

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Верховланцев А.В. Использование дисперсионных кривых поверхностных волн для изучения грунтовых условий в рамках работ по СМР // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: материалы XII Междунар. сейсмологич. шк. / ФИЦ «ЕГС РАН». – Обнинск, 2017. – С. 79-81.
2. Викторов И.А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. – М.: Наука, 1966. – 168 с.: ил.
3. Ершов И.А., Попова Е.В. О влиянии обводненности грунтов на интенсивность сейсмического воздействия // Эпицентральная зона землетрясений. – М.: Наука, 1978. – С. 117-140. – (Вопросы инженерной сейсмологии. Вып.19.).
4. РСН 60-86. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ. – Введ. 1987-01-01. – М., 1997. – 17 с.
5. DEEPSOIL V5.1: User Manual and Tutorial / Hashash Y.M.A. – 2012. – 107 p. – Текст электронный // URL: <https://pdfslide.net/documents/user-manual-and-tutorial.html> (Дата обращения 25.11.2019)
6. Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground // Quarterly Report of RTRI. – 1989. – V. 30, № 1. – P. 25-33.
7. Verkholantsev A.V., Shulakov D.Y., Dyagilev R.A. Features of assessing seismic effects of blasting operations // Gornyi Zhurnal. – 2019. – № 5. – P. 29-36. DOI: 10.17580/gzh.2019.05.05.
8. Nazarian S., Stokoe K.H. In situ shear wave velocities from Spectral Analysis of Surface Waves // Proceedings of the eighth World Conference on Earthquake Engineering, July 21-28, 1984. San Francisco California U.S.A. – New Jersey, 1984. – V. III. – P. 31-38.
9. Xia J., Miller R.D., Park C.B. Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves // Geophysics. – 1999. – V. 64, № 3. – P. 691-700.

УДК 550.834

DOI:10.7242/echo.2019.4.16

ОПЕРАТИВНЫЙ ПРОГНОЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ ПО ДАННЫМ ШАХТНЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А.И. БАБКИН

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Регламентируемые для калийных рудников Верхнекамского месторождения солей геомеханические расчёты устойчивости подземных конструкций базируются на нахождении деформационных показателей по образцам горных пород. Дискретность отбора образцов для прочностных испытаний не позволяет учесть значимые локальные изменения важных механических показателей. В статье представлены результаты шахтных многоволновых сейсмоакустических исследований, проводимых с целью нахождения прогнозных оценок изменчивости физико-механических свойств продуктивных пластов калийных рудников вдоль выработок. Прогноз строится на статистической обработке полученных сейсмоакустических данных совместно с результатами лабораторных испытаний образцов горных пород на прочностные свойства.

Ключевые слова: шахтные многоволновые сейсмоакустические исследования, прогноз физико-механических свойств горных пород, определение прочностных показателей калийно-магниевого солей.

Согласно Указаниям по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов на Верхнекамском месторождении калийно-магниевого солей [1] производятся геомеханические расчёты параметров систем разработки рудного тела. В качестве параметрического обеспечения геомеханических расчётов устойчивости подземных конструкций наиболее часто используют деформационные показатели, определенные статическим методом при испытании образцов под нагрузкой. Из них наиболее значимыми является определение прочности при сжатии. Принятая сетка отбора проб (порядка 200 метров) позволяет оценить особенности изменения $\sigma_{сж}$ и других параметров для отдельных разрабатываемых панелях. Учитывая малые размеры возможных геологических неоднородностей в разрезе и их влияние на проч-

ностные характеристики горных пород, не исключается опасность «пропуска» важного параметрического показателя.

Проблема прогноза изменчивости физико-механических свойств продуктивных пластов между точками инструментальных измерений может быть решена с помощью шахтных сейсмоакустических методов.

