

УДК 622.235+622.236.4

К.Н. Лабинский, канд. техн. наук, доцент
(ГВУЗ «ДонНТУ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ЗАЗОРЕ ШПУРА НА ПОЛНОТУ ДЕТОНАЦИИ ШПУРОВОГО ЗАРЯДА

К.М. Лабінський, канд. техн. наук, доцент
(ДВНЗ «ДонНТУ»)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УДАРНОЇ ХВИЛІ В ЗАЗОРІ ШПУРУ НА ПОВНОТУ ДЕТОНАЦІЇ ШПУРОВОГО ЗАРЯДУ

K.N. Labinskiy, Ph.D. (Tech.), Associate Professor
(SHEE «DonNTU»)

RESEARCHING OF IMPACT OF SHOCK-WAVE IN THE BLAST-HOLE GAP ON A DETONATION COMPLETENESS OF THE BLAST-HOLE CHARGE

Аннотация. В работе рассмотрены особенности распространения ударной волны в зазоре шпура при канальном эффекте. Уточнен механизм проявления канального эффекта, который действует на заряд ВВ при его детонации. Установлена критическая длина заряда ВВ в донной части шпура, на которой возможен отказ детонации, которая зависит от коэффициента заряжания и может находиться в пределах от 4,5% до 20% от его длины.

Ключевые слова: ударная волна, канальный эффект, шпуровой заряд, отказ детонации.

Актуальность работы. Развитие и широкое внедрение при производстве взрывных работ шпуровым способом патронированных эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) потребовало исследований канального эффекта, который может быть одной из причин их неустойчивой детонации в шпурах. При заряджании шпуров между стенками шпура и патронами ЭВВ всегда имеется некоторый зазор, который, как известно, влияет на режим и устойчивость детонации ВВ в шпуре. У многих ЭВВ, как и у аммиачно-селитренных ВВ, отличающихся невысокой детонационной способностью по сравнению с бризантными ВВ, детонация при канальном эффекте может затухать при взрыве шпурового заряда. Поскольку подавляющее число шпуровых зарядов являются составными из отдельных патронов ВВ, необходимо уделить особое внимание вопросам исследования влияния канального эффекта, то есть радиального зазора в шпуре, на устойчивость детонации заряда ВВ. Решение проблемы канального эффекта при детонации патронов аммиачно-селитренных и ЭВВ обеспечит полноту детонации их шпуровых зарядов и повышение эффективности взрывных работ.

Анализ литературных источников показал, что при наличии зазора между стенкой шпура и зарядом ВВ возможно снижение его детонационной способности и полноты детонации заряда за счет так называемого канального эффекта,

впервые установленного в шахтных опытах, проведенных Т. Урбански в конце 20-х годов прошлого века. Канальный эффект изучался в работах Л.В. Дубнова, А.И. Гольбиндера, А.Н. Дремина и других ученых, которые установили существование канального эффекта и механизм его влияния на полноту детонации ВВ шпурового заряда. Работами ученых МакНИИ установлено, что проявление канального эффекта на детонацию ВВ наблюдается в шпурах при зазоре от 0,1 до 3 диаметров заряда. Наиболее сильно канальный эффект проявляется при зазоре между стенкой шпура и зарядом, который составляет от 6 до 16 мм. Механизм канального эффекта объясняли тем, что продукты детонации ВВ, расширяясь в зазоре подобно косому поршню, продуцируют опережающую детонационный фронт ВВ ударную волну, которая, обгоняя детонационную волну, воздействует на еще не сдетонировавшую часть заряда. При этом происходит уплотнение ВВ в заряде впереди фронта детонации. Однако нельзя считать, что именно это уплотнение ВВ в заряде приводит к его неполной детонации. Ряд ученых считают, что затухание детонации происходит вследствие возникновения разряжения связанного с отрицательной фазой ударной волны, которая в зоне разрежения разбрасывает ВВ при расширении. Другая часть ученых считает, что опережающая фронт детонации ударная волна десенсибилизирует воздушные включения в заряде ВВ их сжатием. Это приводит к снижению скорости детонации ВВ и в конце концов к ее затуханию. При этом полнота детонации зарядов ВВ в шпурах у многих промышленных ВВ различная и определяется в основном их детонационной способностью, то есть скоростью детонации и критическим диаметром. Поэтому исследование влияния канального эффекта на процесс детонации ВВ в шпуре весьма актуально, так как позволит уточнить механизм канального эффекта и установить параметры ударной волны в зазоре, которые определяют полноту детонации заряда ВВ в шпурах при производстве взрывных работ.

