

К ВОПРОСУ О БОРЬБЕ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ УДАРНЫХ ВОЗДУШНЫХ ВОЛН В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ.

Ст.преп., Головнева Е.Е., ДонНТУ, ДНР

Ударная воздушная волна (УВВ), распространяясь в подземных выработках, может привести к разрушению сооружений и оборудования и к воспламенению пыле-воздушных и метано-воздушных смесей. Разрушение вентиляционных устройств приводит к нарушению вентиляционного режима, способствует широкому распространению ядовитых газов и увеличивает в 3—4 раза длительность проветривания. Это, в свою очередь, затрудняет ремонтно-восстановительные работы после взрыва.

Отсутствие обоснованных методов прогнозирования ожидаемой интенсивности УВВ заставляет производителей принимать ряд мер по предотвращению разрушительного действия волн. Последнее связано со значительными материальными и трудовыми затратами и, как показывают наблюдения, не всегда оправдывает себя. Затраты на монтаж и демонтаж оборудования и на ремонтно-восстановительные работы достигают 25% затрат на проведение массовых взрывов.

В последнее время выполнен ряд работ, посвященных исследованию УВВ в подземных выработках. Это вызвано увеличением масштаба взрывов, следовательно, их возросшим разрушительным действием.

Поэтому исследования направленные на изучение возникновения ударных воздушных волн и защита от их поражающего действия подземных коммуникаций и сооружений имеет важное значение. Практическое значение приобретают изучение параметров УВВ, расчет опасных зон их действия, гашение УВВ, возникающих в горных выработках при взрывах зарядов ВВ, метана и угольной пыли. Разработка мероприятий по повышению устойчивости подземных объектов при воздействии поражающих факторов взрыва и воздействия УВВ.

Для уменьшения разрушительного действия УВВ, распространяющихся в подземных выработках, применяют различные устройства, которые можно разделить на три основные группы.

1. Преграды — буферные и баррикадные перемычки, «волнорезы», пористые преграды, гидравлические перемычки (гидрощит). Процесс гашения энергии ударных волн этими устройствами состоит в том, что при взаимодействии ударной волны с преградой происходят процессы отражения и обтекания. В результате волна теряет некоторое количество движения. Это уменьшает скорость распространения волны, что ведет к снижению давления.

2. Расширительные камеры, выхлопы, сквозняки. Процесс гашения энергии ударных волн заключается в том, что ударная волна, проходя через них, расширяется или частично отводится в сторону от основного направления. Это в значительной степени способствует уменьшению разрушительного действия.

3. «Условно пробиваемые» преграды. Конструктивно они представляют собой сплошные перемычки. Возводят их непосредственно у места взрыва. Процесс гашения энергии волны в этом случае состоит в том, что ударная волна и продукты взрыва, воздействуя на преграду, разрушают ее. За время разрушения преграды давление перед преградой значительно падает, и разрушительная способность волны уменьшается.

Эффективность этих устройств оценивается их гасящей способностью в виде отношения избыточных давлений УВВ перед ними и после их прохождения.

Так как гасящая способность расширительных камер и подвижных преград пока изучены недостаточно на базе буровзрывной лаборатории кафедры СЗПСиГ ДонНТУ были проведены лабораторные испытания по изучению распространения и гашения ударных волн в замкнутых пространствах.

Основными величинами, характеризующими УВВ, являются избыточное давление ΔP на фронте, время действия фазы сжатия $\tau_{сж}$, скорость фронта u , температура на фронте T и

эффективное время действия $\tau_{эф}$. А также УВВ характеризуются импульсом I в сжатой и разреженной фазах и плотностью потока ρ на фронте. Опасность УВВ при взрыве метана, угольной пыли определяется двумя основными параметрами – избыточным давлением ΔP_+ во фронте УВ и временем действия избыточного давления $\tau_{сж}$ (фаза сжатия). Скорость ударной волны и давление на фронте волны связаны зависимостью:

$$P = \frac{2 \cdot \rho \cdot u^2}{\gamma + 1} \cdot \left(1 - \frac{c_0^2}{u^2}\right) \quad (1)$$

где u – скорость ударной волны, м/с;
 r – расстояние до датчика, м;
 τ – время прохождения ударной волны до датчика, с;
 P – давление на фронте волны, Па;
 ρ – плотность воздуха, кг/м³;
 γ – адиабата воздуха;
 c_0 – скорость звука, м/с.

Поэтому исследования были направлены на определение скорости распространения фронта ударной волны.

