

УДК 622.28.044:622.261.2

ПРОВЕРКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОЙ КРЕПИ

Новиков А. О., Шестопапов И. Н.
(ГВУЗ «ДонНТУ», г. Донецк, Украина)

У статті наведені результати перевірки рекомендацій з розрахунку параметрів комбінованого кріплення в умовах підготовчих виробок шахти «Добропільська».

Results of verification of recommendations on calculation of parameters are given in article combined support in the conditions of drift the «Dobropolskaya» mine are given in article.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. В настоящее время до 90 % горных выработок на шахтах Украины поддерживаются металлической арочной податливой крепью. От 43 % до 57 из них деформировано и нуждается в ремонте. Это связано с тем, что применяемые для поддержания выработок рамные крепи имеют не только конструктивные недостатки, но и технические характеристики, не соответствующие условиям больших глубин и интенсивного проявления горного давления [1].

Одним из перспективных направлений улучшения состояния выработок является усиление рамной крепи анкерами, которые позволяют максимально использовать несущую способность породного массива.

Как показывает практика, при креплении выработок комбинированными крепями в 70 % случаях усиливающая анкерная крепь возводится после установки рам в забое. При этом влияние разрыва во времени между возведением рам и установ-

кой анкеров на последующую устойчивость выработок в настоящее время изучено недостаточно полно.

Анализ основных исследований и публикаций. Анализ работ, посвященных изучению взаимодействия комбинированной крепи и массива, а также разработке методик расчета их параметров, позволил авторам разделить их условно на 3 большие группы:

1) наличие анкеров в составе комбинированной крепи учитывается коэффициентом уменьшения смещений, который вводится в формулы для расчета ожидаемых смещений контура выработки и зависит от плотности установки анкеров [2];

2) рамная и анкерная крепь рассматриваются, как единая грузонесущая конструкция, конструктивные параметры которой принимаются в зависимости от ожидаемых смещений контура незакрепленной выработки, горно-геологических и горно-технических факторов, характеризующих условия ее заложения [3];

3) комбинированная крепь рассматривается как единая связная конструкция, параметры которой рассчитываются теоретически с использованием метода сил [4].

Однако в этих работах нет четкого разграничения между существующими конструкциями анкерно-рамных и рамно-анкерных крепей, а механизм взаимодействия комбинированной крепи и вмещающего массива во времени практически не изучен. В них также не учитывается, какая часть нагрузки воспринимается рамной и анкерной крепью, что не позволяет достоверно рассчитать параметры комбинированной крепи.

Проведенные в ДонНТУ исследования позволили установить, что эффективность усиления рамной крепи анкерами определяется размером зоны разрушенных пород (ЗРП), образовавшейся вокруг выработки к моменту анкерования. Экспериментально и аналитически подтверждено, что если на момент установки анкеров размер ЗРП, сформировавшейся от контура вглубь массива, не превышает половины глубины анкерования, то ее рост от контура вглубь массива прекращается. Дальнейшее развитие ЗРП происходит за пределами заанкерowanego участка. При этом конечные смещения контура выработки

уменьшаются на 32-47 % по сравнению с участками выработки, поддерживаемыми только рамной крепью. На основании проведенных исследований разработаны схемы усиления рамной крепи в кровле и боках выработки анкерными системами, а также методика расчета параметров комбинированной крепи [4].

В этой связи, **целью** работы является проведение шахтных испытаний паспортов крепления выработок комбинированной крепью, разработанных по предложенной методике.

Изложение материала и результатов. Шахтные испытания проводились в трех подготовительных выработках шахты «Добропольская»: 7-м сев. конв. штр. пл. m_5^{1B} , 5-м сев. вент. штр. пл. m_4^0 , 5-м юж. конв. штр. пл. m_4^0 . В выработках для оценки технической эффективности разработанных рекомендаций на контрольных (с рамной крепью) и экспериментальных участках (с комбинированной крепью) оборудовались комплексные замерные станции.

В 7-м экспериментальный участок, закрепленный комбинированной крепью, располагался между шестым и девяносто седьмым пикетом. Контрольный участок занимал первые пять пикетов. Выкопировка из плана горных выработок с указанием мест установки замерных станций приведена на рисунке 1, а схема замерной станции – на рисунке 2.

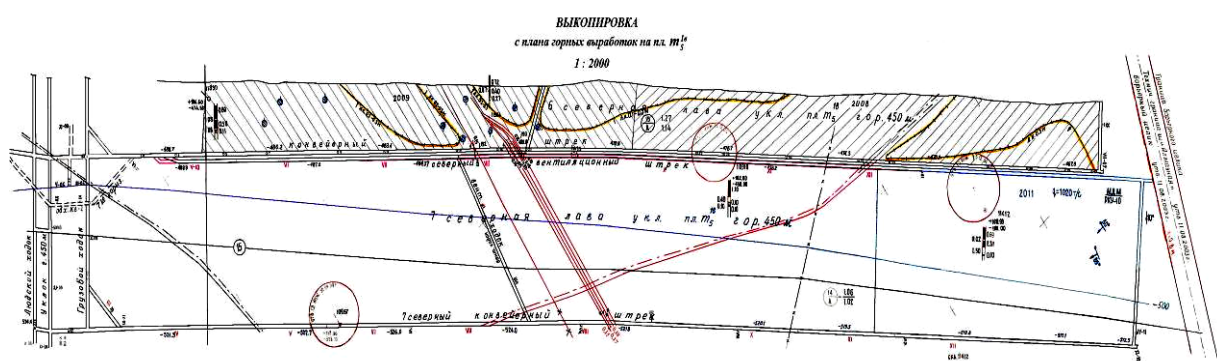


Рис. 1. Выкопировка из плана горных выработок по пл. m_5^{1B}

Выработка проводилась по пласту m_5^{1B} с двухсторонней подрывкой пород с прочностью на сжатие от 15 до 45 МПа, максимальная высота нижней подрывки – 1,5 м. Средняя мощ-

ность пласта m_5^{1B} – 1,2 м. Угол падения – 10° . Сечение выработки – арочное. Высота в проходке – 3,44 м, ширина – 5,12 м. Выработка проводилась комбайном 1П110. Средняя скорость проведения – 260 м/мес. Проектная длина штрека 1940 м.