Целью работы является исследование влияния канального эффекта и параметров ударной волны в зазоре с учетом отражения ее от стенок и дна шпура при детонации ВВ на полноту детонации заряда и уточнение причин затухания детонации ВВ при канальном эффекте.

Материалы и результаты исследований. Исследования канального эффекта в шпуре, скорости детонации заряда ВВ и скорости ударной волны в радиальном зазоре между стенками шпура и зарядом ВВ проводились на моделях шпуров, выполненных из различного материала. Для определения скоростей детонации ВВ и ударной волны в зазоре между стенкой шпура и зарядом использовали измеритель интервалов времени ИИВ-16/496 УХЛ 4.2 (ТУУ 33.5-3169501990-001:2011). Методика проведения опытов в данных исследованиях приведена в работе [1].

Анализ результатов, полученных в исследованиях, позволил установить следующий факт, что скорость ударной волны, распространяющейся в зазоре между стенкой модели шпура и зарядом ВВ, зависит от его скорости детонации и коэффициента заряжения ВВ в шпуре – $K_{зар}$ (он численно равен отношению квадратов диаметра заряда к диаметру шпура).

Полученные в опытах результаты определения скорости детонации ВВ и

ударной волны в зазоре шнура обработаны методами корреляционного анализа для того, чтобы установить эмпирическую зависимость между относительной скоростью УВ V_0 (отношение скорости ударной волны в зазоре к скорости детонации ВВ, $V_0=V/D$) и коэффициентом заряжения ВВ в шнуре – $K_{зар}$. Эта эмпирическая зависимость имеет следующий вид:

$$V_0 = 1.297 + 0.764 * K_{зар} - 5.619 * K_{зар}^2 + 8.137 * K_{зар}^3 - 3.398 * K_{зар}^4; \quad (1)$$

Исследование функции (1) позволило определить ее минимум, который соответствует значению коэффициента заряжения шнура $K_{зар}=0,638$, при этом его значении относительная скорость УВ имеет минимальное значение $V_0=1,047$. Очевидно, что чем ближе значение скорости распространения ударной волны в зазоре к скорости детонации заряда ВВ, тем меньше будет время воздействия опережающей ударной волны на ту часть заряда ВВ, которая еще не детонировала. В этом случае до минимума снижается влияние опережающей ударной волны на детонацию ВВ в шнуровом заряде при наличии зазора. Также установлено, что материал оболочки макета шнура при взрыве заряда ВВ существенного влияния на проявление канального эффекта не оказывает.

Так, в работе [2] проводились исследования скорости детонации аммонита АП-1 диаметром 31 мм в металлических трубах с внутренним диаметром 37 и 50 мм. Коэффициент заряжения ВВ при этом составлял 0,70 и 0,38. При этом отношение скорости ударной волны в зазоре к скорости детонации ВВ в заряде, рассчитанное по формуле (1), составило 1,068 и 1,125, что отличается от оптимального значения 1,047 на 2,0% и 5,1% соответственно. Данные исследования показали падение скорости детонации ВВ при диаметре трубы 37 мм с 4520 м/с до 4500 м/с, а при диаметре трубы 50 мм – с 4480 м/с до 3330 м/с. Это подтверждает возрастание действия канального эффекта на детонацию заряда ВВ по мере удаления величины коэффициента заряжения ВВ в шнуре от оптимального значения, равного 0,638. В работе [3] проводились исследования устойчивости детонации Донарита 1 в зависимости от отношения диаметра заряда к диаметру шнура. При неизменном диаметре макета шнура – стальной трубы с внутренним диаметром 40 мм – изменялся диаметр патронов ВВ от 25 до 28 мм, что обеспечивало коэффициент заряжения ВВ в шнуре соответственно от 0,39 до 0,49. При этом скорость детонации ВВ снижалась и составила 3030 м/с и 3400 м/с, а также наблюдались случаи затухания детонации ВВ при диаметре патронов 25 мм. При взрывании ВВ в шнурах различного диаметра автором этой работы было получено наиболее эффективное соотношение между диаметром шнура и диаметром патрона. Так, для диаметра патрона 25 мм автор рекомендует диаметр шнура равный 32 мм, а при диаметре патронов 28 мм рекомендует диаметр шнура 36 мм. Для этих соотношений коэффициенты заряжения ВВ в шнуре составляют соответственно 0,61 и 0,60, что близко к оптимальному значению, полученному согласно уравнения (1).

