



# CENTRAL ASIAN JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED SCIENCES

Volume: 02 Issue: 05 | May 2021 ISSN: 2660-5317

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД И РАСЧЕТА АНКЕРНОЙ И НАБРЫЗГ-БЕТОННОЙ КРЕПЕЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

*Тоштемиров Умарали Тулкин угли*

*старший преподаватель кафедры «Горное дело» Алмалыкского филиала ТашГТУ имени  
Ислама Каримова.*

*Раимкулова Сарвиноз Мухаммаджан кизи*

*кафедры «Горное дело» Алмалыкского филиала ТашГТУ имени Ислама Каримова.*

*Махкамова Хилола Сайдазим кизи*

*студент магистратуры кафедры «Горное дело» ТашГТУ имени Ислама Каримова.*

*Received 29<sup>th</sup> April 2021, Accepted 6<sup>th</sup> May 2021, Online 7<sup>th</sup> May 2021*

---

**Abstract**– *When designing the supports of preparatory and capital mine workings, a number of complex problems arise, which are associated with the need to calculate the supports for the action of sufficiently large static loads occurring at great depths and for the dynamic impact of loads from blasting operations and seismic vibrations of the earth's crust. Currently, the most successful and more complete calculations of supports for the action of static loads, compared with calculations for the actions of dynamic and seismic. But, despite this, it is impossible today to claim the creation of perfect methods for calculating supports for the action of even static loads. In such conditions, the issues of assessment, forecasting and ensuring the stability of mine workings are key in the rapidly developing, in recent years, rock mechanics and mining practice.*

**Keywords:** *Workings, radial stresses, tangential stresses, support, pressure, rock stability, stock ratio, trunk, cross-section, anchor, crack, splash-concrete, explosion, deformation, Trompeter.*

---

За все время существования проведения подготовительных и капитальных выработок, методы оценки их устойчивости, ориентированные для применения в различных горно-геологических условиях, имеют первостепенное значение. Несмотря на это, неудовлетворительная точность созданных методов расчетов к настоящему времени обуславливает острую необходимость разработки новых и усовершенствованных методов и выполнения прогнозов о напряженно-деформированном состоянии горных выработок, подвергнутых воздействию различных силовых факторов, вызванных, в частности, действием горного давления, взрывных работ, гравитационных и сейсмических сил, а также сил тектонического происхождения. О реальности высказанной мысли свидетельствуют многочисленные статьи и монографии, посвященные тем или иным аспектам указанной проблемы,

различным подходам и методам ее решения.

Исследования проблемы устойчивости горных выработок в теоретическом плане, базируются на различных гипотезах и предпосылках физического и механического характера, а также на предположениях относительно зон распределения напряжений и деформаций в массиве пород, вмещающих выработку. Они, в большинстве своем, основаны на методах теории упругости и пластичности, рассматривающие массив горных пород как сплошная среда. Такие исследования занимают значительное место в общем, объеме изучения указанной проблемы. Существенным вкладом в развитие данного направления исследований явились работы А.Н. Динника, А.Б. Моргаевского и Г.Н. Савина [11], К.В.Руппенейта [21], Л.В.Ершова и В.А.Максимова [15], Ж.С. Ержанова и других [13,14], А.Н. Гузя [2], Н.С. Булычева и Х.И. Абрамсона [2,3], В.Т.Глушко, Н.Н. Долининой, М.И.Розовского и С.В. Закоры [9,10], Э.В. Каспарьяна [16], Н.П.Ерофеева [6], В.З. Васильева [4], К.Тerezawa [8], А. Лабасса [17] и других.

Как известно [1], после проходки выработки вмещающий ее массив горных пород находится под воздействием переменного поля напряжений, вызванного образованием полости. Для математического исследования напряженно-деформированного состояния такого массива применяют различные методы, в той или иной мере идеализирующие физико-механические свойства вмещающих пород. При этом происходит уменьшение степени идеализации свойств пород по мере создания современных новых и усовершенствования существующих методов математического описания состояния породного массива. Применяемые в настоящее время современные математические модели более точно описывают процесс деформирования пород и позволяют получить картину, максимально близкую к реальным условиям работы массива, вмещающего выработку [4,7].

С другой стороны, по нашему мнению, следует отдельно характеризовать и более ранние работы, послужившие образованию первоначальных представлений о напряженно-деформированном состоянии породного массива и его свойствах. Одной из таких работ является работа Р.Феннера [21], в которой для исследования напряженно-деформированного состояния породного массива горных пород применяется строгий математический аппарат, и процесс деформирования рассматривается аналитически. В ней дан анализ различных способов математического описания свойств, как нетронутого массива пород, так и в при контурной области вокруг выработок.

