

УДК 622.831.001.57

© В.В. Фомичев, В.Н. Почепов, Л.Я. Фомичева, В.В. Лапко

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
ДВУХУРОВНЕВОГО АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ ПРИ  
ВАРЬИРОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ  
КАНАТНЫХ АНКЕРОВ**

© V. Fomychov, V. Pochepov, L. Fomychova, V. Lapko

**DETERMINE OF THE OPTIMUM STRESS-DEFORMED STATE  
OF TWO-LEVEL BOLTING SUPPORT FOR VARIATION PARAMETERS  
OF ROPE BOLTS INSTALLATION**

**Цель** исследования – определение параметров установки канатных анкеров влияющих на распределение напряжений в геомеханической модели включающей в себя двигающийся очистной забой.

**Методика.** Проведение исследований заключается в выявлении закономерностей изменения напряжений в теле анкера, определения изменения напряженно-деформированного состояния канатных анкеров в зависимости от угла установки и величины преднапряжения, в определении напряженного состояния отдельных анкеров при движении очистного забоя вдоль выемочной выработки в условиях шахты. Для определения состояния элементов двухуровневого анкерного крепления использовались методы лабораторных и натуральных исследований. Для оценки состояния всей геомеханической системы применялся вычислительный эксперимент с варьированием условий установки канатных анкеров. На заключительном этапе был выполнен анализ и получены закономерности влияния горно-геологических условий на параметры установки канатных анкеров в двухуровневом анкерном креплении.

**Результаты.** Получены значения параметров определяющих поведение канатных анкеров при различных условиях взаимодействия с породным массивом. Выявлены особенности влияния перемещения очистного забоя на изменение напряженно-деформированного состояния сталеполимерных и канатных анкеров. Описаны условия минимизации внутренних усилий анкеров при которых обеспечивается устойчивость свода выработки, находящейся в зоне влияния очистных работ.

**Научная новизна.** Определение закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния элементов геомеханической системы при различных значениях параметров установки канатных анкеров, попадающих в зону воздействия повышенного горного давления вызванного передвижением очистного забоя.

**Практическое значение.** Полученные закономерности позволяют, при использовании двухуровневого анкерного крепления, сократить число анкеров, устанавливаемых на один погонный метр, уменьшить скорость деформирования свода выработки, сократить эксплуатационные затраты, что в совокупности обеспечивает снижение себестоимости проходческих работ.

**Ключевые слова:** двухуровневая система, очистной забой, МКЭ, горное давление, породный массив, канатные анкера

**Введение.** Для поддержания выемочных выработок эксплуатируемых в сложных горно-геологических условиях Украины применяется множество типов крепления. Наиболее распространенными типами креплений являются рамная и анкерная крепи, набрызгбетон и тубинги [1]. Кроме того, применяются комбинированные крепления в виде рамно-анкерного, набрызгбетона с анкерами, двухуровневая анкерная крепь. Все эти типы крепей обладают различными ограничениями, не позволяющими их использовать повсеместно [2]. На данное время основной характеристикой описывающей приемлемость использования определенного типа крепи, с нашей точки зрения, является эксплуатационная эффективность.

Эксплуатационная эффективность крепи описывается как относительный показатель износостойкости и технологической надежности крепления выработки в среднестатистических условиях ее поддержания. Базой оценки избирается идеализированная геомеханическая система, устойчивое состояние которой достигается при минимальных динамических изменениях напряженно-деформированного состояния [3, 4]. Оценка эксплуатационной эффективности различных вариантов крепежных конструкций выемочных выработок дала следующие результаты: рамная крепь - 0,6; набрызгбетон - 0,63; набрызгбетон с анкерами - 0,71; рамно-анкерная крепь - 0,78; анкерная крепь - 0,81; двухуровневая анкерная крепь - 0,83; тубинги - 0,97.

Если рассматривать суперпозицию диапазонов возможных условий применения и эксплуатационную эффективность двухуровневой анкерной крепи, то получается, что данный тип крепления обеспечивает сохранение эксплуатационных характеристик выемочной выработки за счет гибкости изменения конфигурации геомеханической системы. Поиск оптимальной конфигурации двухуровневой анкерной крепи для различных горно-геологических условий эксплуатации выемочной выработки является нетривиальной задачей со значительным, более десяти, числом параметров установки анкеров. Влияние параметров установки канатных анкеров на напряженно-деформированное состояние геомеханической системы рассматривается как часть решения общей задачи по управлению состоянием приконтурного породного массива.

**Цель исследования** состоит в выявлении характера влияния параметров установки канатных анкеров на распределение усилий возникающих в геомеханической модели при воздействии на нее горного давления формирующегося при перемещении очистного забоя.

**Научная и практическая новизна.** Определение закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния элементов геомеханической системы при различных значениях параметров установки канатных анкеров попадающих в зону воздействия повышенного горного давления вызванного передвижением очистного забоя.

