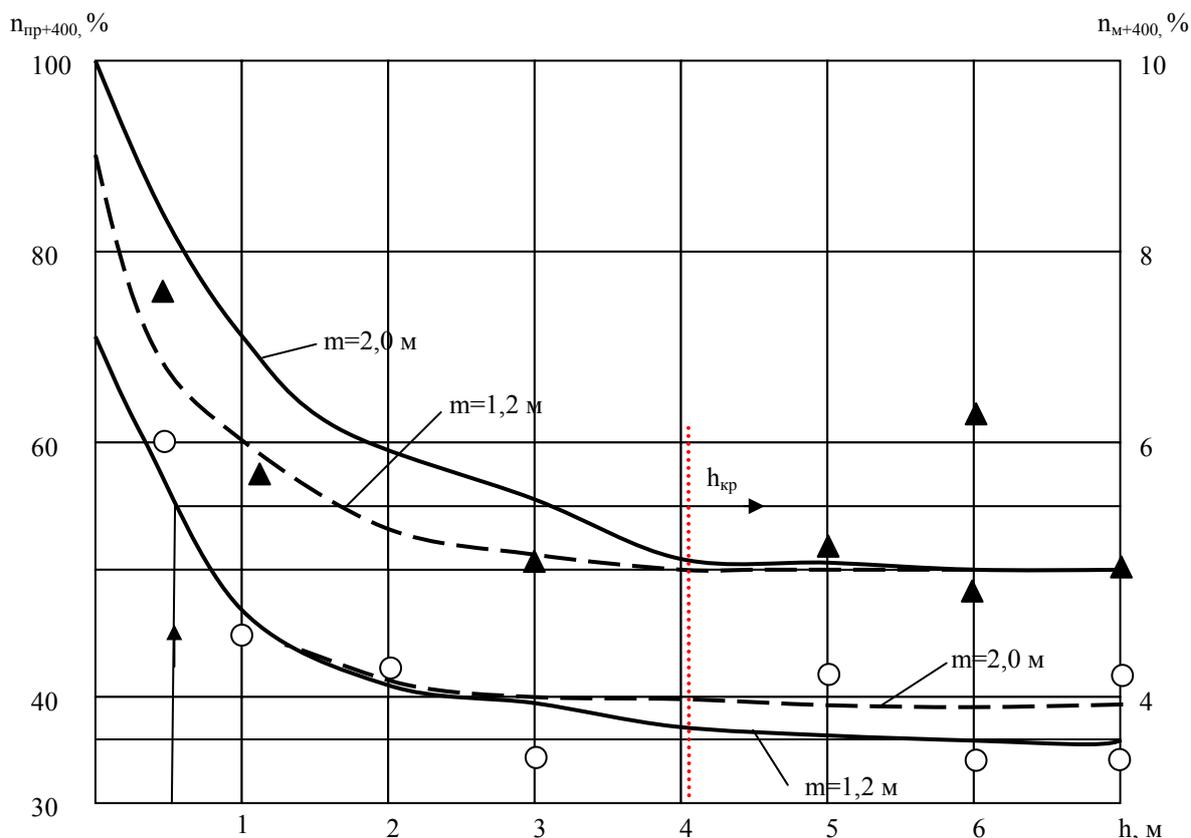


**Рис. 2.3. Закономерность изменения выхода негабарита из пропластка в зависимости от параметров расположения сетки скважин**

Полученная эмпирическая зависимость показывает, что превышение длины заряда ВВ сверх мощности практически не приводит к улучшению степени дробления. Полученная эмпирическая зависимость также показывает, что изменение параметров сетки расположения скважинных зарядов ВВ активно влияет на степень дробления и качество взрывной подготовки массива. Варьирование диаметра скважинного

заряда ВВ ограничивается техническими возможностями используемого бурового оборудования на карьере.

Анализ литературных данных, приведенных в работах [8,9] по рыхлению горных пород на сложноструктурных месторождениях показывают, что качество степени дробления зависят от мощности налегающих массивов горных пород, результаты которых приведены на рис. 2.4.



**Рис. 2.4. Закономерность изменения выхода негабарита в зависимости от мощности налегающих горных пород**

Установлено, что увеличение мощности налегающих горных пород в условиях взрывания ведет к постепенному возрастанию степени дробления, что снижает выход негабарита, результаты которых приведены на рис. 2.4.

Анализ литературных данных, приведенных авторами работ [13,14] по рыхлению горных пород на сложноструктурных месторождениях

показывают, что качество и себестоимость их дробления зависят от эффективных параметров буровзрывных работ.

По данным авторов [14] для рыхления горных пород при средней плотности заряжения  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup> и коэффициенте сближения скважинных зарядов ВВ, равной  $a/b=1,2$  расстояние между скважинными зарядами ВВ и расстояние между рядами рекомендованы следующие формулы расчета:

$$a = 30d \sqrt{\frac{1}{q} \cdot \frac{m+2}{H}}, \text{ м}; \quad (2.4)$$

$$b = 25d \sqrt{\frac{1}{q} \cdot \frac{m+2}{H}}, \text{ м}. \quad (2.5)$$

где  $a$  – расстояние между скважинными зарядами ВВ, м;  $b$  – расстояние между рядами скважинных зарядов ВВ, м.

Масса скважинного заряда ВВ рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{\pi d_c^2}{4} \cdot \rho_{\text{вв}} (m+2), \text{ кг}. \quad (2.6)$$

Исследованиями установлено, что разработанные авторами расчетные формулы по определению параметров взрывных работ скважинных зарядов не учли закономерности изменения высоты колонкового заряда ВВ в зависимости от мощности.

### Основные выводы

В результате выполненного анализа можно сделать следующие основные выводы:

1. Установлены закономерности разрушения горного массива взрывами скважинных зарядов ВВ в зависимости от природных (мощность, глубина залегания, крепость пород) и технологических (высота уступа, диаметр заряда ВВ, параметры сетки скважин и удельный расход ВВ, месторасположения заряда ВВ относительно пропластка, плотность заряжения скважин) факторов.

2. В работах ряда исследователей разработанные способы отбойки горных пород на карьерах сложноструктурных месторождений, включающие бурение рядов скважин, бурение ряда скважин с обратным углом наклона по отношению к плоскости уступа до границы нижней бровки, зарядание скважин ВВ, забойку и взрывание с миллисекундным замедлением, являются не эффективным. Главным недостатком этих способов отработки уступов на карьерах является то, что они не обеспечивают качественного дробления горных пород, представленных сложноструктурным массивом.

3. Установлено, что в способе встречного инициирования скважинного заряда ВВ главным недостатком является сложность технологии зарядки, так как для обеспечения встречи детонационных волн требуется более точное размещение двух боевиков по высоте скважины.

4. В работах ряда исследователей разработанный способ отбойки горных пород взрывом скважинных зарядов ВВ на карьерах сложноструктурных месторождений, включающий бурение вертикальных скважин, опускание в скважину промежуточных детонаторов с ДШ, состоящие из 3-х и более тротиловых шашек марки Т-400 для обеспечения многоточечного инициирования скважинного заряда ВВ, является сложным из-за размещения в конструкции скважинных зарядов ВВ нескольких промежуточных детонаторов.

5. Исследованиями установлено, что разработанные авторами расчетные формулы по определению параметров взрывных работ скважинных зарядов не учли закономерности изменения высоты колонкового заряда ВВ в зависимости от мощности. Исследованиями также установлено, что расчетные формулы по определению параметров взрывных работ разработаны с учетом расположения скважинных зарядов ВВ по поверхности взрываемого уступа, что не всегда дает желаемого эффекта.

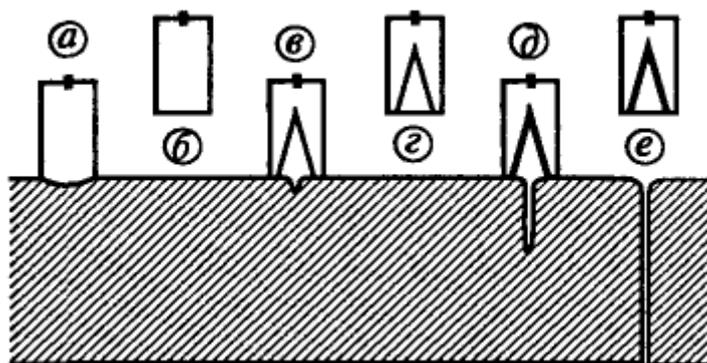
### 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЗРЫВОМ

#### 3.1. Общие сведения о кумуляции и кумулятивных зарядах

Термин «кумуляция» происходит от латинского *cumulo* — «скопление» или *sumulo* — «накапливаю» и дословно означает увеличение или усиление какого-либо эффекта за счет сложения или накопления нескольких однородных с ним эффектов [15]. Эффект концентрации энергии в определенном направлении или в определенном месте и является кумуляцией. Если при обычном взрыве энергия «разбрасывается» во все стороны, то при кумулятивном она «собирается» в некотором направлении. Кумулятивный эффект есть существенное повышение местного действия взрыва в одном направлении. Этот эффект получается при использовании зарядов, имеющих на одном из концов полость - кумулятивную выемку. Если такой заряд инициировать с противоположного конца, то эффект действия в направлении оси выемки оказывается значительно большим, чем при действии обычных зарядов. Если же к тому же поверхность кумулятивной выемки покрыть сравнительно тонкой металлической облицовкой, то пробивное действие такого заряда во много раз увеличится.

Сравнительный эффект действия обычных и кумулятивных зарядов (КЗ) проиллюстрирован на рис. 3.1. Такие простые опыты были впервые описаны в фундаментальных работах и впоследствии вошли во многие издания, посвященные вопросам кумуляции. При детонации заряда ВВ без кумулятивной выемки наблюдается неглубокая вмятина в материале преграды (а), при незначительном удалении заряда от преграды эффект воздействия на преграду резко снижается (б). Наличие кумулятивной выемки в заряде приводит к концентрации плотности энергии, что прояв-

ляется в увеличении глубины вмятины в материале преграды (в).



