

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОЧВЫ  
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫМИ  
АНКЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ**

Розроблена типізація умов підтримання підосви гірничих виробок анкерами склопластиковими армованими трубчатими (АСАТ), представлено технологічні схеми кріплення для кожного типу умов.

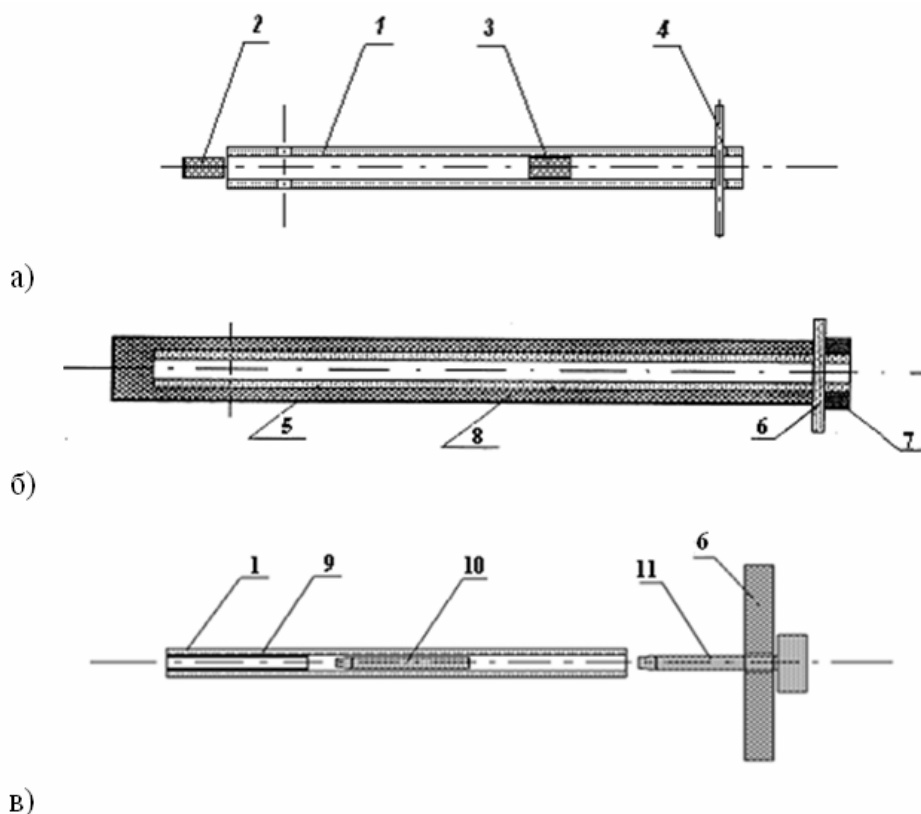
**TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FASTENING OF SOIL OF WORKING  
DEVELOPMENTS BY GLASS-REINFORCED PLASTIC ANCHORS  
SYSTEMS**

Typification of conditions of fastening of soil of mountain developments by anchors glass-reinforced plastic tubular (AGRT) is developed, technological schemes of fastening for each type of conditions are presented.

Отечественный и мировой опыт эксплуатации подготовительных выработок свидетельствует о том, что зачастую одной из важнейших причин неудовлетворительного их состояния является разрушение и вспучивание пород почвы. Особо активизируется этот процесс при заложении выработок на больших глубинах с вмещающими породами, склонными к размоканию и, как следствие, набуханию. Несмотря на постоянную работу в этом направлении, достаточно эффективных, подходящих для всех горно-геологических и горнотехнических условий охраны подготовительных выработок мер борьбы с данным явлением до сих пор не создано. Выполненными нами исследованиями доказано, что после поддирки почвы процесс ее вспучивания подчиняется той же закономерности, что и сразу после проведения выработки. В начальный период в течение 1,0-1,5 месяцев происходит интенсивное смещение пород с последующим постепенным затуханием данного процесса. С течением времени поднятие почвы в обоих случаях стабилизируется приблизительно на одном уровне. При этом стабилизация смещений после поддирки почвы происходит на уровне величины пучения до поддирки.

