

УДК 622.831

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА ВОКРУГ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЛИЯНИЯ ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

<sup>1</sup>Демин В.Ф., <sup>2</sup>Яворский В.В., <sup>1</sup>Демина Т.В.

<sup>1</sup>Карагандинский государственный технический университет, Караганда, e-mail: kstu@kstu.kz;

<sup>2</sup>Карагандинский государственный индустриальный университет, Темиртау, e-mail: yavorskiy-v-v@mail.ru

Установлены деформации крепи выемочных выработок в зависимости горно-геологических и горно-технических условий эксплуатации. Исследования позволили установить степень влияния горно-технологических факторов на эффективность применения металлоарочного, комбинированного и анкерного крепления выемочных выработок.

**Ключевые слова:** деформация, очистной забой, устойчивость, анкер, крепь, выработка

## INVESTIGATION OF THE STRESS STATE MARGINAL MASS AROUND STOPES DEPENDING ON THE INFLUENCE OF MINING AND TECHNOLOGY FACTORS

<sup>1</sup>Demin V.F., <sup>2</sup>Yavorskiy V.V., <sup>1</sup>Demina T.V.

*Karaganda state industrial university, Karaganda, e-mail: kstu@kstu.kz;*

*Karaganda state industrial university, Temirtau, e-mail: yavorskiy-v-v@mail.ru*

Installed the deformation of the lining Stopes based mining and geological-technical conditions. Researches have allowed to establish the degree of influence of mining-technological factors on the efficacy of metallarched, combined and anchoring viamach-governmental workings.

**Keywords:** deformation, the coalface, sustainability, anchor, support, development

В связи с высокими темпами подвигания очистных забоев и стратегией развития горных работ при эксплуатации на шахтах УД АО «Арселор Миттал Темиртау» при наличии не менее двух добычных участков, необходима ускоренная и своевременная подготовка фронта очистных работ с интенсивной технологией проведения подготовительных выработок. Последующее поддержание выемочных выработок также потребует значительных затрат на их ремонт как до, так и после ввода их в эксплуатацию.

Эксплуатируемые виды металлоарочных крепей достаточно дороги и нетехнологичны, что сказывается на скорости проведения и условиях их поддержания. Это связано с недостаточной изученностью закономерностей поведения массива вмещающих пород, несовершенством применяемых конструкций крепи и технологии крепления.

Поддержание и увеличение объема подземной добычи угля возможно лишь при наличии высокоэффективной технологии проведения и поддержания подготовительных выработок, обеспечивающей наращивание объемов горно-подготовительных работ.

Целью представленных исследований является создание технологии интенсивного и безопасного проведения выемочных горных выработок на основе выявленных

закономерностей поведения примыкающих к ним массивов горных пород, оптимизации параметров технологических схем подготовительных работ, обеспечивающих повышение эффективности функционирования подземного горного производства. Идея исследований заключается в управлении техногенным напряженно-деформированным состоянием приконтурного горного массива для обеспечения устойчивости выработок.

Вопрос устойчивости горных выработок при возрастании горного давления и увеличении напряженно-деформированного состояния массива имеет прикладное значение в современных условиях при росте глубины работ и усложнении горно-геологических условий разработки.

Существуют геомеханические отличия поведения массива горных пород в выработках, закрепленных рамной и анкерной крепью. Установленная в выработке рамная крепь (например, из спецпрофиля) оказывает влияние на смещения, но не влияет на физические свойства массива. Штанговая крепь изменяет прочностные характеристики вмещающих пород, увеличивая сцепление слоев при их стягивании и заполнении шпуров связующим материалом и является активной при перераспределении напряжений вокруг выработки, играя ту же роль, что и коэффициент бокового отпора.

Контуры подготовительной выработки как техногенного сооружения являются несущими элементами технологического сооружения. Важной задачей является определение напряженно-деформированного состояния массива с учетом влияющих факторов на устойчивость контуров горной выработки. В качестве расчетной схемы выбрана прямоугольная плоскость, находящаяся в плоско-деформированном состоянии и разбивающаяся сеткой треугольных элементов с соответствующими граничными условиями. Задача решена методом конечных элементов.

Исследовались проявления горного давления с установлением степени влияния технологических факторов с использованием метода конечных элементов. Рассматривается случай плоской деформации с уста-

новлением напряжений на боковые стенки, кровлю и почву выработки (по оси  $Z$ , направленной вдоль оси выработки  $E_z = 0$ ).