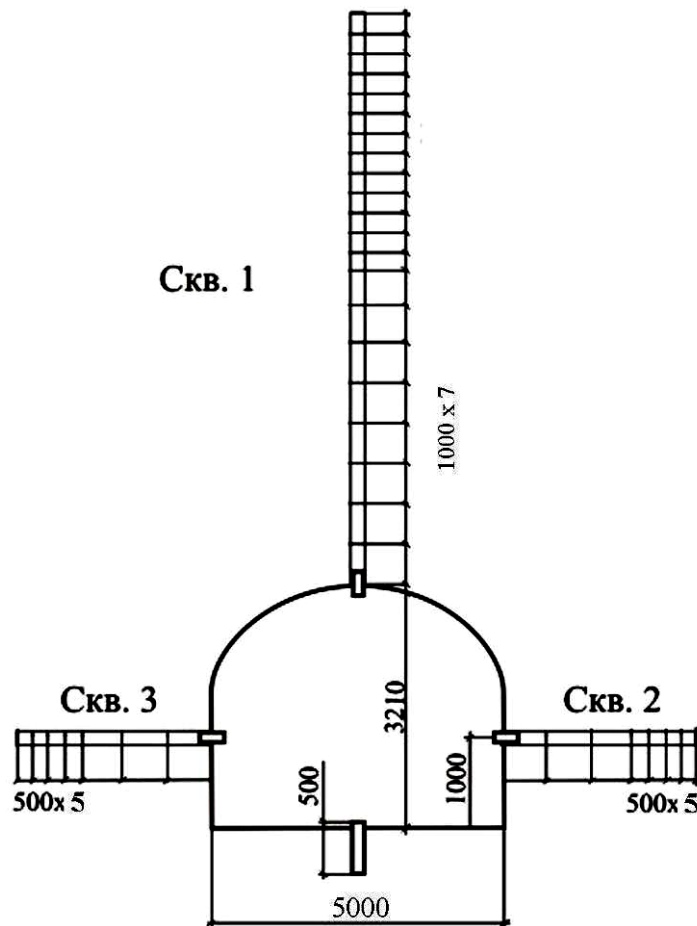


Рис. 2. Схема замерной станции

В пределах экспериментального участка длиной 1840 м выработка была закреплена комбинированной крепью. Рамная крепь КМП-А3/13,8 на экспериментальном участке устанавливалась с шагом установки рам 0,8 м. В забое выработки она усиливалась сталеполимерными анкерами. Для этого между рамами крепи, в кровлю, под металлическую полосу длиной 3,2 м в соответствии с принятой схемой анкерования устанавливались 4 анкера. Расстояние между рядами анкеров по длине вы-

работки – 0,8 м, в ряду – 1,0 м. Расстояние от крайнего анкера в кровле до стенки выработки – 0,9 м. Все анкера располагались под углом 30° к вертикальной плоскости с наклоном в сторону забоя. Анкера в пределах каждого из рядов были развернуты на 30° в сторону от продольной оси выработки, причем четные и не четные ряды анкеров были повернуты в разные стороны. Контрольный участок был закреплен металлической рамной податливой крепью с плотностью установки 2 рамы/м.

Результаты наблюдений обрабатывались в виде графиков смещений глубинных реперов и изменения коэффициента разрыхления (k_p) на участках скважины между реперами (рис. 3-4). Наблюдения велись в течение 180 суток.

Анализ графиков, представленных на рисунках 3-4, показывает:

1) конечный размер зоны неупругих деформаций (ЗНД) на контрольном и экспериментальных участках превышает 7,0 м, но при этом среднее значение k_p составляет, соответственно, 1,077 и 1,039;

2) смещения пород со стороны кровли выработки на контрольном участке составили 580 мм, а со стороны боков – 310 мм. На экспериментальном участке, соответственно, 200-340 мм и 170-220 мм;

3) максимальное значение k_p на контрольном участке – 1,260, а на экспериментальном – 1,207;

4) размер зоны разрушенных пород (ЗРП) на контрольном участке на 180 сутки наблюдений составил 3,5 м, при этом она росла от контура вглубь массива.

На экспериментальном участке размер ЗРП, за счет установки усиливающей анкерной крепи, к моменту окончания наблюдений составил 2,5 м, что на 29 % меньше, чем на контрольном участке.

При этом скрепленный анкерами приконтурный участок (от контура до глубины 2,2 м) был не разрушен: максимальное значение k_p на этом участке не превышало 1,03. ЗРП образовывалась в глубине массива: на удалении от контура более 2,0-2,2 м.