Выбор средств и способов поддержания почвы выработок осуществляется с учетом следующих горно-геологических факторов: глубины разработки, прочностных свойств углепородного массива, наличия тектонических нарушений, влагонасыщенности пород, повышенной трещиноватости массива и наличия в нём глинистых прослоев. При этом также учитывается влияние горнотехнических факторов: технологии очистных работ, ориентации оси выработки по отношению к направлению действия вектора главных напряжений, наличия смежных выработок, типа поддерживающей рамной крепи и ее параметров (несущая способность, податливость, плотность установки), применения дополнительных мероприятий по снижению смещений пород и нагрузок на крепь (упрочнение пород цементацией, тампонажем закрепного пространства, установкой крепей усиления, анкерованием кровли и боков выработок).

ИГТМ им. Н. С. Полякова НАН Украины разработаны анкеры АСАТ (анкер стеклопластиковый армированный трубчатый) [1] для крепления подготовительных выработок (рис. 1). Стеклопластиковые анкеры предназначены для крепления слабых пород и углей с химическим закреплением в боках и почве выработки (рис. 1, а), с химическим закреплением в почве выработки (рис. 1, б), а также с клиновым закреплением в боках и почве выработки (рис. 1, в). Конструктивно штанга анкера выполнена в виде толстостенной трубки из армированного стеклопластика с наружным и внутренним диаметром соответственно 30 и 25 мм (толщина стенки – 2,0-2,5 мм).



1 – стеклопластиковая штанга; 2 – донная пробка; 3 – устьевая пробка; 4 – штифт;  
 5 – стеклопластиковая трубка; 6 – опорная плитка; 7 – оголовок; 8 – раствор закрепителя;  
 9 – разрезная трубка ПВХ; 10 – донный клин; 11 – устьевой клин

Рис. 1 – Конструкция АСАТ: а – с химическим закреплением в боках и почве выработки; б – с химическим закреплением в почве выработки; в – с клиновым закреплением в боках и почве выработки

Отличительной особенностью АСАТ (рис. 1, а) является то, что корпус штанги анкера используется в конструкции как емкость, содержащая требуемый объем связующего с отвердителем. Закрепляющий состав выдавливается через сливные отверстия, расположенные в донной части штанги, равномерно заполняя зазор между стенками шпура и штангой анкера. Анкер (рис. 1, б) предназначен только для крепления почвы выработки и отличается значительной дешевизной конструкции в связи с тем, что закрепляющий состав закачивается непосредственно в шпур, после чего вставляется сам анкер. При этом, в

отличие от металлических анкеров в кровле, закрепляемых дорогами быстротвердеющими составами, для крепления стеклопластиковых анкеров возможно использование дешевых, освоенных промышленностью Украины, модифицированных карбомидных смол с более длительным сроком полимеризации и меньшей прочностью. Такие смолы высокотехнологичны, при установке анкеров появляется возможность использования высокопроизводительного оборудования для дозированной доставки твердеющего двухкомпонентного композита в шпур.

Клиновой анкер (рис. 1, в) работает по принципу замкового и закрепляется путем распора клина в забое шпура. Применяется для крепления боков или почвы выработки в тех случаях, когда на расстоянии не более 1,5 м от ее контура расположены крепкие породы, позволяющие закрепиться замку анкера.

Предложенные стеклопластиковые анкеры обладают рядом преимуществ по сравнению с металлическими: устойчивы к агрессивной шахтной среде; существенно дешевле; имеют длительную и стабильную характеристику несущей способности; штанги анкеров имеют низкие значения прочности на срез, благодаря чему легко срезаются рабочими органами выемочных и поддирочных машин без образования искры. Техническая характеристика анкеров АСАТ приведена в табл. 1.