**Рис. 3.1. Схематическое изображение результатов взрывного воздействия обычных и кумулятивных зарядов на преграду**

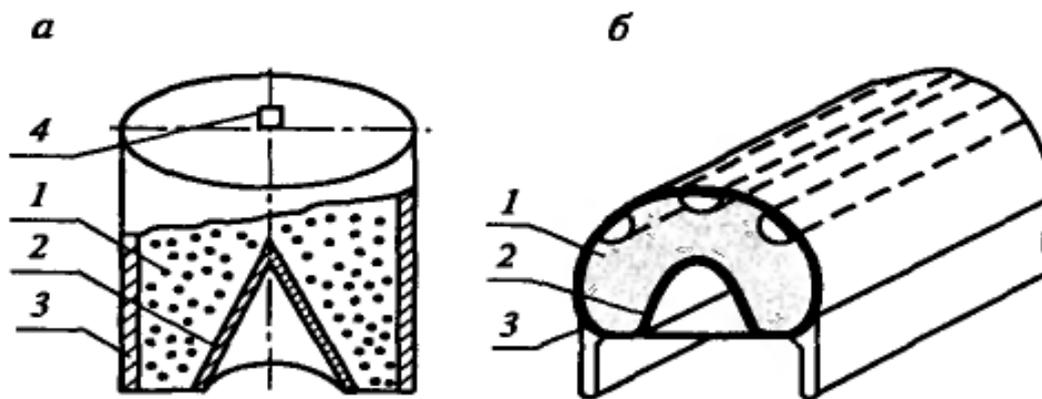
С удалением рассматриваемого КЗ от преграды эффект взрывного воздействия также резко снижается (г). Применение металлической облицовки в КЗ приводит к резкому увеличению пробивного действия, при этом глубина проникания кумулятивной струи (КС) существенно зависит и от расстояния КЗ от преграды (д, е). Различия в степени воздействия КЗ без облицовки кумулятивной выемки и с металлической облицовкой связаны с физическими особенностями реализуемых режимов пространственной концентрации плотности энергии. В первом случае эффект кумуляции проявляется в формировании газокумулятивной струи, представляющей собой высокоскоростной направленный поток продуктов взрыва (ПВ) повышенной плотности энергии (скорость такой струи может превышать даже вторую космическую скорость - 11,2 км/с). Однако такая газокумулятивная струя имеет относительно низкую эффективность действия по преграде, особенно на некотором удалении от нее, что обусловлено быстрым расширением газообразных ПВ вследствие неравномерного распределения по длине струи и наличия поперечных пульсаций в струе. Это приводит к радиальному рассеиванию и быстрому снижению плотности продуктов взрыва.

В присутствии металлической облицовки на поверхности выемки

наблюдается очень резкое усиление кумулятивного эффекта. Несмотря на это обстоятельство, в данном случае сохраняются те физические особенности, которые характерны для взрыва КЗ без облицовки выемки. Однако картина рассматриваемого явления при этом существенно меняется.

В результате экспериментальных и теоретических исследований было установлено, что усиление кумулятивного эффекта при наличии облицовки связано с весьма сильным и своеобразным перераспределением энергии между ПВ и материалом металлической облицовки, а также переходом части металла в кумулятивную струю. Основная часть энергии активной части КЗ «перекачивается» в металл облицовки так, что оказывается сконцентрированной в его тонком слое, который собственно и образует кумулятивную струю. Вследствие этого достигается значительно большая плотность энергии в струе, чем при подрыве заряда без облицовки выемки. Максимальное отношение диаметра выемки к диаметру струи для заряда без облицовки равно 4-5. Для заряда с металлической облицовкой выемки это отношение значительно больше, так как диаметр КС значительно меньше, чем для зарядов без облицовки.

Структурная характеристика КЗ обусловлена особенностями их конструктивного оформления и функциональным назначением. Различают сосредоточенные (осесимметричные) и удлиненные (плоские) кумулятивные заряды (рис. 3.2). Представленные схемы КЗ включают следующие структурные элементы: 1 — заряд ВВ с кумулятивной выемкой, 2 — облицовка кумулятивной выемки, 3 — корпус КЗ, 4 — средство инициирования.



**Рис. 3.2. Сосредоточенный (а) и удлиненный (б)кумулятивные заряды**

Наибольшее значение для практики имеет направленная осевая кумуляция. Этот вид кумуляции может быть реализован при подрыве осесимметричных зарядов (рис. 3.1, а), имеющих выемку той или иной формы (конус, полусфера, парабола, гипербола и т.п.). Такие КЗ с оптимального расстояния  $F_m = (1,5-6)d_0$  способны пробивать насквозь стальные преграды, или создавать в них каверны глубиной  $L = (5-6)d_0$  и более, со средним диаметром отверстия  $D_0 = (0,1-0,3)d_0$ , где  $d_0$  — внутренний диаметр кумулятивной облицовки (рис. 3.1, е).

Удлиненные КЗ с плоской симметрией (рис. 3.2б) имеют кумулятивную выемку, поперечное сечение которой может иметь форму угла (клиновидные облицовки), параболы, полуокружности (полуцилиндрические облицовки) и т.п. При взрыве они формируют пелену или кумулятивный «нож», который и разрезает преграда. Основными элементами удлиненного КЗ являются корпус 3, заряд взрывчатого вещества 1 и металлическая облицовка 2 кумулятивной выемки, причем последняя, как правило, формируется из заготовки совместно с корпусом. Чаще всего инициирование осуществляется с одного из открытых торцов заряда при расположении детонатора посередине слоя ВВ в любом удобном месте среза заряда, однако наиболее стабильные и лучшие результаты получаются при подводе инициирующего импульса непосредственно к ребру облицовки (установка

детонатора в вершине облицовки строго по оси заряда). При таком способе инициирования с торца, нож при своем формировании и действии как бы бежит вдоль заряда. При функционировании удлиненных КЗ глубина реза стальных преград с оптимального расстояния  $F_m = (0,5-1)d_k$  составляет  $L = (0,8-1)d_k$ , где  $d_k$  — внешний диаметр корпуса-трубки с полуцилиндрической медной облицовкой.

Область использования кумулятивного эффекта определяется конструктивными особенностями и функциональным назначением кумулятивных зарядов. Сосредоточенные осесимметричные КЗ используются в военной технике для пробития силовозащитных и бронированных целей; в кумулятивных перфораторах — для пробивания обсадных труб нефтяных, газовых, нагнетательных и водозаборных скважин; для образования шпуров под заряды ВВ в массивах материалов, негабаритах горных пород и металлических скрапах; для «прошивки» отверстий в плитах из различных материалов и т.п.. Удлиненные КЗ применяются для взрывной резки и разделки материалов и конструкций, разделения ступеней ракет, нерерубания свай, кабелей, тросов и т.п. В основе явления, известного как сварка взрывом, лежит частный случай плоской кумуляции, реализуемой при метании двух пластин под определенным углом друг к другу.

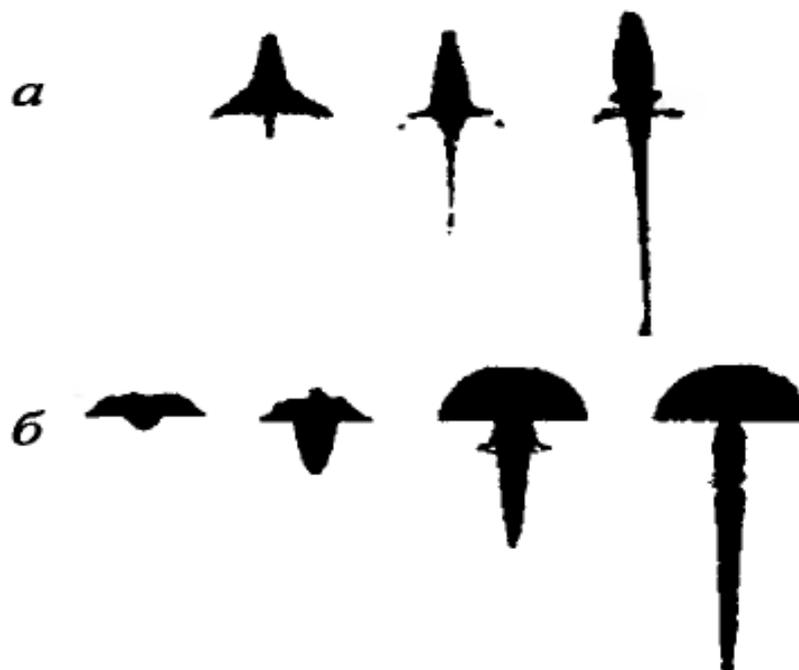
### **3.2. Механизм формирования кумулятивной струи. Возможные режимы кумуляции**

Совместные теоретические и экспериментальные методы исследований позволяют получить представление о процессе образования кумулятивной струи [15]. Всесторонними экспериментальными исследованиями, применяя методы мгновенной рентгенографии, искровой фотографии и т.п., удалось установить природу КС и механизм ее

формирования. Особенно плодотворным при исследовании явления кумуляции в присутствии металлической облицовки оказался метод мгновенной рентгенографии.

Наиболее подробно процесс изучен на осесимметричных зарядах с конической и полусферической облицовками выемок. В итоге этих исследований было установлено, что металлическая облицовка под воздействием ПВ обжимается, в результате чего ее элементы последовательно захлопываются с образованием тонкой металлической струи, обладающей большой скоростью.

Общая картина процесса деформирования металлической облицовки и образования КС показана на двух сериях рентгеновских снимков для конической (а) и полусферической (б) форм облицовок (рис. 3.3). Они фиксируют начальный момент процесса обжатия облицовки и движения струи во времени. При этом давление продуктов детонации на облицовку имеет порядок 20-60 ГПа, в зависимости от материала облицовки, угла подхода фронта детонационной волны (ДВ) к поверхности облицовки и характеристик ВВ, а скорость мотаемой тонкой металлической струи имеет порядок 1-3 км/с. В результате столь сильного и быстрого обжатия облицовки, при последовательном деформировании и захлопывании отдельных ее элементов, образуется компактная монолитная масса — пест и формируется тонкая металлическая струя, скорость которой может в несколько раз превышать скорость обжатия металлической облицовки. Образованию остающегося песта можно в значительной мере воспрепятствовать, формируя слой облицовки, образующий пест, из материала, который под воздействием ПВ может сгорать или испаряться (специальные биметаллические облицовки).



**Рис. 3.3. Рентгенограммы начальной стадии формирования КС зарядами с конической (а) и полусферической (б) облицовками**

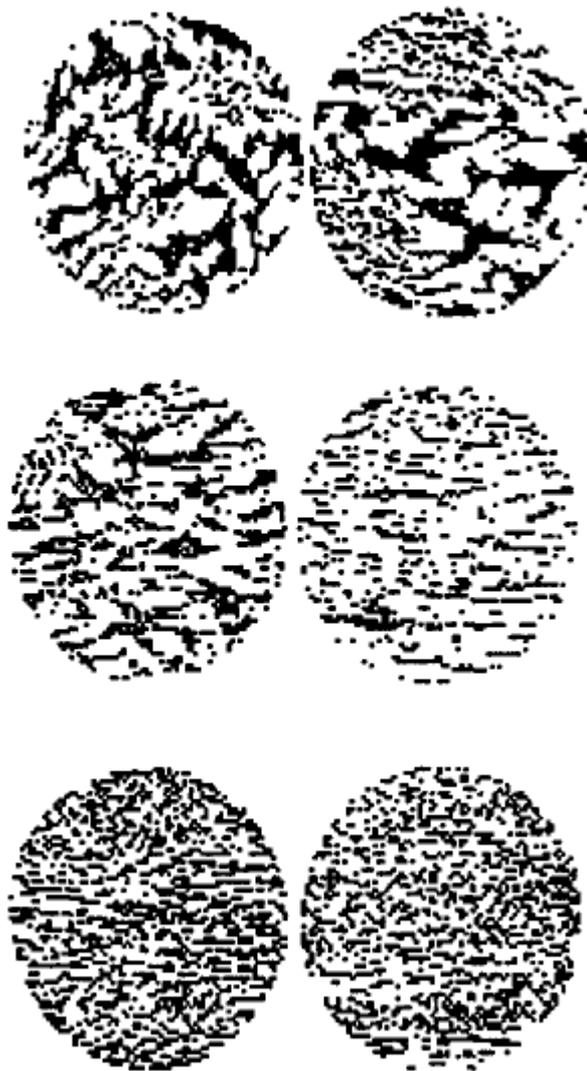
Картина формирования КС при обжати металлической конической облицовки осесимметричного КЗ схематично показана на рис. 3.4. Фронт ДВ 2 в заряде ВВ 3 начинает распространяться от детонатора 1 со скоростью детонации  $D$ . Образующиеся продукты детонации (ПД) взаимодействуют с облицовкой 4 кумулятивной выемки. При последовательном схлопывании облицовки образуется пест 5 и кумулятивная струя 6.