Благодаря полученным закономерностям при использовании двухуровневого анкерного крепления для поддержания выемочной выработки сокращается число анкеров устанавливаемых на один погонный метр, уменьшается скорость деформирования свода выработки, уменьшаются эксплуатационные затраты,

что в совокупности обеспечивает снижение себестоимости проходческих работ.

**Постановка и методология выполнения задачи.** При проведении лабораторного и вычислительного экспериментов выявить изменения напряженно-деформированного состояния анкеров при воздействии на них внешних факторов определяемых различными горно-геологическими условиями. Определить и сравнить режимы работы канатных и сталеполлимерных анкеров в двухуровневом анкерном креплении. Определить степень воздействия перемещения очистного забоя на несущую способность отдельных анкеров при различных конфигурациях двухуровневого анкерного крепления.

Проведение данного исследования вписывается в общую структуру оценки эффективности применения двухуровневой анкерной крепи, представленной на рис. 1.

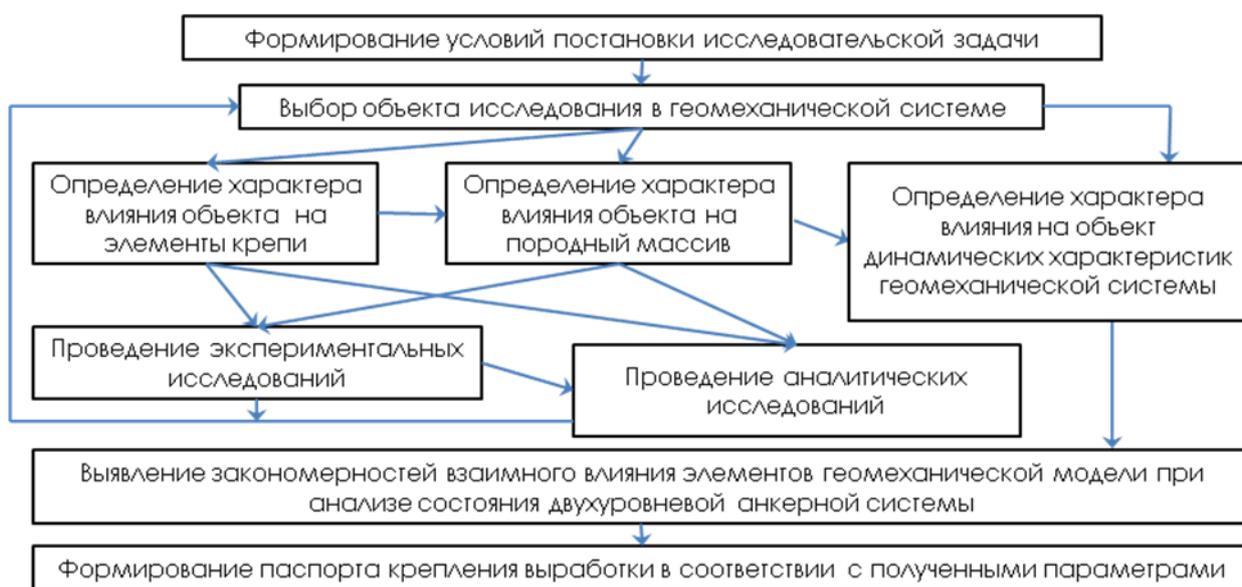


Рис. 1. Структура проведения исследований по определению оптимальных параметров двухуровневого анкерного крепления при учете изменяющихся динамических характеристик геомеханической системы выемочной выработки

Элементы геомеханической системы рассматриваются как самостоятельные объекты исследований параметры которых определяются при обобщенной постановке задачи. Каждый элемент и его отдельный параметр исследуется с применением доступных методов. Результаты применения данных методов должны согласовываться по типу с результатами получаемыми для элементов геомеханической модели находящимися во взаимодействии.

Таким образом, для выявления закономерностей изменения напряжений в теле анкера проводились лабораторные исследования, которые стали основой моделирования поведения анкеров в вычислительном эксперименте. Результаты вычислительного эксперимента легли в основу определения изменения напряженно-деформированного состояния канатных анкеров в зависимости от угла установки и величины преднатяжения. Полученные закономерности были

проверены в натуральных условиях, путем установки тензометрического оборудования на выбранные анкера и сбора информации с замерных станций по мере движения очистного забоя вдоль выемочной выработки закрепленной двухуровневой анкерной крепью заданной конфигурации.

Результаты экспериментов были подвергнуты анализу с целью получения закономерностей позволяющих оценить эффективность выбираемой конфигурации двухуровневой анкерной системы в рассматриваемых горно-геологических условиях. Полученная математическая модель обеспечивает критерии выбора оптимальной конфигурации крепления выработки независимо от дополнительных натуральных или лабораторных экспериментов.

