

самопередвижки 8, который расположен у почвы выработки и защищен бортами комплекса от действия взрыва. Операции погрузки и бурения шпуров ведутся в призабойной зоне под защитой предохранительной крепи. Также, комплекс может оборудоваться крепеустановщиком и оборудованием для пенозабурки.

Таким образом, применение современного агрегатированного комплекса на шахтах Донского ГОКа обеспечит высокие темпы проведения капитальных горных выработок.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Тиль В.В. ОАО «Донской ГОК»: вступая в новый век / Горный журнал. – 2001. – №11. – С.23-24.
2. Хазанович Г. Ш., Воронова Э. Ю. Усовершенствование проходческого комплекса для проведения горных выработок по крепким породам с использованием взрывонавалочных технологий / Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – №7. – С.2-4.

УДК 622.831.1: 519.216

*Шашенко А.Н. д.т.н., проф., зав. каф. СГМ, Кондратюк И.В., асп., каф. ВМ, «НГУ», г. Днепрпетровск, Украина*

#### **ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ, СОПРОВОЖДАЮЩИЕ ЯВЛЕНИЕ ВЫБРОСА**

В Государственном высшем учебном заведении «Национальный горный университет» проводятся исследование и разработка методов и средств акустического контроля состояния призабойной части угольных пластов в процессе их отработки. Акустические системы в настоящее время являются одними из основных средств получения информации о состоянии горного массива, позволяющие наблюдать ход процессов разрушения сочетающие отсутствие необходимости внедрения в массив и независимость процесса контроля от хода горных работ.

В целях проверки эффективности существующих методов и их модификаций для контроля призабойных частей пластов были проведены работы по регистрации акустических колебаний, в ходе которых было получено большое количество информации с помощью акустической аппаратуры АК-1М. Часть информации была обработана. Обработка полученной информации производилась с целью определения принципов построения и функционирования автоматизированной аппаратуры акустического контроля. При этом обнаружено дополнительно явление, которое относится к стадии развития выброса, и к стадии его протекания. Это явление связано с реверберацией упругих волн в угольном пласте и синхронизацией этими волнами моментов разрушения (прорастания трещин) [1].

При детальном изучении формы акустических импульсов, фиксируемых геофоном, было обнаружено, что по мере повышения энергии источника акустического импульса (энергии разрушения материала при подрастании трещины) в структуре акустического сигнала появляются участки с практически одинаковой частотой условно называемого "хвосты". Появление этих участков можно частично объяснить резонансными явлениями в геофонах, хотя их стандартные амплитудно-частотные характеристики не содержат резонансных максимумов на наблюдавшихся частотах (в среднем около 200 Гц). В "хвостах" акустических импульсов часто наблюдаются низкочастотные биения (рис. 1). По мере накопления экспериментальных материалов обнаружилось, что частоты заполнения "хвостов" и частоты биений в них на различных пластах различны, хотя геофоны применялись одни и те же, т.е. наблюдаемое явление связано скорее всего с волновыми

процессами, протекающими в пласте.

Определенное по "хвостам" импульсов затухание волн имеет порядок 10 дБ/км. Затухание продольных волн в пласте составляет около 1 дБ/м [2], следовательно, регистрируемые волны не являются прямыми продольными или поперечными и наблюдается явный волноводный эффект. Сравнивая полученные акустические колебания с колебаниями, приведенными в работе [3], можно сделать вывод о том, что регистрируемые волны являются поперечными каналовыми волнами. Поперечная каналовая волна представляет собой суперпозицию двух противофазных волн Релея, распространяющихся вдоль границ пласта [4]. Подробно природа каналовых волн описана в работах [5, 6, 7].