Моделировалась технологическая схема очистных работ с возвратноточной проветриванием для условий пласта  $k_{10}$  шахты им. Костенко УД АО «АрселорМиттал Териштау» при длине лавы 200 м до её прохода с использованием анкерной крепи (рис. 1).

В соответствии с методикой расчетов первоначально определялись смещения отдельных элементов в вертикальной ( $U_y$ ) и горизонтальных ( $U_x$ ) плоскостях, по которым устанавливались соответствующие деформации (нормальные  $E_x$ , продольные  $E_y$  и касательные  $j_{xy}$ ).

По деформациям рассчитываются напряжения нормальные  $\bar{\sigma}_x$ , продольные  $\bar{\sigma}_y$  и касательные  $j_{xy}$ .

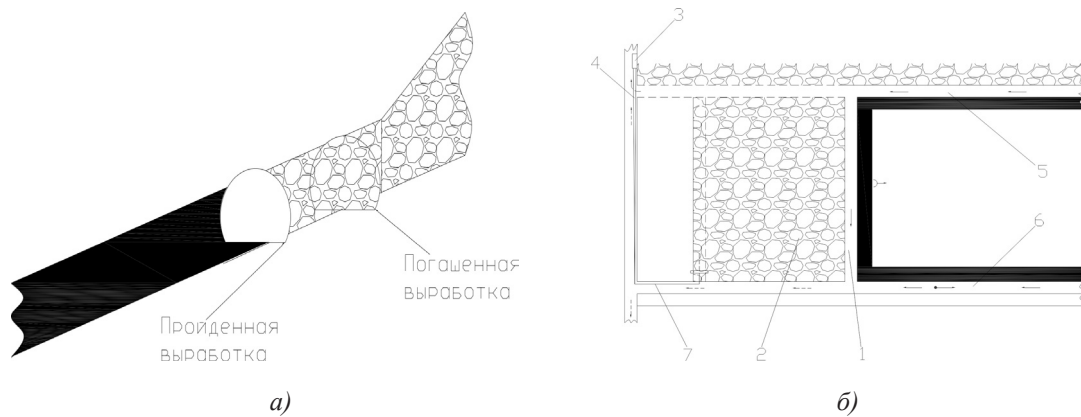


Рис. 1. Технологическая схема очистных работ с возвратноточным проветриванием выемочного столба: а – разрез; б – план: 1 – лавы; 2 – выработанное пространство; 3 – камера смещения; 4 – трубопровод для изолированного отвода метана; 5 – вентиляционная выработка; 6 – конвейерная выработка; 7 –дегазационный газопровод

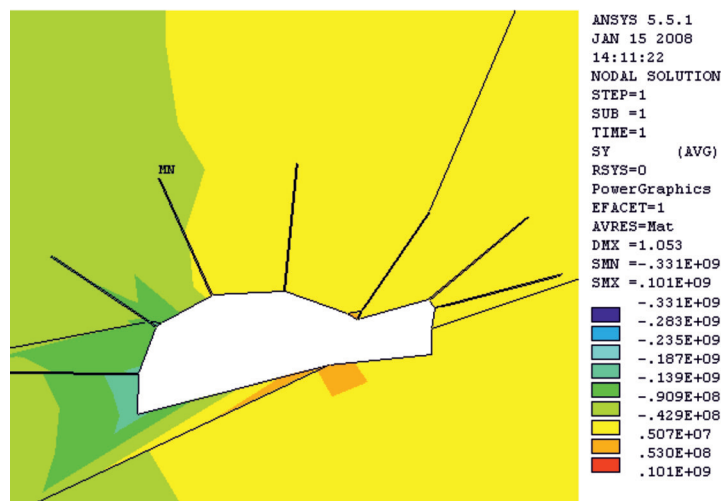


Рис. 2. Проявления горного давления в вентиляционной выработке при технологии очистных работ с возвратноточной схемой проветривания (разрез вкост простиранья по конвейерной выработке)

На рис. 2 представлена картина равных вертикальных напряжений ( $\bar{\sigma}_y$ ) с пространством между выработками с зоной растяжения  $\bar{\sigma}_y = 5,0$  МПа.

На рис. 3 представлена вентиляционная выработка, закрепленная анкерами со стороны выработанного пространства вышележащего столба задавлена действующими растягивающими напряжениями со стороны пород кровли ( $\bar{\sigma}_y = 5,0$  МПа) и поддутием почвы ( $\bar{\sigma}_y = 5,3$  МПа). При этом, со стороны лавы сохраняет относительную устойчивость, при сжимающих напряжениях  $\bar{\sigma}_y = 43-90$  МПа. Вертикальные смещения ( $U_y$ ) в кровле выработки составляют 1,0 м, в боках – 0,7–0,8 м, в почве – 0,6 м.