Для физического моделирования процесса распространения ударной волны в горной выработке были проведены испытания, с использованием пластиковых труб различной длины (от 50 до 1400 мм) и диаметра (45 мм, 110 мм, 160 мм). Взрывания проводились аммонитом 6ЖВ (взрывчатое вещество II класса, разрешенное к применению в данной лаборатории) перепатронированным в заряды различной массы (50 г, 75 г, 100 г). В качестве забойки использовалась гипсопесчанная смесь. Трубы подвешивались к металлической балке под куполом камеры, так чтобы сохранялось их горизонтальное положение. С одного конца трубы непосредственно после забойки располагался заряд ВВ. Другой конец трубы упирался в баллистический маятник, что позволяло определять импульс взрыва. Прохождение ударной волны по свободной части трубы фиксировалось введенными внутрь датчиками, соединенными с прибором измерения интервалов времени.

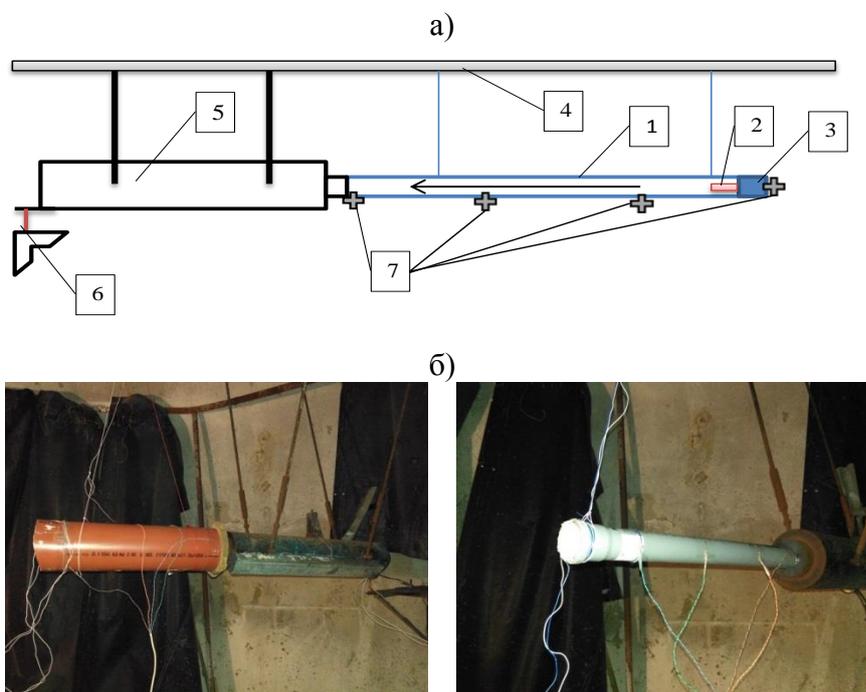


Рис.1 - Схема и общий вид лабораторной конструкции: а) Схема размещения трубы в камере лаборатории 1-пластиковая труба; 2- заряд ВВ; 3- забойка; 4- балка для крепления баллистического маятника; 5- баллистический маятник; 6- карандаш и планшет для фиксирования отклонения маятника; 7- места закрепления датчиков.

б) Общий вид перед взрыванием.

Планирование испытаний осуществлялось по методике реализации полного факторного эксперимента (ПФЭ)[6]. Целью проведенного эксперимента являлось получение адекватного описания функции отклика (скорости ударной волны) в заданной части факторного пространства (относительное расстояние и относительная энергия взрыва).

Планирование, проведение и обработка результатов ПФЭ проводились по обязательным этапам: кодирование факторов, составление план-матрицы эксперимента, рандомизация опытов, реализация плана эксперимента, проверка воспроизводимости опытов, проверка адекватности модели, оценка значимости коэффициентов регрессии.

В качестве основных факторов, влияющих на скорость распространения ударной волны, были приняты расстояние от середины заряда до середины базы и энергия взрыва.

Так как диаметры труб и их длина варьировались, то для универсализации расчетов результатов эксперимента было решено перейти к относительной величине расстояния R , которую вычисляем по формуле:

$$R = \frac{L_{cp}}{\Pi} \quad (2)$$

где L_{cp} – расстояние от середины заряда до середины базы, мм;

Π – периметр сечения ограниченного пространства, мм, (в нашем окружность трубы).