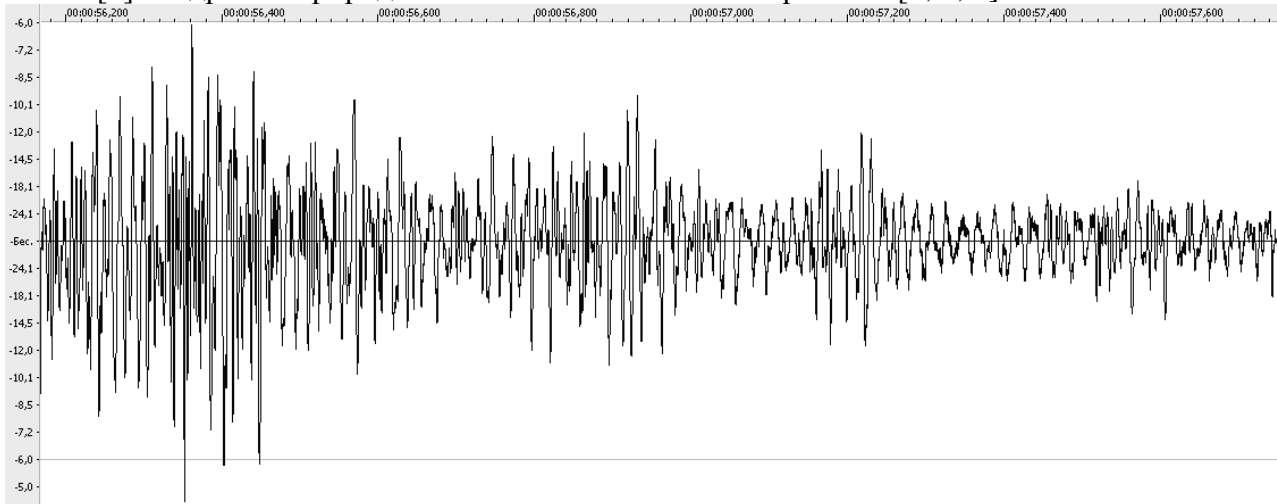


Рис.1. Биения в "хвосте" акустического импульса

При дальнейшем исследовании обнаружилось, что непосредственно перед выбросом интервалы между моментами возникновения акустических импульсов с достаточной точностью кратны времени пробега волной расстояния между штреками. График изменения этой кратности перед выбросом приведен на рис. 2. По вертикальной оси - кратность интервала между импульсами времени пробега волной длины лавы, по горизонтальной оси - номер сейсмоимпульса.

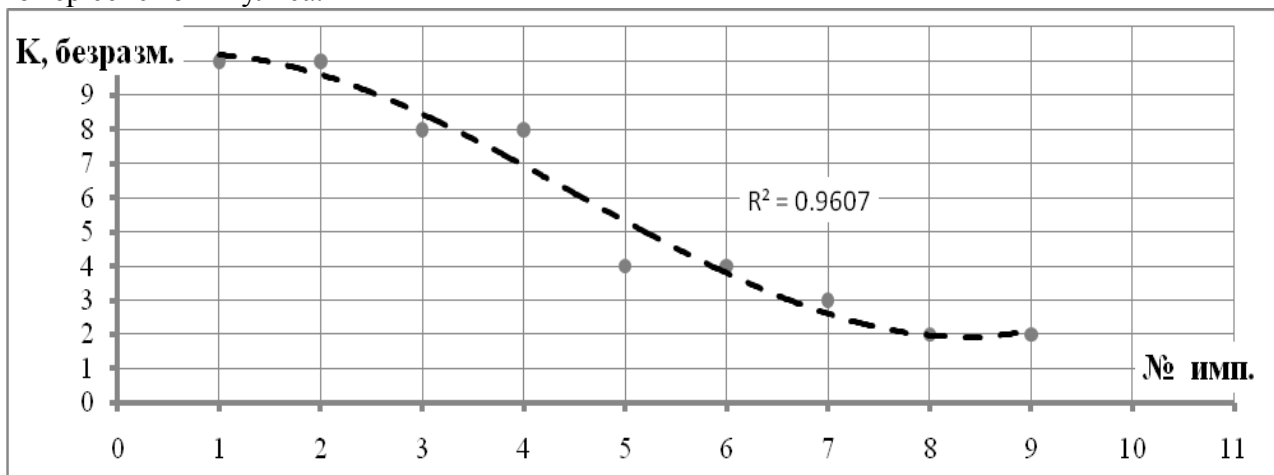


Рис.2. Изменение перед выбросом кратности интервала между импульсами времени пробега каналовой волной длины лавы

Характерно то, что выброс начинается после достижения вышеупомянутой кратностью минимальной величины.

В начальной стадии выброса еще прослеживается появление отдельных акустических

импульсов с изменением амплитуды и частотной составляющей сигнала. Затем частотная составляющая регистрируемого сигнала становится практически однородной, амплитуда сигнала возрастает настолько, что если она и изменяется, то эти изменения невозможно определить из-за ограничения используемой аппаратуры. В конце выброса также появляется возможность выявления отдельных акустических импульсов, затем импульсы отделяются друг от друга и между ними появляются увеличивающиеся интервалы. Структура акустического сигнала приведена на рис. 3, но т.к. процесс занимает довольно длительное время, наглядность его немного теряется.