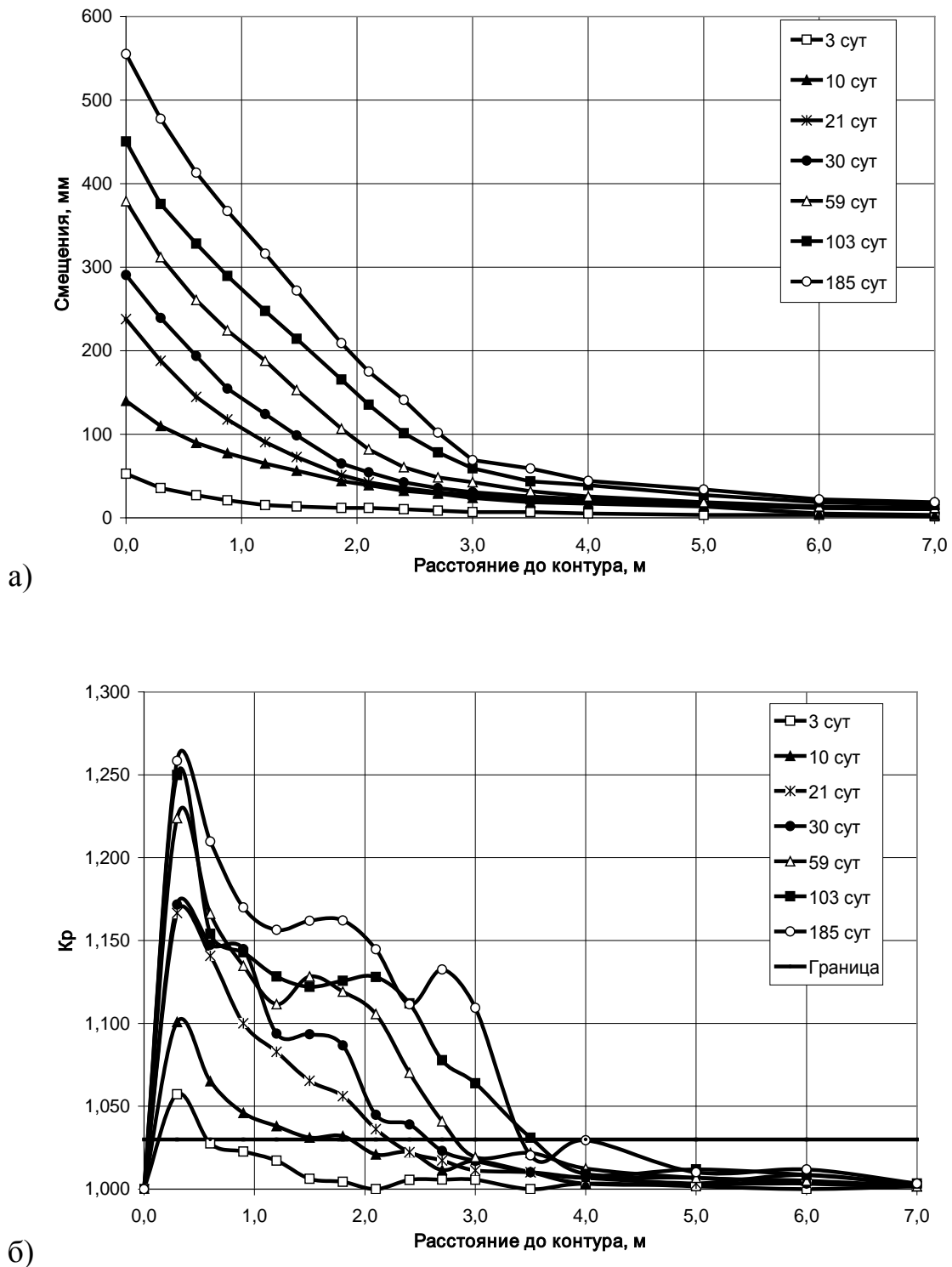
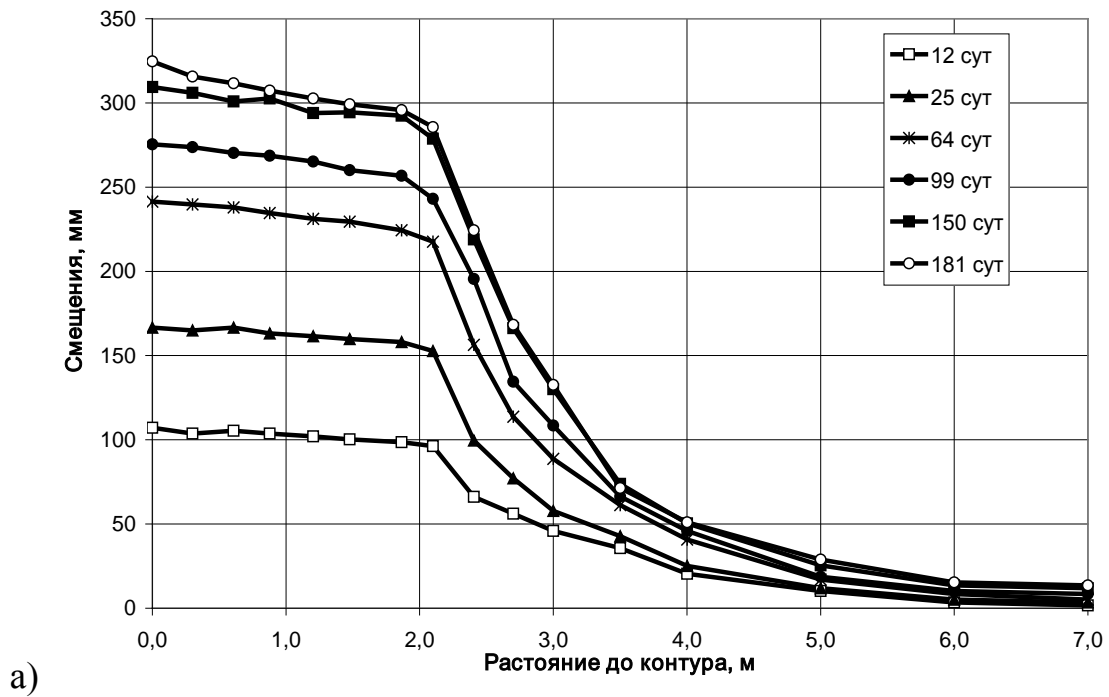
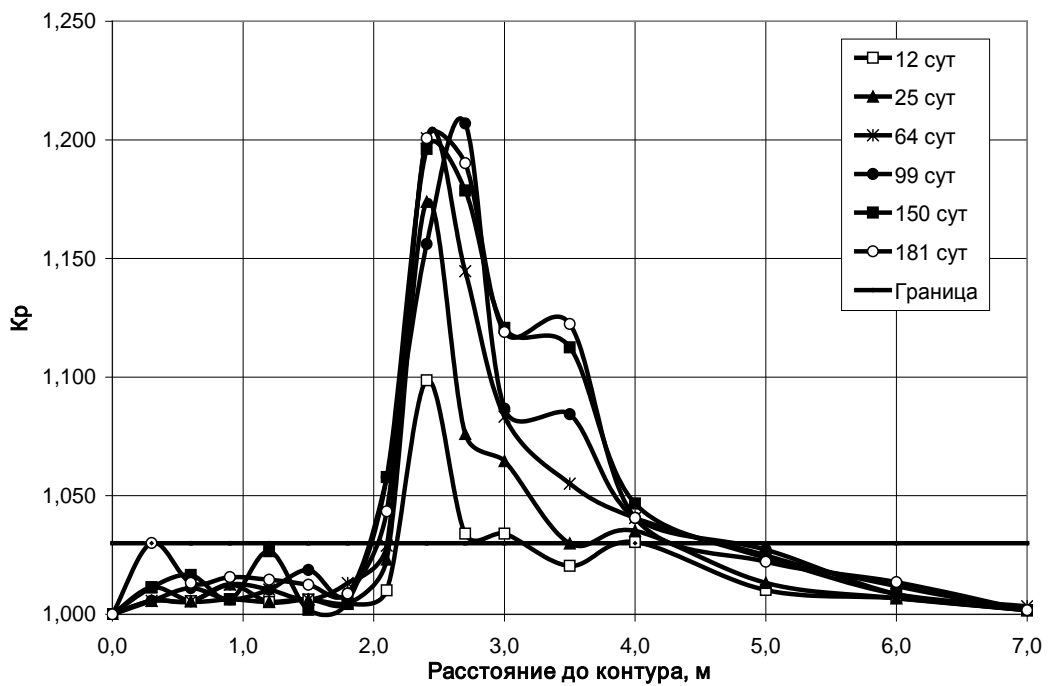