В этой работе впервые было опубликовано представление о различных зонах напряженно-деформированного состояния вокруг выработок. Указано, что размеры этих зон зависят от большого числа физико-механических факторов, включая реакцию крепи. Сформулирован подход к решению задачи о деформировании пород вертикальной и горизонтальной выработок с учетом пластических свойств массива. Аналитически определен радиус зоны текучести, в точках которой напряженное состояние определяется формулами

$$\begin{aligned}\sigma_{rr} &= \sigma_0 \left(\frac{r}{a}\right)^{k-2}; \\ \sigma_{\theta\theta} &= (k-1) * \left(\frac{r}{a}\right)^{k-2};\end{aligned}\quad 1$$

где:  $\sigma_{rr}$ ;  $\sigma_{\theta\theta}$ - главные радиальные и тангенциальные напряжения;  $\sigma_0$ - величина радиальной реакции крепи;  $r$  - радиальная координата;  $a$  - радиус поперечного сечения вертикальной выработки; параметр  $k$  определяется из выражения

$$k = \frac{\sigma_{rr} + \sigma_{\theta\theta}}{\sigma_{rr}} = \frac{2}{1 - \sin \varphi} \quad 2$$

где  $\varphi$  - угол внутреннего трения пород, находящихся в зоне текучести. При этом для радиуса зоны текучести предложена формула

$$b = a^{k-2} * \sqrt{\frac{2 * \gamma * H}{\sigma_0 * k * (k - 1)}} \quad 3$$

где  $\gamma$  - плотность пород;  $H$  - глубина рассматриваемого сечения выработки.

В развитие подхода работы [21] об образовании зоны текучести вокруг выработок, в работе [17], А.Лабассом предложено выделение трех зон с различными напряженно-деформированными состояниями, принципиальная схема которых изображена на рис. 1, заимствованного из [48], в случае вертикальной выработки. Согласно этой схеме первую зону составляют ослабленные многочисленными трещинами породы. В этой зоне компоненты поля напряжений имеют сравнительно небольшие значения или близки к нулю. Эту зону в научной литературе называют зоной пониженного давления или зоной Тромпетера. Для этой зоны автор использует математическую модель деформирования, считая или принимая породу как, сыпучая среда со сцеплением. Вторую зону составляют породы, где компоненты поля напряжений имеют повышенные значения. Эта зона называется зоной повышенных напряжений.