Современная теория анкерной крепи базируется на том положении, что при помощи анкерных систем слаботрешиноватые приконтурные породы скрепляются между собой и отдаленными от выработки участками массива для образования грузонесущей конструкции в виде упрочненной балки. В свою очередь, устойчивость породного массива определяется его свойствами и действующими напряжениями, которые можно учитывать безразмерным параметром  $\sigma_{сж}/\gamma H$  [3]. Обобщающей характеристикой действия сил горного давления на выработку приняты смещения ее контура, величина которых определяет категорию устойчивости породного обнажения.

Определение категории устойчивости почвы выработки до ее анкерования осуществляли путем расчета ожидаемых смещений по СНиП II-94-80. Анкерование пород ведет к уменьшению наибольшей и увеличению наименьшей компонент главных напряжений, а, следовательно, снижается уровень разрушающих сдвиговых напряжений  $\tau_{max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$  [4].

Для определения смещений заанкерванной почвы выработки введен коэффициент влияния анкерования  $\eta$  [4]:

$$\eta = \left( r_0 + \frac{S_1 r_H}{(A-1)(P_L + S)r_0} \right) / \left( P_L + \frac{\sigma_{сж}^0}{A-1} / P + \frac{\sigma_{сж}^0}{A-1} \right)^{\frac{1}{A-1}}, \quad (1)$$

Таблица 1 – Техническая характеристика стеклопластикового анкера АСАТ

№	Технический параметр	Значение (допуск)
<b>Стеклопластиковая труба</b>		
1	Длина, мм	1200÷1800 (±5 %)
2	Диаметр наружный (для шпура диаметром 32 мм), мм	30 (+5 %)
3	Диаметр внутренний, мм	25 (– 5 %)
4	Длина концевых прорезов (для клиновых анкеров), Не менее, мм	400
5	Ширина прореза (для клиновых анкеров), не более, мм	4
6	Масса, не более, кг	0,5
7	Плотность материала, г/см	1,8
8	Предел прочности при сжатии вдоль оси, не менее, МПа	38
9	Предел прочности при сжатии перпендикулярно оси, Не менее, МПа	7
10	Предел прочности при растяжении вдоль оси, Не менее, МПа	38
<b>Клин для создания распорного усилия (для клиновых анкеров)</b>		
1	Длина, мм	400 (– 2 %)
2	Диаметр цилиндрической части, не менее, мм	29
3	Длина конусной части, не менее, мм	100
4	Конусность	1 : 20
5	Усилие затягивания, кН	10
6	Масса, кг	0,15-0,20
7	Материал клина дерево, плотность, г/см <sup>3</sup>	0,6
8	Материал клина стеклопластик, плотность, г/см <sup>3</sup>	1,8

где  $A$  – параметр, зависящий от угла внутреннего трения  $\rho$  пород ( $A = (1 + \sin \rho)/(1 - \sin \rho)$ );  $P_L$  – радиальная компонента напряжений на границе зоны неупругих деформаций  $P_L = \gamma H(1 - \beta) = (2\gamma H - \sigma_{сж}^0)/(A + 1)$ ;  $\sigma_{сж}^0$  – усреднённая прочность пород на сжатие;  $r_0$  – приведенный радиус выработки;  $P$  – отпор крепи;  $S$  и  $S_1$  – параметры вида напряжённого состояния:  $S = K_B P_B / [(r_H + 1)(A - 1)] + \sigma_{сж}^{ост} / (A - 1)$ ,  $S_1 = K_B P_B / [(r_H + 1)(A + 1)]$ ;  $P_B$  – усилие натяжения анкеров;  $K_B$  – коэффициент, зависящий от типа анкеров;  $r_H$  – безразмерный радиус влияния зоны анкерования;  $\sigma_{сж}^{ост}$  – остаточная прочность пород на сжатие;  $\beta$  – параметр, определяемый выражением  $\beta = (\sigma_{сж}^0 + \gamma H(A - 1)) / (\gamma H(A + 1))$ .

