

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ОБЪЕКТАХ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СВОЙСТВ И СОСТОЯНИЯ ЛИТОСФЕРЫ В ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Приведено результати досліджень по систематизації уявлень про об'єкти геофізичного моніторингу властивостей та стану літосфери в геотехнічних системах. Виділено сім ієрархічних рівнів в геотехнічних системах і визначені переважні методи їх діагностики.

SYSTEMATIZATION OF THE GEOPHYSICAL MONITORING OBJECTS OF THE LITHOSPHERE PROPERTIES AND STATE IN GEOTECHNICAL SYSTEMS

The investigation results of systematization of the geophysical monitoring objects of the lithosphere properties and state in geotechnical systems have been given. Seven hieratic levels in geotechnical systems and best methods of its diagnostics were determined.

Ухудшение горно-геологических условий разработки полезных ископаемых значительно повышает требования к технике и технологии горных работ. Эффективность технологических решений и ритмичность работы оборудования зависят от степени изученности горно-геологических условий, напряженно-деформированного состояния, свойств массива, структурных неоднородностей, таких как границы раздела горных пород, тектонические нарушения в пластах, карсты, пустоты и трещины. Одним из решающих условий снижения себестоимости добычи полезных ископаемых и повышения безопасности работ является своевременный контроль устойчивости геотехнических сооружений, свойств и напряженно-деформированного состояния породного массива, который с точки зрения оперативности и информативности должен базироваться на экспрессных методах горной геофизики.

Геологическая среда как объект геофизической диагностики, контроля и наблюдений называется геофизической средой. Ответные процессы, возникающие в геологической среде при технологическом воздействии на нее, называются техногенными, которые, в свою очередь, приводят к изменению состояния среды.

Система единой связи технологии с частью земной коры, включая расположенные в ее недрах или на поверхности объекты, обеспечивающие возможность существования и развития общества, называется геотехнической. Поскольку геотехнические системы возникают и формируются лишь в процессе взаимодействия технологического и геологического факторов, именно они и могут быть положены в основу классификации геотехнических систем. Исходя из оценки места геологической среды в системе и принимая за основной критерий классификации геотехсистем взаимодействие технологии и природной среды, выделяют шесть типов геотехсистем [1]: 1) использующие невозпроизводимые минерально-сырьевые ресурсы; твердые полезные ископаемые, нефть, газ, промышленные рассолы; 2) использующие природные ресурсы, воспроизводимые природным кругооборотом биогенных веществ на основе поддержа-

ния или улучшения плодородия почв и световой зоны водоемов, включая сельскохозяйственное производство, добычу и переработку рыбы, лесное хозяйство; 3) использующие водные ресурсы суши, воспроизводимые природными циклами кругооборота воды, включая пресные подземные воды; 4) перерабатывающие первичную продукцию, полученную в первой и второй типах геотехсистем; 5) транспортирующие сырьевые материалы, продукты их переработки, энергетическое сырье или энергию и информацию; 6) обеспечивающие защиту всех перечисленные типов геотехсистем от неблагоприятных природных воздействий.

Классификация геотехсистем по их функциональному назначению дает возможность оценить общую направленность и наиболее общие последствия процессов взаимодействия между технологическими и геологическими факторами. Функциональное назначение геотехнической системы предопределяет технологические процессы, происходящие в ней, которые, в свою очередь, вызывают изменение ее качественного состояния. Правомерно рассматривать геотехнические системы как весьма сложные структуры, образованные несколькими уровнями, причем каждая из геотехнических систем высокого уровня включает системы или подсистемы более простые, вплоть до элементарных.

Геотехнические системы взаимосвязаны с геологическими через глубину влияния технологии. По этому признаку могут быть выделены системы поверхностные, приповерхностные и глубинные.

К поверхностным системам относятся системы, технологические процессы которых затрагивают лишь поверхность земли и не распространяются в глубину ниже зоны аэрации. В системах приповерхностных влияние техногенеза распространяется в глубину горизонта грунтовых вод и верхних, взаимосвязанных с ним, артезианских горизонтов в пределах мощности зоны свободного водообмена. В глубинных системах влияние распространяется в зону затрудненного и весьма затрудненного водообмена.