**Рис. 3.4. Формирование кумулятивной струи при обжати металлической облицовки осесимметричного кумулятивного заряда**

Результаты обработки рентгенограмм показывают, что, в случае использования конических медных облицовок, в струю переходит в среднем 10-20% массы облицовки, скорость головных участков струи составляет 9-10 км/с, а хвостовых 2-2,5 км/с. Скорость струи от полусферической облицовки приблизительно в два раза меньше, но масса ее в три-четыре раза больше, так что общая энергия струи от полусферической облицовки сравнима с энергией струи от конуса такой же

При обжатии облицовки толщина ее увеличивается, а энергия концентрируется преимущественно в ее внутреннем слое. Механизм образования КС связан с течением материала внутренних слоев облицовки, что является следствием высокоскоростного соударения ее элементов в момент захлопывания, при этом струя как бы «выжимается» из металлической облицовки в процессе осевого охлопывания ее внутренних слоев. Подтверждением того, что КС связана с течением металла, кроме приведенных результатов, могут служить следующие данные. Если на внутреннюю поверхность стального конуса гальваническим путем нанести слой меди толщиной 0,05 мм, то обнаружить в песте какие-либо следы меди не удастся. Если же слой меди нанести на наружную поверхность конуса, то в песте обнаруживаются полосы окисленной меди. При обследовании песта вдоль его оси удастся обнаружить узкий канал, наличие которого является показателем того, что внутренние слои металла имеют резко повышенные скорости по сравнению с наружными. О характере деформации металла облицовки в процессе ее обжатия можно также судить по результатам металлографических исследований пестов в сечениях, различно удаленных от оси. На всех фотографиях микроструктур (рис. 3.5) легко обнаруживается ориентация и вытягивание структурных составляющих в осевом направлении. Ориентация и вытягивание увеличиваются по мере приближения соответствующих слоев к оси.



**Рис. 3.5. Микрофотография шлифов песта (латунь)**

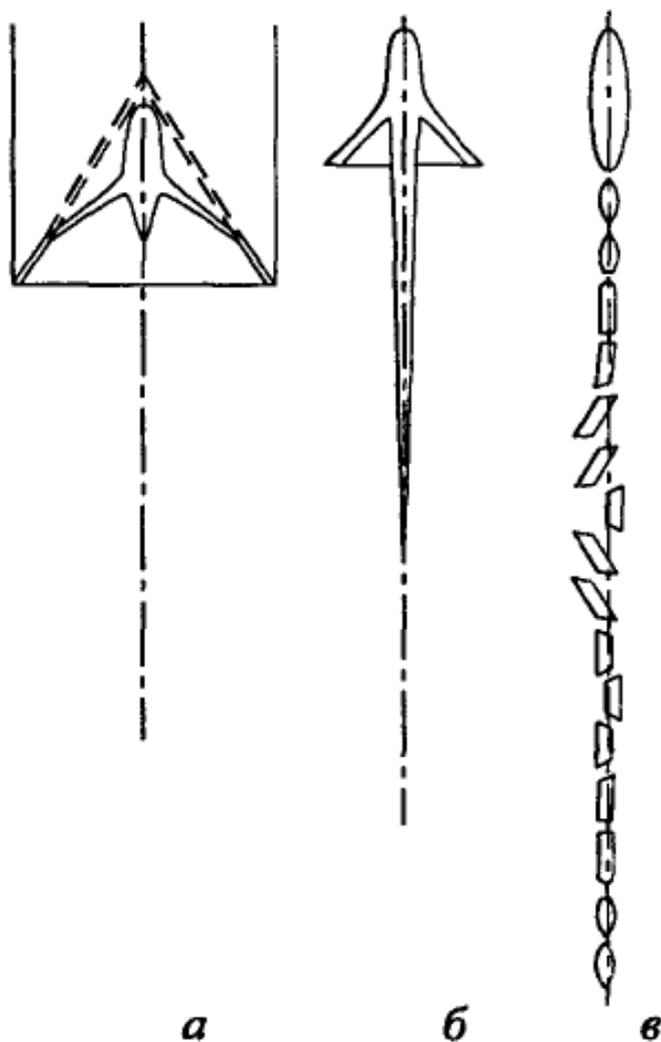
Как следует из рентгенограмм, в течение некоторого времени пест и струя составляют единое целое, однако их движение совершается с различными скоростями. Пест движется сравнительно медленно (со скоростью 0,5-1 км/с). Струя, наоборот, обладает весьма большой скоростью поступательного движения. Однако скорость эта различна в различных частях вдоль струи: головная часть струи имеет наибольшую скорость, а скорость хвостовой части близка к скорости песта. В зависимости от формы и природы металла облицовки, свойств ВВ заряда и других факторов, скорость головной части струи может изменяться в широких пределах. Например, для алюминиевой облицовки

гиперболической формы скорость головной части достигает 11 км/с.

В реальных условиях различные участки формируемой КС движутся с различными скоростями, при этом скорость вдоль струи существенно возрастает от хвостовых к головным ее элементам. Различие в скоростях движения элементов КС может достигать 5-6 км/с и более, значения начальных градиентов скорости —  $10^4$ - $10^5$  с<sup>-1</sup>, что приводит к удлинению (растяжению) струи при ее движении в свободном пространстве и затем к ее распаду на конечное число отдельных фрагментов, в дальнейшем не изменяющих своей длины.

Картина растяжения и последующего разрыва КС многостадийна. На рис. 3.6 схематично показаны основные стадии образования (а), растяжения (б) и фрагментации (в) в свободном полете кумулятивной струи. При этом элементы фрагментированной КС в процессе движения под воздействием внешних возмущений и с учетом технологических факторов могут отклоняться от оси в пределах некоторого телесного угла разлета, изменяющегося в зависимости от точности изготовления КЗ в пределах 0,5-1,5°.

На основании изложенного можно заключить, что наиболее эффективное действие КС может быть обеспечено лишь при определенном сочетании физико-механических свойств металла. При этом необходимо иметь в виду, что свойства металла в условиях быстрых деформаций могут значительно отличаться от его свойств, определяемых при обычных скоростях деформаций. Например, чугун, хрупкий в обычных условиях, при взрыве КЗ ведет себя как металл с относительно высокой пластичностью.



а - образование струи при обжатию облицовки

б - растяжение струи вследствие наличия градиента скорости

в - фрагментация (разрыв) струи на отдельные элементы в свободном полете

**Рис. 3.6. Основные стадии формирования и движения КС**

Условия формирования КС определяются микроструктурой металла облицовки и способностью его структурных составляющих к пластической деформации. Однако пластичность металла в условиях обжатию под действием взрыва не определяется однозначно его стандартными характеристиками. Отмечена зависимость между способностью металла к быстрому обжатию и типом кристаллической решетки. Тяжелые пластичные металлы, в частности гранецентрированные металлы с

кубической решеткой группы меди, и некоторые сплавы образуют сплошные струи, плотность которых не более, чем на 10% ниже плотности материала облицовки, и которые при большом удлинении (примерно в 10 раз по сравнению с исходной длиной образующей облицовки) не разрываются и сохраняют высокую плотность. Другие металлы, такие, например, как железо и цинк, на начальных стадиях образуют сплошные струи, которые, в отличие от описанных выше, при растяжении разрываются гораздо раньше. Хрупкие металлы, такие, в частности, как вольфрам, титан, а также металлы с высокой пористостью, получаемые спеканием, вообще не образуют сплошных струй, они формируют дискретные струи, состоящие из отдельных твердых частиц. В этом случае растяжение струи приводит не к уменьшению ее диаметра, как в сплошных струях, а к снижению средней плотности струи. Поражающая способность таких струй, по сравнению со сплошными, значительно ниже.

Путем улавливания КС и песта в некоторых неплотных средах и последующего металлографического анализа установлена что в процессе формирования струи не происходит плавления металла. Однако температура КС, в зависимости от материала облицовки, может достигать 900-1000°C.

Нормальный процесс струеобразования приводит к формированию классической сплошной монолитной высокоградиентной КС, обладающей наибольшей пробивной способностью. Однако, могут существовать условия, при которых струя либо вообще не образуется, либо образуется в виде диспергированного потока частиц, или в виде компактного поражающего элемента (ударного ядра). В общем случае переход от соударения с образованием сплошной КС к соударению с образованием диспергированной КС имеет место тогда, когда точка соударения (точка контакта) движется со сверхзвуковой скоростью. При очень маленьких углах охлопывания струя вообще может не образовываться. При увеличении угла схлопывания вероятность струеобразования повышается, однако

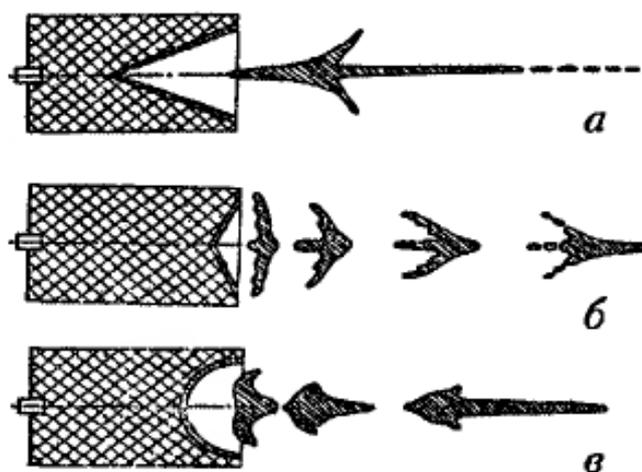
условием образования сплошной монолитной КС будет являться обеспечение дозвуковой величины скорости точки контакта. В ряде работ верхний предел скорости головной части сплошной КС определяется близким к удвоенной скорости звука материала облицовки (к примеру, для меди он не должен превышать  $\sim 10$  км/с). Так, скорость головной части сплошной КС, ограниченная сверху условиями обеспечения дозвуковой величины скорости точки струеобразования, не должна превышать  $V_j \leq 2,41c_0$ , где  $c_0$  - скорость звука в материале облицовки.

Вместе с тем, для экспериментальной физики представляет интерес получение газовых и металлических струй, движущихся со скоростями порядка многих десятков километров в секунду. Такие распыленные струи могут быть реализованы в условиях цилиндрической кумуляции при достаточно высокой скорости схлопывания элементов облицовки и достаточно малых значениях углов схлопывания.

При существенном увеличении углов схлопывания (переходе на пологие конические или полусферические облицовки), наряду с классическим режимом кумулятивного струеобразования, возможен так называемый режим «обратной кумуляции», связанный с механизмом выворачивания кумулятивной облицовки.