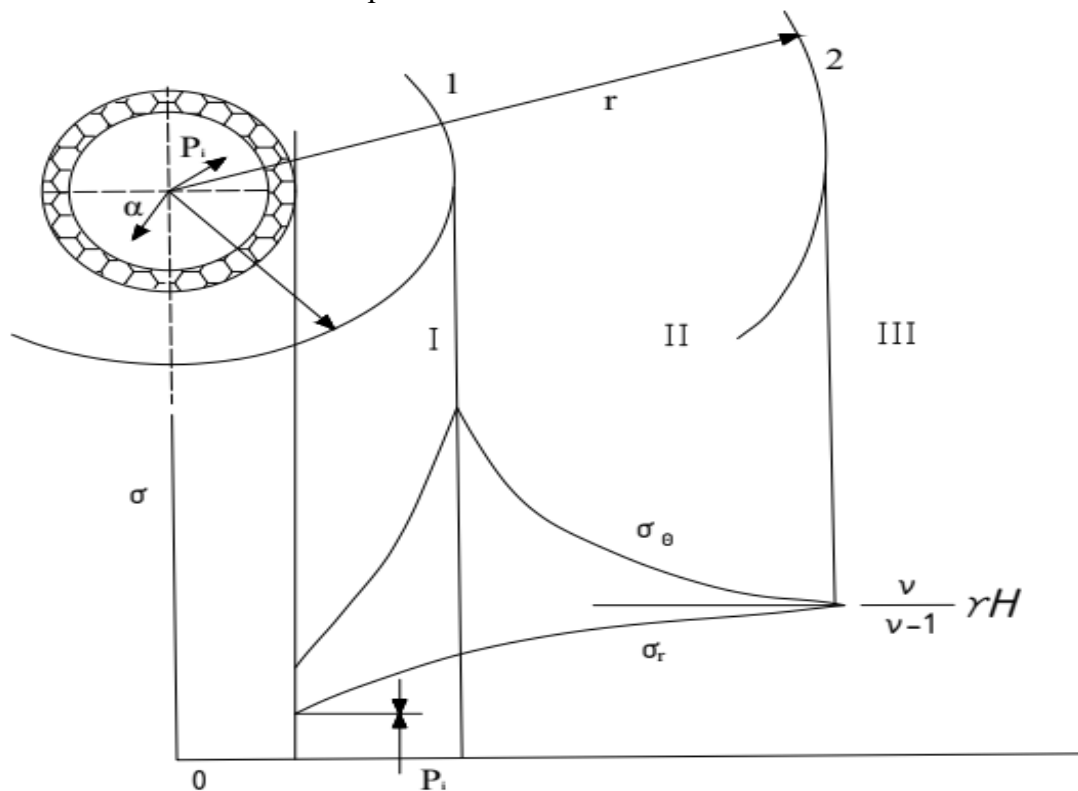


Рис.1. Схема образования зон различного напряженного состояния в массиве пород вокруг вертикальной (а) и горизонтальной (б) выработок (по А. Лабассу [12]): I - зона ослабленных пород; II - зона упругого состояния пород и повышенных напряжений; III - ненарушенный массив; 1 - граница оболочки ослабленных пород; 2 - граница зоны влияния

*выработки.*

Наконец, третью зону составляют породы с нарушенной структурой. В этой зоне поле напряжений естественное и оно определяется как напряжения в нетронутом массиве пород. Считается, что во второй и третьей зонах породы ведут себя как идеально упругая среда. В последующих публикациях зону текучести [21] или зону ослабленных пород называют зоной неупругих деформаций, и этот термин стал общепринятым, применяемым в современных исследованиях.

Наиболее важные значения для практики прохождения выработок имеют задачи прогнозирования напряженно-деформированного состояния выработок, которые должны быть решены на стадии проектирования до начала проходческих работ. Представление об образовании вокруг выработок зон различного напряженно-деформированного состояния позволяет решение таких задач сводит к расчету устойчивости пород на контуре выработок в пределах зоны неупругих деформаций [9]. При решении задач указанного класса применяются различные критерии устойчивости, к которым, прежде всего, относится подход, по которому оценка устойчивости выработок осуществляется на основании расчета условий разрушения пород.

Разработанные к настоящему времени критерии, и методы расчета устойчивости породного массива основаны на сопоставлении максимальных напряжений в упругой модели с прочностью пород в массиве. Эти критерии в основном соответствуют началу зарождения трещин в боках выработок, проведенных в хрупких породах [11]

$$k_0 * \gamma * H \leq \xi * \eta * [\sigma_{сж}] \quad 4$$

где  $k_0$ -коэффициент концентрации напряжений [8];  $\xi$  -коэффициент длительной прочности пород;  $\eta$ -коэффициент структурного ослабления пород;  $[\sigma_{сж}]$  -предел прочности пород при одноосном сжатии.

Из неравенства (4) следует показатель устойчивости пород

$$\frac{\gamma * H}{[\sigma_{сж}]} \leq S \quad 5$$

Существуют множество частных критериев устойчивости пород. В частности, на основании моделирования массива пород гипсовыми плитами Л.Н. Насоновым [6] получен следующий критерий

$$\eta * [\sigma_{сж}] \geq 3,3 * m * \gamma * H \quad \left( S = 0,3 \frac{\eta}{m} \right) \quad 6$$

где  $m$  -коэффициент запаса.

Можно привести ряд критериев, предложенных Ю.З. Заславским, И.И.Исаевым, А.П. Максимовым и О.С.Алферовым, В.Ю. Изаксоном и другими учеными [11], подобных критерию (6).

В работе [85] отмечен критерий И.Л.Давыдовича-В.В.Райского, который имеет вид

$$S = 0,5 - \frac{100}{[\sigma_{сж}]} \quad 7$$

Предложен критерий устойчивости также F.Mohrom [6] для хрупких пород имеющий вид

$$S = k_0 \frac{(1 + \sin \varphi)^2}{\gamma * H * (1 - \sin \varphi)} \quad 8$$

которого целесообразнее использовать в виде

$$S = \frac{(1 + \sin \varphi)^2}{2s \cos \varphi} \quad 9$$

где: величина  $s$  характеризует степень устойчивости пород (выработка устойчива при  $s > 4$ ).