**Анализ полученных результатов.** Исследование изменения напряженно-деформированного состояния сталеполимерного и канатного анкеров под воздействием продольных и поперечных внешних нагрузок было необходимо для определения диаграммы деформирования используемой при моделировании анкера установленного в породный массив. Результаты полученных измерений представлены на рис. 2.

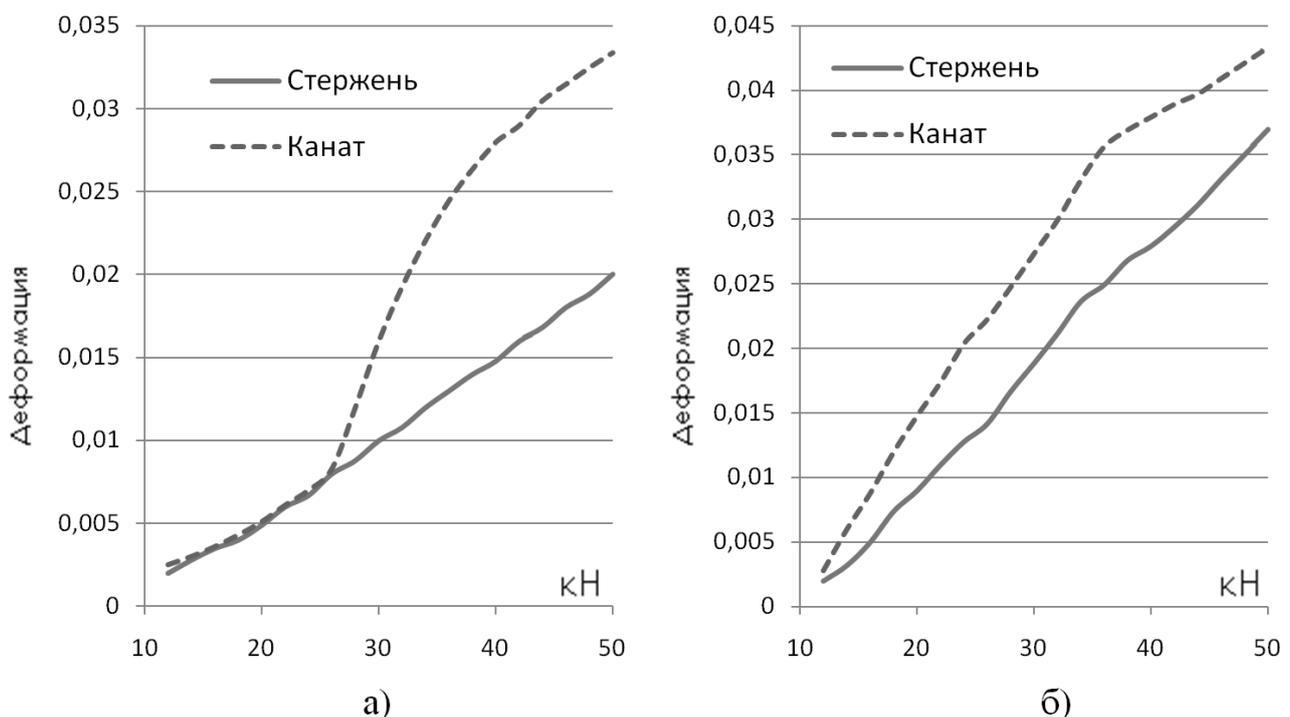


Рис. 2. Проведение испытаний сталеполимерных и канатных анкеров по определению динамики роста продольных (а) и поперечных (б) деформаций при увеличении внешней нагрузки

Рост деформации при продольном нагружении сталеполимерного и канатного анкеров (рис. 2, а) имеет различный качественный характер. Если на начальном этапе нагружения относительное удлинение обоих образцов происходит одинаковым образом, то после достижения 23,7 кН диаграмма деформирования канатного анкера показывает быстрый рост. Очевидно, это определено конструктивными особенностями стального каната – после достижения опреде-

ленного уровня деформирования удлинение происходит за счет двух показателей: упругого поведения стальных нитей и внутренней кинематики каната. Получается, что с увеличением нагружения в стальном стержне сталеполимерного анкера деформация проходит по закону близкому к линейному, а в случае с канатным анкером формируется два участка: первый, соответствует закону удлинения стального стержня; второй, представляет собой суперпозицию упругого удлинения и кинематики перемещения нитей в канате.

Фактически полученные результаты лабораторных исследований показали, что поведение сталеполимерных и канатных анкеров с увеличением деформации свода выработки, при доминировании вертикальных перемещений, будет изменяться со временем различным образом. На начальном этапе роста деформаций свода выработки сталеполимерные анкера будут воспринимать нагрузки интенсивней канатных. Учитывая разницу в длине сталеполимерных и канатных анкеров, разница при их нагружении будет варьироваться от 20 до 40 %. В процессе трещинообразования и расслоения пород в кровле выработки анкера поддерживающие свод входят в процесс перераспределения усилий в двухуровневой анкерной крепи. Сталеполимерные анкера частично разгружаются, а канатные начинают воспринимать все растущие внешние усилия. Таким образом, формируется второй этап функционирования рассматриваемой системы крепления – переходный.