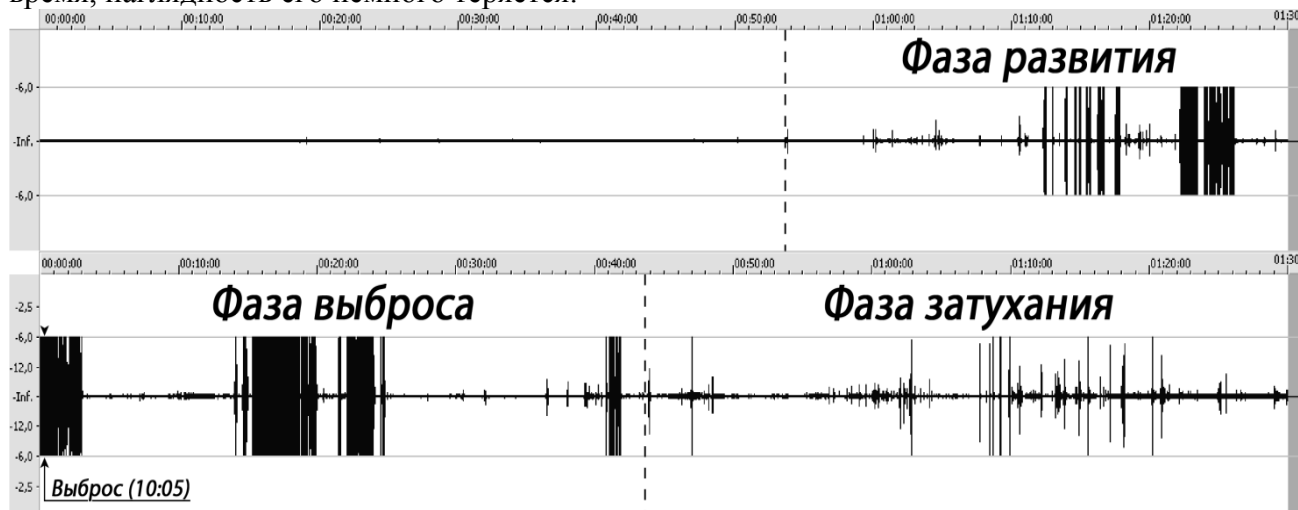


Рис.3. Структура акустического сигнала при выбросе, зафиксированном на шахте им. А.А. Скочинского ГП „ДУЭК”, произошедшего 08.06.2009 года в 10 часов 5 минут 27 секунд

Анализируя структуру сигнала можно представить, что процесс выброса протекает следующим образом.

При появлении или развития в угольном пласте трещины появляется упругий акустический импульс, имеющий достаточно широкий энергетический спектр. Часть этого спектра затухает на сравнительно небольших расстояниях от трещины, а та часть, которая трансформируется в каналовую волну, распространяется на большие расстояния (до нескольких километров) с малым затуханием [8, 9]. Так как длина лавы меньше этого расстояния, волны, достигающие бортов штреков, отражаются от них, изменяя при этом фазу на  $180^\circ$ . Отраженные от бортов штреков волны встречаются в точке, расположенной относительно оси симметрии лавы симметрично точке, в которой находится источник. В этой точке образуется первый интерференционный максимум [10]. Волна при этом проходит путь, равный длине лавы. При проходе волной следующего отрезка пути той же длины максимум образуется в точке зарождения волны. В каждой из этих точек максимум, в котором амплитуда напряжений в волне удваивается, появляется через время, равное удвоенному времени пробега волной длины лавы.

Биения в волне могут возникнуть в случае, если в резонаторе, образуемом пластом и отражающими волны поверхностями бортов штреков, образуются две стоячие волны с разными частотами. Если в волнах имеются набеги фазы, их интерференционные максимумы будут перемещаться вдоль лавы. То же будет наблюдаться, если в пласте будут существовать две различные моды волн с одинаковыми номерами. Биения в этом случае возникнут в каждой из них за счет обмена энергией между модами.

Коэффициент концентрации напряжений в вершине трещины может осциллировать [11, 12]. Такая осцилляция возможна и при подрастании газонаполненной трещины, падении вследствие этого давления газа в ней и последующего подъема давления в трещине за счет

притока газа [13]. В любом случае, если трещина после подрастания продолжает получать энергию извне или изнутри пласта, наступит момент, когда произойдет очередное подрастание.