Можно отметить, что в большинстве случаев величины действующих напряжений, точнее, коэффициент концентрации напряжений  $k_0$ , определялись из решения упругой задачи. Затем, введением и подбором специальных коэффициентов  $\xi$  и  $\eta$ , свойства массива пород считавшийся идеально упругой средой, приближались к реальным характеристикам.

В некоторых исследованиях, при разработке критериев устойчивости пород, величины действующих напряжений предлагались сопоставлять не с пределом прочности пород на сжатие, а пределом их текучести  $[\sigma_\tau] < [\sigma_{сж}]$ , тем самым жестко ограничивая вид возможных деформаций пород на контуре выработок. Если учитываются упругопластические свойства породы, характеризующиеся углом внутреннего трения и сцеплением, кроме упругих характеристик (модуля упругости и коэффициента Пуассона) критерий устойчивости может быть записан так

$$k_0 * \gamma * H \leq k_y * \xi * \eta * [\sigma_{сж}] \quad 10$$

где:  $k_y = f(\varphi, \tau_0)$ - коэффициент, учитывающий повышение устойчивости пород, способных к пластическим деформациям;  $\varphi$  - угол внутреннего трения;  $\tau_0$  - сцепление пород.

Известны ряд критериев устойчивости порей, которые можно называть энергетическими. К ним относятся [11] критерии С.Кормана, Л.Витека и Л.А.Шрейнера, а также критерии, предложенные некоторыми, другими авторами. Упомянутые критерии названы энергетическими из-за того, что в них устойчивость связывается с упругой энергией деформирования. В этих работах приняты соотношения между компонентами напряжения на октаэдрических площадках, на которых касательные напряжения пропорциональны упругой энергии формоизменения.

Разработаны также ряд критериев устойчивости породных стенок вертикальных стволов. Из результатов исследований В.Г.Березанцева при  $p = 0$ , можно получить один из этих критериев устойчивости. Другое решение [11] осесимметричной задачи предельного равновесия, отличное от решения В.Г.Березанцева, предложено в работе [18]. По результатам этих исследований установлено, что при определенных условиях вокруг выработки образуется область предельного состояния, ограниченная в меридиональной плоскости вертикальной линией, являющейся огибающей линий скольжения. Условие образования ограниченной линиями скольжения области предельного состояния является условием устойчивости ствола.

В работе [12] предложен критерий устойчивости, полученный на основании анализа результатов многочисленных экспериментальных данных на моделях с влажным песком для устойчивости стенок незакрепленной вертикальной выработки

$$H \leq \frac{R}{2 * \operatorname{tg} \varphi * \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)} \ln \frac{\gamma R}{\gamma R - 4k \frac{\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} \quad 11$$

который связывает предельное состояние не только с глубиной, но и с диаметром ствола.

Влияние пластических свойств пород на их устойчивость на примере вертикального ствола круглого поперечного сечения рассмотрено в работе[11].

В качестве модели массива принята весома идеальная упругопластическая среда, характеризующаяся углом внутреннего трения и сцеплением. В упругой области компоненты напряжения связаны обобщенным законом Гука, в пластической - условием Кулона-Мора

$$\sigma_{\theta} - \sigma_r = \sin \varphi (\sigma_{\theta} + \sigma_r) + 2k \cos \varphi \quad 12$$

Рассмотрен общий случай, когда ствол заполнен промывочным раствором с объемным весом  $\gamma_p$ . Для первого предельного состояния, т.е. когда на некоторой глубине  $z_e$  достигается предел упругости массива пород, получено условие

$$z_e = \frac{k \cos \varphi}{\lambda * \gamma * (1 - \sin \varphi) - \gamma_p} \quad \text{или} \quad z_e = \frac{\sigma_{сж}}{2 \left( \lambda * \gamma - \frac{\gamma_p}{(1 - \sin \varphi)} \right)} \quad 13$$

При отсутствии промывочного раствора это условие идентично (4).

Для второго предельного состояния для предельной глубины  $z_c$  получено условие

$$z_c = \frac{\sigma_{сж}}{2} * \frac{\frac{\alpha}{\sin \varphi} + 1}{\lambda * \gamma - \frac{\gamma_p * \pi^2}{1 - \sin \varphi}} \quad 14$$

где  $\pi = \frac{\varepsilon_{сж}}{\varepsilon_{н\ сж}}$  при отсутствии в стволе промывочного раствора выражение (14) преобразуется к виду

$$2 * \lambda * \gamma * z_c = \sigma_{сж} * \left( \frac{\alpha}{\sin \varphi} + 1 \right) \quad 15$$

которое отличается от условия первого предельного состояния (13) или (14) наличием в правой части множителя (выражение в скобках), характеризующего повышение устойчивости пород, способных к пластическим деформациям.

