

Доктора техн. наук С.И. Скипочка,  
Т.А. Паламарчук,  
инж. Н.Т. Бобро  
(ИГТМ НАН Украины)

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ИССЛЕДОВАНИЮ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕОКОМПОЗИТНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ В НЕУСТОЙЧИВЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ УСЛОВИЙ  
БЛОЧНО-СТРУКТУРИРОВАННОГО МАССИВА**

На основі аналізу експериментальних і теоретичних досліджень представлені теоретичні передумови к дослідженням взаємодії елементів геокомпозитних матеріалів в нестійких системах для умов блоково-структурованого масиву

**THEORETICAL PREREQUISITE TO THE STUDY OF THE INTERACTION  
OF ELEMENTS GEOCOMPOSITE MATERIALS IN UNSTABLE SYSTEMS  
FOR THE CONDITIONS OF BLOCK-STRUCTURED MASSIF**

Based on the analysis of experimental and theoretical studies the theoretical prerequisite to the study of the interaction of elements geocomposite materials in unstable systems for the conditions of block-structured massif are presented

Практика эксплуатации различного рода современных инженерных сооружений и зданий, особенно в экстремальных условиях делает все более очевидной актуальность создания теории расчетов на прочность и жесткость конструкций, элементы которых частично утратили или перманентно утрачивают свою несущую способность. В связи с этим возникают задачи создания механических и математических моделей состояния конструкционных материалов различной физической природы и разнообразной композиции в процессе исчерпания ими несущей способности. Естественно, что пионерными здесь должны быть экспериментальные исследования [1, 3].

В результате анализа экспериментальных исследований и известных в литературе теорий прочности можно сформулировать основные требования, которые целесообразно соблюдать при разработке феноменологических механических теорий прочности композиционных материалов.

1) Теория прочности при сложном напряженном состоянии должна основываться на экспериментальных данных, полученных при простых напряженных состояниях.

2) Теория прочности должна иметь определенный физический смысл, а не базироваться на математических построениях, содержащих неизвестные параметры, которые определяются из опытов при сложном напряженном состоянии.

3) Аналитическая форма теории прочности (условие прочности) должна содержать тензор напряжений и тензорные или скалярные величины, характеризующие прочностные свойства материала.

4) Уравнение поверхности прочности, соответствующее принятому условию прочности, должно иметь действительные корни, то есть должно соблюдаться условие действительности предельного напряженного состояния.

5) Условие прочности должно иметь форму инварианта, не зависеть от вы-

бора положения осей координат и в общем случае для анизотропного материала содержать все константы, а не только пределы прочности при сжатии и растяжении в трех взаимно перпендикулярных направлениях, что допустимо лишь в частных случаях для некоторых материалов и должно специально оговариваться.

6) Все вытекающие из условий прочности соотношения между константами материала не должны зависеть от выбора системы координат. В условии прочности должно содержаться, по возможности, минимальное количество констант, определяемых из опытов, а сами опыты для этого должны быть максимально простыми.

7) Условие прочности для анизотропного материала должно автоматически обращаться в условие прочности изотропного материала и не противоречить классическим теориям прочности.

8) Условие прочности должно давать удобные для использования расчетные формулы, не перегруженные, имеющими второстепенное значение составляющими, что во многих случаях играет решающую роль при окончательном выборе теории прочности для практического использования.

9) В условии прочности должны быть учтены: влияние гидротермического состояния среды и материала, характер и режим силового воздействия, масштабный фактор и другие существенные технологические и эксплуатационные факторы.

10) Окончательная рекомендация теории прочности может быть дана только после всесторонней экспериментальной проверки для наиболее важных частных случаев сложного напряженного состояния.

11) Для частных случаев сложного напряженного состояния, встречающихся в практике, возможно создание частных условий прочности, не распространяющихся на другие случаи напряженного состояния.

12) Предельная поверхность прочности при сложном напряженном состоянии в пространстве тензора напряжений должна быть плавной, гладкой и выпуклой. При этом предполагается, что изменяется только напряженное состояние и влияние прочих факторов не учитывается.