На рис. 3.7 схематично показаны различные режимы кумуляции, связанные с изменением угла конической облицовки и профиля полусферической облицовки. В зарядах с высокими конусами реализуется режим классической кумуляции (а), приводящий к формированию высокоскоростной и высокоградиентной КС (выход металла в струю до 30%, скорости головных элементов порядка 9-10 км/с, хвостовых элементов порядка 2-2,5 км/с, пробитие стальной преграды до  $(8-10)d_0$ ). В зарядах с пологими конусами с углом раствора порядка  $150-160^\circ$  и сегментными облицовками высотой до  $(0,1-0,2)d_0$  реализуется режим обратной кумуляции (б), приводящий к формированию компактного поражающего элемента с практически 100%-ым выходом материала

облицовки в ударное ядро, скоростью порядка 2,2-2,8 км/с и пробитием стальной преграды толщиной  $(0,5-0,8)d_0$ . Указанный режим образования компактного тела связан с влиянием прочности материала кумулятивной облицовки (КО) на процесс обжатия и определяется верхним пределом струеобразования. На рис. 3.7в показан промежуточный режим, характерный для конических облицовок с углами раствора  $100-120^\circ$  и полусферических облицовок, и приводящий к образованию массивной малоградиентной струи (выход металла облицовки в струю порядка 50-60%, скорости головных элементов порядка 4,5-5 км/с, хвостовых элементов — порядка 1,5-2 км/с, пробитие стальной преграды до  $(4-5)d_0$ ). Приведенные выше количественные характеристики зависят также от толщины КО, заряда ВВ и относятся к медным КС и ударным ядрам.



**Рис. 3.7. Различные режимы кумуляции: классическая кумуляция (а); «обратная кумуляция» (б); промежуточный режим (в)**

### **3.3. Гидродинамическая теория кумуляции зарядов ВВ**

При описании действия зарядов взрывчатых веществ для разрушения массива разнопрочных горных пород основное внимание уделяется месту расположения зарядов, способствующих кумуляции, и процессу развития газовой полости, которая достаточно полно описана в работах [1, 2, 15, 16, 20-24].

На основании теоретических и экспериментальных исследований М.А. Лаврентьева, Г. И. Покровского, Г. Тейлора, Г. Биркхоффа и др. [2,15,16] изучались гидродинамические теории кумуляции заряда ВВ.

В основе гидродинамической теории кумуляции зарядов ВВ лежат элементы теории струй несжимаемой жидкости [15,16], схема которых представлена на рис. 3.8.

Сходящийся поток с известными параметрами — углом  $\alpha$ , скоростью  $U_0$ , и массой  $m_0$  (масса, проходящая через единицу площади в единицу времени) образует на оси два потока, растекающихся в противоположных направлениях вдоль оси  $Ox$  с параметрами  $U_1, m_1, U_2, m_2$  (рис. 3.8). Так как задача симметрична, можно рассматривать только одну половину схемы, которая приведена на рис. 3.9.

Будем считать, что поверхность симметрии абсолютно гладкая, то есть при движении жидкости по поверхности отсутствует трение.

Для схемы, которая приведена на рис. 3.9 можно записать следующие основные соотношения.

1. Закон сохранения массы:

$$m_0 = m_1 + m_2. \quad (3.1)$$

2. Закон сохранения импульса.

Так как трения нет, то вдоль оси импульс сил равен нулю и изменение импульса также равно нулю:

$$(m_1 U_1 \cos 0^\circ + m_2 U_2 \cos 180^\circ) - U_0 m_0 \cos (180^\circ + \alpha) = 0,$$

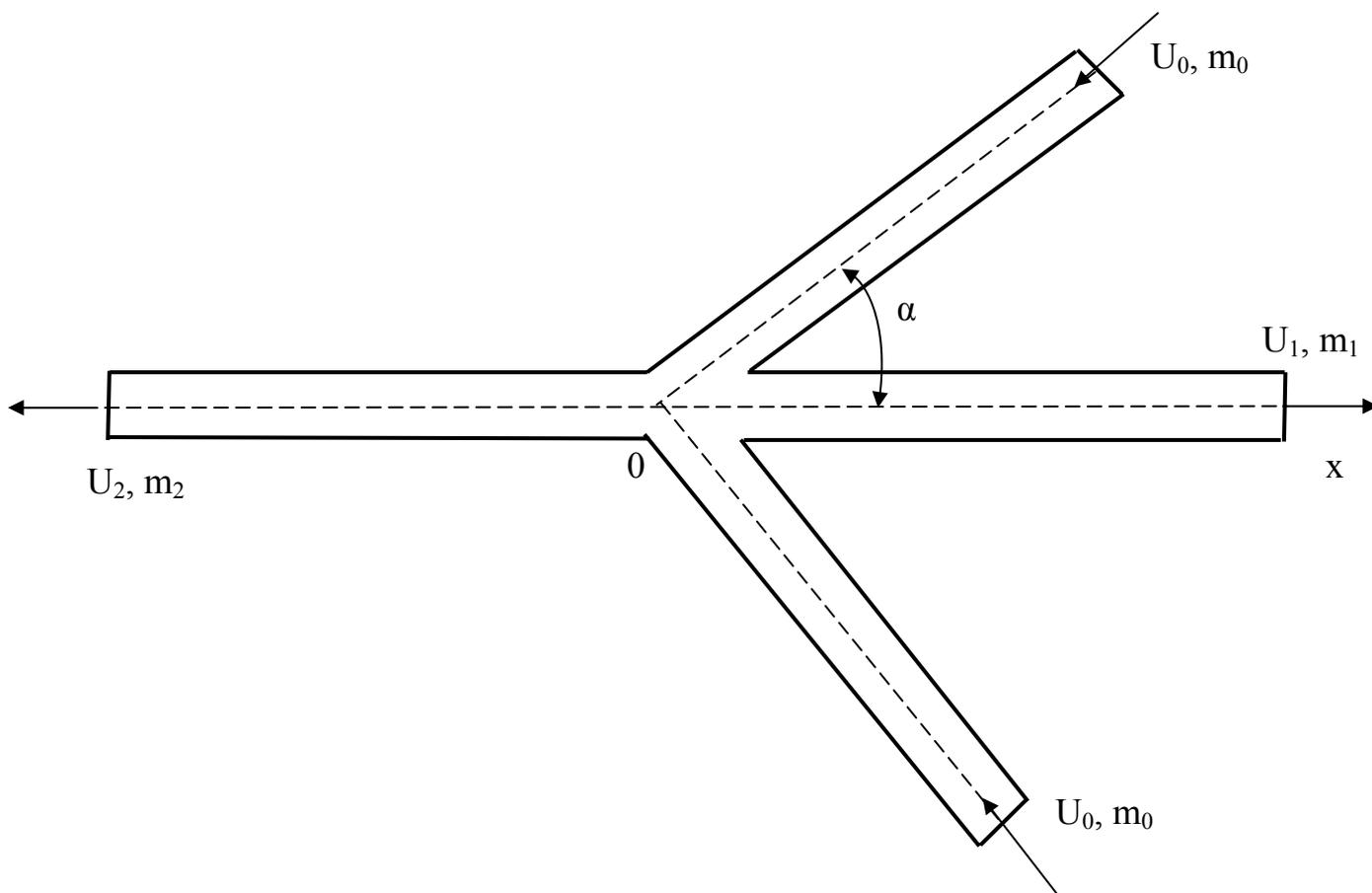
или

$$m_1 U_1 - m_2 U_2 = -U_0 m_0 \cos \alpha. \quad (3.2)$$

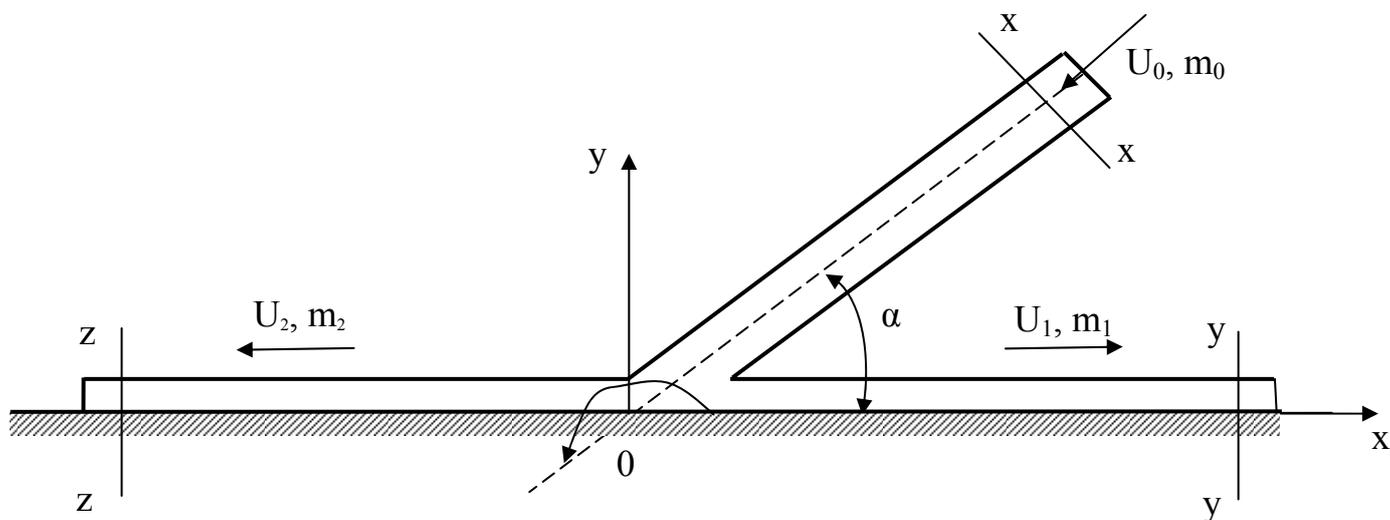
3. Закон сохранения энергии.

Так как процесс стационарен, а жидкость несжимаема, то закон сохранения энергии выражается уравнением

$$\frac{m_0 U_0^2}{2} = \frac{m_1 U_1^2}{2} + \frac{m_2 U_2^2}{2}. \quad (3.3)$$



**Рис. 3.8. Схема сходящегося потока**



**Рис. 3.9. Схема соударения струй**

Тогда из уравнений (3.1) и (3.3) имеем:

$$U_0 = U_1 = U_2. \quad (3.4)$$

Теперь с учётом уравнения (3.4) можно записать уравнения (3.1) и (3.2) в следующем виде:

$$\begin{aligned} m_0 &= m_1 + m_2, \\ -m_0 \cos \alpha &= m_1 - m_2. \end{aligned}$$

Решим эту систему относительно  $m_1$  и  $m_2$ :

$$\begin{aligned} 2m_1 &= m_0(1 - \cos \alpha), \quad \text{или} \quad m_1 = m_0 \frac{1 - \cos \alpha}{2} = m_0 \sin^2 \frac{\alpha}{2}, \\ 2m_2 &= m_0(1 + \cos \alpha), \quad \text{или} \quad m_2 = m_0 \frac{1 + \cos \alpha}{2} = m_0 \cos^2 \frac{\alpha}{2}. \end{aligned} \quad (3.5)$$

Рассмотрим схлопывание кумулятивной воронки, схема которого представлена на рис. 3.10.