В работах И.Л.Черняка [12] развит подход применительно к массивам, проявляющим реологические свойства, в частности вязкоупругой модели. При этом рассматриваются условия устойчивости отдельно для трех видов деформирования и разрушения:

1) если напряжения вокруг выработки не превышают, пределы длительной прочности пород и разрушений нет, то имеет место упруго вязкое деформирование массива. При этом вокруг выработки образуется лишь зона упруго вязких деформаций и критерием для ее появления будет

$$\sigma_y \leq k_0 * \gamma * H \leq \sigma_{сж};$$

2) если напряжения вокруг выработки не превышают предела прочности пород на одноосное сжатие, но больше длительной прочности пород то в массиве будут выделяться зоны длительного разрушения пород и упруго вязкого деформирования. Критерием в этом случае будет

$$\xi \sigma_{сж} \leq k_0 * \gamma * H \leq \sigma_{сж};$$

3) если действующие напряжения превышают предела прочности пород на одноосное сжатие, то в массиве образуется зона условно-мгновенного разрушения пород, переходящая в зону длительного разрушения. Критерием появления такого типа деформирования и разрушения будет



$$\sigma_{сж} \leq k_0 * \gamma * H ,$$

где  $\sigma_y$ - предел упругости.

Приведенные стадии устойчивости для трех видов деформирования и разрушения пород предшествуют потере устойчивости в породном массиве вокруг вертикальной выработки. На основании перечисленных условий критериев устойчивости состояние вертикальных выработок квалифицируется как устойчивое, средней устойчивости и неустойчивое.

В отличие от цитированных работ, где прочностные характеристики пород сравнивались с максимальными величинами главных напряжений, в работах [21] предложен метод учета касательных напряжений, обуславливающих разрушение пород в форме среза. При этом в качестве критерия устойчивости используется условие предельного равновесия в форме

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + \tau_0 , \quad 16$$

где:  $\sigma, \tau$  – соответственно нормальные и касательные компоненты напряжений вокруг выработки.

Следует отметить, что самостоятельную группу критериев устойчивости представляют критерии, полученные при анализе прочности породы на контуре сечения выработки с позиций теории вероятности. Это направление получило развитие в работах, выполненных по инициативе и под руководством К.В.Руппeneйга[15].

Как следует из приведенного краткого обзора работ по устойчивости и его критериям выбор методов расчета условных зон возможных разрушений или зон неупругих деформаций, определяется на основе применяемых математических моделей, описывающих свойства массива горных пород. Наибольшее применение при этом находят упругие модели, к которым фактически сводятся и рассмотрение устойчивости выработок и в других случаях, в том числе и при наделении массива вязкоупругими свойствами. В частности авторы работы [16] при определении границ зон возможных разрушений вокруг горных выработок в кусочно-однородном вязкоупругом массиве предлагают осуществить решение задачи по известному методу академика А.А.Ильюшина, т.е. решать задачу последовательными шагами во времени. При этом каждое решение, полученное в пределах этих шагов по времени, представляет собой упругое решение.

Из приведенного анализа опубликованных работ по устойчивости выработок следует, что под устойчивостью выработки понимается способность ее сохранять заданные размеры и форму поперечного сечения. Для достижения устойчивости выработки необходимо каким-нибудь

способом увеличить несущую способность пород т.е. применить крепление обнаженных поверхностей массива пород, вмещающий горную выработку.

Крепление горных выработок является одним из основных производственных процессов при подземной разработке месторождений полезных ископаемых. Без соответствующего крепления невозможна успешная работа шахты, рудника, штольни и других горных выработок. Большим резервом повышения эффективности работы горнодобывающих предприятий является создание новых конструкций крепи и средств механизации крепления.

При этом конечной целью любого крепления является увеличение прочности на изгиб и растяжение вмещающих выработку пород, воздействующих на выработку силами статической, динамической, тектонической и другой природы. Эффективное упрочнение пород, в противовес действия растягивающих напряжений можно выполнить с помощью анкеров различной конструкции

в зависимости от конкретных горно-геологических условий. Анкерная крепь возводится предварительно напряженной и поэтому после возведения крепи сразу же повышается сцепление между слоями пород с различными физико-механическими свойствами.