Величина заряда и диаметр патронов также изменялись, соответственно получалась разная длина зарядов, поэтому по аналогии с фактором расстояния переходили в расчетах на относительную величину энергии, которую определяли по формуле:

$$Q = \sqrt[3]{\frac{m \cdot Q_V}{P_0}} / l_{зар} \quad (3)$$

где m – масса заряда, кг;

Q_V - удельная энергия взрыва 4311000 Дж/кг;

P_0 - начальное атмосферное давление 99325 Па;

$l_{зар}$ – длина заряда, которая определяется в нашем случае для патронов по формуле:

$$l_{зар} = \frac{4 \cdot m}{\rho_0 \cdot \pi \cdot d^2} \quad (4)$$

где ρ_0 – плотность патронирования, в нашем случае равна 1100 кг/м³;

d – диаметр заряда, м.

В ходе реализации плана лабораторных экспериментов были получены следующие данные по скоростям ударных волн, которые приведены на рисунке 2. Параллельные опыты-взрывания предусматривались для проверки воспроизводимости опытов и проведения статистических оценок.

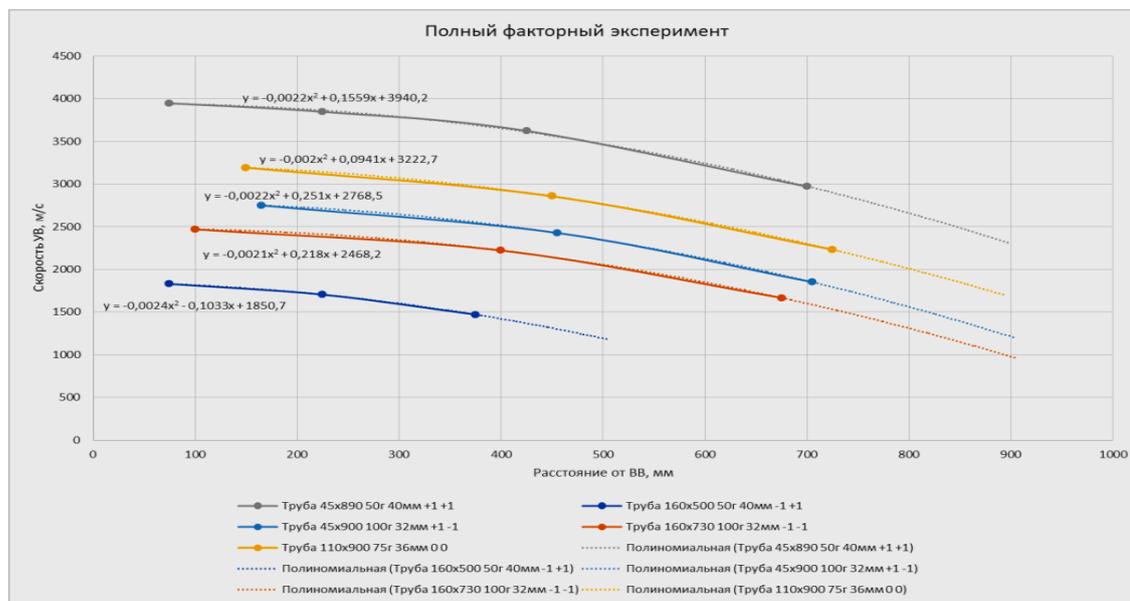


Рис.2. - Полный факторный эксперимент.

По результатам вышеописанного факторного эксперимента после раскодирования факторов были получены зависимости скорости распространения ударной волны от относительного расстояния и относительной энергии взрыва в виде неполных квадратных уравнений:

$$D = 1134,07 \ln Q \ln R - 904,505 \ln Q - 3416,77 \ln R + 4465,38 \quad (5)$$

$$M = 3,32731 \ln Q \ln R - 2,65374 \ln Q - 10,0247 \ln R + 13,1024 \quad (6)$$

В качестве графической интерпретации результатов факторного эксперимента была построена по уравнению (5) гиперплоскость в трехмерном факторном пространстве.