Допустим, что кумулятивная воронка получает скорость  $U_b$ , нормальную к своей поверхности.

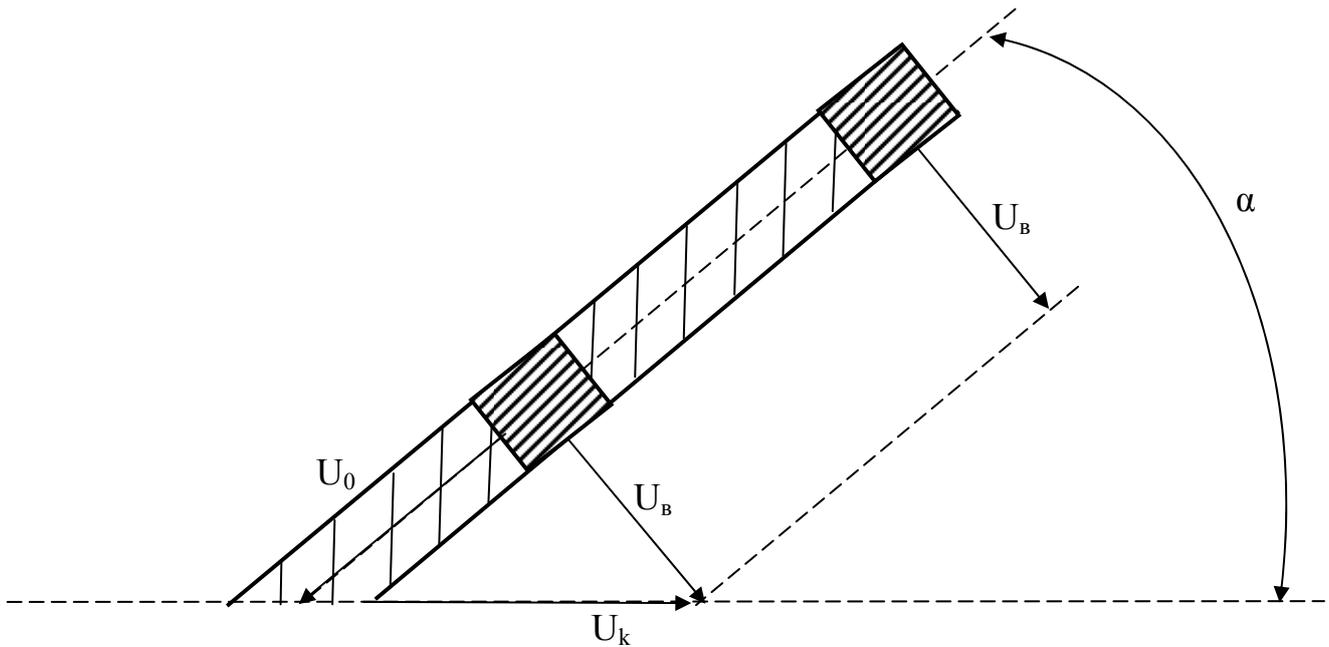
Разложим вектор  $U_b$  на две составляющие: вдоль стенки воронки  $U_0$  и вдоль оси симметрии  $U_k$  (рис. 3.10).

Вдоль оси при столкновении струй со скоростью  $U_0$ , согласно теории соударения двух струй, возникнет две струи: одна со скоростью  $U_1$ , а другая со скоростью  $U_2$ , причём  $U_1 = U_2 = U_0$ . Но направления  $U_1$  и  $U_2$  разные. Эти две струи будут сноситься вправо со скоростью  $U_k$ . При этом скорость струи  $U_c = U_1 + U_k$ , а песта  $U_n = U_k - U_2$ .

Согласно схеме, представленной на рис. 3.10, составляющие  $U_k$  и  $U_0$  равны:

$$U_k = \frac{U_b}{\sin \alpha}, \quad U_0 = \frac{U_b}{\operatorname{tg} \alpha},$$

$U_k$  — скорость точки соударения элементов облицовки.



**Рис. 3.10. Схема схлопывания кумулятивной воронки**

Согласно вышесказанному, скорость струи равна

$$U_c = U_1 + U_k = U_0 + U_k,$$

или

$$U_c = \frac{U_b}{\operatorname{tg} \alpha} + \frac{U_b}{\sin \alpha} = U_b \frac{1 + \cos \alpha}{\sin \alpha} = U_b \frac{2 \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{U_b}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}. \quad (3.6)$$

Скорость песта:

$$U_n = U_k - U_2 = U_k - U_0,$$

или

$$U_n = \frac{U_b}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{U_b}{\sin \alpha} = U_b \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} = U_b \frac{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2}} = U_b \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}. \quad (3.7)$$

Определим энергию струи и песта:

$$E_c = \frac{U_c^2 m_1}{2} = \frac{m_0 U_b^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{2 \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}} = E_0 \cos^2 \frac{\alpha}{2},$$

$$E_n = \frac{U_n^2 m_2}{2} = \frac{m_0 U_b^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{2} = E_0 \sin^2 \frac{\alpha}{2}, \quad (3.8)$$

причём  $E_0 = E_c + E_{\text{п}}$ .

Рассмотрим предельный случай:

$$\begin{aligned} \alpha &\rightarrow 0, & m_1 &\rightarrow 0, & m_2 &\rightarrow m_0, & U_{\text{п}} &\rightarrow 0, \\ U_c &\rightarrow \infty & E_c &\rightarrow E_0, & E_{\text{п}} &\rightarrow 0. \end{aligned}$$

Отсюда должно было бы следовать, что можно достичь бесконечно большой скорости струи при  $\alpha \rightarrow 0$ . В действительности, однако, этого не происходит. Скорость струи практически имеет верхний предел, зависящий от сжимаемости материала облицовки.

Имеется некоторый критический угол  $\alpha_k$ . Если  $\alpha \leq \alpha_k$ , то кумулятивная струя не образуется, а летит поток частиц. Скорость струи, соответствующая  $\alpha_k$ , равняется максимальной скорости струи для данного кумулятивного заряда, т.е.

$$U_{ck} = c + \sqrt{c^2 + U_b^2}, \quad (3.9)$$

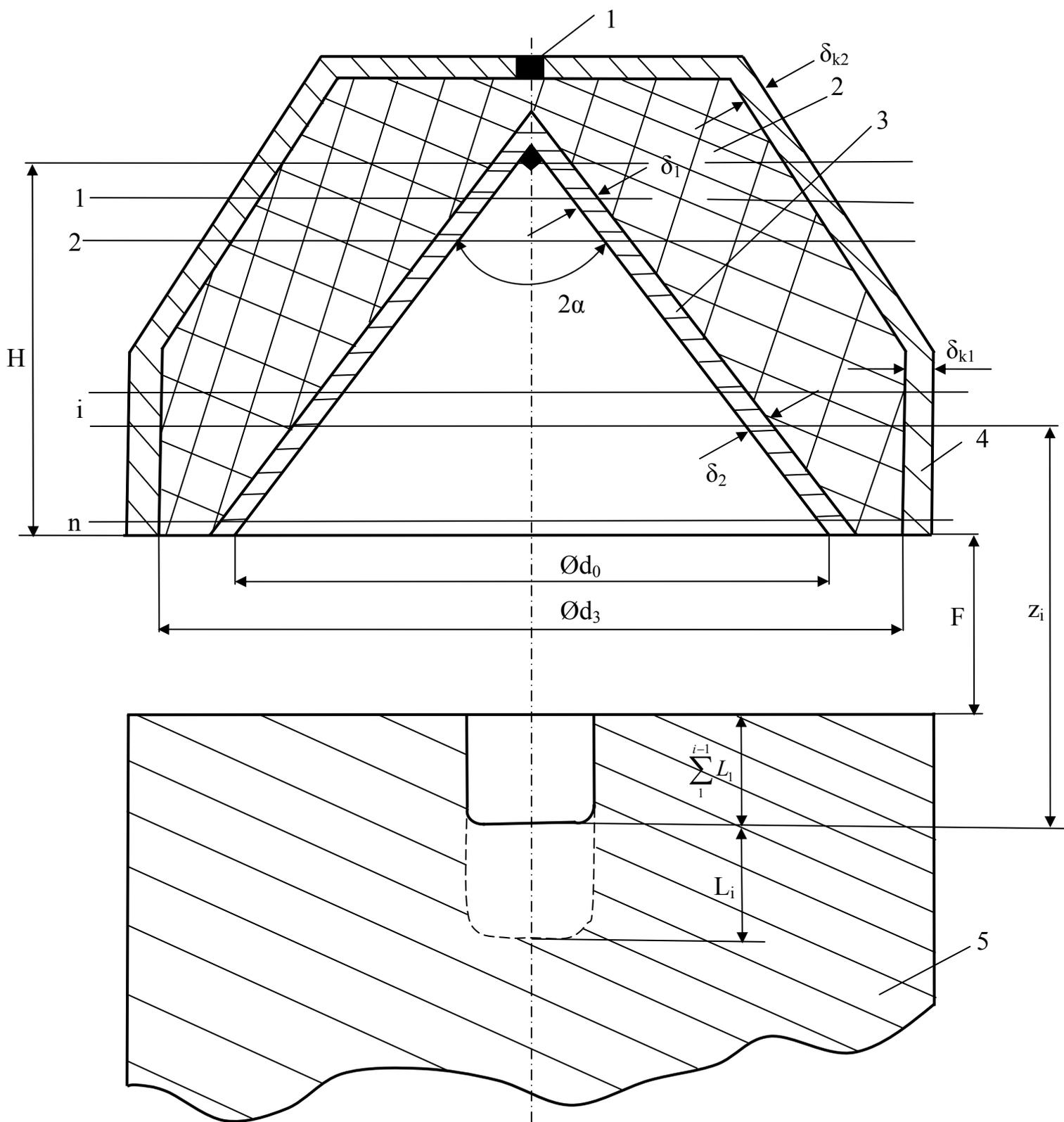
где  $c$  — местная скорость звука в точке 0 (рис. 3.14).

### 3.4. Инженерный метод расчёта параметров кумулятивной струи

Процессы детонации кумулятивного заряда, схлопывания воронки и образования кумулятивной струи относятся к классу двумерных осесимметричных задач, которые требуют использования компьютерной программы.