На переходном этапе деформации свода выработки остаются относительно не значительными, в пределах 5 – 10 %, что определяет относительно равномерное распределение усилий в канатных и сталеполимерных анкерах. В этом состоянии свод выработки находится в устойчивом равновесии которое обеспечивает сохранение эксплуатационных характеристик выемочной выработки. Это состояние сохраняется до момента перехода состояния канатных анкеров во второй участок диаграммы деформирования.

Третий этап деформирования свода выработки характеризуется формированием зон разрушения породного массива в кровле выработки. Сталеполимерные анкера на этом этапе окончательно разгружаются. Свод выработки «подвешивается» на канатных анкерах рост удлинения которых постепенно приводит к формированию магистральных трещин в породах кровли выработки. В результате, кровля выработки переходит в состояние неустойчивого равновесия при котором функции сталеполимерных анкеров сводятся к препятствованию формирования локальных вывалов.

При исследовании на поперечное нагружение сталеполимерных и канатных анкеров общая качественная картина роста деформации сохраняется для обоих рассматриваемых объектов (рис. 2, б). Обе диаграммы не выдерживают пологую линейную характеристику и имеют по одной точке перелома. Эти точки находятся близко в диапазоне прикладываемых усилий от 36 до 38 кН. Это вызвано особенностями проведения лабораторного эксперимента, в результате которых возникают точечные очаги пластических деформаций в теле анкеров.

Однако деформирование канатных анкеров относительно сталеполимерных идет интенсивней, но после возникновения пластических деформаций ско-

рость удлинения канатного анкера существенно, на 22 %, падает. Из чего следует вывод о том, что сопротивление поперечным нагрузкам канатного анкера увеличивается прямо пропорционально росту деформаций пород кровли выработки.

Таким образом, в двухуровневой анкерной крепи режимы работы сталеполлимерных и канатных анкеров имеет различные характеристики, степень взаимного влияния которых определяется прочностными показателями вмещающих горных пород. Оптимальное взаимодействие сталеполлимерных и канатных анкеров крепи достигается за счет минимизации полных деформаций при смене режимов их работы.

Полученные закономерности деформирования анкеров были использованы при проведении вычислительного эксперимента определения состояния геомеханической системы при изменении угла установки канатных анкеров. Часть результатов полученных при расчетах представлены в виде объемных эпюр интенсивности напряжений (рис. 3).

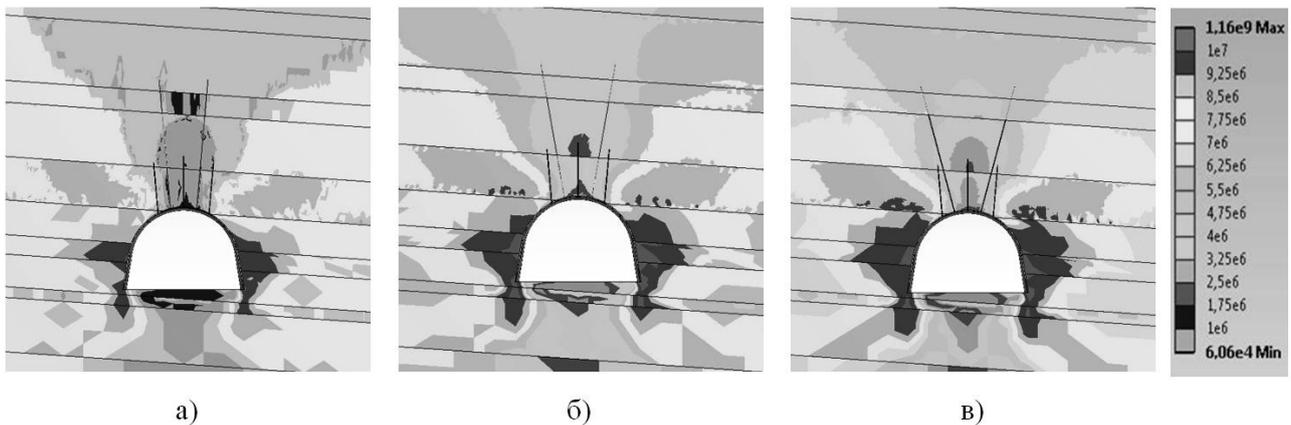


Рис. 3. Эпюры интенсивности напряжений в геомеханической модели на глубине 800 м с углом установки канатных анкеров 85° (а), 80° (б) и 75° (в)

Для представленных вариантов углов установки канатных анкеров характерно значительное изменение картины распределения напряжений в кровле выработки. С увеличением угла установки канатных анкеров зона минимальной интенсивности напряжений в кровле выработки перемещается вглубь породного массива. Происходит изменение характера взаимодействия породных слоев, что сказывается на условиях работы сталеполлимерных анкеров. Наибольший уровень нагрузки испытывает средний сталеполлимерный анкер при варианте установки канатного анкера под углом 80° к горизонту (рис.3, б). В этом случае породные слои непосредственной кровли деформируются согласовано, но с разными величинами прогиба, что заставляет анкер сопротивляться их расслоению.