После начала применения анкерной крепи с середины прошлого столетия до настоящего времени выполнено большое количество научных и практических исследований учеными различных стран. Эти исследования, в конечном, итоге, позволили раскрыть различные аспекты применения этого вида крепи, лучше понимать физическую сущность, преимущества и недостатки.

Вместе с тем необходимо отметить что, несмотря на все усилия ученых- исследователей до сегодняшнего дня не удалось создать теорию работы анкерной крепи, признанной широким кругом исследователей различных стран. Не существует также единая методика расчета параметров данной крепи. Однако, анализ результатов указанных работ по разработке методов расчета [19] позволяет сделать вывод о том, что для определения плотности установки анкеров, как основной фактор, следует принимать несущую способность замковой части анкеров и величину предварительного напряжения.

### Литература :

1. Айталиев Ш.М., Алдамжаров. и другие Реология и сейсмодинамика породного массива. - Алма-Ата, Изд-во «Наука Казахстана»,1984,-198 с. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика подземных сооружений и конструкции крепей. - М.: Недра, 1992. - 54 с.
2. Боликов В.Е. Основные проблемы обеспечения устойчивости выработок в шахтном и подземном строительстве // Известия вузов. Горный журнал, № 4, 2005. - С. 60-66.
3. Борисов А.В. Разработка способов проведения и средств крепления широких выработок в зоне интенсивного проявления горного давления на шахтах. Воркутского месторождения// Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. - Санкт-Петербург. 2005.---7с.
4. Булычев Н.С., Абрамсон Х.И. Крепь вертикальных стволов шахт. - М., «Недра», 1978.- 191 с.
5. Булычев Н.С., Турчанинов И.А., Каспарьян Э.В. Выбор рациональной крепи шахтного ствола на Сопчинском месторождении // В кн. «Физика и технология разработки недр».- М.; «Наука», 1965.- С.92-103.
6. Векслер Ю.А., Тутанов С.К. Расчет величины зоны разрушения в окрестности подземных горных выработок //В кн.: Устойчивость и крепление горных выработок. Межвуз. сб., вып. 3.- Л.; ЛГИ, 1976.-С.59-60.
7. Вознесенский А.С., Набатов В.В. Обоснование методики оценки процессов трещинообразования массива пород вокруг выработок методом регистрации электромагнитного излучения// Изв. вузов. Горный журнал, 2004, №4.- С. 122-124.
8. Воробьев Н.Н. Теория рядов. - М.; «Наука», 1979.- 408с
9. Воронин В.С. Внедрение набрызгбетонной крепи на рудниках цветной металлургии. - М.; Цветметинформация, 1970.
10. Воронин В.С. Набрызгбетонная крепь. - М.; «Недра», 1980.- 199с.
11. Гелескул М.Н., Каретников В.Н. Справочник по креплению капитальных горных выработок. - М.; «Недра» , 1982. -479с.



12. Генин М.С. Способы упрочнения породного массива вокруг проводимой выработки // Уголь, 1983, №12.- С.39-42.
13. Глушко В.Т., Загора С.В. Напряженно-деформированное состояние анизотропных пород вокруг неподкрепленных горных выработок//В кн. Механика и разрушение горных пород. - Киев: Наукова думка, 1974, вып. 1.- С.5-12.
14. Демидов С.П. Теория упругости. - М.: «Высшая школа», 1979. - 432с.
15. Динник А.Н. О давлении горных пород и расчет крепи круглой шахты// Инж. работник, 1925, №7. -С.1-12.
16. Жданкин Н.А., Жданкин А.А., Боев А.В. Выбор глубины шпуров с учетом напряженно-деформированного состояния массива // Горный журнал, 1982, №10. - С. 34-35.
17. Заславский Ю.З., Зорин И.Н., Черняк И.Л. Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт. - Киев: «Техника», 1972.- 156 с.
18. Каспарьян Э.В. Устойчивость горных выработок в скальных породах. Л.: Изд-во «Наука», 1985, - 183 с.
19. Корнилков М.В. Влияние параметров управляющих силовых воздействий на несущую способность рамных крепей выработок// Труды междунар. конф Мельниковские чтения. - Екатеринбург: УрО РАН. 1998. - Т.3. - С. 189-192.
20. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. - Л.: «Недра», 1990. -328 с.
21. Мостков В.М. Строительство подземных сооружений большого сечения. - М.; «Недра», 1974 г.
22. Мостков В.М. Строительство подземных сооружений большого сечения. - М.; «Недра»,1971. - 245 с.