Расчётные смещения заанкерванной выработки:

$$u^a = u^H \cdot \eta, \quad (2)$$

где  $u^H$  – смещения незаанкерванной выработки.

С учетом коэффициента  $\eta$  определяется переход почвы выработки из одной категории устойчивости по СНиП II-94-80 в другую, более высокую, вследствие ее анкерования.

В процессе деформирования нагрузка на бока и почву выработки, закреплённые анкерами, постепенно увеличивается и при превышении действующими напряжениями предела прочности пород в армированном углепородном блоке происходит его дезинтеграция и расслоение. Поэтому, с учетом прочностных характеристик стеклопластиковой штанги анкера, критерием, устанавливающим предельные деформации вплоть до разрушения анкеров и ограничивающим частичную потерю устойчивости прилегающего к выработке массива, принята величина относительного расширения заанкерowanego участка, которую контролировали глубинными реперными станциями и определяли из выражения:

$$\Delta l_{np} \leq 0,02l_{анк} , \quad (3)$$

где:  $\Delta l_{np}$  – предельное относительное расширение заанкерowanego зоны;  $l_{анк}$  – длина установленных анкеров.

При превышении предельной деформации анкера происходит его разрыв. Однако и при разрыве анкера армированные блоки сохраняют значительную несущую способность, повышая остаточную прочность углепородного массива, что доказано опытными испытаниями [5].

Параметры упрочнения почвы выработки анкерной крепью определяются по данным, полученным экспериментальным и расчетным путем: по размерам зон неупругих деформаций – глубина анкерования, а по интенсивности смещений (нагрузок) – плотность установки анкеров (с учётом угла залегания пород, размера и формы выработки, влияния смежных выработок, класса основной кровли, параметров временного опорного давления от работающей лавы).

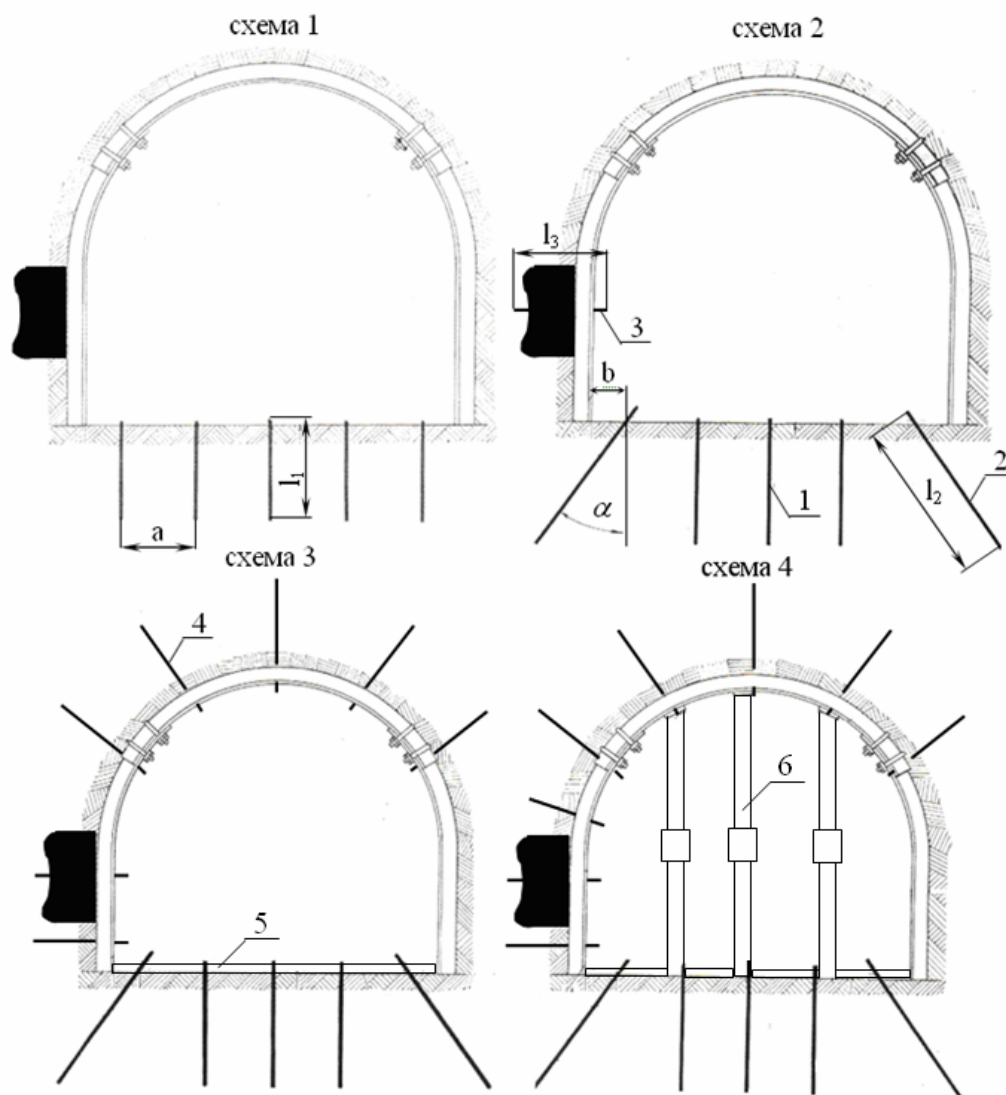
На базе выполненного большого объема аналитических и экспериментальных исследований в весьма обширном диапазоне горно-геологических условий нами предложена типизация условий поддержания почвы горных выработок с применением АСАТ (табл. 2).