Здесь мы подходим к группе признаков геотехнических систем, определяемых геологическими факторами. При оценке геологических критериев классификации приходится исходить из необходимости комплексной характеристики геологического строения части земной коры в пределах распространения влияния технологического фактора. Используя [2] и развивая с позиции исследуемых объекта и предмета, предложены следующие классифицированные признаки, определяющие методические подходы к исследованию и прогнозированию их развития:

1. Тектоническое строение региона предопределяет значительное различие в последствиях техногенных нагрузок на геологическую среду, в частности, для плит, щитов и горноскладчатых областей.

2. Литолого-стратиграфическая характеристика – возраст и вещественный состав пород, слагающих геологический разрез, особенно важна для оценки состояния геологической среды в условиях плит, а в горноскладчатых структурах – в пределах наложенных впадин, образованных молодыми осадочными образованиями.

3. Геоморфологическое строение территории геотехнической системы, т.е.

характер и геологическая природа поверхности участка земной коры, включая оценку совокупности аккумулятивных процессов, участвующих в формировании природных форм рельефа.

4. Сейсмическая активность – весьма важная характеристика в оценке возможных последствий изменения геологической среды.

5. Гидрогеологические условия – условия дренированности, мощность зоны аэрации и ее изменения в плане, водно-физические свойства пород водоносных комплексов и водоупоров, соотношение водоносных пород и водоупоров в разрезе и в плане, минерализация и состав подземных вод.

6. Интенсивность и направленность развития современных геодинамических процессов - также существенная характеристика геологической среды.

Следует отметить зонально-географические условия, которые определяют комплекс геодинамических, гидрогеологических или иных процессов, усиливающихся или исчезающих под влиянием технологии в той или иной геологической обстановке. Зонально географические области подразделяются в зависимости от температуры и увлажненности.

При проведении различных измерений и в особенности интерпретации полученных результатов возникает необходимость принятия той или иной модели. Устойчивый интерес к физическому и математическому моделированию процессов в геологической и геофизической среде обусловлен как ростом его роли во многих отраслях знаний, так и успехами применения системного подхода к изучению различных естественных явлений и процессов. Системный подход в современном представлении сформировался на основе идей и работ А.А. Богданова, Л. фон Берталанфи, Т. Котарбинского, У.Р. Эшби, К. Боулдинга, А. Рапопорта, М. Месаровича, Р. Жерара, А. Акоффа и др. [2]. Системный подход в самом общем виде представляет собой методологию исследования сложных динамических систем, не поддающихся вещественному или физическому моделированию, и предполагает представление объекта как единого целого, состоящего из взаимосвязанных и взаимодействующих элементов; подчиненность изучаемой системы более общей системе, частью которой она является; выявление тех свойств объекта, которые возникают как результат взаимодействия его элементов и являются системными свойствами; изучение изменения системы, происходящего под влиянием изменения ее элементов и внешних условий; выявление тех элементов системы, которые нарушают ее нормальное функционирование; определение условий оптимального функционирования системы в реальных условиях [3].

Существенный критерий выделения системы – теснота связей между элементами, объединяемыми в систему, и между ними и элементами, образующими внешнюю среду. В связи с этим системы располагаются в иерархической соподчиненности, причем первичной системой принято считать такой элемент или совокупность элементов, которые не допускают дальнейшего расчленения без потери основного свойства системы с учетом выбранного целевого назначения ее выделения.

Органическим признаком любой системы является процесс, частный случай которого – стационарное состояние. Система является изолированной, если она

не обменивается с внешней средой ни энергией, ни веществом, ни информацией; закрытой, если она обменивается с внешней средой только информацией; открытой, если она обменивается со средой веществом, энергией и информацией. Как видно, обмен информацией есть необходимое условие выделения системы как материального объекта.

Отметим еще некоторые классы систем. Так, по характеру взаимосвязей и обусловленности действия системы делятся на детерминированные и вероятностные. В детерминированной системе составляющие ее элементы взаимодействуют точно предсказанным образом. Неопределенность ситуации для таких систем исключена. В вероятностной системе взаимодействие элементов предсказание поведения всей системы возможно лишь в вероятностных терминах. Степень неопределенности состояния системы зависит от вероятности осуществления того или иного явления или процесса.