При наличии в пласте упругих волн поле напряжений у конца трещины взаимодействует с полем напряжений волны. Эти напряжения, складываясь, могут превысить величину предельной концентрации напряжений, при которой трещина подрастает [14, 15]. Если собственные напряжения у конца трещины нарастают достаточно медленно, поле волны, пусть даже напряжения в нем малы, спровоцирует подрастание. При этом причиной роста трещины являются не напряжения в волне, которые могут быть сравнительно малыми, а энергия газа или горного давления. Волна в этом случае является лишь спусковым механизмом процесса роста трещины.

Порожденная трещиной волна постепенно затухает. Если коэффициент концентрации напряжений осциллирует медленно, так, что к очередному подрастанию происходит практически полное затухание волны, процесс разрушения зависит лишь от притока энергии к трещине и не зависит от порождаемой ей волны. Если же волна к очередному моменту подрастания не успевает затухнуть, очередное подрастание будет спровоцировано волной в некоторый момент времени, несколько опережающий "естественный" момент подрастания, определяемый осцилляцией напряжений у конца трещины [12]. При этом "новая" волна, порожденная ростом трещины, окажется синфазной с предыдущей, особенно если волна близка к монохроматической. Для немонахроматической волны в этом случае, появится синфазность волн по некоторой частоте спектра волны. При этом спектр волны изменится, а частота, на которой произошел "захват" новой волны, в силу синфазности увеличит свою спектральную плотность, другие частоты спектра волны, не кратные частоте захвата, будут интерферировать случайным образом и их спектральная плотность в целом уменьшится. Другими словами, при синхронизации разрушения волной ее спектр будет обогащаться частотами, на которых происходит "захват" новой волны. Естественно, при этом амплитуды "новой" и "старой" волн должны быть одного порядка, т.е. "старая" волна не должна успевать затухнуть.

Так как напряжения в каналовой волне в области нахождения породившей ее трещины максимальны при появлении в этой области интерференционного максимума, следует ожидать синхронизации ее роста волной преимущественно в эти моменты, что и наблюдается в реальном процессе (рис. 2).

Если скорость притока энергии к трещине увеличивается, следует ожидать повышения частоты осцилляции коэффициента концентрации напряжений у ее конца (увеличение притока газа к газонаполненной трещине или нарастающая потеря устойчивости областей, между которыми перераспределяется избыточное горное давление). При достижении частотой осцилляции напряжений у конца трещины некоторой критической величины энергия, преобразуемая трещиной в энергию упругой волны, начнет накапливаться в волне, приток энергии в волну превысит ее затухание. При этом в спектре волны в еще большей степени выделятся частоты захвата, а остальные частоты будут существенно подавлены.

При нарастании амплитуды волны в области интерференционного максимума, где амплитуда удваивается, следует ожидать, прежде всего, нагрева среды, начинающегося с момента выхода амплитуды напряжений на нелинейный участок характеристики "напряжение - деформация".

Нагрев понижает предел прочности, следовательно, частота осцилляции коэффициента концентрации напряжений увеличится, увеличится и скорость притока энергии в волну. В процессе появляется положительная обратная связь, наличие которой предполагается в работах С.Н. Осипова [16, 17]. Трактовка Осиповым С.Н. процесса развития и протекания выброса, как колебательного процесса с положительной обратной

связью совпадает с результатами наших исследований. Причиной появления колебаний в пласте С.Н. Осипов считает стрельяние угля и пород, что в принципе, также может привести к появлению каналových волн.

И при нагреве среды и по мере роста напряжений в волне в процесс разрушения могут быть вовлечена трещины, концентрация напряжений в вершинах которых в силу их меньших по сравнению со "стартовой" трещиной размеров или иной пространственной ориентации не достигала критических значений (о влиянии длины и ориентации трещины на концентрацию напряжений см. [11]). Для раскрытых трещин с газом возможны также ускорение десорбции газа в трещины и увеличение его давления при нагреве. Наконец, не исключено, что при быстром росте напряжений в волне, если ее энергия не успевает рассеяться при нелинейном деформировании среды, волна в области интерференционного максимума может перейти в ударную. В любом из этих случаев в интерференционном максимуме произойдет быстрое разрушение среды в некотором объеме, характерный размер которого, обобщая приведенные выше соображения, можно определить как имеющий порядок половины длины волны, на которой происходит синхронизация разрушения. Учет данных по частотам колебательных процессов при выбросах, приведенных в работе [17] и данных, полученных экспериментальным путем, позволяет оценить этот характерный размер области разрушения при выбросе угля величиной от 1 до 8 м (скорости в пределах 1000-1600 м/с и частоты в пределах 100-500 Гц). Полученные размеры совпадают со статистикой, приведенной в работе [18].