Рис. 3. Смещения глубинных реперов в кровле выработки (а) и изменения коэффициента разрыхления на участках скважины между глубинными реперами (б) на контрольном участке



а)



б)

Рис. 4. Смещения глубинных реперов в кровле выработки (а) и изменения коэффициента разрыхления на участках скважины между глубинными реперами (б) на экспериментальном участке

Состояние выработки на контрольном и экспериментальном участках показано на рисунке 5.

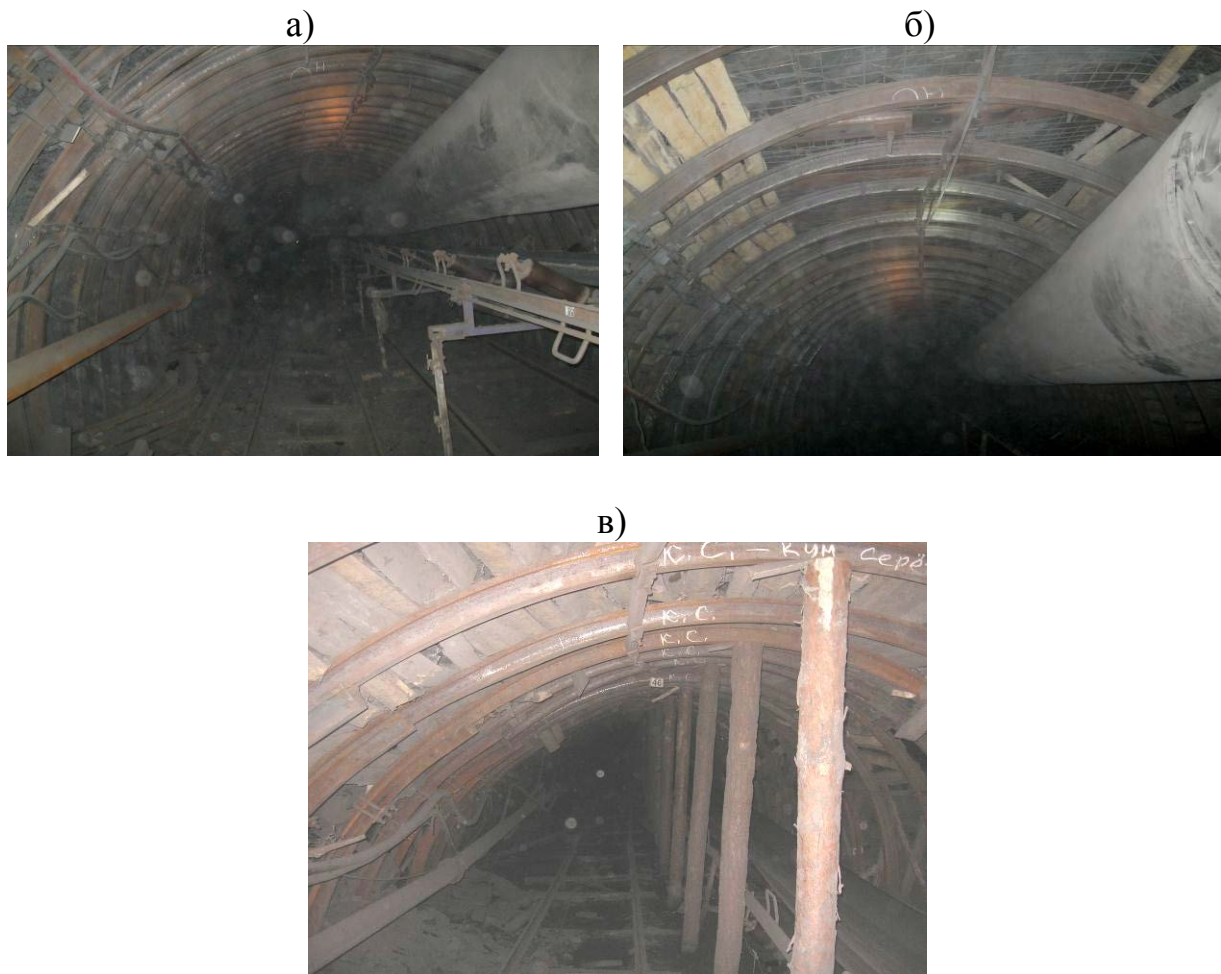


Рис. 5. Состояние 7-го северного конвейерного штрека на момент окончания наблюдений на экспериментальном (а, б) и контрольном (в) участках

Состояние выработки на экспериментальном участке к моменту окончания наблюдений (см. рис. 5а, б) устойчивое. Разрушающих деформаций пород на контуре выработки между рамами крепи, обрывов анкеров, повреждений и деформации металлических полос, а также несущих элементов металлической крепи на экспериментальном участке зафиксировано не было. Контрольный же участок (см. рис. 5в) был деформирован и нуждался в ремонте.