В варианте установки канатного анкера, представленном на рис. 3, а, в непосредственной кровле выработки уже сформирована зона разгрузки и канатные анкера сопротивляются значительным растягивающим усилиям. Фактически значительная часть кровли выработки зависла на канатных анкерах, ко-

торые удерживают свод за счет защемления в слое песчаника (толщиной 1,4 м), обладающем повышенной несущей способностью. При этом наблюдается снижения напряжений в боках выработки и увеличение напряжений на порядок в почве выработки. То есть, геомеханическая система находится в граничном состоянии неустойчивого равновесия, при котором контур выработки начинает интенсивно деформироваться вдоль вертикальной оси.

На рис. 3, в наблюдается картина распределения напряжений соответствующая наиболее устойчивому состоянию кровли и почвы выработки. Средний сталеполимерный анкер нагружен умеренно и обеспечивает сохранение контакта между породными слоями кровли выработки. Канатные анкера нагружены слабо и относительно сталеполимерных, испытывают тот же уровень напряжений. В боках выработки формируются зоны высоких напряжений наибольшего, из всех представленных расчетов, геометрического размера, что указывает на более равномерное распределение потенциальной энергии деформаций в породном массиве. В результате имеет состояние геомеханической системы при котором вероятность магистрального трещинообразования и очагового вывала породных блоков сводится к минимуму.

Таким образом, выбор угла установки канатного анкера в слоистом породном массиве является важным фактором определяющим напряженно-деформированное состояние геомеханической системы выемочной выработки поддерживаемой двухуровневой анкерной крепью.

Установленные в своды выработок канатные анкера с течением времени подвергаются изменению величины воздействия внешних нагрузок, которое приводит к росту внутренних усилий. Характер и величину этого роста исследовали в ходе проведения натурного эксперимента проведенного на шахтах «Степная» и «Юбилейная» ПАТ «ДТЕК Павлоградуголь». Полученные результаты замеров обработаны и приведены к виду, представленному на рис. 4.

Для получения данных графиков было использовано выражение, определяющее изменение величины нагружения канатного анкера по мере продвижения очистного забоя, следующего вида

$$P' = P'_l = P'_r = \frac{0,5\bar{F}_{\hat{\alpha}\hat{\epsilon}}}{\sigma_{\hat{\eta}\hat{\alpha}} S_{\hat{\alpha}\hat{\epsilon}}}, \quad (1)$$

где  $\bar{F}_{\hat{\alpha}\hat{\epsilon}}$  - вектор внутренних усилий анкера;  $S_{\hat{\alpha}\hat{\epsilon}}$  - поперечное сечение анкера;  $\sigma_{\hat{\eta}\hat{\alpha}}$  - предел прочности на сжатие породы в кровле выработки.

На рис. 4, а приведены два графика изменения напряженного состояния канатного анкера. Для анкера с большим усилием натяжения график имеет устойчивую пологую характеристику, что указывает на режим работы близкий к оптимальному. Уменьшение в два раза усилия преднатяжения анкера приводит к формированию нескольких отрезков с различными характеристиками изменения состояния канатного анкера. На первом участке рост усилий идет быстрыми темпами, относительно первого варианта натяжения. На втором – скорость роста внутренних усилий падает и на третьем снова возрастает. Это указывает на снижение эффективности функционирования канатного анкера в

период начала интенсивного роста напряжений в кровле выработки, что в последующем приводит к повышенной скорости разупрочнения породного массива.