Для первого типа условий, когда в непосредственной почве залегают устойчивые породы, сложенные песчаниками, подверженными упругим и вязкоупругим деформациям, допускающим поднятие почвы до 50 мм и в случае, когда нормальные напряжения не превышают предела длительной прочности пород, эффективное снижение пучения почвы обеспечивается установкой анкеров АСАТ с химическим закреплением (смолой КФ-МТ-15 и ангидридным отвердителем) или цементом КЛ (Minova) на всю длину анкера. Технологическая схема крепления приведена на рис. 2, схема 1.

Таблица 2 – Типизация условий поддержания почвы выработок стеклопластиковыми анкерами

Оценка устойчивости пород почвы к пучению	Признаки деления пород на типы	Критерии оценки признака		Тип пород	Состояние пород	Схема упрочнения почвы
		Величина пучения $u$ , мм	Характер проявления НДС, $\gamma H / \sigma_{сж.}$			
Устойчивые	В почве выработки напряжения не превышают предела длительной прочности	до 50	$\leq 0,25$	Песчаники	Породы подвержены упругим и вязкоупругим деформациям	Схема 1
Средней устойчивости	В почве выработки напряжения превышают длительную, но меньше мгновенной прочности пород	50-200	0,25-0,40	Песчаные сланцы, прочные глинистые сланцы	Породы подвержены упругим и неупругим деформациям	Схема 2
Умеренно пучащие	В почве выработки напряжения превышают мгновенную прочность пород	200-500	0,4-0,8	Неустойчивые глинистые и песчаные сланцы	Смещения пород в большей степени являются следствием неупругих деформаций	Схема 3
Сильно Пучащие	В почве выработки напряжения значительно превышают мгновенную прочность пород	Свыше 500	$>0,8$	Весьма неустойчивые самопучащие легко размокаемые сланцы	Интенсивное смещение пород происходит в результате лавинообразного разрушения	Схема 4

Для второго типа условий, когда в непосредственной почве залегают песчаные и прочные глинистые сланцы, подверженные деформациям с поднятием слоев от 50 до 200 мм за счет влияния горного давления со стороны кровли и боков выработки и, при этом, породы деформируются при напряжениях выше предела длительной прочности, но ниже мгновенной, снижение пучения почвы обеспечивается установкой комбинированной крепи: стеклопластиковых анкеров с химическим или цементным закреплением и сталеполимерных анкеров, установленных в боковую часть почвы выработки под углом 30-45°. Количество (плотность установки) стеклопластиковых анкеров определяется интенсивностью проявления горного давления, а длина и угол наклона металлических анкеров – размерами зоны неупругих деформаций в почве и боках выработки, определяемыми натурными измерениями или расчетным путем. Для предотвращения отжима угля, в пласт устанавливается стеклопластиковый анкер, длина которого определяется размерами зоны отжима пласта (рис. 2, схема 2).