По степени сложности следует различать простые и сложные системы. В простых системах нельзя выделить более низкие, чем сама данная система, иерархические уровни. Сложные системы имеют разветвленную структуру взаимосвязанных подсистем, состояние которых можно изучать существующими методами исследований. Выявление системного свойства системы, в отличие от простой суперпозиции ее элементов, решаемой методами логического анализа и синтеза – задача трудная и нетривиальная.

М.А. Садовским были выявлены так называемые парадоксы системного мышления, связанные с процедурой выделения систем. Так, например, парадокс иерархичности может быть дан в следующей формулировке: для описания любой системы необходимо ее описание как элемента более обширной системы, но для описания данной системы, как элемента более обширной системы, необходимо предварительное описание данной системы как подсистемы [4].

Разрешение этого и других парадоксов, возникающих при системном подходе, возможно путем последовательного уточнения границ данной системы, отделяющих ее от других систем, входящих вместе с данной в более обширную. Первый шаг в определении границ системы опирается на целевой аспект выявления данной системы из более обширной системы. Заданная цель исследования налагает ограничивающие условия на предполагаемые свойства системы. Эти условия являются первым шагом при выделении и описании системы как части более обширной системы. Последующие шаги осуществляются по мере накопления знания об изучаемой системе и ее месте в более обширной системе. Этот путь разрешения парадоксов системного подхода основан на принципе относительности истины и наличия положительного приращения знания, т.е. разрешение парадоксов обусловлено принципиальной познаваемостью реального мира. Большое методологическое значение имеет классификация системы, в частности, в естественных и технических областях знания. Проблеме классификации систем посвящен ряд работ отечественных и зарубежных исследователей. Используем для нашего анализа представленную на рис. 1 классификацию, обобщающую эти разработки [3].