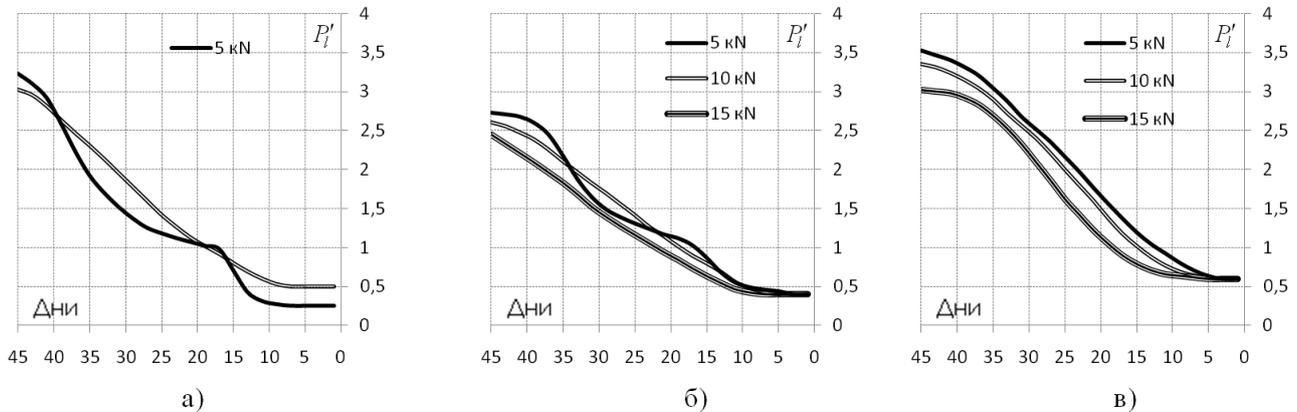


Рис. 4. Рост внутренних усилий в зависимости от величины преднатяжения канатного анкера устанавливаемого в алевролит (а), аргиллит (б) или песчаник (в)

Аналогичные характеристики поведения канатных анкеров сохраняются и для варианта установки в аргиллит (рис. 4, б). Третий график, соответствующий максимальной исследуемой величине преднатяжения анкера, показывает, минимальный рост внутренних усилий. Следовательно, увеличение преднатяжения анкера повышает устойчивость свода выработки и способствует сохранению линейных характеристик деформирования пород на всем временном интервале проведения натурного эксперимента. Таким образом, для условий графиков представленных на рис. 4, б наиболее оптимальным является выбор максимального преднатяжения канатного анкера.

В случае установки анкера в песчаник (рис. 4, в) изменение усилия начального натяжения анкеров не влияет на характер изменения напряжений. По прежнему, увеличение усилия преднатяжения канатного анкера, приводит к снижению роста напряжений в анкере, что указывает на повышение эффективности его применения. Однако, при максимальном исследуемом натяжении с течением времени, примерно после 38 суток с момента прохода очистного забоя, наблюдается резкое прекращение роста внутренних усилий в анкере. Это вызвано разгрузкой кровли выработки связанной с обрушением непосредственной кровли очистного забоя. При максимальном значении натяжения канатного анкера интенсивное сопротивление деформации свода выработки на определенном этапе времени приводит к избытку накопления потенциальной энергии деформации в кровле. В результате, при разрушении части породного массива происходит интенсивные сброс этого избытка, что останавливает рост нагружения канатного анкера. Таким образом, для прочных пород существует предел, за которым величина предварительного натяжения анкера не обеспечивает равномерную деформационную характеристику в геомеханической системе, что приводит к формированию условий возникновения нарушений сплошности породного массива.

Теперь проведем анализ взаимодействия сталеполимерных и канатных анкеров в двухуровневой анкерной крепи при прохождении, через плоскость ее установки, очистного забоя (рис. 5).

Изменение продольных усилий в анкерке зависит, как от типа, так и от места его расположения в двухуровневой анкерной крепи. Центральный сталеполимерный анкер (рис. 5, а) первым начинает интенсивно воспринимать нагрузку при прохождении очистного забоя. Затем, в течение 12 – 15 суток, наступает период стабилизации нагрузки. После чего происходит относительно плавное снижение нагружения анкера. Такое поведение в целом соответствует результатам лабораторного и вычислительного эксперимента и природе происходящих изменений в состоянии рассматриваемой геомеханической системы.

Канатный анкер, расположенный над нетронутым породным массивом, нагружается, относительно других анкеров, медленно и скачкообразно (рис. 5, б). Анализ его нагружения и изменений состояний породного массива указывает на прямую зависимость скачком от этапов разупрочнения пород кровли и почвы выемочной и очистной выработок. После перехода кровли выработки в состояние неустойчивого равновесия скорость нагружения этого анкера снижается на 60 - 80 % и остается стабильной. Таким образом, канатный анкер, расположенный над нетронутым породным массивом, является индикатором механических процессов протекающих в породном массиве и сохраняет свою несущую способность в геомеханической системе до момента образования сети магистральных трещин.