Непосредственный переход от скоростей распространения волн, получаемых при сейсморазведочных исследованиях, к оценке физико-механических свойств пород, возможен за счет изучения особенностей распространения упругих волн различного типа. В большинстве случаев для этого используют монотипные продольные Р-волны и поперечные S-волны. Пересчет найденных при сейсморазведочных исследованиях значений скоростей распространения разнотипных упругих волн в физико-механические параметры реализуется на известных [2] выражениях динамического модуля Юнга

$$E_d = \rho \frac{V_s^2(3V_p^2 - 4V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2}$$

и коэффициента Пуассона

$$\mu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

где E_d – динамический модуль Юнга, μ – коэффициент Пуассона, ρ – плотность горных пород, выраженная в кг/м^3 , V_p – скорость продольной волны (м/с), V_s – скорость поперечной волны (м/с).

Принято считать, что с увеличением прочностных характеристик горных пород увеличиваются значения скоростей упругих колебаний. В реальности же взаимосвязи между упругими и прочностными параметрами горных пород очень сложные и неоднозначные. Так, например, коэффициент Пуассона μ весьма чувствителен к изменению литологических свойств геологической среды. Возможными причинами аномальных значений данного параметра могут являться и газонасыщение или повышенная трещиноватость. Таким образом, при оценке корреляционных взаимосвязей между упругими и прочностными характеристиками следует учитывать однотипность породного массива по литологическому составу, геологическому строению и состоянию горных пород.

На одном из участков шахтного поля в пределах горной выработки по пласту АБ, для которой имеются результаты прочностных испытаний образцов горных пород, отработан сейсмоакустический профиль. Многолетний опыт проведения сейсмоакустических наблюдений в горных выработках калийных рудников показывает наличие на сейсмограммах одновременно сигналов, отождествляемых с волнами как продольного, так и поперечного типов [3]. Применяемые системы наблюдений обеспечивают дальнейшее эффективное разделение разнотипных волн, отличающихся по скоростям. Для этого разработан граф многоволновой цифровой обработки, базирующийся на явном несовпадении разнотипных волновых полей в частотно-волновой области. Реализация двух параллельно выполняемых наборов процедур обеспечивает селекцию отражённых сигналов по их типу. Информативными результатами цифровой обработки являются временные разрезы и скоростные характеристики разнотипных волновых полей. Исходными данными для расчёта являются результаты скоростного анализа по сейсмограммам ОГТ. Для исключения возможных ошибок машинного расчёта, связанных с криволинейностью ОГ, наложением различного рода волн-помех, по исходным данным проведено двумерное сглаживание (по X и по t) и интегральное («накопительное»)

осреднение. Для корректного сопоставления скоростей разнотипных отражённых волн выполнен пересчёт в глубинные разреза эффективных скоростей (рис. 1).

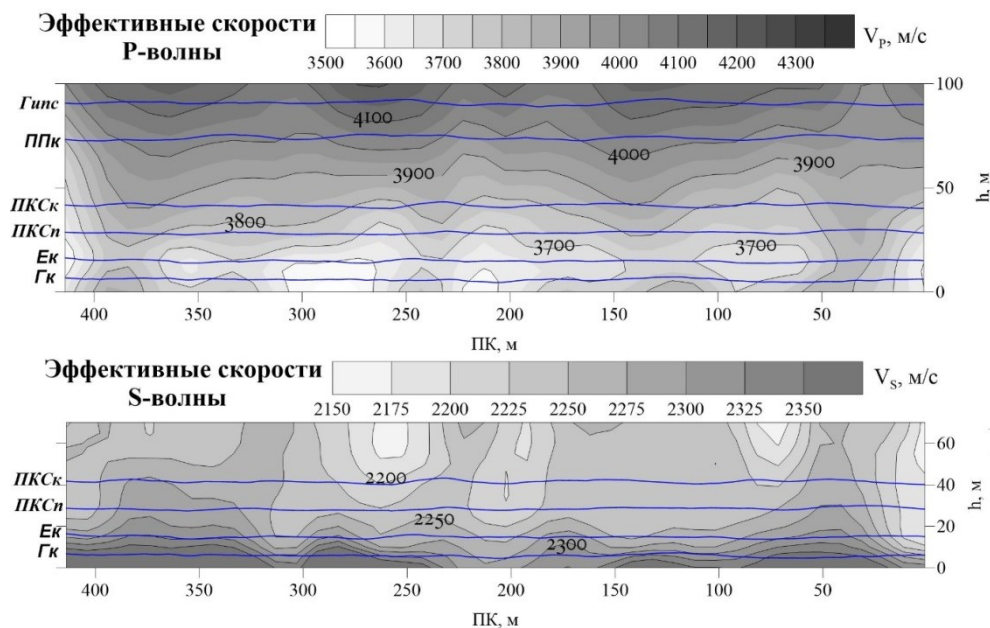


Рис. 1. Результаты скоростного анализа шахтных многоволновых сейморазведочных данных