Ограничение размера области разрушения половиной длины каналовой волны объясняется тем, что при включении в разрушение новых трещин и росте полости выброса трещины, растущие на противоположных краях полости, будут генерировать импульсы каналových волн, взаимные фазовые сдвиги которых по мере роста полости (при одновременном росте трещин) будут стремиться к  $180^\circ$ . В целом, если трещины на краях полости не растут совершенно случайным образом и существует тенденция к их более или менее одновременному подрастанию, по мере роста полости в процессе появится усиливающаяся отрицательная обратная связь, что приведет к прекращению разрушения.

Обобщая вышеизложенное, можно сделать выводы, что процессы развязывания и протекания внезапного выброса в горных выработках могут интерпретироваться как единый процесс установления энергетического равновесия, происходящий в волноводном резонаторе, образованном акустически активной твердой средой, преобразующей запасенную в ней неравномерно распределенную потенциальную энергию квазистатических напряжений в колебательную энергию упругих волн. При определенных условиях этот процесс переходит в самоподдерживающееся выделение энергии при участии волны как механизма самоподдерживания процесса, приобретающего характер спонтанного разрушения некоторого объема среды внутри волновода.

Явление спонтанного разрушения акустически активной среды, происходящего при когерентной генерации каналových волн в твердых волноводах, может быть использовано для разработки без инструментальных способов добычи угля и других полезных ископаемых, способов дистанционного безвзрывного разрушения горных пород, импульсных генераторов ультразвуковых волн и т.п. Непосредственно для решения задач прогноза внезапных выбросов - это явление также может быть использовано, так как, по описанным выше наблюдениям, синхронизация разрушения волной в области будущего выброса эпизодически появляться задолго до выброса.

Придание горным выработкам формы, исключаяющей реверберацию каналových волн с образованием интерференционных максимумов, должно по нашему мнению понизить их выбросоопасность. Могут быть также разработаны специальные способы, вызывающие повышенное затухание каналových волн или их отражение в направлениях, безопасных в смысле образования интерференционных максимумов. Наиболее простым способом является

нарушение волноводной проводимости среды, что, видимо, частично реализуется в способах разгрузочных щелей, гидроразрыва и гидрорыхления и т.п., широко применяемых для борьбы с выбросами [19].

В заключение необходимо отметить, что информация, позволившая обнаружить описанные явления, получена благодаря анализу акустических колебаний, что свидетельствует о перспективности применения такого способа, для контроля состояния горного массива в научных и технологических целях и их высокой информативности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сейсмическая стратиграфия, М.: Мир. Ред. Ч. Пейтон. -Т.1-2. 1982, 846 с.
2. Анцыферов М.С., Анцыферова Н.Г., Каган И.Я. Сейсмоакустические исследования и проблема прогноза динамических явлений. М., "Наука", 1971, 136 с.
3. Dlouhy I., Stas B., Kovacs F.. Prvni skusenosti s aplikaci slojove vlny ve sloi 35-2 KRA na dole President Gottwald v DKR. Konference ZPCTVS k aktualnim hornickim problemum karvinske casti DKR, 1971, С. 8.
4. Красильников В.А., Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и твердых телах - М.: Физматгиз,1960. - 560 с.
5. Левшин А.Л. Поверхностные и каналовые сейсмические волны. М., "Наука", 1973, 495 с.
6. Брехсвских Л.М. Волны в слоистых средах. М., "Наука", 1973, 343 с.
7. Krey Th. Channel waves as a tool of applied geophysics in coal mining. "Geophysics", 28, P.1, 1963 , p.p. 701-715.
8. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. - Донецк; ООО "Алан", 2003 - 311 с.
9. Глухов А.А., Азаров Н.Я. Анализ результатов математического моделирования при определении параметров тектонических нарушений сейсмоакустическим методом // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Випуск 3 / 36. наук. пр. – Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2008. – С. 89 – 104.
10. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики. — М.: Наука, 2003, — т.2, 737 с.
11. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М., "Наука", 1974, 640 с.
12. К оценке надежности элементов конструкций из анизотропных неоднородных материалов. Колчин Г. Б., Носиков А. И., Эрнст А. В. // Известия В НИИГ им. Б. Е. Веденеева. - 1999. - Т. 234. - С. 66-72.
13. Корепанов К.А., Ирисов С.Г. Роль трещин в развязывании внезапных выбросов угля, породы и газа. В сб.: Вопрос теории внезапных выбросов угля, породы и газа. Киев, "Наук. Думка", 1973; с. 82-88.
14. Финкель В.М., Гузь М.С., Червов Г.А.. К вопросу о взаимодействии релеевских волн со стационарной макро трещиной. В сб.: Добыча угля гидравлическим и механо - гидравлическим способом. Труды ВНИИГ гидроугля, 22. Новокузнецк, 1972; с. 181-188.
15. Черепанов Г.Я., Ершов Л.В., Механика разрушения. М., "Машиностроение", 1977; 224 с.
16. Осипов О.Н.. О вибрационно-волновом механизме выбросов породы. "Уголь Украины", № 10, 1975; с. 37-40.
17. Осипов С.Н.. О вибрационно-волновом механизме выбросов угля и газа. "Уголь Украины", № 7, 1978; с. 43-46.
18. Розанцев Е.С., Медведев И.Г., Петров Л.П., Попов И.Н.. Систематизированные данные по внезапным выбросам угля и газа на шахтах восточных и северных месторождений стран. КузНИИШахтострой, Кемерово, 1973; 248 с.
19. Бурчаков А.Г., Гринько Н.К., Ковальчук А.Б.. Технология подземной разработки