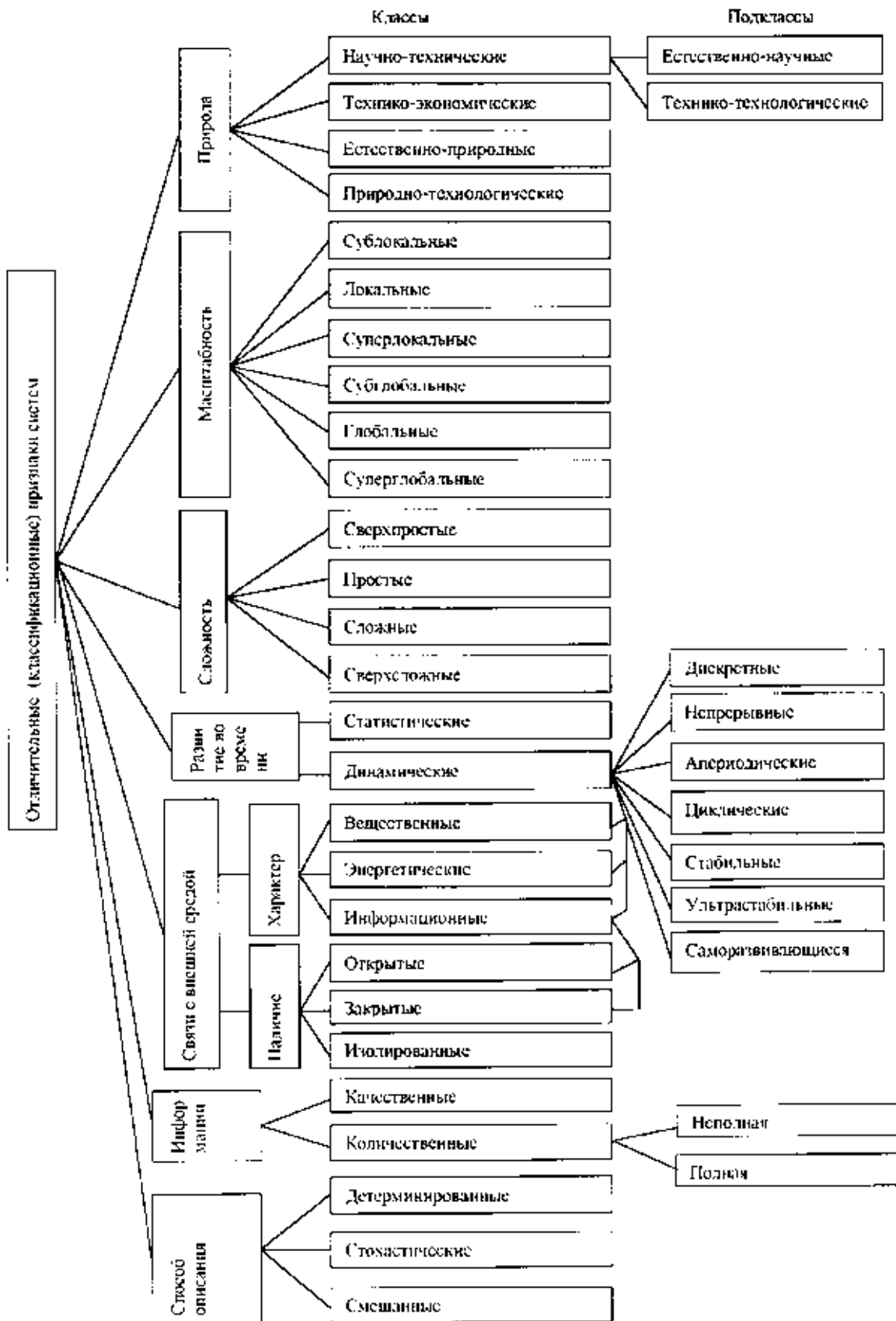


Рис. 1 – Классификация систем в естественных и технических областях знаний [3]

Способ классификации – параллельно-последовательный. В качестве классификационных критериев выбраны следующие свойства систем: природа, масштабность, сложность, развитие во времени, характер и наличие связей с внешней средой, наличие информации, способ описания (моделирования). По этим критериям выделяются восемь параллельных ветвей классификации, каждая из которых состоит из параллельных классов и подклассов, образующих в пределах каждой ветви последовательность: ветвь – класс – подкласс. Учитывая определенную направленность работы, в качестве примеров систем там, где это возможно, использованы геологические системы. Ниже дается описание предлагаемой классификации.

Природа систем включает в себя отрасли фундаментальных и прикладных знаний.

Во второй ветви рассматривается иерархическая соподчиненность: минерал, образец горной породы, проба руды, природных вод – залежь или месторождение полезного ископаемого – геотектонические регионы. Применительно к предмету наших исследований нижайшим классом сложной системы может быть процесс.

Сложность систем характеризуется числом элементов системы и характером взаимосвязей между ними. При этом рассматриваются: единичные элементы с отсутствием взаимосвязей, небольшое число элементов с парными взаимосвязями, большое число элементов с многомерными взаимосвязями, неопределенно большое число элементов с многомерными неопределенными взаимосвязями.

Развитие систем во времени включает статические (структурные) и динамические (функциональные) классы. Наличие связей с внешней средой включает обмен веществом, энергией и информацией, обмен информацией, отсутствие информации.

Способ описания (моделирования) систем включает следующие классы: имеющие или дающие возможность получить аналитическое описание, описываемые только в вероятностных терминах, имеющие аналитическое описание с вероятностным заданием всех или некоторых параметров системы. Основные свойства геосистем должны учитываться в построении моделей, имитирующих реальные геологические явления и процессы.

С позиций системного подхода разработка прогнозных геолого-механических моделей требует координации объектов исследований, видов прогноза и методов прогнозирования. Для реализации модельно-целевого подхода к системам в иерархию объектов исследования включены только те, которые представляют интерес при проведении геологоразведочных и горных работ, как объектов геофизического мониторинга.

Экспериментально-теоретический анализ модели формирования высоких напряжений массивов в верхней части земной коры при горо- и рельефообразовательных процессах позволяет сформировать общие принципы подразделения геомеханических систем по условиям напряженности и особенностям проявлений горного давления, а также обосновать диагностические признаки и методические приемы диагностики процессов, происходящих в геомеханических сис-

темах, и их изменчивости. Это важно для прогноза горного давления на различных стадиях оценки условий при сравнении проектных вариантов и для решения конкретных практических задач разработки месторождений и возведения подземных сооружений различного назначения [5, 6].

При дифференциации можно выделить (с определенной степенью условности в названиях) несколько масштабных уровней геомеханических систем, характеризующихся определенными закономерностями изменения их величин, и особенностями взаимодействия литолого-геомеханических и технологических компонент [7]. Нами выделено семь иерархических уровней в геотехнических системах и определены предпочтительные методы их диагностики (табл. 1).