Динамические упругие параметры определяются главным образом через соотношения скоростей распространения продольных и поперечных волн. Поэтому, в качестве основного сейсмического параметра для прогноза физико-механических свойств и оценки характера изменения по разрезу $\sigma_{СЖ}$ рассмотрен параметр – γ (рис. 2,а).

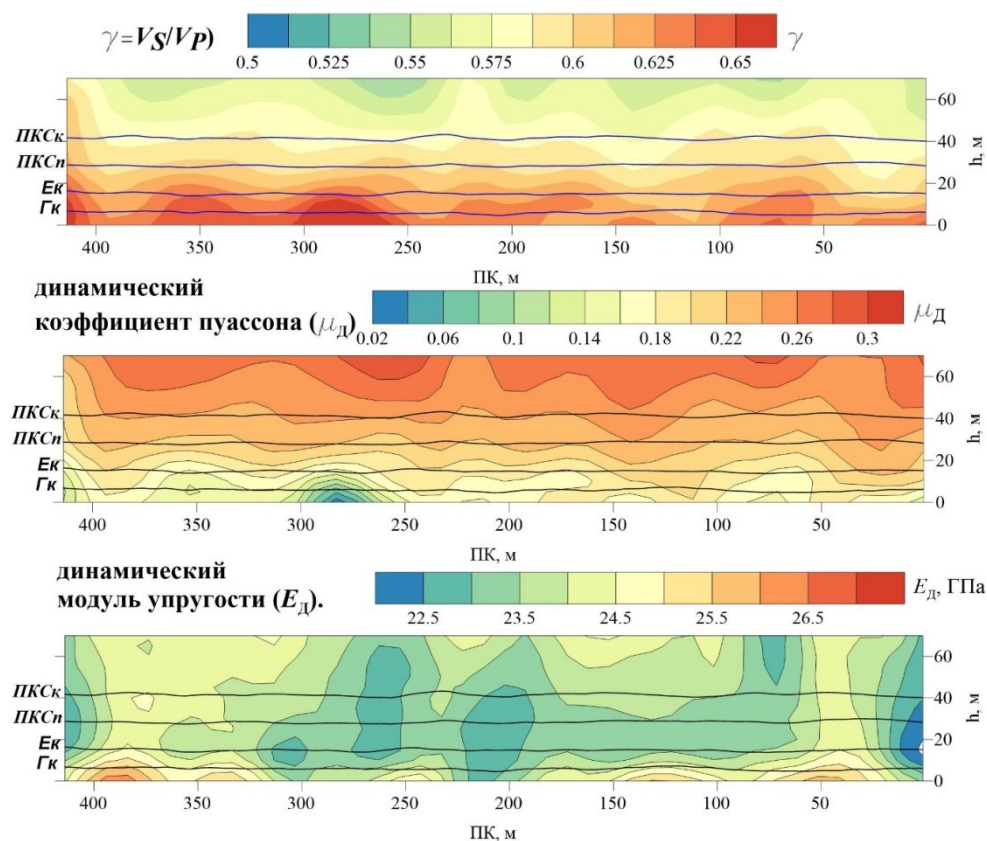


Рис. 2. Результаты многоволновой интерпретации по шахтному сейморазведочному профилю

Сейсмоакустические поля отражённых волн содержат в себе информацию об упругих параметрах областей горного массива, размеры которых определяются длинами волн и зоной Френеля. Очевидно, что величины этих областей превышают интервалы областей отбора проб. В связи с этим, для поиска взаимосвязей целесообразно использовать осреднённые значения $\sigma_{СЖ}$ по всем пробам по скважине. По отобраным в пределах профиля пробам проведены лабораторные испытания. Для определения тренда изменения средних значений $\sigma_{СЖ}$ использованы данные по всем имеющимся на участке скважинам. Линейная аппроксимация продолжена через скв.№ 620 до начала профиля. Линейные тренды изменения упругих сейсмических параметров продолжены и за пределы профильной линии до скв.625 (рис. 3).