Участок вентиляционного штрека 5-ой северной лавы пл. m_4^0 длиной 173 м (рис. 6) при проведении был закреплен комбинированной крепью. Выработка проводилась по пласту m_4^0 с двухсторонней подрывкой пород с прочностью на сжатие от 15 до 45 МПа, максимальная высота нижней подрывки – 1,7 м. Средняя мощность пласта m_4^0 – 1,2 м. Угол падения – 10° . Угольный пласт не склонен к самовозгоранию, не опасен по внезапным выбросам угля и газа, опасен по пыли. Приток воды – до $1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$. Глубина заложения выработки 660 м. Срок службы выработки – 1,9 года. Сечение выработки – арочное. Высота в проходке – 3,44 м, ширина – 5,12 м. Выработка проводилась комбайном 1П110. Средняя скорость проведения – 200 м/мес. Проектная длина штрека 1275 м.

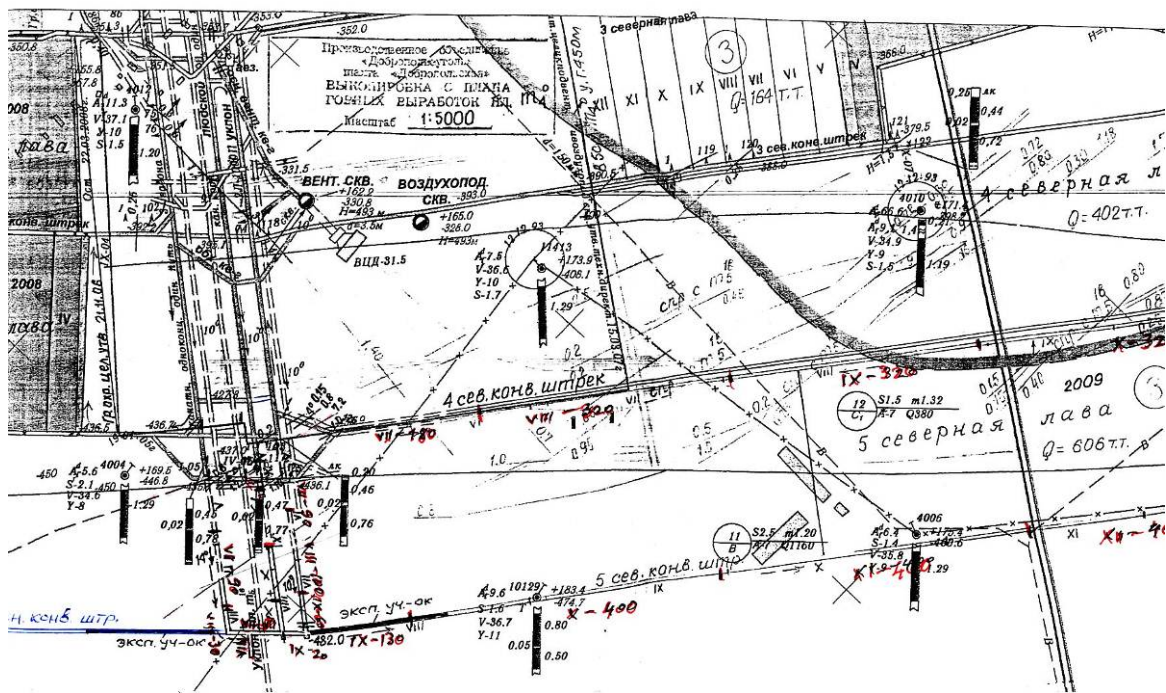


Рис. 6. Выкопировка из плана горных выработок по пл. m_4^0

Анкера устанавливались в забое в кровлю выработки между рамами под металлическую полосу длиной 3,2 м. В полосе, по шаблону, в соответствии с расстоянием между анкерами были сделаны отверстия, через которые забуривались анкерные штанги. При помощи опорных плит полоса прижималась к породам кровли. Расстояние между рядами анкеров по длине выработки

составляло 0,8 м, а в ряду – 1,0 м. Устанавливалось четыре анкера длиной 2,4 м в кровлю. Расстояние от крайнего анкера в кровле до стенки выработки – 0,9 м. В качестве затяжки применялись деревянные распилы, которыми сплошную затягивали кровлю и бока выработки. Остальная часть выработки была закреплена металлической рамной податливой крепью с плотностью установки 2,0 рамы/м.

Графики смещений глубинных реперов и изменения k_p на участках между ними в кровле выработки на экспериментальном и контрольном участке представлены на рисунке 7-8.

На экспериментальном участке разрушение вмещающего выработку массива началось в боках на 15 сутки наблюдений. Разрушились породы на участке скважины от 0,3 до 0,8 м. В последующие 115 суток происходило интенсивное разрыхление пород на удалении до 1,0 м от контура ($k_p = 1,1$) и перемещение внешней границы ЗРП вглубь массива до 1,4 м (k_p на 300 сутки составляет 1,21). Конечный размер ЗНД в боках составил более 2,5 м, смещения боков – 260 мм при среднем значении $k_p = 1,104$.

В кровле выработки (рис. 7б) разрушение массива началось на 60 сутки, на удалении 2,3-3,7 м от контура ($k_p = 1,069$). До этого момента (размер ЗНД 5,0 м) происходили квази-пластические смещения пород на участке 1,0-2,3 м с изменением k_p в его пределах до 1,009. Среднее значение k_p составило 1,020. На 130 сутки наблюдений (размер ЗНД = 6,0 м) зафиксировано увеличение протяженности участка скважины с разрушенными породами (2,2-3,8 м) и рост k_p в его пределах до 1,117. К 160 суткам (размер ЗНД > 7,0 м) отмечено продолжающееся разрыхление пород на участке 2,2 – 3,8 м и начало разрушения на участке 4,7 – 5,3 м ($k_p = 1,036$). До 300-х суток наблюдений наблюдалось увеличение k_p в пределах уже разрушенных участков до 1,153 и 1,110 соответственно, увеличение протяженности второго участка скважины с разрушенными породами (4,3 – 5,9 м) и рост среднего значения k_p до 1,049. Конечные смещения контура со стороны кровли – 340 мм. В течение всего периода наблюдений происходил плавный прогиб породно-анкерной конструкции (участок 0 – 2,0 м) с изменением k_p в его пределах до 1,014.