1 – АСАТ в почве выработки; 2 – сталеполимерные анкеры в почве выработки; 3 – АСАТ в боку выработки; 4 – сталеполимерные анкеры в кровле выработки; 5 – подхват из металлического швеллера; 6 – стойки усиления; а – расстояние между АСАТ в ряду; b – расстояние от головки сталеполимерного анкера до бока выработки;  $\alpha$  – угол наклона сталеполимерного анкера относительно нормали к почве выработки;  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  – длина анкеров

Рис. 2 – Технологические схемы упрочнения почвы подготовительных выработок

Для третьего типа условий, когда в непосредственной кровле-почве выработки залегают неустойчивые глинистые и песчаные сланцы, склонные к разрушению и поднятию слоев на величину от 200 мм до 500 мм, и когда разрушение происходит от влияния интенсивного проявления горного давления при напряжениях, превышающих мгновенную прочность пород (что характерно для больших глубин разработки), снижение пучения почвы выработок обеспечивается по схеме, аналогичной схеме 2, но с дополнительной установкой подхвата из металлического швеллера, проложенного по ширине выработки в каждом ряду анкеров, что вместе с анкерной крепью создает монолитную плиту, блокирующую развитие процессов разрушения и поднятия верхних слоев непосред-

ственной почвы. Кроме того, для предотвращения разрушения породы ниже уровня пласта, в бок выработки под угольным пластом устанавливается стеклопластиковый анкер. Его длина определяется размерами зоны неупругих деформаций, но составляет не менее 1200 мм. В кровлю устанавливаются сталеполномерные анкеры по технологии, описанной в работе [6] (рис. 2, схема 3).

Четвертый тип условий – в кровле пласта залегают неустойчивые, склонные к обрушению породы, а в непосредственной почве – весьма неустойчивые пучащие легко размокаемые глинистые сланцы, склонные к интенсивному смещению (более 500 мм) и, из-за интенсивного проявления горного давления и вспучивания верхних слоев в результате размокания, в почве выработки создаются напряжения, значительно превышающие мгновенную прочность пород. Снижение пучения в таких условиях достигается применением схемы, аналогичной схеме 3, но АСАТ имеют только химическое закрепление (смолой КФ-МТ-15 и ангидридным отвердителем) и комбинированная крепь усиливается стойками конструкции ИГТМ НАНУ [7], установленными на подхват и расперты между кровлей и почвой выработки. Кроме того, в боку выработки со стороны угольного пласта устанавливается три анкера АСАТ: один – в угольный пласт и по одному – в породы над и под пластом. Длина анкеров не менее 1800 мм с химическим закреплением по всей длине шнура (рис. 2, схема 4).

Достаточная устойчивость почвы подготовительных выработок в условиях широкого спектра горно-геологических и горнотехнических условий достигается путем установки стеклопластиковых анкеров длиной 1,2-1,8 м с несущей способностью 60-100 кН, плотностью 0,8-2,0 анкера/м<sup>2</sup> и прочностью закрепления анкера по всей длине шнура не менее 1,1 кН/см.