13) Соотношения между характеристиками прочности материала должны подчиняться принципу, сущность которого состоит в том, что при изменении хотя бы одной константы материала новая предельная поверхность прочности должна находиться внутри или снаружи первоначальной, но не пересекать ее. В крайнем случае, обе предельные поверхности прочности могут иметь общие касательные в одной или нескольких точках.

14) При разработке механической теории прочности феноменологическим путем можно рассматривать композиционный материал как сплошной и однородный, оперируя осредненными макронапряжениями и деформациями. Это хотя и противоречит действительной структуре материала, но позволяет использовать более простые аналитические зависимости, чем при рассмотрении анизотропного композиционного материала в виде неоднородной армированной среды.

Указанные выше основные требования, предъявляемые к механической теор-

рии прочности композиционного материала, соблюдаются далеко не всегда, особенно, если условие прочности не претендует на характеристику прочности при сложном напряженном состоянии в общем виде. В связи с этим, применительно к композиционным материалам, следует различать две группы условий прочности:

- для анизотропных материалов, имеющих симметрию характеристик прочности, то есть пределы прочности, абсолютная величина которых не зависит от знака напряжений;
- для асимметричных по прочности анизотропных материалов, то есть таких материалов, абсолютная величина пределов прочности которых зависит от знака напряжений.

Установленные особенности свойств и поведения дискретно-блочного массива обусловлены наличием широкого спектра границ раздела между структурными элементами всех уровней: от первых миллиметров до километров.

Границам раздела сопутствуют специфические проявления – так называемые граничные эффекты, которые характеризуются изменением значений и знака измеряемых параметров при изучении и контроле его напряженно-деформированного состояния (НДС). Сам механизм изменения зависит от взаимодействия блоков, что и порождает эти граничные эффекты. Очевидно, что и методология исследования свойств и поведения массива, и построение аналитических и теоретических моделей для описания его НДС требуют специального учета самих эффектов на каждом структурном уровне рассматриваемого элемента массива в масштабе, соответствующем исследуемым геомеханическим процессам [2].

Здесь рассматривается пять групп эффектов, связанных:

- с особенностями распределения в блочных массивах минералогического состава, микро- и макроструктурных элементов;
- с функциональной изменчивостью физико-механических свойств;
- с распределением напряжений;
- с проявлением деформирования и подвижностью блочных сред;
- с крупноблочным сдвижением подработанного массива горных пород.

Проявление первой группы эффектов сопряжено со свойствами зональности, выражающемся в направленном изменении количественно и качественно минералогического состава и плотности микротрещин.

В зависимости от масштаба блока (его ранга или порядка) эти изменения носят периодический характер с обязательным количественным скачком вблизи границы раздела.

Вторая группа эффектов, сопровождающая пространственную изменчивость физико-механических характеристик пород, функционально сопряжена с первой и носит тот же характер периодичности и скачкообразности изменения в пределах блоков. Прочностные и деформационные характеристики изменяются в пределах блока в зависимости от степени удаленности (близости) от границ разделов. Как показали экспериментальные данные, приведенные в [2], существенной является анизотропия свойства и напряжений, выражающаяся в различии количественных оценок свойств в зависимости от ориентировки испытан-

ных образцов относительно элементов залегания пород (по простиранию вкрест простирания и по вертикали).

Третья группа эффектов, связана с распределением напряжений в блочных структурах, выражается в различном уровне напряжений в зоне сплошности, упруго-прорастающих трещин и сформировавшихся трещин с тенденцией соответствующего снижения и, главным образом, в проявлении растягивающих напряжений вблизи междублокового контакта. Этот эффект иллюстрируется графиком напряжений измеренных методом разгрузки с высокой степенью детальности. Здесь, кроме эффектов периодичности и скачкообразности, важным является эффект проявления напряжений разных знаков, что дополняет представление о характере разрушения или снижения устойчивости пород за счет междублочных зон, в которых действуют растягивающие напряжения. При крупномасштабных процессах в блочных массивах возникает эффект экранирования, при котором распределение напряжений существенно изменяется вблизи тектонических зон (сбросы, взбросы сдвиги). В тектонических активных регионах экранирующий эффект может отсутствовать.