Вместе с тем, проведенные исследования влияния канального эффекта на процесс детонации заряда ВВ нельзя ограничить только рассмотрением действия ударной волны в зазоре на заряд ВВ. На самом деле действие ударной вол-

ны на заряд ВВ и его процесс детонации не ограничивается условиями взаимодействия ударной волны и заряда ВВ и направлением распространения детонации ВВ. Процесс детонации заряда ВВ, происходящий в зарядной камере шпура, гораздо более сложен, так как происходит отражение опережающей фронт детонации ВВ ударной волны от дна и стенок шпура, а также встреча отраженной ударной волны в зазоре с детонационной волной ВВ.

Уточненный механизм канального эффекта в шпуре при детонации заряда ВВ в общем виде можно представить следующим образом. Ударная волна, которая, обгоняет детонационную волну, движется со скоростью $V_{\text{звз.}}$ и воздействует на еще не детонировавшую часть заряда, уплотняя ВВ впереди фронта детонации, что приводит к уменьшению диаметра заряда до d' . При этом в зазоре шпура ударная волна создает высокое давление, которое подпрессовывает ВВ до критической плотности, при которой процесс детонации ВВ может становиться неустойчивым – пульсирующим. Далее ударная волна в зазоре отражается от дна шпура, и в направлении фронта детонации ВВ движется новая более мощная отраженная ударная волна, которая встречается с детонационной волной. В зоне их встречи возникает еще более высокий скачок давления $P_{\text{встр.}}$ в газе из продуктов взрыва ВВ и отраженной волны, который при определенном значении давления может нарушить устойчивую детонацию в заряде ВВ.

Попытаемся определить зону возможной неполной детонации ВВ шпурового заряда. Для этого определим часть заряда ВВ между фронтом детонации и УВ при ее отражении от дна шпура, то есть место наиболее вероятной зоны прекращения детонации ВВ (рис. 1).

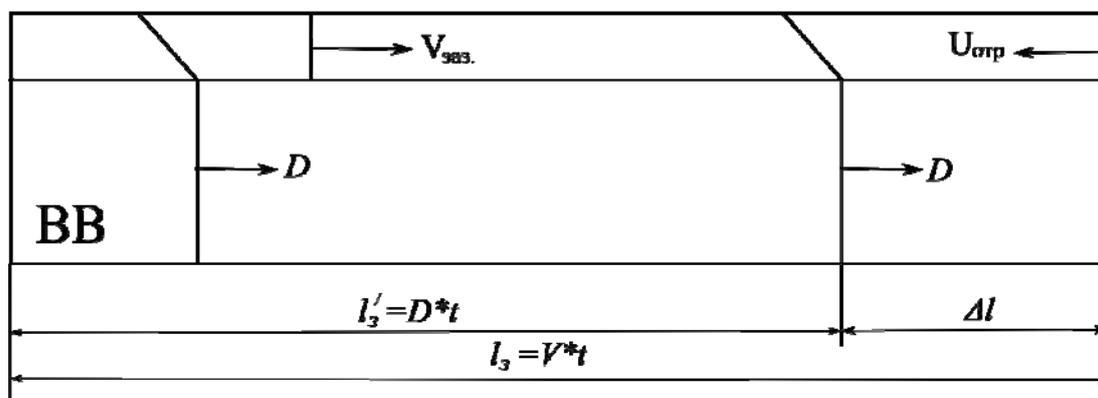


Рисунок 1 - Схема к определению зоны возможной неполной детонации

Ударная волна пройдет вдоль заряда до дна шпура расстояние $l_3 = l'_3 + \Delta l$ со скоростью V за время t . За это же время детонационная волна пройдет расстояние $l'_3 = D \cdot t$. Тогда:

$$l_3 = V \cdot t;$$

$$l'_3 = D \cdot t;$$

$$\frac{l_3}{l'_3} = \frac{V}{D} = V_0;$$

$$l_3 = l'_3 + \Delta l;$$

$$\Delta l = l_3 - l'_3;$$

$$l'_3 = \frac{l_3}{V_0};$$

$$\Delta l = l_3 \left(1 - \frac{1}{V_0} \right);$$

$$\frac{\Delta l}{l_3} = 1 - \frac{1}{V_0}. \quad (2)$$

Подставив уравнение (1) в уравнение (2), получим зависимость части длины шпурового заряда $\frac{\Delta l}{l_3}$, детонирующей после встречи УВ в зазоре с дном шпура, от коэффициента заряжения ВВ в шпуре. График этой зависимости показан на рис. 2:

$$\frac{\Delta l}{l_3} = 0.0215 + 2.2079 * K_{зар} - 8.5418 * K_{зар}^2 + 10.873 * K_{зар}^3 - 4.4149 * K_{зар}^4. \quad (3)$$

Как видно из графика, при оптимальном значении коэффициента заряжения шпура возможно затухание детонации ВВ примерно на 4,5% от общей длины шпурового заряда, а при неоптимальных значениях эта величина может возрасти до 15..20% от общей длины заряда.

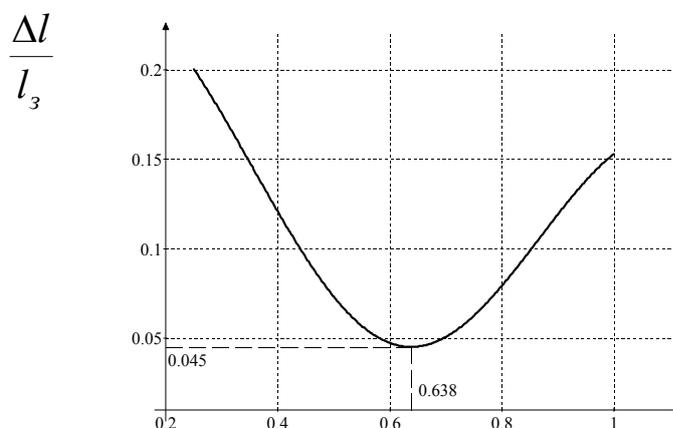


Рисунок 2 - Зависимость длины заряда ВВ, детонирующей после встречи отраженной ударной волны с дном шпура от коэффициента заряжения

Выводы:

- при детонации заряда в зазоре шпура ударная волна создает высокое дав-

ление воздуха, которое может подпрессовывать ВВ до критической плотности, при которой развитие детонации ВВ неустойчиво. Давление газа в шпуре зависит от скорости распространения ударной волны в зазоре и угла встречи расширяющихся продуктов детонации ВВ со стенкой шпура;

- динамическое действие давления воздуха за фронтом ударной волны хотя и приводит к неравномерному переуплотнению ВВ впереди фронта детонации, но к нарушению детонации заряда может и не привести. Однако с увеличением времени воздействия избыточного давления, которое выше критического давления детонации ВВ, может произойти уменьшение диаметра ВВ вплоть до критического, при котором детонация в заряде сама по себе неустойчивая, и тогда действие внешнего давления на устойчивость детонации заряда ВВ будет определяющим;

- величина заряда ВВ в донной части, подвергающегося действию высокого давления во фронте отраженной УВ, зависит от коэффициента заряджания шпура и при его оптимальном значении равна 4,5%, а в крайних случаях может достигать до 15..20% от общей длины шпурового заряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калякин, С.А. Исследование передачи детонации между патронами взрывчатых веществ в расщепленном заряде / С.А. Калякин, К.Н. Лабинский // Высокоэнергетическая обработка материалов: Сб. научн. статей. – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС.– 2009. – С. 50-59
2. Артеменко, И.А. Исследование скорости детонации шпуровых зарядов антигизутных взрывчатых веществ / И.А. Артеменко. – М.: Углетехиздат, 1950. – 20 С.
3. Бауман, К. Исследование скорости детонации взрывчатых веществ в условиях горных взрывных работ. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 64 с.