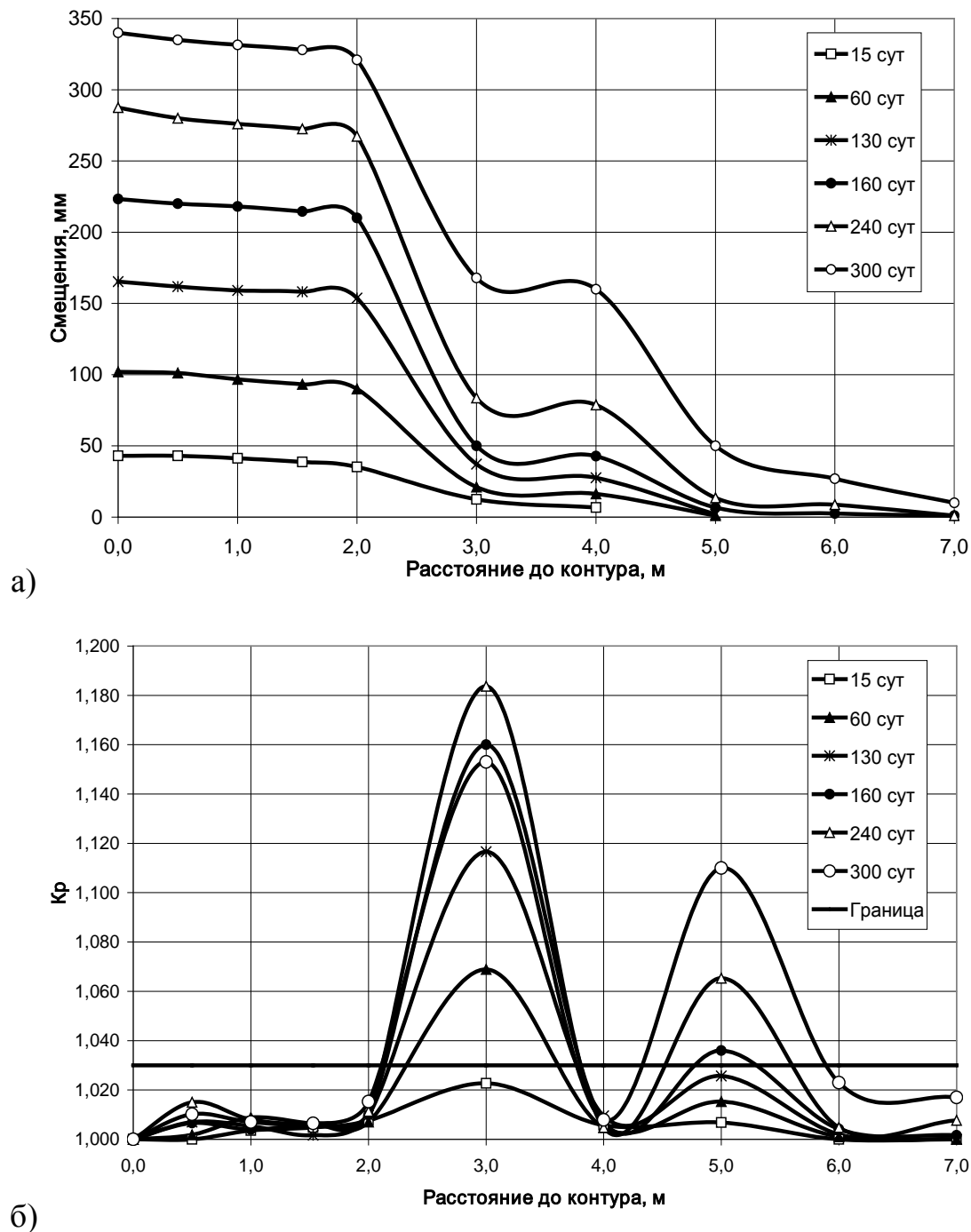


Рис. 7. Смещения глубинных реперов в кровле выработки (а) и изменения коэффициента разрыхления на участках скважины между глубинными реперами (б) на экспериментальном участке

На контрольной замерной станции (рис. 8) разрушение пород началось на 7 сутки, на расстоянии 0,3-1,0 м от контура