Горизонтальные смещения ( $U_x$ ) со всех сторон 0,35 м. Таким образом, анкерное крепление даже до подхода лавы не выдерживает действующего давления и требует установки усиления крепления.

Конвейерная выработка (рис. 2), закрепленная анкерной крепью, до подхода лавы сохраняет устойчивость при растягивающих напряжениях  $\bar{\sigma}_y = 5$  МПа в кровле (почве) и напряжениях сжатия  $\bar{\sigma}_y = 50$  МПа в боках выработки.

Проведенные исследования по установлению влияния управляемости пород кровли пласта (соотношения мощности пород непосредственной кровли к вынимаемой мощности пласта) для металлоарочной и анкерной крепей, которые показали, что в целом с ростом мощности пород непосредственной кровли все напряжения имеют малоинтенсивную динамику роста.

При любой из рассматриваемых видов крепи горной выработки с улучшением управляемости вмещающих пород напряжения в массиве растут по линейной зависимо-

сти. Причем, вертикальные напряжения ( $\bar{\sigma}_y$ ) растут незначительно при арочной и при анкерной крепях и близки по величине.

Продольные напряжения ( $\bar{\sigma}_x$ ) при арочной крепи, по сравнению с анкерной, меньше в два раза, а касательные больше в четыре раза. Для металлоарочной крепи большие значениями характерны для касательных напряжений ( $\tau_{xy} = 120-140$  Па), а для анкерной – продольных напряжений ( $\bar{\sigma}_x = 60-70$  Па) с примерно одинаковой величиной их соответствующих сопутствующих напряжений в диапазоне 30–40 Па и минимальны нормальные напряжения (3–10 Па) – рис. 4.

Моделировалось НДС приконтурного массива горных пород вокруг выработки с изменением длины и диаметра анкерной крепи. Изучено влияние длины анкера на характер изменения напряжений в массиве. На касательные напряжения длина анкера (в диапазоне 1,8 – 2,4 м) не оказывает существенного влияния, а вертикальные и продольные напряжения растут по не ярко выраженной зависимости с увеличением длины анкера.

С изменением диаметра анкера в диапазоне (0,02–0,024 м) вертикальные и продольные напряжения растут, а касательные напряжения уменьшаются близко к линейной зависимости.

Установлено, что в обоих случаях с ростом длины анкера (с 1,8 до 2,4 м) и его диаметра (0,02–0,024 м) более значительны продольные напряжения (55–60 Па) с тенденцией их повышения. Касательные напряжения практически неизменны (25 Па) в рассматриваемом диапазоне, а нормальные напряжения незначительно растут по линейной зависимости (от 5 до 10 Па) – рис. 4, в, г.

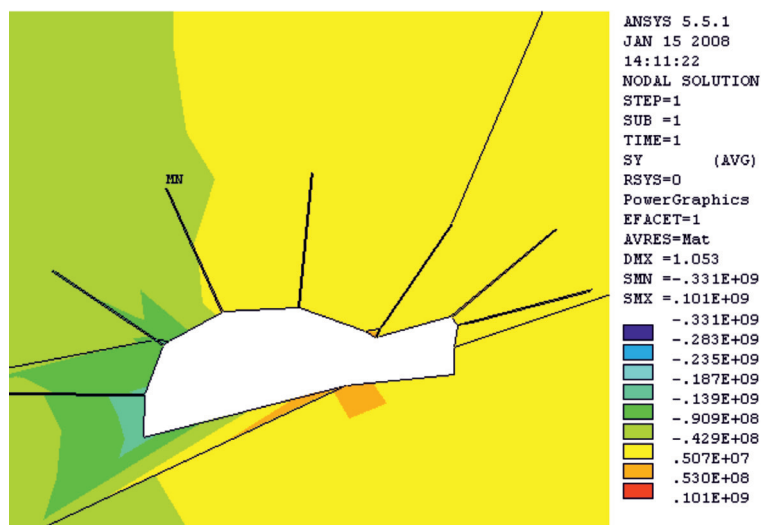


Рис. 3. Величины равных напряжений горного давления ( $\bar{\sigma}_y$ ) вокруг вентиляционной выработке