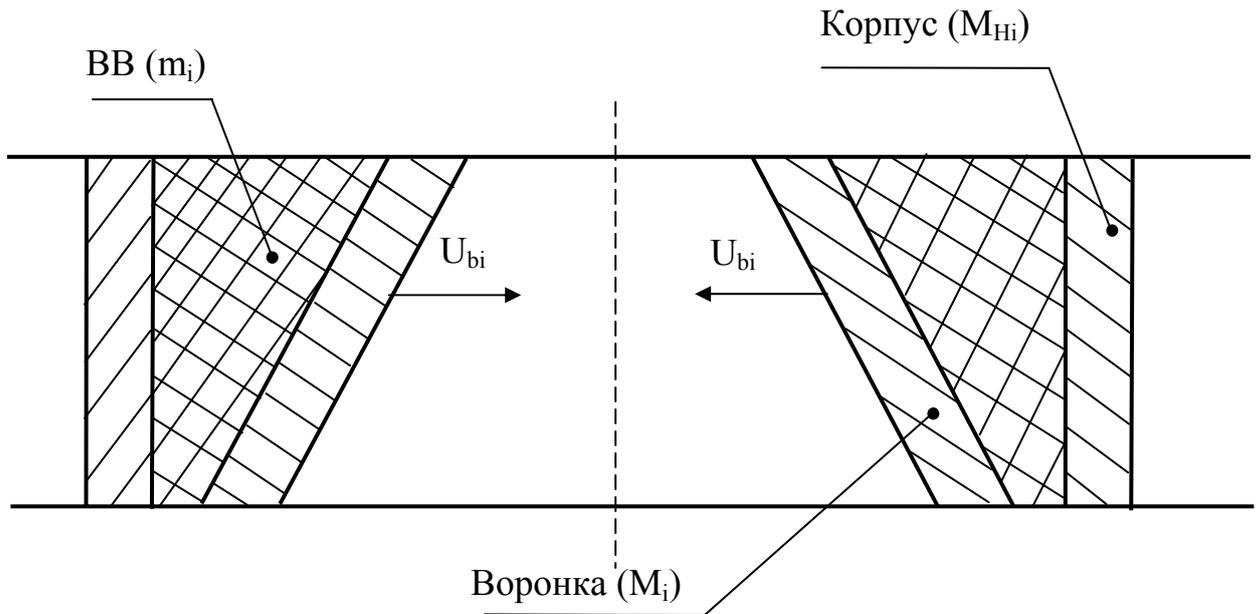
В настоящее время существует несколько инженерных методов расчёта параметров кумулятивных зарядов. Рассмотрим один из таких методов.

Разобьем кумулятивный заряд на  $n$  элементов, причем  $n \geq 10$ , схема которого приведена на рис. 3.11.



1 – детонатор; 2 - взрывчатое вещество; 3 - кумулятивная воронка;  
 4 – корпус; 5 - преграда

**Рис. 3.11. Схема расчета параметров кумулятивных зарядов**



**Рис. 3.12. Схема *i*-го элемента заряда, помещенного в корпус**

Рассмотрим *i*-й элемент заряда, помещённый в корпус, массой  $M_{Hi}$ , масса ВВ *i*-го элемента  $m_i$ , а масса кумулятивной облицовки  $M_i$  (рис. 3.12).

Для данной схемы запишем уравнение сохранения энергии:

$$\frac{M_i U_{bi}^2}{2} + \frac{m_{ai} U_{bi}^2}{4} = m_{ai} Q. \quad (3.10)$$

Из уравнения (3.10) видно, что энергия активной массы ВВ  $m_{ai}$  преобразуется в кинетическую энергию движения элементов воронки и в кинетическую энергию движения газов, образующихся при взрыве активной массы ВВ.

Активная масса рассчитывается по следующему соотношению:

$$m_{ai} = \frac{m_i}{2} \left( 1 + \frac{M_{Hi} - M_i}{M_i + M_{Hi} + m_i} \right). \quad (3.11)$$

Рассмотрим несколько более простых случаев нагружения, следующих из соотношения (3.11):

$$\begin{aligned} 1. \quad M_i = M_{Hi}; \quad m_{ai} &= \frac{m_i}{2}; \\ 2. \quad M_{Hi} \gg M_i; \quad m_{ai} &\cong m_i; \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$3. M_{Hi} = 0; \quad m_{ai} = \frac{m_i^2}{2(M_i + m_i)}.$$

$m_{ai}/M_i$  обозначим как коэффициент нагрузки  $i$ -го элемента  $\beta_i$ .

Скорость детонации ВВ определяется по формуле

$$D = 4\sqrt{Q}.$$

Уравнение (3.10) преобразуем к следующему виду:

$$U_{bi} = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{\beta_i}{2 + \beta_i}}. \quad (3.13)$$

Определим скорость струи для  $i$ -го элемента с помощью уравнения (3.6):

$$U_{ci} = \frac{U_{bi}}{\operatorname{tg} \frac{\alpha_i}{2}} = \frac{D}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha_i}{2}} \sqrt{\frac{\beta_i}{2 + \beta_i}}. \quad (3.14)$$

Полученные уравнения показывают, что значение угла  $\alpha_i$  вдоль облицовки изменяется, в процессе соударения воронка схлопывается от вершины к основанию со все увеличивающимся углом  $\alpha_i$ . То есть, угол  $\alpha_i$  надо определять конкретно для каждого  $i$ -го элемента облицовки.

Вследствие того, что процесс детонации имеет конечную скорость  $D$ , точка  $a$  в течение времени  $\Delta t_i = \Delta x_i / D$  будет двигаться, а точка  $b$  ещё будет неподвижной, возникает перекося, изменение угла  $\alpha_i$ , схема которого приведена на рис. 3.13.

Величина  $\Delta x_i$  задана делением заряда ВВ на элементы, линия  $ab$  - начальное положение образующей воронки.

Согласно рис. 3.14

$$a'd = cd = a'a + ad,$$

$$a'a = \bar{U}_i \Delta t_i,$$

$$ad = \operatorname{tg} \alpha_{0i} \Delta x_i.$$

Точка "а" лежит на границе  $i$ -го и  $(i - 1)$ -го элементов, поэтому ее скорость можно определить как полусумму скоростей этих элементов:

$$\bar{U}_i = \frac{U_{0,i-1} + U_{0i}}{2}. \quad (3.15)$$

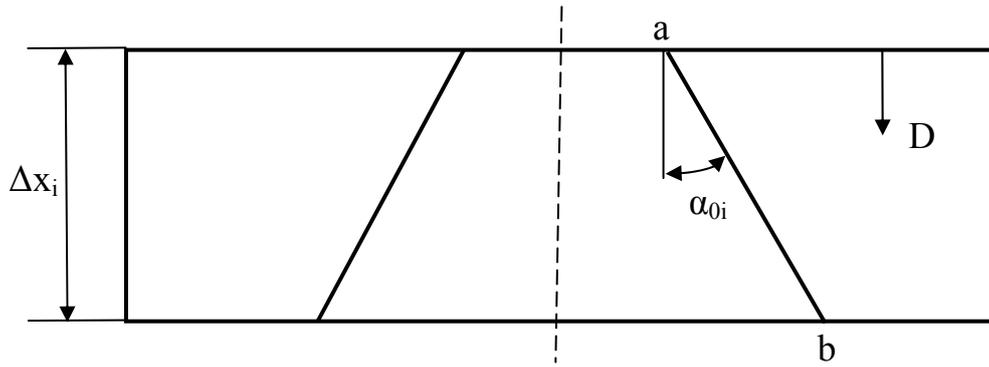


Рис. 3.13.

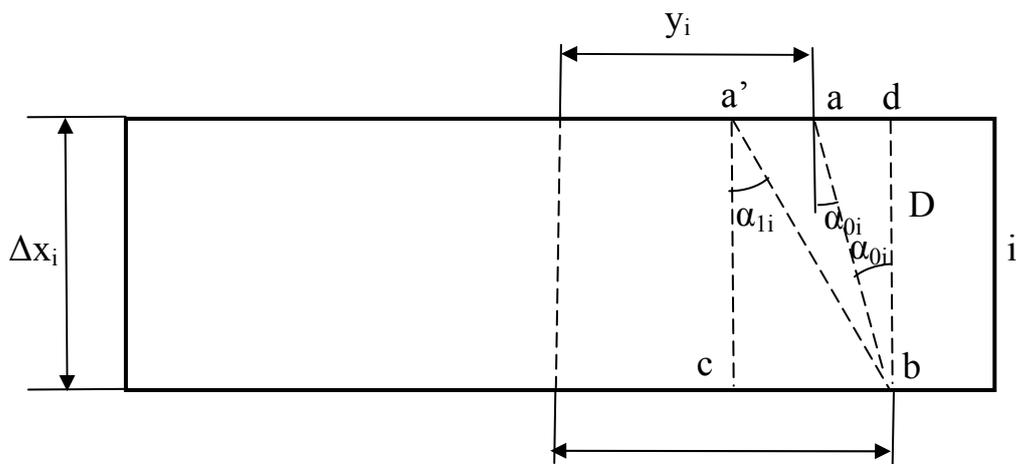


Рис. 3.14.

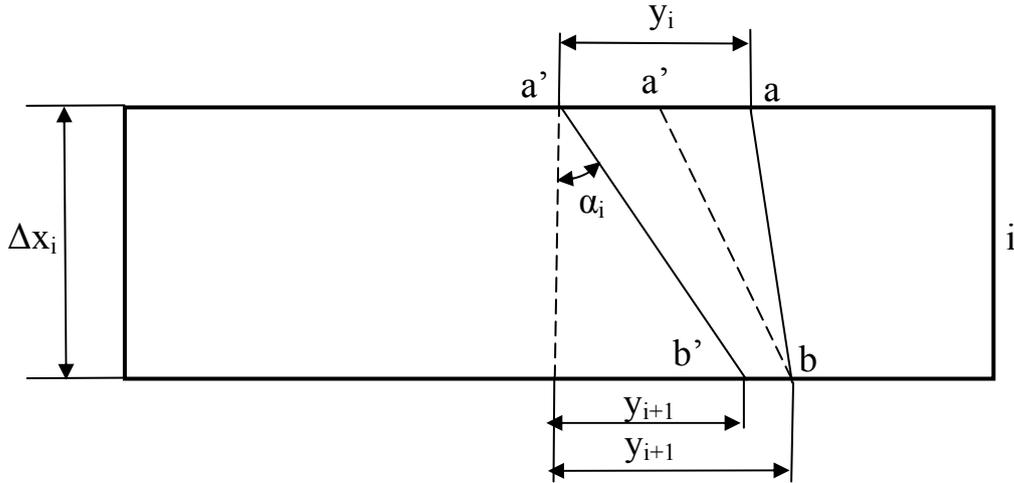
Для данного этапа можно определить угол  $\alpha_{1i}$  (рис. 3.14):

$$\operatorname{tg} \alpha_{1i} = \frac{cb}{\Delta x_i} = \frac{\bar{U}_i \Delta t_i + \operatorname{tg} \alpha_{0i} \Delta x_i}{\Delta x_i} = \frac{\bar{U}_i}{D} + \operatorname{tg} \alpha_{0i}. \quad (3.16)$$

Угол наклона линии  $a'b$  дополнительно изменится, когда точка  $b$  начнёт двигаться, так как точки  $a'$  и  $b$  будут иметь разные скорости.

Обозначим:  $t_i$  — время, в течение которого точка  $a'$  переместится в точку  $a''$  (рис. 3.15):

$$t_i = \frac{y_i - \bar{U}_i \Delta t_i}{\bar{U}_i}. \quad (3.17)$$



**Рис. 3.15.**

Тангенс угла определяется из уравнения

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{\bar{y}_{i+1}}{\Delta x_i}.$$

Необходимо определить величину  $\bar{y}_{i+1}$  (см. рис. 3.15)

$$y_{i+1} - \bar{y}_{i+1} = \bar{U}_{i+1} t_i,$$

где  $\bar{U}_{i+1} = (U_{bi} + U_{0,i+1})/2$ .