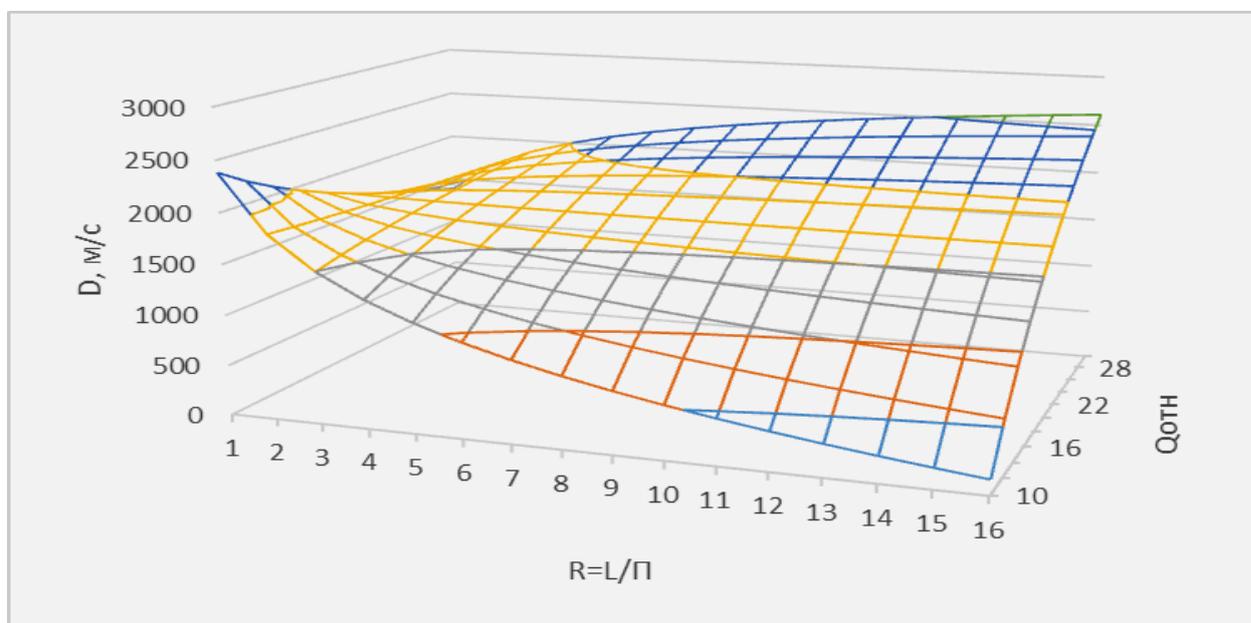


Рис. 3. - Гиперплоскость в трехмерном факторном пространстве.

Проверка воспроизводимости опытов проверялась по критерию Кохрена, а адекватность полученной модели по критерию Фишера. Взрывания воспроизводимы, так как выполняется неравенство:

$$G = 0,6542 < G_{(0,05;4;1)} = 0,9065 \quad (7)$$

Полученные модели адекватны, так как выполняется неравенство:

$$F = 3,4251 < F_{(0,05;4;1)} = 7,7086 \quad (8)$$

Проверка адекватности зависимости (1) помимо статистической проверки подтвердилась экспериментально, взрыванием в «нулевой точке». Теоретическое значение по полученной модели составило $D = 1738,411$ м/с, а полученное экспериментально $D_3 = 1708$ м/с.

Следовательно, адекватность полученных зависимостей (5) и (6) доказана и статистическим и экспериментальным путем, поэтому можно эти зависимости рассматривать в качестве модели распространения ударных волн в ограниченном пространстве постоянного сечения.

В дальнейшем, полученная модель использовалась при исследовании гашения ударных волн.

Для снижения скорости УВ рассматривались два эффективных способа: создание расширений в горных выработках и сооружение передвижных перемычек по типу лабиринта. Эксперименты проводились в трубах с расширениями кратными и сопоставимыми с существующими типовыми площадями поперечного сечения горных выработок. При этом размеры труб те же что и в предыдущих экспериментах по распространению УВ в трубах, для оценки эффективности применяемых способов снижения скорости УВ. Основной диаметр труб 50 мм, расширения диаметрами 75 мм, 110 мм, 160 мм. Протяженность камер расширенного диаметра увязывалась с существующими методами ведения взрывных работ и

предусматривалась кратной длине заходки и диаметру сечений (до 3-4 заходок). Эта величина составила 25 мм, 50мм, 100мм и 150 мм. Эксперименты по созданию перемычек в виде лабиринта также проводились в трубах диаметром 50мм и 110 мм. Количество перемычек от 2 до 4 (парные на половину сечения). Расстояние между перемычками было принято равным диаметру трубы. Общий вид физических моделей и эксперимента представлен на рисунке 4.