REFERENCES

1. Kalyakin, S.A. and Labinskiy, K.N. (2009), "Researching of transmission of detonation between charges of explosives in dispersed charge", ART-PERSS, Dnepropetrovsk, *High-energetical matherials processing, Scientific-and-technical collected articles*, pp. 50-59
2. Artyomenko, I.A. (1950), *Issledovaniye skorosti shpurovykh zaryadov antigryzutnykh vzryvchatikh veshchestv* [Researching of speed of detonation of blast-hole charges of preventive explosives], Ugletekhizdat, Moscow, SU.
3. Bauman, K. (1962), *Issledovaniye skorosti detonacii vzryvchatikh veshchestv v usloviyakh gornykh rabot* [Researching of speed of detonation of explosives in conditions of coal mines], Gosgortekhizdat, Moscow, SU.

Об авторе

Лабинский Константин Николаевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Строительство шахт и подземных сооружений» Донецкого национального технического университета (ДонНТУ), Донецк, Украина, bootor@gmail.com.

About the author

Labinsky Konstantyn Nikolayevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor of the department «Building of mines and underground buildings» of the Donetsk national technical university (DonNTU), Donetsk, Ukraine, bootor@gmail.com.

Анотація. У роботі розглянуті особливості розповсюдження ударної хвилі в зазорі шпуру при каналному ефекті. Уточнений механізм прояву каналного ефекту, який діє на заряд ВР при його детонації. Встановлена критична довжина заряду ВР у донній частині шпуру, на якій можлива відмова детонації, яка залежить від коефіцієнта заряджання та може знаходитися у межах від 4,5% до 20% від його довжини.

Ключові слова: ударна хвиля, каналний ефект, шпуровий заряд, відмова детонації.

Abstract. Specificities of the shock-wave propagation in the blast-hole gap at the channel effect are considered. A mechanism of the channel effect which impacts on the blast-hole charge at its detonation is specified. It is stated that when a time period of the excess (more than critical) pressure action increases a diameter of the blasting agent can essentially decrease. In this case a defining factor is an impact of the external pressure on the charge detonation stability. A critical length of the blasting agent charge in the bottom of the blast-hole, where the breaking of the detonation is possible, is specified. This critical length of the charge depends of charging coefficient and can be in range from 4,5% to 20% of its full length.

Keywords: shock wave, channel effect, blast-hole charge, breaking of detonation.

Статья поступила в редакцию 10.02.2014

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук А.П. Круковским

УДК 622.023.2:553.063.4

А.Ю. Король, инженер
(ОП «Шахта «Димитрова»
ГП «Красноармейскуголь»)

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИКОНТУРНОГО
МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ОДИНОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ
ПРИ ВСПУЧИВАНИИ ПОРОД ПОЧВЫ**

Г.Ю. Король, инженер
(ВП «Шахта «Димитрова»
ДП «Красноармійськвугілля»)

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ ПРИКОНТУРНОГО МАСИВУ
НАВКОЛО ОДИНОЧНОЇ ВИРОБКИ ПРИ СПУЧУВАННІ
ПОРІД ПІДОШВИ**

A.Yu. Korol, M.Sc. (Tech.),
(SC “Mine “Dimitrova” of the
SOC “Krasnoarmeyskugol”)

**REGULAR DEFORMATION OF THE ROCK MASSIF AROUND A
SINGLE MINE TUNNEL AT ITS FLOOR QUELLING**

Аннотация. На основе анализа геомеханических моделей принята бифуркационная теория явления вспучивания пород почвы в горных выработках.

В статье исследована численная геомеханическая модель вспучивания пород почвы в горных выработках с использованием программного продукта Phase 2 канадской компании Rockscience. Моделирование выполнялось в несколько этапов. На первом этапе моделировалась устойчивость одиночной выработки, на втором – учитывалось наличие смежной выработки, и на третьем этапе оценивалось влияние приближающегося забоя лавы.

В результате проведенных исследований установлено, что после момента вспучивания пород почвы (точка бифуркации) геомеханические параметры упругопластического состояния массива в кровле и боках выработки остаются неизменными, а в почве продолжают нарастать по нелинейному закону, что позволяет на этой основе разрабатывать практические мероприятия по управлению этим процессом.