С учётом (3.17) получим

$$\bar{y}_{i+1} = y_{i+1} - \bar{U}_{i+1} \frac{y_i - \bar{U}_i \Delta t_i}{\bar{U}_i}. \quad (3.18)$$

Окончательно на основе (3.18) получим формулу определения угла схлопывания облицовки для  $i$ -го элемента кумулятивной облицовки:

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{y_{i+1}}{\Delta x_i} - \frac{\bar{U}_{i+1}}{\Delta x_i} \left( \frac{y_i - \bar{U}_i \Delta t_i}{\bar{U}_i} \right), \quad (3.19)$$

где  $\Delta t_i = \Delta x_i/D$ .

Масса кумулятивной струи определяется с помощью формулы (3.5), если  $m_1 = M_{ci}$ ,  $m_0 = M_i$ , а ее кинетическая энергия — с помощью (3.14):

$$M_{ci} = M_i \sin^2 \frac{\alpha_i}{2}, \quad M_{kc} = \sum_{i=1}^n M_{ci};$$

$$E_{ci} = \frac{M_{ci} U_{ci}^2}{2}, \quad E_{kc} = \sum_{i=1}^n E_{ci}, \quad \eta = \frac{E_{kc}}{mQ}. \quad (3.20)$$

Показатель  $\eta$  характеризует КПД кумулятивного заряда. Угол  $\alpha_i$  определяется по формуле (3.19).

Диаметр  $i$ -го элемента кумулятивной струи вычисляется исходя из формулы

$$M_{ci} = \frac{\pi d_{ci}^2}{4} l_i \rho_c.$$

Отсюда следует, что

$$d_{ci} = \sqrt{\frac{4M_{ci}}{\pi l_i \rho_c}}, \quad (3.21)$$

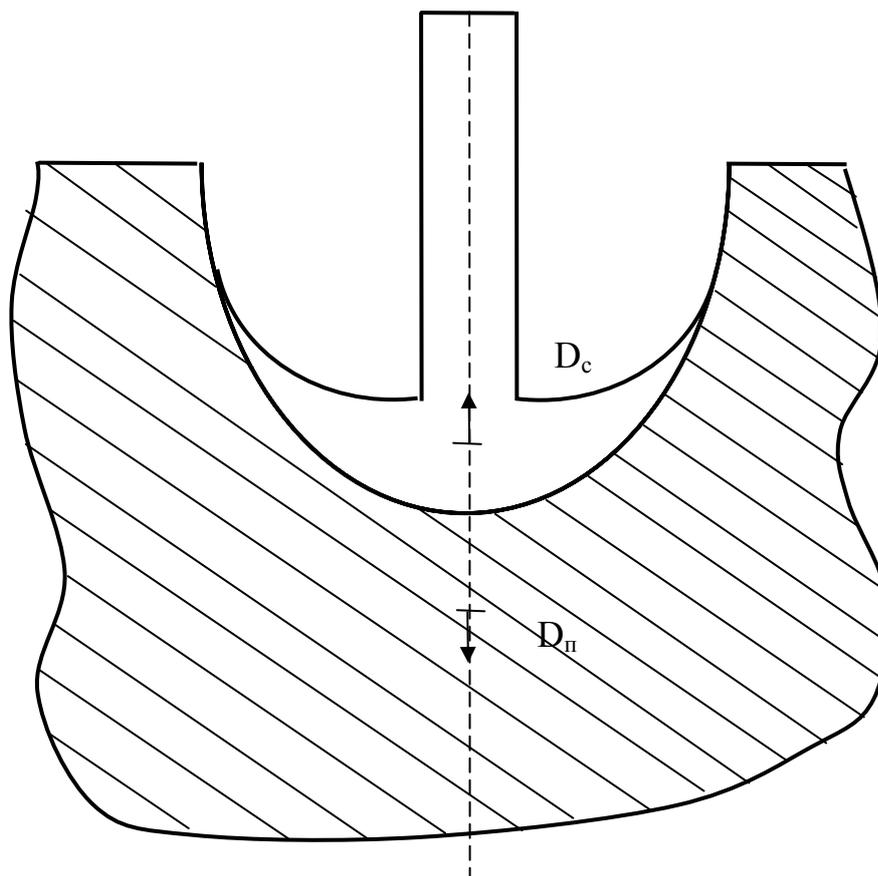
то есть  $d_{ci}$  зависит от  $l_i$ .

### **3.5. Определение глубины пробития пропластков кумулятивной струёй**

Скорости кумулятивной струи, наблюдаемые в действительности, составляют 2-12 км/сек. Если такая струя встречается с преградой, состоящей из твердых пропластков, то возникает давление торможения. Таким образом, и в этом случае оказывается возможным применить гидродинамическую модель.

#### **3.5.1. Нестационарная теория**

Данная теория основана на теории соударения двух тел. Элемент кумулятивной струи подлетает к преграде со скоростью  $U_c$  и внедряется в неё с ударом со скоростью  $U_x$ . От границы соударения идут ударные волны в преграде и в элементе струи (рис. 3.16).



**Рис. 3.16. Ударные волны в преграде и в элементе струи**

Для струи и преграды справедлива следующая система уравнений:

$$p_x = \rho_c (U_c - U_x) D_c,$$

$$p_x = \rho_n U_x D_n.$$

Отсюда

$$\frac{U_x}{U_c - U_x} = \frac{\rho_c D_c}{\rho_n D_n}.$$

С учётом уравнения

$$L_i = l_i \frac{U_{xi}}{U_{ci} - U_{xi}}$$

получаем

$$L_i = l_i \frac{\rho_c D_c}{\rho_n D_n}. \quad (3.22)$$

Относительная сжимаемость определяется формулой

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_0}{\rho}. \quad (3.23)$$

Для ударной волны справедливо равенство

$$\rho_0 D = \rho(D - U),$$

тогда

$$1 - \frac{\rho_0}{\rho} = \frac{U}{D},$$

то есть

$$\varepsilon = \frac{U}{D}. \quad (3.24)$$

Для кумулятивной струи и пропластка будем иметь

$$\rho_c(U_c - U_x)D_c = \rho_n U_x D_n.$$

Или

$$\frac{\rho_n U_x D_n^2}{D_n} = \frac{c(U_c - U_x)D_c^2}{D_c}. \quad (3.25)$$

В этом уравнении

$$\frac{U_x}{D_n} = \varepsilon_n, \quad \frac{U_c - U_x}{D_c} = \varepsilon_c,$$

поэтому

$$\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_c} = \frac{\rho_c D_c^2}{\rho_n D_n^2}. \quad (3.26)$$

Теперь уравнение (3.22) перепишем в следующем виде:

$$L_i = l_i \frac{\rho_c D_c}{\rho_n D_n} = l_i \sqrt{\frac{\rho_c^2 D_c^2}{\rho_n^2 D_n^2}}. \quad (3.27)$$

С помощью (3.26) произведем замену в уравнении (3.27) и получим окончательное выражение для определения глубины проникания кумулятивной струи с учётом сжимаемости твердых включений:

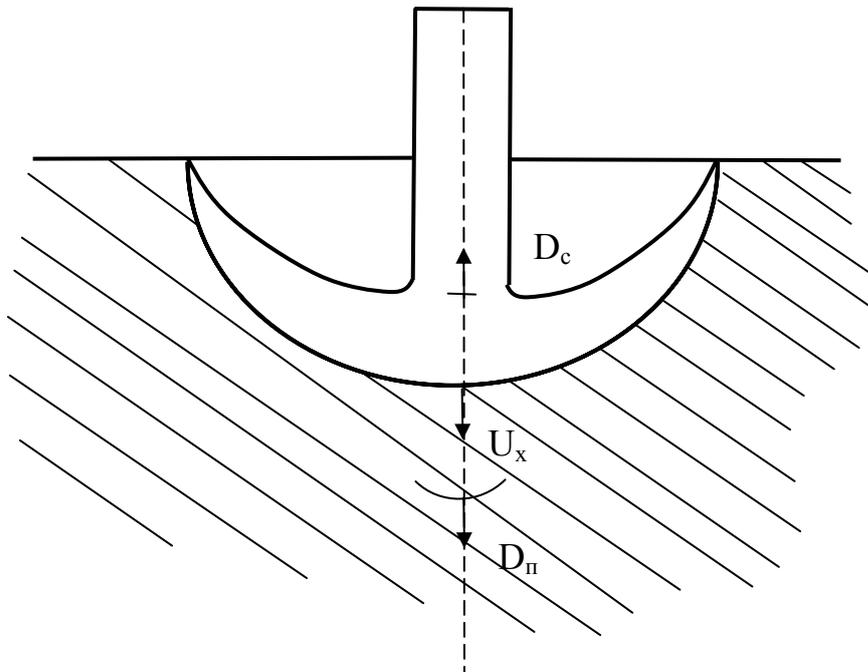
$$L_i = l_i \sqrt{\frac{\rho_c \varepsilon_n}{\rho_n \varepsilon_c}}. \quad (3.28)$$

При одинаковой сжимаемости струи и твердых включений из выражения (3.28) получаем формулу Лаврентьева.

$$L_i = l_i \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_n}}$$

### 3.5.2. Стационарная теория

По этой теории элемент кумулятивной струи срабатывается в твердом включении, проникая в неё с постоянной скоростью  $U_x$ . В результате возникают ударные волны в твердых включениях и в струе, которые располагаются на постоянном расстоянии от места контакта струи и твердого включения. Картина проникания во времени не меняется, так как проникание идет с постоянной скоростью (рис. 3.17).



**Рис. 3.17. Схема проникания кумулятивной струи в твердое включение с постоянной скоростью**

Используем уравнение Бернулли для центральной линии тока (для сжимаемой жидкости), которое записывается в следующем виде:

$$\frac{U_2}{2} + \int \frac{dp}{\rho} = const.$$

Должно быть задано  $p = p(\rho)$ .

Отсюда можно получить:

$$L_i = l_i \sqrt{\frac{\rho_c (1 + \varepsilon_c)}{\rho_n (1 + \varepsilon_n)}}. \quad (3.29)$$

Формулы (3.28) и (3.29) противоречивы: при увеличении  $\varepsilon_c$  по (3.28)  $L_i$  уменьшается, а по (3.29) увеличивается. Очевидно, что чем больше сжимаемость твердого включения и меньше сжимаемость струи, тем больше глубина проникания струи в твердое включение  $L_i$ .

### Основные выводы

1. На основе изучения гидродинамической теории кумуляции скважинных зарядов взрывчатых веществ установлена максимальная скорость струи, зависящая от местной скорости звука и нормальной скорости струи.

2. На основе гидродинамической теории кумуляции скважинных зарядов взрывчатых веществ разработана методика инженерного расчета глубины проникновения кумулятивной струи с учетом сжимаемости.