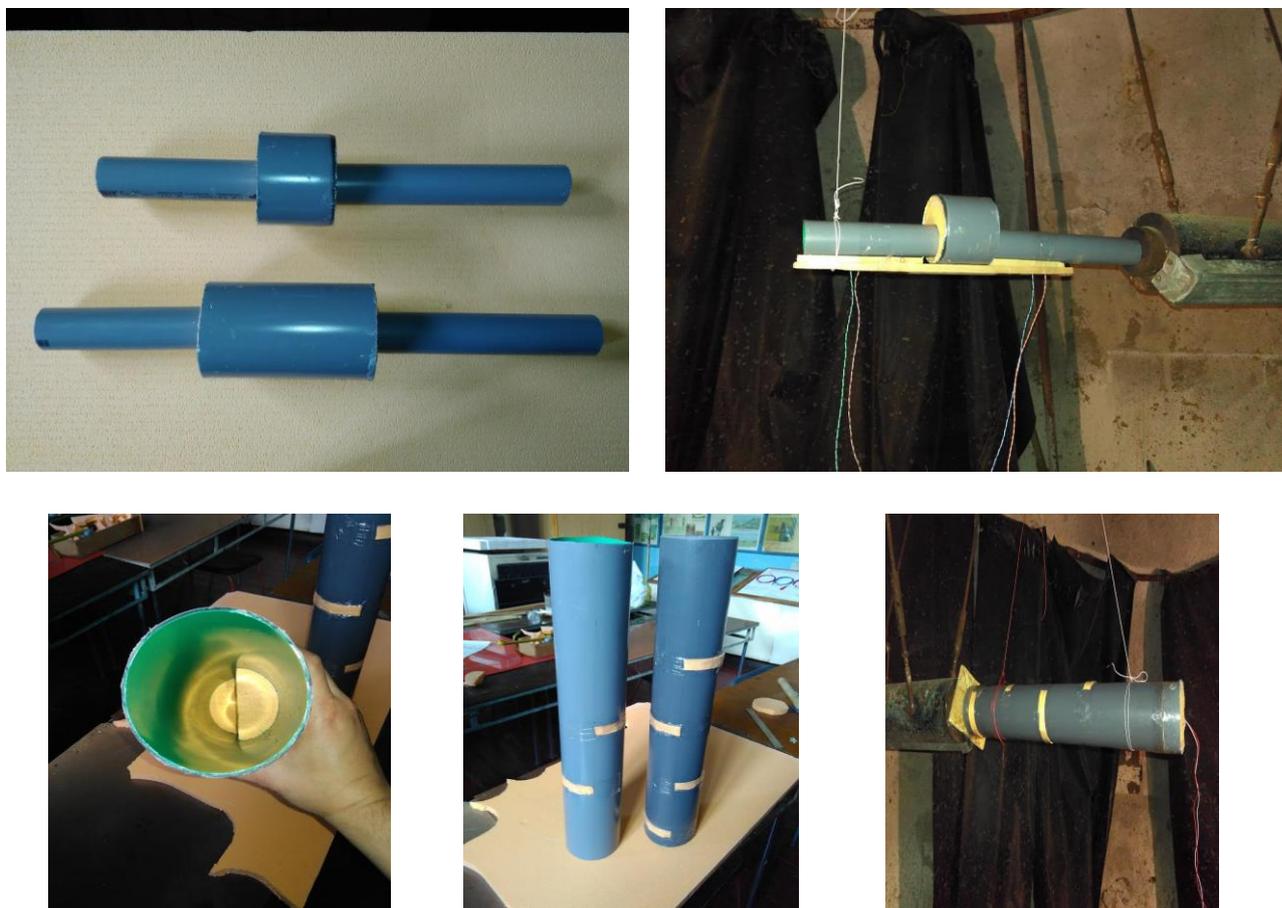


Рис. 4. - Общий вид физических моделей

Оценка эффективности проводилась по отклонению баллистического маятника (Б) и относительным величинам принятых расширений (D/d) и длин камер расширения (L/d). В случае перемычек их количество и относительная длина участка трубы с перемычками (L/d).

По результатам полученным в ходе экспериментов была выведена зависимость $B=f(L/d)$ при различных величинах D/d .

Окончательные результаты представлены в относительных величинах на графике ниже, кривая «Дельта» характеризует разницу в снижении скорости УВ двумя способами.