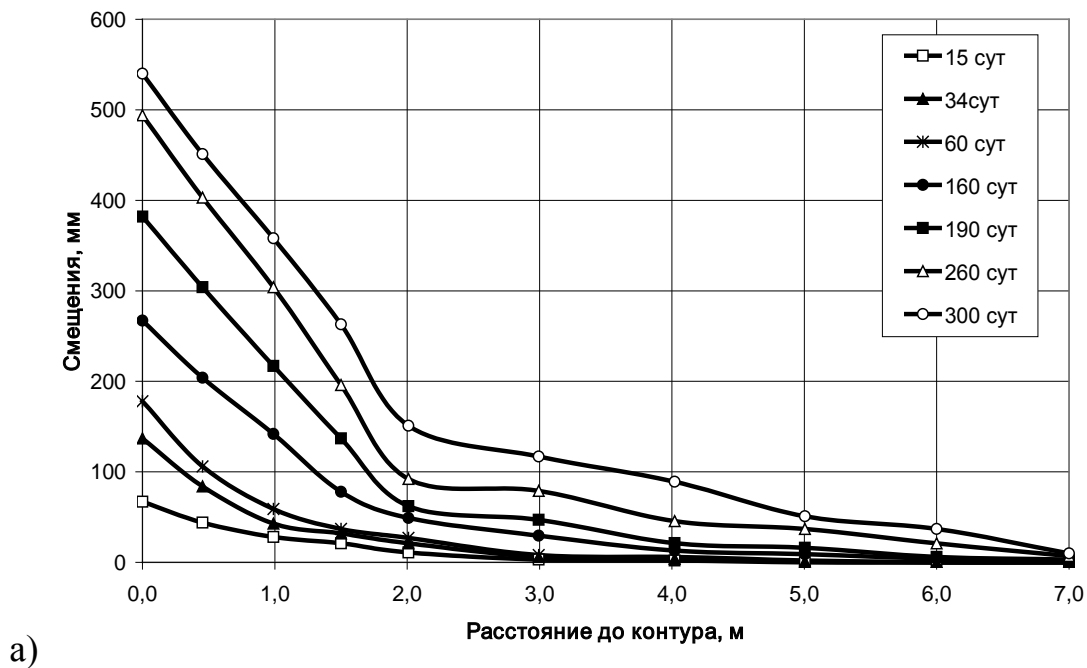
($k_p = 1,028$). При смещениях боков на контуре 32 мм размер ЗНД составляет 2,5 м. В дальнейшем происходил быстрый рост ЗРП вглубь массива, сопровождающийся ростом k_p в ранее разрушенной зоне: к 15 суткам разрушен участок 0,2-1,3 м ($k_p = 1,043$) при смещениях боков 56 мм; к 190 суткам – 0,1-1,9 м ($k_p = 1,15$) при смещениях боков 222 мм; к 300-м суткам – 0,1-2,3 м ($k_p = 1,19$) при смещениях боков 350 мм. Конечный размер ЗНД в боках превышает 2,5 м, а средний $k_p = 1,14$.

В кровле (рис. 8б) на участке с рамной крепью разрушения пород на участке скважины 0,3-1,0 м были зафиксированы на 15-е сутки наблюдений (k_p до 1,051 при размере ЗНД = 5,0 м и смещениях на контуре 67 мм). Дальнейшие наблюдения показали, что ЗРП увеличивается вглубь массива: к 300-м суткам наблюдений разрушенные породы находятся на расстоянии 0,2-3,0 м от контура (k_p до 1,22 при размере ЗНД > 7,0 м и смещениях на контуре 540 мм). Кроме того, продолжается образование новых локальных зон разрушений: на 240-е сутки – на участке скважины 3,9-4,1 м, а на 300-е сутки – на участке 4,3-5,4 м. Конечный размер ЗНД > 7,0 м, а среднее значение $k_p = 1,077$.

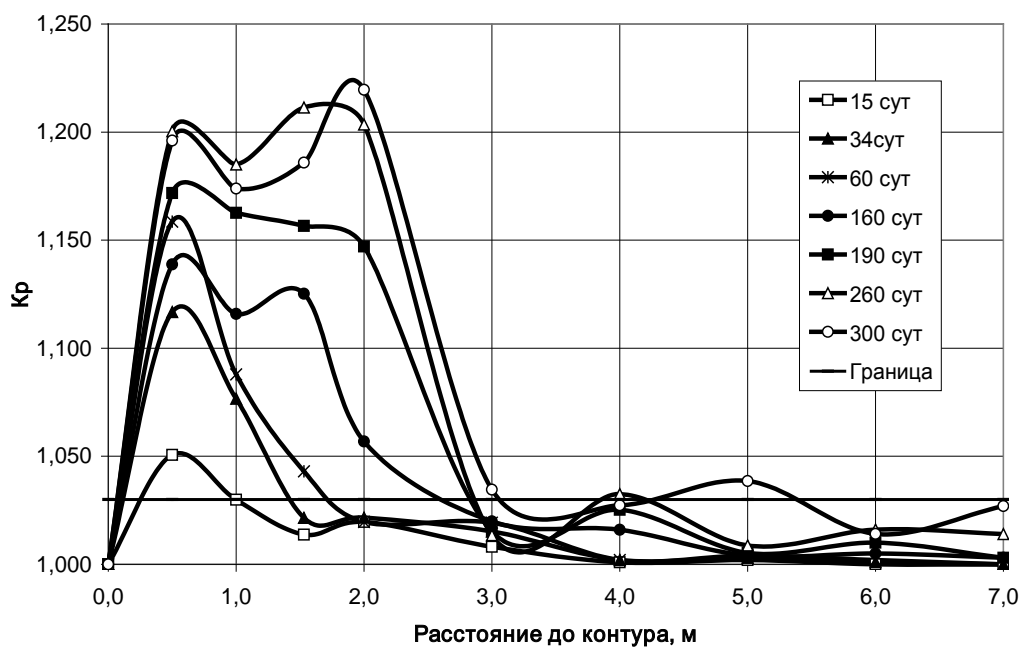
Сопоставление характера развития деформаций и разрушений на участках выработок с комбинированным и рамным креплением позволяет говорить в первом случае о меньшей степени нарушенности вмещающего массива: средние значения k_p пород в кровле и боках составляют, соответственно, 1,049 и 1,077; 1,104 и 1,14. Анкерование кровли в выработке позволило создать породно-анкерную конструкцию, которая при развитии деформаций в глубь массива практически не разрушается (k_p в укрепленной зоне не превысил 1,014 против 1,22 для аналогичного участка пород в кровле выработки с рамной крепью).

Смещения пород кровли и боков при креплении выработки анкерно-рамной крепью в 2,5 и 2,3 раза меньше, чем на контрольном участке, где выработка поддерживалась арочной крепью.

Состояние выработки на контрольном и экспериментальном участках показано на рисунке 9.