## **4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ КАРАКУТАН**

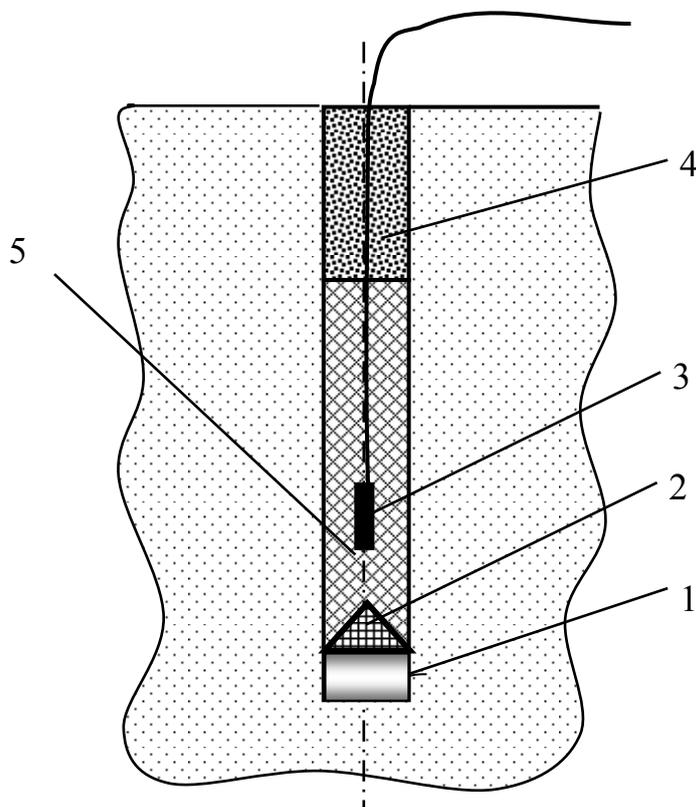
### **4.1. Разработка конструкции скважинного заряда ВВ с использованием кумулятивной воронки**

Буровзрывные работы в современных условиях работы горнодобывающих предприятий пока остаются практически единственным способом разрушения прочных горных пород. Являясь начальным процессом технологии добычи, буровзрывные работы определяют эффективность всех последующих процессов: от погрузки и транспортирования до механического дробления и переработки минерального сырья. Равномерность и крупность дробления массива, процент выхода негабарита, проработка подошвы уступа, величина перебура скважин, ширина развала горной массы – эти и другие характеристики в основном определяют качество проведенных БВР. В связи с этим исследование и разработка новых конструкций скважинных зарядов, позволяющих обеспечить необходимое качество взорванной массы, уменьшить величину перебура скважин и улучшить проработку подошвы уступа, является важной и актуальной задачей, решение которой будет способствовать повышению экономической эффективности работы предприятий.

Выполненные ранее теоретические и лабораторные исследования [17, 18] показали, что форма донной части заряда оказывает существенное влияние на состояние поверхности и уровень подошвы уступа после взрыва. Различные формы донной части предлагается выполнять с помощью кумулятивных воронок, представляющих собой конус, изготовленный из инертного материала. При определенных геометрических параметрах кумулятивной воронки обеспечивается

увеличение зоны усиленного динамического нагружения на донную часть скважины и уменьшается воздействие отраженной ударной волны на материал забойки. Таким образом, используя полученные результаты, можно предложить конструкцию заряда, в которой на дне скважины расположена кумулятивная воронка. Это позволит снизить величину перебура скважинных зарядов, выйти на проектную отметку подошвы уступа и обеспечить необходимый гранулометрический состав взорванной массы.

Формирование данной конструкции производят следующим образом (рис. 4.1).



- |                          |                             |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1 – деревянный цилиндр   | 4 - забойка                 |
| 2 - кумулятивная воронка | 5 – промежуточный детонатор |
| 3 – заряд ВВ             |                             |

**Рис. 4.1. Конструкция скважинного заряда ВВ с использованием кумулятивной воронки**

На дно скважины опускают поливинилхлоридный или деревянный цилиндр 1, закрытый с верхнего конца, который служит для создания фокусного расстояния, а затем кумулятивную воронку 2, засыпают ВВ, опускают промежуточный детонатор 5 и заряжают остальное количество ВВ 3, а сверху засыпают забойку 4.

Использование конструкции заряда, в донной части которого располагается кумулятивная воронка, приводит к занижению подошвы уступа. Расположение в донной части скважины кумулятивной воронки оказывает влияние на интенсивность взрывного разрушения горных пород.

#### **4.2. Определение эффективных параметров кумулятивной воронки в конструкции скважинного заряда ВВ**

1. Конусную облицовку изготавливают из стали или дюралюминия толщиной 2 мм.

2. Диаметр облицовки равен диаметру скважины, высота при этом должна составлять 210÷280 мм.

3. Фокусное расстояние кумулятивного заряда ВВ определяют по формуле:

$$l=(6\div 8)\cdot d, \text{ мм},$$

где  $d$  – диаметр кумулятивного заряда ВВ, мм.

4. Диаметр кумулятивной облицовки равен диаметру скважины.

5. Оптимальный угол между стенками облицовки должен составлять 40-50°.

6. Высота кумулятивной облицовки определяется по формуле:

$$h = \frac{d}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)},$$

где  $\alpha$  – угол между стенками облицовки.

## Основные выводы

1. Разработана конструкция скважинного заряда ВВ с использованием кумулятивной воронки, позволяющая понизить подошву уступа и уменьшить расходы на буровзрывные работы. Расположение в донной части скважины кумулятивной воронки оказывает влияние на интенсивность взрывного разрушения горных пород.

2. Установлено фокусное расстояние кумулятивного заряда ВВ, которое определяется по формуле

$$l=(6\div 8)\cdot d, \text{ мм},$$

где  $d$  – диаметр кумулятивного заряда ВВ, мм.

3. Установлен оптимальный угол между стенками облицовки, который составляет  $40-50^{\circ}$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной научно-исследовательской работе решена научно-техническая задача по совершенствованию технологии ведения взрывных работ на месторождении Каракутан.

Основные научные выводы и практические рекомендации научно-исследовательской работы сводятся к следующему:

1. На основе изучения гидродинамической теории кумуляции скважинных зарядов ВВ установлена максимальная скорость струи, зависящая от местной скорости звука и нормальной скорости струи, на основе которой разработана методика инженерного расчета глубины проникновения кумулятивной струи с учетом сжимаемости.

2. Разработана конструкция скважинного заряда ВВ с использованием кумулятивной воронки, позволяющая понизить подошву уступа и уменьшить расходы на буровзрывные работы. Расположение в донной части скважины кумулятивной воронки оказывает влияние на интенсивность взрывного разрушения горных пород.

3. Установлено фокусное расстояние кумулятивного заряда ВВ, которое определяется по формуле

$$l=(6\div 8)\cdot d, \text{ мм,}$$

где  $d$  – диаметр кумулятивного заряда ВВ, мм.

4. Установлен оптимальный угол между стенками облицовки, который составляет  $40-50^{\circ}$ .

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М.: Недра, 1976. - 271 с.
2. Мосинец В.Н., Абрамов А.В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. М.: Недра, 1982. - 248 с.
3. Ефремов Э.И. Взрывание с внутрискважинными замедлениями. Наукова думка. Киев, 1971. -170 с.
4. АС 2657546. Способ отбойки горных пород на карьере./Друкованный М.Ф., Ефремов Э.И.- Оpubл. в Б.И. в 1979, №21.
5. АС 976745. Способ отбойки горных пород на карьерах./Глатоленков А.И., Ахтулов Г.К., Рогач М.С., Качайник Г.В., Мухамеджанов Е.Б. – Оpubл. в Б.И. в 1983, №37.
6. АС № 618991 Мосинец В.Н., Валаханович Е.М., Рубцов С.К. Способ разрушения разнопрочных горных пород. - Оpubл. в Б.И. 1973.
7. Сеинов Н.П., Жариков И.Ф., Нуридджанян Г.З., Дворкин Л.С. Исследование формы импульса взрыва и частотного распределения энергии ВВ при многоточечном инициировании зарядов//Горючие сланцы,1983, №4, с. 1-7.
8. Технический проект строительства горнорудного предприятия на базе месторождения Учкудук. Фонды ВНИПИпромтехнологии, 1979. -124 с.
9. Основные проектные решения строительства горного комплекса Кокпатас. М.: 2001. Т 1. Пояснительная записка и чертежи. Фонды ВНИГГИпромтехнологии.
10. Техничко-экономическое обоснование строительства горно-металлургического предприятия на объединенной сырьевой базе золоторудных месторождений Кокпатас и Даугызтау. Ташкент: СредАзНИПИпромтехнологии, 2001.
11. Мосинец В.Н., Рубцов С.К., Климов Ю.В. Пути повышения

эффективности действия взрыва в разнопрочных горных породах//Горно-металлургическая промышленность (ГМП). (217). Ташкент: ОНТИ ВНИПИПТ. 1976. №5. С. 17-22.

12. Мосинец В.Н., Котенко Е.А., Рубцов С.К. и др. Экспериментальное исследование разработки роторным комплексом вскрышных пород со скальными пропластками //ГМП № 10. М.: ОНТИ ВНИПИПТ. 1974. С. 9-12.

13. Рубцов С.К., Климов Ю.В. Буровзрывная подготовка разнопрочных осадочных пород для выемки роторным комплексом // Технический прогресс в атомной промышленности. Сер. «Горно-металлургическое производство». М.: ЦНИИатоминформ, 1987. Вып. 4. С. 913.

14. Мальгин О.Н., Сытенков В.Н., Рубцов С.К. Взрывное рыхление разнопрочных горных пород для поточных технологий пластовых месторождений. Ташкент: «Фан», 2006, 219 с.

15. Орленко Л.П. Физика взрыва и удара. Учебное пособие для вузов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 304 с.

16. Физика взрыва. /Под ред. Л.П.Орленко. – 3-е изд., исправленное. – В 2 т. – М.: Физматлит, 2004. – 1488 с.

17. Воробьев В.В., Пеев А.М., Щетинин В.Т. Снижение динамического воздействия ударных волн на материал забойки скважинного заряда // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. - Кременчук: КДПУ, 2004. – Вип. 6/2004(29). – С. 124 - 126.

18. Воробьев В.В., Пеев А.М., Славко Г.В. Изменение степени проработки подошвы уступа при взаимодействии зарядов с различной формой донной части // Науковий вісник гірничого університету: Науково-технічний журнал. – Дніпропетровськ. – 2005. – №3 (2005). – С. 31 – 33.

19. Высокоскоростное взаимодействие тел. /Под ред. В.М.Фомина. – Новосибирск: Издательство СО РАН. 1999. – 600 с.

20. Кобылкин И.Ф., Селиванов В.В., Соловьев В.С., Сысоев Н.Н. Ударные и детонационные волны. Методы исследования. – 2-ое изд., перераб. и дополн. – М.: Физматлит, 2004. – 367 с.

21. Ударные волны и экстремальные состояния вещества. /Под ред. В.Е.Фортова и др. – М.: Наука, 2000. – 425 с.

22. Свойства конденсированных веществ при высоких давлениях и температурах. /Под ред. Р.Ф.Трунина. – Арзамас-16: Изд. ВНИИЭФ, 1992. – 398 с.

23. Высокоскоростные ударные явления. /Под ред. В.Н.Николаевского. – М.: Мир, 1973.

24. Каннель Г.И., Разоренов С.В., Уткин А.В., Фортов В.Е. Ударно-волновые явления в конденсированных средах. – М.: Янус-К, 1996. – 407 с.