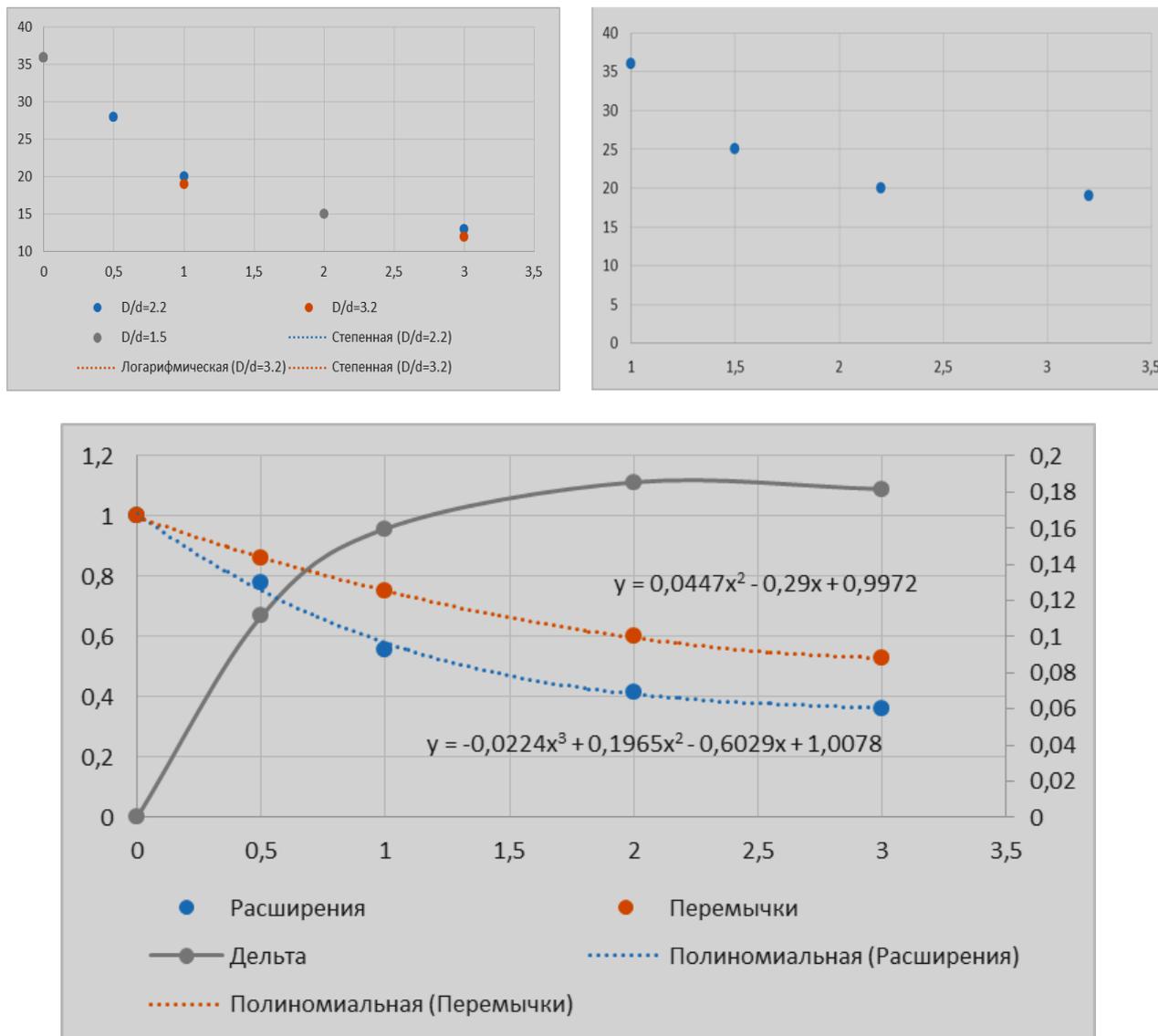


Рис.5. - Зависимость отклонения маятника при различных величинах соотношений диаметров труб.

Как видно из результатов оба способа снижения воздействия ударных волн эффективны, при этом расширения эффективнее перемычек. Соответственно, методы борьбы с воздействием ударных волн на горные выработки следует проектировать с применением вышеуказанных способов.

Библиографический список

1. Методика определения параметров воздушных ударных волн при взрывах газов и пыли в горных выработках. СНиП 2.01.34-84 <http://www.gornopass.ru/>
2. Лукашов О. Ю. Исследование волновых эффектов, возникающих при распространении ударных волн по разветвленной сети горных выработок.: Автореф. дис. канд. физ.- матем. наук. – Томск: ТГУ, 2002. — 22 с.
3. Русских В.В. Параметры взрывозащитных устройств для гашения ударных воздушных волн при подземной добыче руд [Текст]: моногр. – Д.: Национальный горный университет, 2012. – 93 с.