Таблица 1 – Макроскопическая иерархия подразделения систем, объектов геофизической диагностики

Горнотехнические системы и объекты геофизической диагностики				
Уровни	Системы	Предпочтительные методы геофизической диагностики	Виды прогноза	Методы прогнозирования
I	Региональный геотектонический уровень с характерными размерами в сотни и десятки километров	Сейсмический	Региональный	Геокартирование
II	Блочно-структурный уровень с характерными размерами блоков до десятков километров	Сейсмический ЕИЭМПЗ	Субрегиональный	Геокартирование
III	Геоморфологический уровень с характерными размерами массивов в сотни метров и километров	Сейсмический ЕИЭМПЗ	Субрегиональный	Многомерный анализ
IV	Локально-геомеханический уровень (массивы пород с различными структурами и физико-механическими свойствами)	Ультразвуковой, виброакустический, АЭ, ЭМИ, электрометрический	Локальный	Имитация
V	Природно-техногенный уровень, включающий шахтные стволы, горизонтальные выработки, подземные камеры, специальные подземные сооружения, тоннели, коллекторы, гидротехнические сооружения	ИЭМПЗ виброакустический	Сублокальный	Имитация
VI	Горнотехнические объекты, включающие крепи, охранные конструкции, процессы	Ультразвуковые, виброакустика, электрометрия	Сублокальные	Имитация
VII	Процессы, происходящие в геологической среде при воздействии на нее техногенных средств и взаимодействии с различными горнотехническими объектами	Ультразвуковой, виброакустический, электрометрический, АЭ, ЭМИ	Сублокальные	Имитация

Все выделенные уровни имеют вполне определенный геотехногенный смысл (геотектонические и инженерно-геологические условия, природно-технические объекты) и поддаются техногенным классификациям, а также от-

ражают определенные различия по условиям, которые принято рассматривать в механике горных пород. Такое подразделение позволяет ставить и решать задачи механики горных пород не по методу аналогий, а дифференцированно, исходя из конкретных условий учета особенностей рассматриваемого объекта и проявлений горного давления.

Общая методология диагностики геотехнических систем строится в соответствии с принципами решения обратных задач путем последовательных экспериментальных приближений. При этом данные предыдущего этапа определенных служат априорной информацией для планирования да следующего этапа. Вместе с тем данные последующего этапа учитываются при уточнении интерпретации результатов предыдущих этапов. Эти особенности придают методике кибернетические свойства, в соответствии с которыми ее можно рассматривать как систему управления процессом определения исходных параметров геотехнических систем.

На первом поисковом этапе выполняется предварительная диагностика пространственного расположения различно напряженных массивов по геотектоническим, геолого-структурным и геомеханическим признакам. На втором этапе устанавливаются приближенные значения величин и направлений напряжений по расположению зон хрупкого разрушения пород на контуре различно ориентированных выработок, по различной интенсивности разрушения на диски кернов различно ориентированных скважин, по прочности разрушающихся пород, особенностях развития трещиноватости и т.д. На заключительном этапе проводятся инструментальные определения величин и направлений напряжений по данным измерения скоростей распространения упругих волн в массиве и деформаций разгрузки пород в скважинах. Инструментальные измерения выполняются по ожидаемым направлениям главных напряжений. Менее точные, но более экспрессные ультразвуковые и сейсмические методы выполняются до проведения более точных, но более трудоемких измерений методом разгрузки в скважинах.

При попытках описать геологическую и геофизическую среду, вводя все возможно сглаженные характеристики сред, исследователи исходили из того, что на определенном этапе модель линейно-упругого тела, в котором напряжения подчиняются принципу суперпозиции, позволяла прекрасно обходиться без полей напряжений, связанных с неоднородностями путем их вычитания. Таким образом, структурные особенности среды исключались из рассмотрения. Как часто бывает в подобных случаях, профессиональные приемы и применяемые в исследованиях методы начинают довлеть над адекватностью подхода к сложным явлениям. В результате и сейчас многие специалисты при изучении геофизической среды применяют традиционные методы, не позволяющие получать полную картину о ее свойствах и состоянии [8].