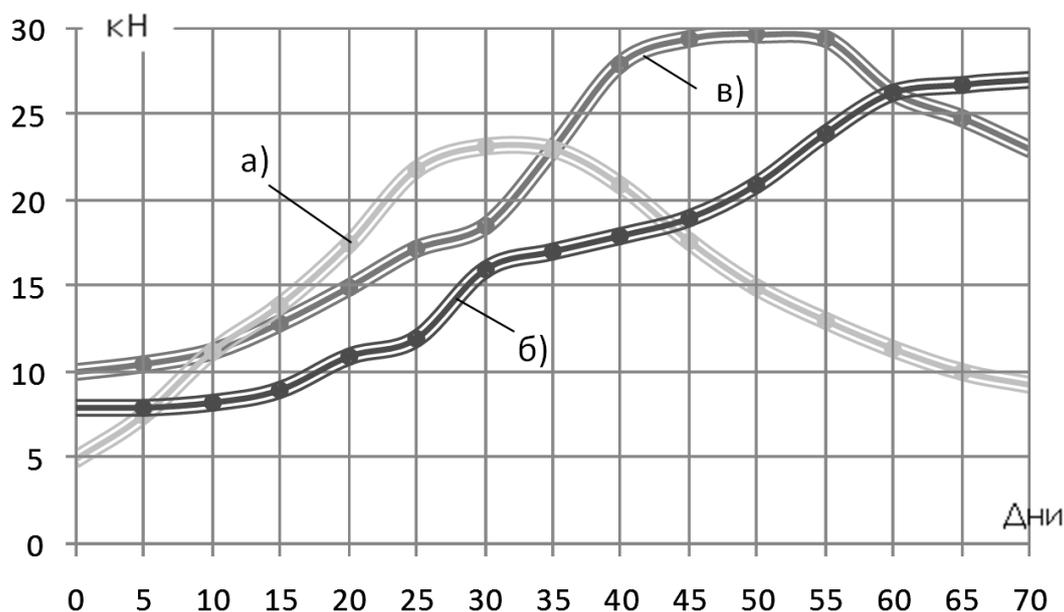


Рис. 5. Аппроксимация изменения продольных усилий возникающих при движении очистного забоя в сталеполимерном (а), канатном (б) установленном над нетронутым массивом, канатном (в) установленном над очистной выработкой анкерах

Канатный анкер, расположенный над очистной выработкой, имеет усредненную характеристику изменения продольных усилий (рис. 5, в). На начальном этапе его нагружение происходит медленнее сталеполимерного. Этап стабилизации нагрузки наступает после окончания второго этапа нагружения для сталеполимерного анкера и длится 14 – 16 суток. После чего наступает быстрая разгрузка анкера связанная с разупрочнением пород кровли очистного забоя. Таким образом, данный анкер обеспечивает устойчивость свода выемочной выработки со стороны очистного забоя после разгрузки сталеполимерных анкеров и до момента образования горизонтальных магистральных трещин в кровле очистной выработки.

На основании анализа всего выше изложенного получена функциональная зависимость влияния угла установки канатных анкеров на эффективность поддержания свода выработки сталеполимерными анкерами в двухуровневой анкерной системе

$$\bar{R}_{\min} = \left( \frac{G\nu \cdot \gamma H}{\bar{\sigma}} \right)^2 \cdot \tan(2,72S'_{\hat{\alpha}\hat{\epsilon}} - \lambda P'), \quad (2)$$

где  $G$  - экспериментально получаемый показатель ослабление породного массива трещинами [5, 6];  $\nu$  - коэффициент Пуассона;  $\gamma H$  - давление столба пород;  $\bar{\sigma}$  - вектор изменения во времени максимальных напряжений в породном массиве;  $S'_{\hat{\alpha}\hat{\epsilon}}$  - приведенное поперечное сечение анкера к проекции на плоскость горизонта;  $\lambda$  - значение в радианах угла установки анкера к вертикали.

На основании полученных результатов комплексного исследования поведения элементов геомеханической системы выемочной выработки, свод которой поддерживается двухуровневым анкерным креплением, для условий выемочных выработок шахт «Степная» и «Юбилейная» ПАТ «ДТЭК Палоградуголь» определен диапазон эффективного применения канатных анкеров соответствующий углу установки от  $68^\circ$  до  $79^\circ$  к горизонту. Оптимальным углом установки для условий шахты «Степная» следует принять  $75^\circ$ , для шахты «Юбилейная» -  $72^\circ$ .

**Выводы.** Минимизация внутренних усилий в элементах двухуровневой анкерной крепи достигается определением оптимального угла установки канатных анкеров на основании суперпозиции квадратичной зависимости от механических характеристик породного массива и тангенциальной от механических характеристик канатного анкера. Это позволяет рационально распределять горное давление на все элементы крепления выемочных выработок с уменьшением металлоемкости и трудозатрат на возведение и обслуживание крепи.

#### Перечень ссылок

1. Бондаренко, В.І., Кузьменко, О.М., Грядущий, Ю.Б., Гайдук, В.А., Колоколов, О.В., Табаченко, М.М., & Почепов, В.М. (2005). *Технологія підземної розробки пластових родовищ корисних копалин*. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет.
2. Bondarenko, V.I., Kuzmenko, O.M., Hriadushchy, Iu.B., Haiduk, V.A., Kolokolov, O.V.,