Разработанные схемы поддержания почвы подготовительных выработок с использованием анкерных систем из стеклопластиковых материалов и типизация условий их применения позволят принимать своевременные эффективные меры по охране выработок и, тем самым, обеспечат условия для безопасного и высокопроизводительного ведения горных работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курносков А.Т. Стеклопластиковые анкеры в подготовительных выработках / А.Т. Курносков, В.Б. Ковбасенко, В.С. Возиянов и др. // Уголь Украины. – 2000. – № 9. – С. 18-19.
2. Курносков А.Т. Опыт применения анкерных систем из композитных материалов для повышения устойчивости почвы подготовительных выработок / А.Т. Курносков, С.А. Курносков, И.Н. Слащев и др. // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: Матер. XX Межд. науч. школы. – Симферополь: Таврич. Нац. Ун-т. – 2010. – С. 200-203.
3. Заславский Ю.З. Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт / Ю.З. Заславский, А.Н. Зорин, И.Л. Черняк. – К.: Техника, 1972. – 156 с.
4. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / В.В. Виноградов. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
5. Курносков С.А. Опытное-промышленное испытание крепления почвы выработки стеклопластиковыми анкерами / С.А. Курносков // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 94. – С. 110-115.
6. Булат А. Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А. Ф. Булат, В. В. Виноградов – Днепропетровск: вид. “Вільпо”, 2002. – 371 с.
7. Патент Украины № 68674 МПК Е21 Д 11/14. Замок тертя для кріплення із спецпрофілю / А.Ф. Булат, В.С. Возиянов, А.Т. Курносков и др. – Заявл. 08.08.11, Опубл. 10.04.12. – Бюл. 8.



**ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД НА ПРОЦЕСС  
СКЛАДКООБРАЗОВАНИЯ В СЛОИСТОМ МАССИВЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ**

В межах моделі кусково-однорідного середовища на основі тривимірної лінеарізованої теорії стійкості розглянута проблема складкоутворення у шаруватому масиві Земної кори. Механічні властивості шарів описуються моделлю ізотропного лінійно пружного тіла. Наведено чисельні результати розв'язку конкретних задач для шаруватого масиву з двома шарами, що чергуються.

**INFLUENCE FOR ELASTIC PROPERTIES OF ROCKS ON THE PROCESS  
FOLDING LAURED MASSIF OF E'ARTH'S CRUST**

Within the framework of model of piecwise-homogeneous environments on the basis of the three-dimensional linearized theory of a stability the problem of folding in layered massif the Earth's crust is considered. The mechanical properties of layers are described by model of isotropic linearly elastic body. The numerical results the of concrete problems decision for a layered massif with two alternating layers decision are given.

В работе [8] отмечено, что анализ механических процессов возникновения и формирования в осадочной оболочке Земли разнообразных складчатых структур может основываться только на математическом моделировании, т.к. эти процессы во всех своих решающих звеньях не могут быть наблюдаемы из-за их длительности, несоизмеримой с возможным интервалом наблюдения. Различные представления о возможных механизмах образования складчатых структур обобщены и систематизированы в работах [8-10]. В качестве механизма складкообразования в данной работе принимается явление потери устойчивости в слоистой толще горных пород. С таких же позиций этот вопрос изучается и в работах [3,6,12]. Для формулирования задачи авторы этих работ применяют различные варианты теории устойчивости в механике деформируемого твердого тела. В литературе для исследования явления складкообразования наиболее широкое применение нашли два из них: а) - приближенный вариант трехмерной теории устойчивости [8] и б) – трехмерная линейризованная теория устойчивости, построенная при малых и конечных докритических деформациях [4]. Второй вариант теории устойчивости можно считать более предпочтительным потому, что он получен путем строгой линейризации и последовательных упрощений первоначально геометрически нелинейных уравнений механики деформируемого твердого тела. Результаты, найденные в рамках этого подхода, хорошо согласуются с выводами, полученными на основе физических соображений [6]. В работах [4,11,12] для исследования явления складкообразования в слоистой тоще земной коры был предложен подход, основанный на использовании трехмерной линейризованной теории устойчивости деформируемых тел [4] в сочетании с моделью кусочно-однородной среды. В этом случае трехмерные уравнения устойчивости удовлетворяются в пределах каждого слоя породного массива, а на граничных поверхностях его и между отдельными слоями точно удовлетворяются краевые условия и условия