На основании представленных линейных аппроксимаций вдоль профиля построены распределения зависимости предела прочности при сжатии и упругих параметров разнотипных волновых полей (рис. 4). Прогнозная оценка изменчивости $\sigma_{СЖ}$ в пределах профиля может быть получена на основе найденного уравнения регрессии её взаимосвязи с γ

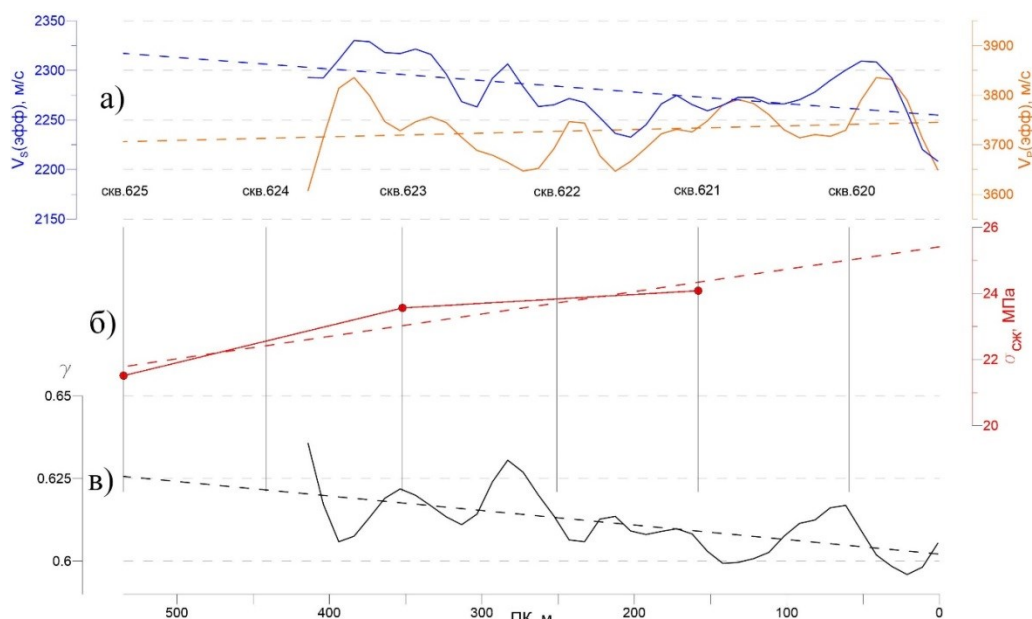


Рис. 3. Графики изменения упругих параметров и предела прочности при сжатии: а) изменение скоростей распространения упругих волн продольного (V_P) и поперечного (V_S) типов и их линейная аппроксимация; б) интерполяция средних значений $\sigma_{СЖ}$ в скважинах и их линейная аппроксимация по штрекку; в) изменение отношения V_S/ V_P (параметр γ) и его линейная аппроксимация.