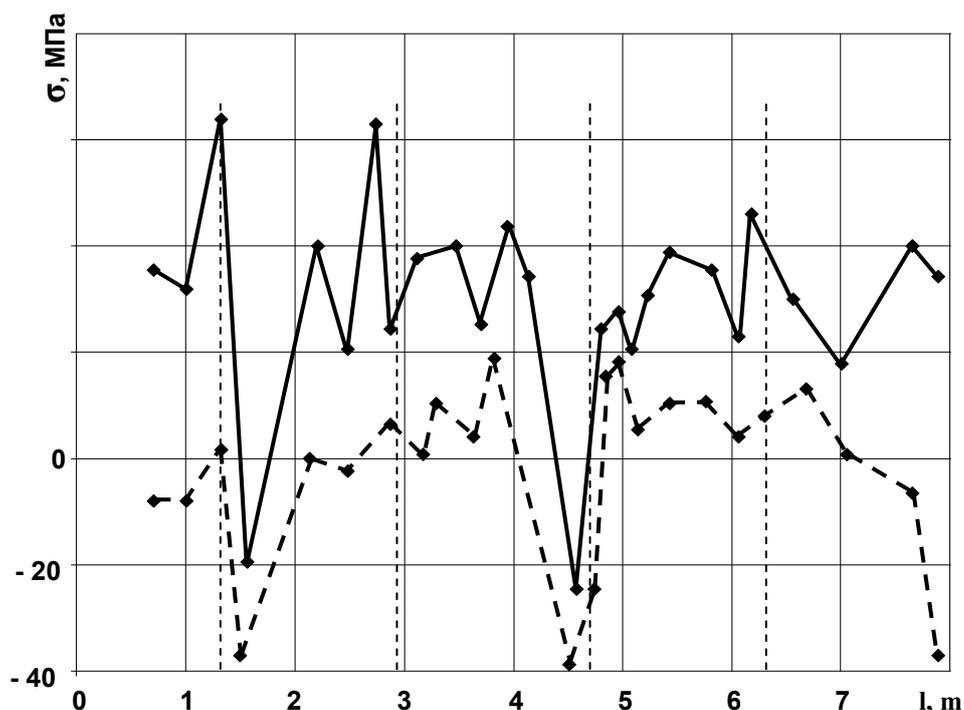