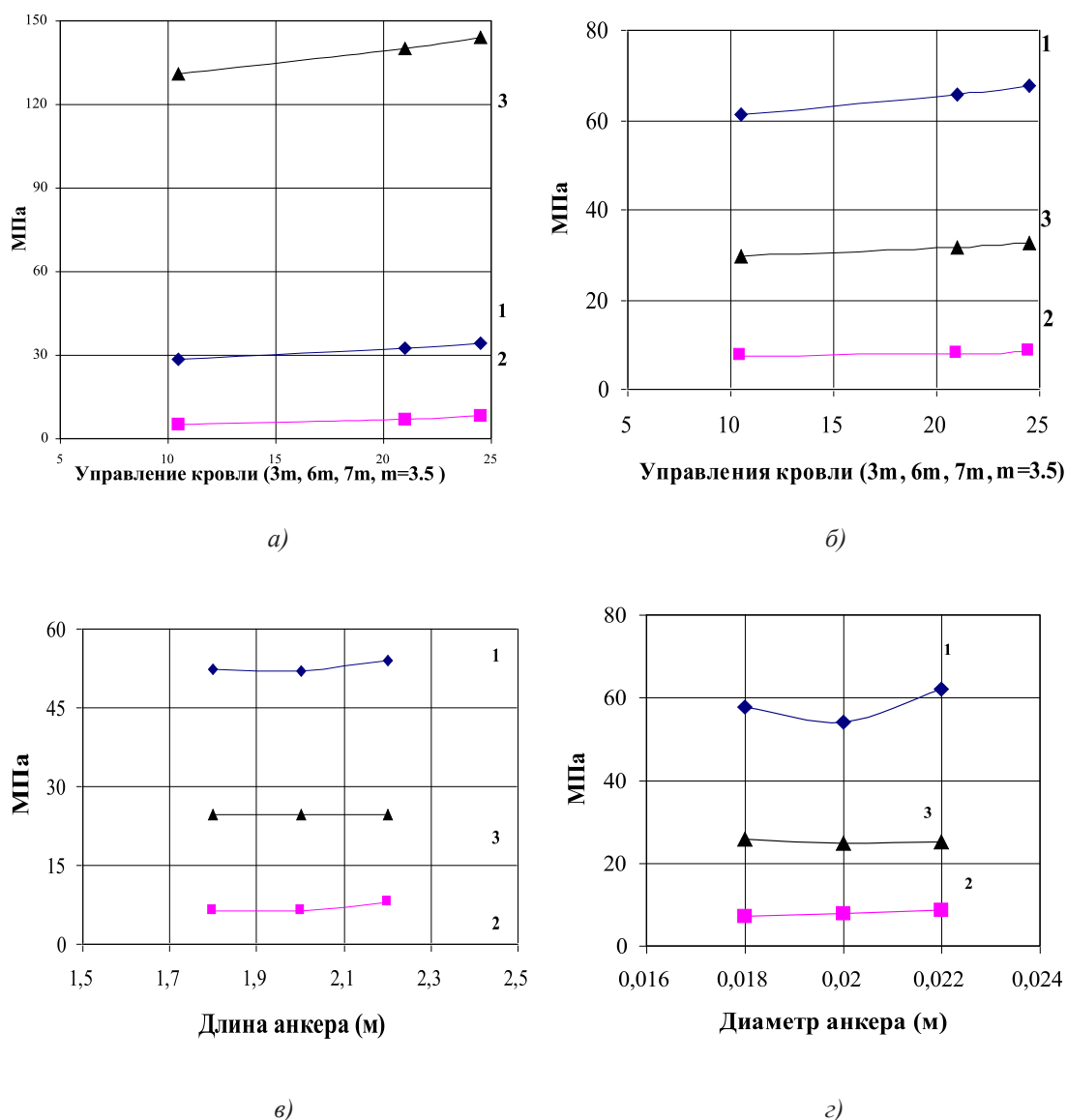


Рис. 4. Влияние управляемости пород кровли на величину напряжений, возникающих вокруг контура выработки, закрепленной металлоарочной (а) и анкерной (б) крепью с изменением ее длины (в) и диаметра (г) стержня – анкера; (1 – напряжение по x; 2 – напряжение по y; 3 – касательное напряжение)

Проведенные исследования позволили установить степень влияния технологических факторов разработки на эффективность применения металлоарочного и анкерного крепления выемочных выработок.