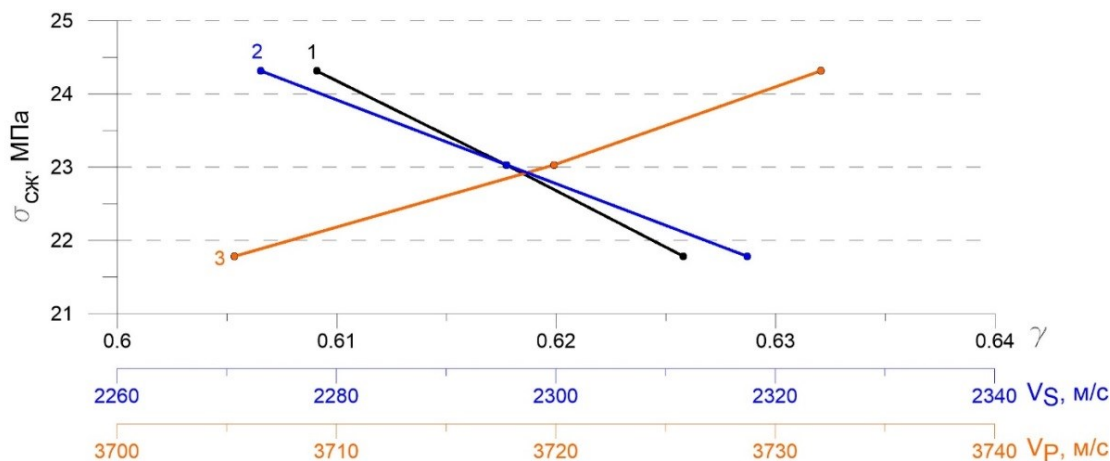


Рис. 4. Распределение зависимостей значений упругих параметров и предела прочности при сжатии по их линейным аппроксимациям вдоль профиля. 1 – γ , 2 - V_S , 3 - V_P

В результате пересчёта полученных по данным шахтной сейсморазведки значений отношения скоростей разнотипных волн построено прогнозируемое изменение предела прочности при сжатии вдоль профиля (рис. 5).

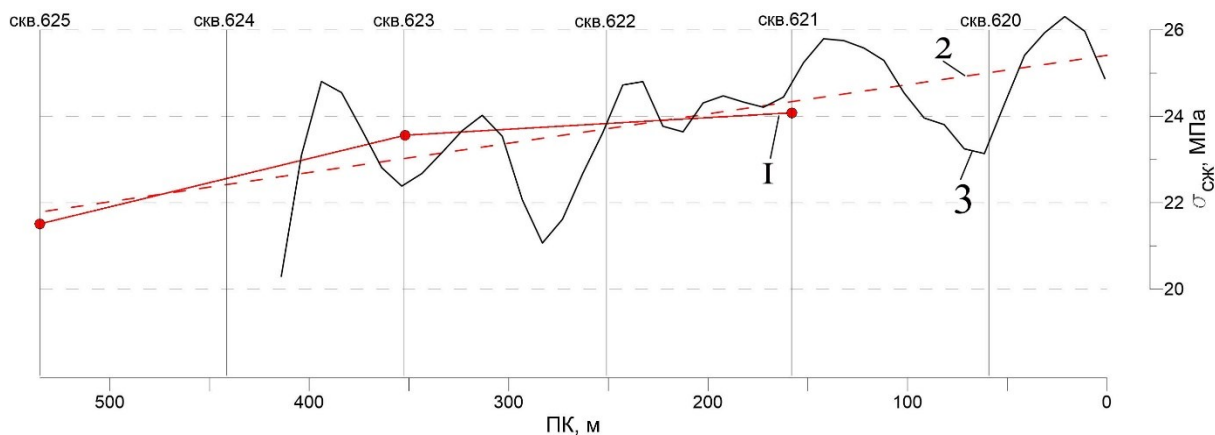


Рис. 5. Прогнозируемое изменение предела прочности при сжатии по данным шахтных сейсмоакустических исследований. 1 – интерполяция средних по скважинам $\sigma_{сж}$ вдоль выработки, 2 – линейная аппроксимация $\sigma_{сж}$, 3 – оценочные значения средних значений $\sigma_{сж}$ по данным шахтной сейсморазведки.

На основании данного прогноза возможно минимизировать опасность «пропуска» локального участка значимого изменения прочностного параметра за счёт заверочных инструментальных испытаний в пределах выявленных зон.

При этом необходимо учитывать, что взаимосвязи особенностей сейсмических волновых полей и физико-механических параметров горных пород опосредованы через влияние таких характеристик, как – пористость, флюидо- и газонасыщенность, минеральный состав, вторичные преобразования и др. Поэтому, найденные корреляционные зависимости для условий одной панели могут отличаться для другого участка шахтного поля. Поэтому, использование найденных параметров взаимосвязи на других участках шахтных полей возможно только при схожих сейсмогеологических условиях, однотипном литологическом составе и других характеристиках, влияющих на упругие сейсмические параметры.