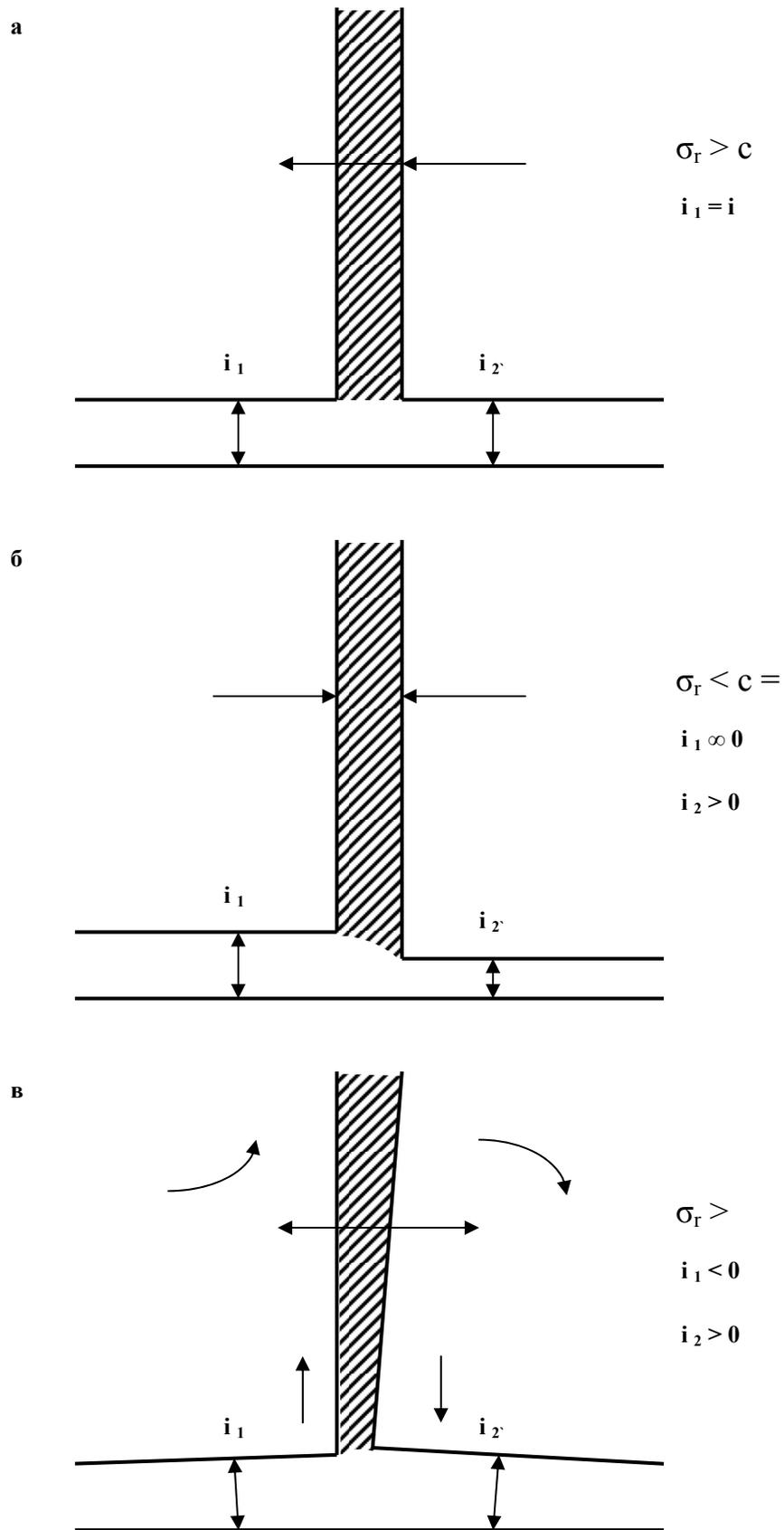