- Tabachenko, M.M., & Pochevov, V.M. (2005). *Tekhnolohiia pi-dzemnoi rozrobky plastovykh rodovyshch korysnykh kopalyn*. Dnipropetrovsk: Natsionalnyi hirnychiy universytet.
3. Lapko, V.V., & Fomychov, V.V. (2013). Peculiarities of rope bolts usage during maintenance of stopes in mines of Western Donbass. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 31-36.
  4. Lapko, V., Fomychov, V., & Pochevov, V. (2013). Bolt support application peculiarities during support of development workings in weakly metamorphosed rocks. *Annual Scientific-Technical Collection – Mining of Mineral Deposits*, 211-215.
  5. <https://doi.org/10.1201/b16354-39>
  6. Kovalevs'ka, I., Fomychov, V., & Vivcharenko, O. (2011). Optimization of frame-bolt support in the development workings, using computer modeling method. In *22<sup>nd</sup> World Mining Congress & Expo* (Vol. 1, pp. 267-278). Istanbul, Turkey: Aydoğdu Ofset.
  7. Sotskov, V., & Saleev, I. (2013). Investigation of the rock massif stress strain state in conditions of the drainage drift overworking. *Annual Scientific-Technical Collection – Mining of Mineral Deposits*, 197-201.
  8. <https://doi.org/10.1201/b16354-36>
  9. Fomichov, V.V., Zuber, R.V., & Spivak, G.P. (2010). Features of computing design of interaction of anchor and rock of mountain massif. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (6), 21-25.

## АНОТАЦІЯ

**Мета** дослідження – визначення параметрів установки канатних анкерів, що впливають на розподіл напружень, у геомеханічній моделі, яка включає в себе очисний вибій, що рухається.

**Методика.** Проведення досліджень полягає у виявленні закономірностей зміни напруг у тілі анкера, визначення зміни напружено-деформованого стану канатних анкерів залежно від кута установки та величини преднатягу, у визначенні напруженого стану окремих анкерів при русі очисного вибою уздовж виїмкової виробки в умовах шахти. Для визначення стану елементів дворівневого анкерного кріплення використовувалися методи лабораторних і натурних досліджень. Для оцінки стану всієї геомеханічної системи застосовувався обчислювальний експеримент з варіюванням умов установки канатних анкерів. На заключному етапі був виконаний аналіз і отримані закономірності впливу гірничо-геологічних умов на параметри установки канатних анкерів у дворівневому анкерному кріпленні.

**Результати.** Отримано значення параметрів, що визначають поведження канатних анкерів при різних умовах взаємодії з породним масивом. Виявлено особливості впливу переміщення очисного вибою на зміну напружено-деформованого стану сталевополімерних і канатних анкерів. Описано умови мінімізації внутрішніх зусиль анкерів при яких забезпечується стійкість склепіння виробки, яка перебуває в зоні впливу очисних робіт.

**Наукова новизна.** Визначення закономірностей зміни напружено-деформованого стану елементів геомеханічної системи при різних значеннях параметрів установки канатних анкерів, які потрапляють у зону впливу підвищеного гірського тиску викликаного пересуванням очисного вибою.

**Практичне значення.** Отримані закономірності дозволяють, при використанні дворівневого анкерного кріплення, скоротити число анкерів на один погонний метр, зменшити швидкість деформування склепіння виробки, скоротити експлуатаційні витрати, що в сукупності забезпечує зниження собівартості прохідницьких робіт.

**Ключові слова:** дворівнева система, очисний вибій, МКЕ, гірський тиск, породний масив, канатні анкери

## ABSTRACT

**The study purpose** – determine of parameters for the installation of rope bolts influencing on the stress distribution in the geomechanical model including the moving longwall face.

**Methodology.** Carrying out of researches consists: in revealing of patterns change of stresses in an bolts body; determination of change of the stress-strain state of rope bolts depending on the angle of installation and the value of pretension; determination of the stress state of separate bolts during the movement of longwall face along the excavation work in mine conditions.

Methods for laboratory and field investigations were used to determine the state of elements of the two-level roof bolting. Simulation experiment with variation of the conditions for the installation of rope bolts was used to evaluate the state of the whole geomechanical system. At the final stage, the analysis was carried out and received patterns of influencing mining and geological conditions for the installation parameters of rope bolts in a two-level roof bolting.

**Results.** The values of parameters determining the behavior of rope bolts are obtained for different conditions of interaction with the rock massif. The features of impact movement of the angle longwall face for the change in the stress-strain state of steel-polymer and rope bolts are revealed. The conditions of minimization internal efforts of bolts for providing stability of working arch in a zone of influence of extracting works are provided.

**Scientific novelty.** Determination of patterns in the change of the stress-strain state in the elements of the geomechanical system for different values for parameters of installation rope bolts getting into influence zone of increased rock pressure caused by the movement of longwall face.

**Practical significance.** The obtained patterns allow with use two-level roof bolting to reduce the number of bolts installed per running meter, to reduce the rate of arch working deformation, to reduce operating costs to provide cutting of tunneling operations costs.

**Keywords:** *two-level system, longwall face, FEM, rock pressure, rock massif, rope bolts*