Выявленные закономерности изменения напряженно-деформированного состояния угля породных массивов (смещений, напряжений, зон трещинообразования) в зависимости от основных горно-геологических и горнотехнических факторов позволят в конкретных условиях эксплуатации устанавливать параметры крепления для повышения устойчивости подготовительных

горных выработок. Это позволит разрабатывать новые и совершенствовать существующие технологии эффективного и безопасного проведения горных выработок на пологих и наклонных угольных пластах, адаптивных к изменяющимся горно-геологическим и горнотехническим условиям эксплуатации.

Сравнительная оценка проведенных исследований с испытаниями в производственных условиях показала удовлетворительную сходимость параметров напряженно-деформированного состояния породных массивов.

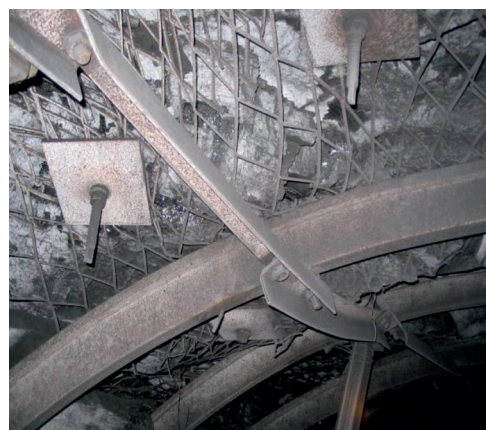


## Виды крепления выработки и их параметры

Участок выработки	Протяженность участка, м	Вид крепи	Форма сечения	Сечение в свету, м <sup>2</sup>	Плотность МРК, рам/пог.м	Количество анкеров на 1 пог. м, шт
ПК 0–ПК 6	70	МРК	арочная	15,5	2	–
ПК 6–ПК 18	120 (10)	смешанная	арочная	15,5 (18,3)	1 (2)	9
ПК18–ПК 23	50	смешанная	полуарочная	17,3	1,33	8
ПК23–ПК 47	240	смешанная	арочная	15,5	2	9
ПК47–ПК 62	250	МРК	арочная	15,5	2	–



а)



б)

Рис. 5. Условия поддержания конвейерного промежуточного штрека 49к<sub>10</sub>-з лавы на шахте им. Костенко УД АО «АрселорМиттал Темиртау». а) – деформация верхняка металлорамной крепи; б) – отсутствие деформации анкеров и незначительные – для МРК

Условия поддержания выработок с различными видами крепления исследованы в производственных условиях на примере конвейерного промежуточного штрека 49к<sub>10</sub>-з лавы на шахте им. Костенко УД АО «АрселорМиттал Темиртау». Вынимаемая мощность пласта к<sub>10</sub> на западном крыле шахты составляет 3,7–4,0 м. Непосредственная кровля изменяется по простиранию от 3 до 7 м и представлена аргиллитами. Основная кровля сложена слаботрешиноватыми песчаниками мощностью 24–32 м. В непосредственной почве пласта залегает пачка слабоуглистых аргиллитов мощностью 0,1–0,15 м, а ниже – аргиллиты, склонные к пучению, алевролиты и песчаники.

Выработка имела смешанное крепление – анкерное в сочетании с металлической арочной податливой крепью (МРК). Для анализа поведения выработки непосредственно в зоне влияния очистного забоя крепление конвейерного промежуточного штрека 49к<sub>10</sub>-з производилось в различном сочетании анкерной и металлической рамной крепи (таблица).

Максимальная величина поддутия (пучения) пород почвы после двух лет поддержания выработки составила 0,35 м. Для обеспе-

чения необходимого сечения впереди лавы на расстоянии 50–80 м производилась подрывка штрека на величину от 0,5 до 0,8 м.

Наиболее благоприятные условия поддержания были обеспечены на участке конвейерного промежуточного штрека 49к<sub>10</sub>-з протяженностью 50 м полуарочной формы, закрепленный смешанной крепью–анкера в сочетании с МРК плотность 1,33 рамы/пог. м (рис. 5, б).

Для этого участка штрека явились следующие изменения в состоянии крепи: деформация прямой части верхняка в вертикальной плоскости по линиям прогонов – 60%; деформация и отрыв по сварке планки на верхнем элементе составной стойки – 100%; порыв профиля верхняка в месте концентрации напряжения, как правило, в месте его деформации – 5%; деформация составных стоек в вертикальной плоскости – 1,5%; отклонение стоек трения СТ-20 от вертикального положения, преимущественно по линии первого от очистного забоя прогона – 70%; практически отсутствие деформации анкеров.

Результаты исследований в промышленных условиях показали их сходимость с параметрами аналитического моделирования.