Рис. 1 – Распределение напряжений  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  по скважине (вертикальные пунктирные линии – границы раздела)

К четвертой группе эффектов относятся междублоковые перемещения с разворотом блоков налегающих пород на стадии активного проявления горного давления, обусловленного подвижностью вмещающих пород.

На рис. 2 показаны схемы взаимодействия смежных блоков на разных фазах их перемещения и измерительные устройства, расположенные в выработке около границы раздела.



а – состояние равновесия; б – относительное смещение блока; в – смещение с разворотом;

$i_1, i_2$  – измерительные станции

Рис. 2 – Схемы взаимодействия блоков

Характерными являются смена знака на стадии образования опорной пяты с проявлением деформации растяжения (поднятия) в опорном блоке и повторная смена знака при разрушении опорной пяты после достижения критического значения угла разворота блоков. Наиболее четко этот эффект проявляется в подземных выработках на границе раздела между сдвигающейся частью массива и несдвигающейся. Поскольку формирование этой границы является процессом многостадийным, измерениями вблизи границ фиксируются периодичное изменение знака и изменения амплитуды приращения деформаций (рис.3).

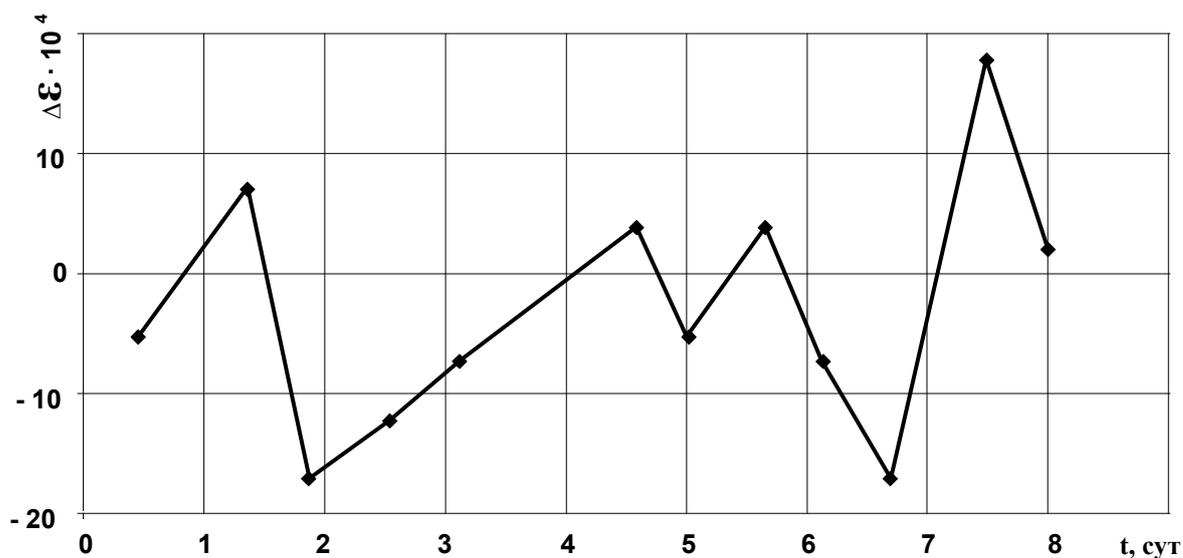


Рис. 3.- Знакопеременные деформации на границах блоков.

И, наконец, пятая разновидность эффектов также связана с граничным состоянием сдвигающегося и неподвижного массивов и выражается в поднятии краевой части мульды сдвижения на земной поверхности. Поскольку измерениями в подземных выработках и на поверхности были зафиксированы одновременно и длительно протекающие деформации растяжения (поднятия), проявления этих эффектов можно считать сопряженными. Отметим, что во времени и пространстве их проявление локализовано. Данная разновидность эффектов зафиксирована при глубинах отработки до 300 м. Вполне вероятно, что при больших глубинах они могут не проявляться.

Сгруппированные выше особенности в поведении пород блочного строения позволяют сделать некоторые выводы, касающиеся принципиальных сторон оценки напряженно-деформированного состояния горных массивов как предмета исследования в геомеханике.

Прежде всего, установление зональности распределения вещества, свойств и напряжений делает необходимым выделить блочно-структурный массив в отдельный класс пород, природа формирования и поведения которого требует специального теоретического осмысления и практической разработки. Возможности теорий сплошных сред здесь ограничены.

Методология исследовательских средств в изучении блочных пород должны

учитывать дискретность распределения качественных и количественных показателей при сохранении непрерывности их пространственного положения. Это касается понятий прочности, устойчивости и напряженно-деформированного состояния блочных конструкций различного уровня в иерархии масштабов и форм образования.

В большой степени от учета граничных эффектов зависит разработка методов измерений, ставящих целью контроль или оценку геомеханического состояния массива пород. Особенно это относится к геофизическим средствам измерения. Основным условием достоверности результатов измерений можно считать условие интерпретируемости результата измерения с позиций учета дискретности и проявления граничных эффектов как наиболее информативных сигналов качественного изменения состояния пород под воздействием приращения (изменения) уровня напряжений при ведении горных работ.

Особый интерес приобретает проблема задания граничных условий для аналитических расчетов напряженного состояния блочных структур, поскольку они представляют собой совокупность плотных ядер, окруженных зонами трещин (дробления) и проявлений, в зависимости от изменения внешних условий, свойств непрерывных или подвижных (но не сыпучих) сред.