В ряде работ ИФЗ им. О.Ю. Шмидта было показано, что везде размеры частиц или отдельностей, слагающих среду, а также в гранулометрическом составе разрушенного тем или иным способом материала имеет место их группирование около некоторых отдельностей определенных величин. Обращает на себя

внимание, что отношение размеров соседних по величине отдельностей близко к постоянной величине. Следует отметить, что при столь огромном диапазоне размеров отдельностей в природе картина проявления блочности остается подобной себе. То, что блочное строение непрерывно поддерживается, свидетельствует о непрекращающемся деформировании, при котором среда, благодаря расчленению на блоки, приобретает дополнительные степени свободы. Таким образом, другое отличительное свойство геофизической среды – ее постоянное деформирование, а, следовательно, постоянное потребление механической энергии. Рассмотрение неоднородностей геофизической среды убеждает в том, что модель должна отражать структуру, определяемую условиями существования среды [4]. Наличие структуры в горном массиве отмечено давно, но структурные элементы считают обычно лишь следствием деформационного самоорганизующегося процесса, а для геомеханики структура породного массива важна как форма организации, упорядочения деформируемой твердой среды. Можно ожидать, что наиболее чувствительны к структуре будут характеристики твердого тела, так или иначе связанные с диссипацией механической энергии: декремент затухания упругих волн, вязкость среды, ее прочность и способность накапливать упругую энергию. Изучение структур литосфер как способа самоорганизации геофизической среды позволит получать наиболее объективную информацию о свойствах и состоянии породного массива, устойчивости подземных сооружений для создания высокоресурсных охранных систем горных выработок.

Среди методов геоконтроля наиболее перспективными являются геофизические, нашедшие широкое применение в практике разведки и разработки полезных ископаемых и в настоящее время развиваются применительно к задачам инженерно-изыскательских работ, горного дела, транспорта, подземного и гидромелиоративного строительства.

Обобщая изложенное, разработана блок-схема структурно-информационного соотношения масштабов уровней геофизической диагностики и структура системных свойств (рис. 2).

Применительно к решаемой нами задаче исследование геомеханических систем предполагает изучение геоморфологии структурного образования (уровни-блоки и геоморфологические структуры); локально-геомеханических структур, геотехнических объектов и физических процессов взаимодействия литолого-геомеханической и технологической компонент. Ключевым моментом является изучение, контроль и диагностика литолого-геомеханической компонент. Поэтому главная задача геофизических исследований подчинена изучению структуры, литолого-геомеханической неоднородности, трещиноватости, кливажности породных массивов как конструктива геотехнических систем. Имманентным элементом в этих работах является оценка условий и границ изменения свойств и состояния породной толщи и локальных участков массива под влиянием технологического воздействия. Логическим завершением этих разработок является создание теории и методологии диагностирования, описания и прогнозирования состояния геомеханических систем, образующихся при

разработке месторождений полезных ископаемых и подземном строительстве.



Рис. 2 – Блок-схема структурно-информационного соотношения масштабов уровней геофизической диагностики и структуры системных свойств

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толстихин О.И. Земля – в руках людей. – М.: Недра, 1981. – 140 с.
2. Методические рекомендации по изучению напряженно-деформированного состояния горных пород на различных стадиях геологоразведочного процесса. – М.: ИГД им. Скочинского, 1987. – 38 с.
3. Бурляковский Л.А., Джафаров И.С., Джеваншир Р.Д. Моделирование систем нефтегазовой геологии. – М.: Недра, 1990. – 295 с.
4. Садовский М.А., Писаренко В.Ф., Родионов В.Н. От сейсмологии к геомеханике. О модели геофизической среды // Вестник АН СССР. – 1983. – № 1. – С. 82-83.
5. Марков Г.А., Савченко С.Н. Напряженное состояние пород и горное давление в структурах горного рельефа – Л.: Наука, 1984. – 110 с.
6. Марков Г.А. О происхождении и закономерностях проявлений напряжений горизонтального сжатия в массивах горных пород в верхней части земной коры // Геотектоника. – 1983. – № 3. – С. 32-41.
7. Сухонос С.И. Масштабный эффект – неразгаданная угроза. – М.: Новый центр, 2001. – 68 с.
8. Методические указания по выявлению геофизическими методами мест возможных прорывов подземных вод на шахтах Донбасса. РД. – Л.: ВНИМИ, 1989. – 43 с.