Представленные результаты позволяют сформулировать технологическую схему предлагаемого оперативного прогноза изменчивости физико-механических свойств продуктивных пластов по данным шахтных сейсмоакустических исследований:

Проведение шахтных сейсмоакустических наблюдений в пределах горных выработок, в которых имеется представительная выборка лабораторных испытаний прочностных свойств горных пород:

- а) сбор сейсмоакустических данных,
- б) многоволновая цифровая обработка и интерпретация;

Статистическая обработка полученных сейсмоакустических данных совместно с результатами лабораторных испытаний образцов горных пород на прочностные свойства, построение корреляционных зависимостей;

Расчёт непрерывного распределения прогнозных значений прочностных свойств пород продуктивных пластов вдоль профилей и на прилегающих выработках;

Инструментальное опробование пород на выявленных участках явного аномального поведения прогнозных оценок прочностных свойств.

При схожих сейсмогеологических условиях, однотипном литологическом составе и других характеристиках, влияющих на упругие сейсмические параметры, возможно использование найденных форм взаимосвязи на других участках шахтных полей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей: утв. ПАО «Уралкалий», ЗАО «Верхнекамская калийная компания», ООО «ЕвроХим-Усольский Калийный комбинат». – введ. в действие 30.03.2017 в ред. 2014 г. – Пермь; Березники, 2014. – 130 с.
2. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии / ВНИИ гидрогеологии и инж. геологии; под ред. Н.Н. Горяинова. – М.: Недра, 1992. – 259 с.: ил.
3. Санфиоров И.А., Бабкин А.И., Сальников А.П. Контроль состояния горного массива методами многоволновой шахтной сейсморазведки // Горн. вестн. – 1998. – №6. – С. 94-99.

УДК 550.834

DOI:10.7242/echo.2019.4.17

**О ВЛИЯНИИ ТЕХНОГЕННЫХ СРЕДНЕСКОРОСТНЫХ ВОЛН-ПОМЕХ
НА РЕЗУЛЬТАТЫ НАЗЕМНЫХ И ШАХТНЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

А.А. ЖИКИН

Горный институт УрО РАН, г. Пермь.

Аннотация: Наличие среднескоростных волн-помех в результатах сейсморазведочных наблюдений при наземных и шахтных исследованиях существенно осложняет процесс разделения целевых отраженных волн. В статье рассмотрены основные причины образования и инструменты исключения вышеуказанных техногенных шумовых составляющих волнового поля при производстве работ методом отраженных волн в модификации общей глубинной точки (МОВ ОГТ).

Ключевые слова: шахтная сейсморазведка, волны-помехи, цифровая обработка.

Регистрируемое волновое поле при реализации систем наблюдений по методу отраженных волн в той или иной степени осложнено низкоскоростными и среднескоростными волнами помехами, которые интерферируют с полезными отраженными волнами, чем осложняют их разделение, особенно при производстве работ в условиях повышенного техногенного шума. К таким площадкам относятся различные объекты промышленной и городской застройки, а также наблюдения в горных выработках.

При производстве наземных исследований часто наблюдаются ярко выраженные низкоскоростные волны помехи, имеющие пониженный частотный диапазон, которые эффективно исключаются из волнового поля за счёт применения процедур высокочастотной фильтрации, а в некоторых случаях с использованием процедуры мьютинга, обнуляя определенную часть записи [4, 5]. Среднескоростные волны-помехи эффективно подавляются инструментами веерной режекторной фильтрации, подавляющей регулярные сейсмические сигналы в заданном диапазоне кажущихся скоростей (рис. 1).

В условиях городской застройки могут наблюдаться волны-помехи от различных элементов зданий и сооружений, инженерных коммуникаций, находящихся в непосредственной близости к профилю наблюдения (рис.2). Для борьбы с ними применяются различные многоканальные пространственные фильтры, позволяющие разделять в области F-K (частота-волновое число) целевое отражение и среднескоростную помеху, с последующим её исключением из результирующего волнового поля [2].

Если для наземных работ характерно распространение волн в нижнее полупространство и разделение целевых отражений от средне- и низкоскоростных помех происходит достаточно эффективно, то при производстве работ в шахтных выработках при возбуждении упругих колебаний «работает» весь окружающий выработку массив, представляющий собой сложную тонкослоистую систему, осложнённую смежными выработками, различными врезами и сбоями, расположенными на различных уровнях и