Весьма важным оказываются способ и плотность размещения измерительных устройств или интервалов измерения в пространстве при организации контроля состояния горного массива для того, чтобы иметь возможность надежно прогнозировать разрушение целиков, подготовительных выработок и камер (лав).

Методические разработки в этом направлении позволят расширить или, по крайней мере, установить пределы возможности каждого способа измерений, проводимых с целью оценки напряженно-деформированного состояния элементов горного массива. Тем самым будет повышен уровень надежности получаемого результата.

И, наконец, установленные зональность и периодичность структурно-вещественных характеристик блочных пород и особенности их напряженно-деформированного состояния могут быть использованы для объяснения феномена дезинтеграции пород под воздействием возрастающих напряжений вблизи горных выработок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малмейстер А.К. Сопротивление полимерных и композитных материалов / А.К. Малмейстер, В.П. Тамуж, Г.А. Тетерс. – Рига: Зинатне, 1980. – 571 с.
2. Протопопов И.И. Экспериментальное исследование свойств и напряженно-деформированного состояния горных пород блочного строения / И.И. Протопопов // Горный журнал – 1993. - № 2. – С. 20-24.
3. Яценко В.Ф. Прочность композиционных материалов / В.Ф. Яценко. - К.: Вища школа, 1988. – 192 с.

**УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН СКОПЛЕНИЯ МЕТАНА В  
УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ**

Розглянуті основні геологічні чинники, які впливають на формування зон скупчення метану у вуглепородному масиві. Виділені, найбільш ефективні показники для середнього катагенеза порід – опосередковані локальні структури, зони тріщинуватості порід, стрижневі ділянки пісковиків (палеопотоки). Для виділених показників виконаний розрахунок дисперсійного аналізу по альтернативній ознаці. На основі розрахунків встановлено вплив кожного фактора на формування зон скупчення метану у вуглепородному масиві.

**CONDITIONS OF METHANE ACCUMULATION ZONES IN A COAL-BEARING ARRAY**

Basic geological factors, which influence on forming of zone of accumulation of methane in coalrock massif, are presented. The most effective indexes for middle katagenesis of rock are determined - medial local structures, zone of jointing of rock, race areas of sandstones (paleocurrent). For determined indexes calculation of dispersion on an alternative character is executed. On the basis of calculations influence of every factor on forming of zone of accumulation of methane in a coalrock massif is defined.

Запасы метана распределены в углепородном массиве Донбасса неравномерно. Существуют участки, с пониженным содержанием метана и, наоборот, участки с повышенным содержанием. На распределение метана в породах влияет целый ряд геологических факторов. Основными из них являются глубина залегания исследуемого пласта, степень катагенеза пород, морфология, тектоника, литологический состав вмещающих пород и др., но влияние каждого из этих факторов в различных условиях шахтных полей и районов Донбасса различны и неоднозначны. В каждом конкретном случае необходимо установить закономерности изменения газоносности на площади и с глубиной, определить степень влияния на газоносность геологических факторов, выделить основные из них для исследуемой площади, что позволит при ограниченном объеме фактических данных выявить наиболее газоносные участки на каждом шахтном поле. Определение основных геологических факторов, влияющих на формирование зон скопления метана в породах Донбасса, является, актуальной научно-практической задачей для угледобывающей отрасли, что позволит рентабельно производить работы по дегазации углепородного массива и вести добычу газа в промышленных масштабах.

В работе [1] выполнен анализ литературных данных, которые послужили основой для разработки новых способов по прогнозу зон скопления метана, рассмотренные в работах [2, 3]. Выполненные автором данной статьи исследования в Донецко-Макеевском районе, позволили выделить основные геологические факторы, влияющие на формирование зон скопления метана в углепородном массиве. Определены показатели тектонического, литологического характера и комплексного влияния на формирования скоплений метана в породах среднего катагенеза.

В процессе исследований, были выбраны и изучены оптимальные показате-