пластовых месторождений полезных. М., "Недра", 1978; 536 с.  
УДК 622.14.04

*Выгодин М.А., к.т.н., доц., Солодянкин А.В., д.т.н., проф., Рябоконт В.В., студ., Рубан Н.Н., студ., каф. СГМ, НГУ, г. Днепрпетровск, Украина*

## **НЕКОТОРЫЕ РЕШЕНИЯ В ПРОГРАММЕ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ГОРОДА ДНЕПРОПЕТРОВСКА**

Развитие городов-мегаполисов в настоящее время при остром дефиците свободных территорий для строительства на поверхности, плотной городской застройке невозможно без освоения подземного пространства.

Особенность развития состоит в комплексной застройке пригодных для этого территорий, как в сложившейся части города, так и в развивающихся его районах, в функциональной и архитектурной взаимосвязи с поверхностной застройкой.

При разработке стратегии развития города важно обобщение и использование опыта перспективного планирования наземного строительства и освоения подземного пространства крупных городов мира. Наиболее развитыми в этом плане являются Монреаль, Торонто, Лас-Вегас, Париж, Токио, Стамбул и др. Зарубежный опыт показывает, что для обеспечения устойчивого равновесия и комфортного проживания в мегаполисе доля подземных сооружений от общей площади вводимых объектов должна составлять 20-25%. В Москве же эта цифра не превышает 8%, в Киеве не более 6%, еще меньше в других городах СНГ [1].

На современном этапе город Днепрпетровск является сложившимся мегаполисом с многочисленными памятниками исторического наследия, развитой промышленностью, культурными и научно-образовательными центрами.

В настоящее время в структуре развития Днепрпетровска существует безусловная диспропорция. Преобладающим является строительство объектов на поверхности, среди которых основной объем занимают торгово-развлекательные комплексы, супермаркеты, гостиницы и здания офисного типа. Строительство выше перечисленных объектов коммерческого назначения по вполне понятным требованиям рынка и необходимости быстрой окупаемости капитальных затрат тяготеет к центральным плотно застроенным районам города. Эта тенденция усложняет и без того серьезные проблемы, существующие в Днепрпетровске, с наличием свободных земельных участков, резервов мощности электроэнергии, водопотребления, сбросов хозяйственно-бытовых и дождевых стоков, с обеспечением внутриквартальными подъездами и местами для парковки легковых автомобилей.

Реализация технических условий подключения объектов строительства к существующим городским инженерным сетям траншейным способом и согласования трассы прокладки с многочисленными эксплуатационными службами города в результате создает большое неудобство для горожан и увеличивает продолжительность строительства.

Как правило, техническими условиями, а, следовательно, и в проектной документации не решаются вопросы увязки строящихся объектов поверхности с существующими подземными объектами метрополитена на уровнях комплекса выработок верхних и промежуточных вестибюлей и даже подземных переходов. Сооружение в будущем объединяющих подземных объектов потребует отдельных затрат на реализацию инженерных мероприятий по защите зданий.

В связи с этим, одной из важных направлений развития Днепрпетровска является планирование комплексов, объединяющих объекты как наземные, так и подземные. Такие комплексы позволят снять «напряженность» в деловых кварталах города, насыщенных