а)



б)

Рис. 8. Смещения глубинных реперов в кровле выработки (а) и изменения коэффициента разрыхления на участках скважины между глубинными реперами (б) на контрольном участке

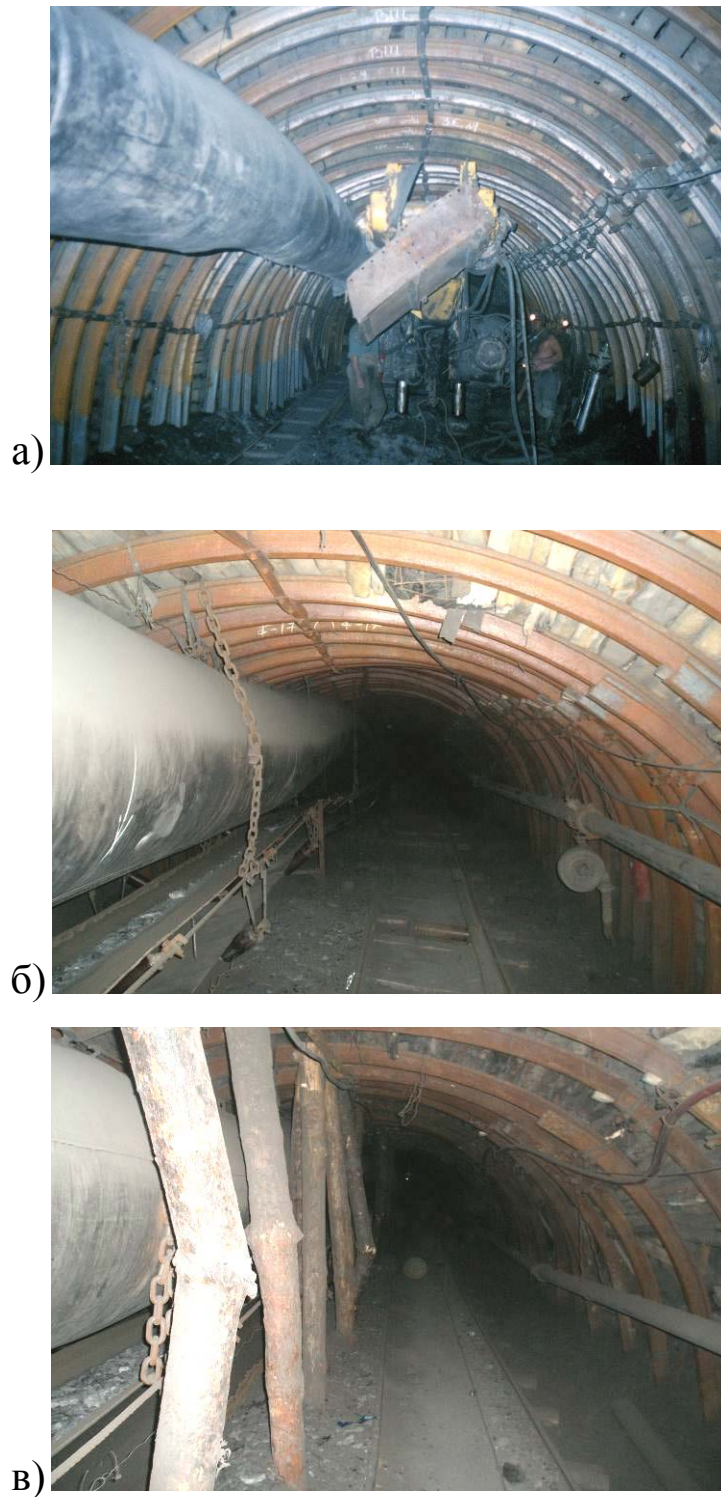


Рис. 9. Состояние выработки при ее проведении на экспериментальном участке (а), экспериментального (б) и контрольного (в) участков на момент окончания наблюдений

Участок конвейерного штрека 5-ой южной лавы уклона пласта m_4^0 (см. рис. 6) при проведении был закреплен комбинированной крепью. Рамная крепь КМП-А3/13,8 с шагом установки 0,8 м была усилена четырьмя анкерами в кровлю, которые устанавливались в забое под металлическую полосу длиной 3,2 м. Глубина заложения выработки 660 м. Срок службы – 2,0 года. Сечение выработки – арочное. Высота в проходке – 3,44 м, ширина – 5,12 м. Выработка проводилась комбайном 1П110. Средняя скорость проведения – 260 м/мес. Выработка на контрольном участке крепила металлической рамной податливой крепью с плотностью установки 2,0 рамы/м. Наблюдения проводились в течение 310 суток.

Графики смещений глубинных реперов и изменения k_p между реперами в кровле выработки на экспериментальном и контрольном участках представлены на рисунках 10-11.

Разрушение массива на экспериментальном участке началось в боках и кровле на 35 сутки наблюдений. В боках разрушения произошли на участке скважины 0,3-1,3 м. В последующие 275 суток в боках происходит интенсивное разрыхление пород на участке 0,15-1,9 м от контура ($k_p = 1,10$). Внешняя граница ЗРП перемещается вглубь массива на 0,6 м (среднее значение k_p на 310 сутки составляет 1,072). Конечный размер ЗНД в боках составил более 2,5 м, смещения боков – 180 мм при среднем значении $k_p = 1,1$.

В кровле выработки (рис. 10б) разрушение зафиксировано на удалении 2,4-3,7 м от контура ($k_p = 1,054$ при размере ЗНД = 6,0 м). К этому моменту произошли квази-пластические смещения пород на участке 0-2,4 м на 75 мм с изменением k_p в его пределах до 1,006. Среднее значение k_p составило 1,013. К 185-м суткам наблюдений (размер ЗНД > 7,0 м, смещения контура – 184 мм) зафиксировано увеличение протяженности участка скважины с разрушенными породами (2,2-3,8 м) и рост k_p в его пределах до 1,115. Кроме того, образуется новая локальная зона разрушений на участке 4,7-5,2 м с $k_p = 1,034$. К 310-м суткам продолжается разрыхление пород на участке 2,1-3,8 м ($k_p = 1,143$) и 4,3-5,8 м ($k_p = 1,074$). Среднее значение k_p возрастает до 1,04. Конечные смещения контура со стороны кровли – 280 мм. В тече-

ние всего периода наблюдений происходил плавный прогиб породно-анкерной конструкции (участок 0 – 2,0 м) с изменением k_p в его пределах не более 1,016.

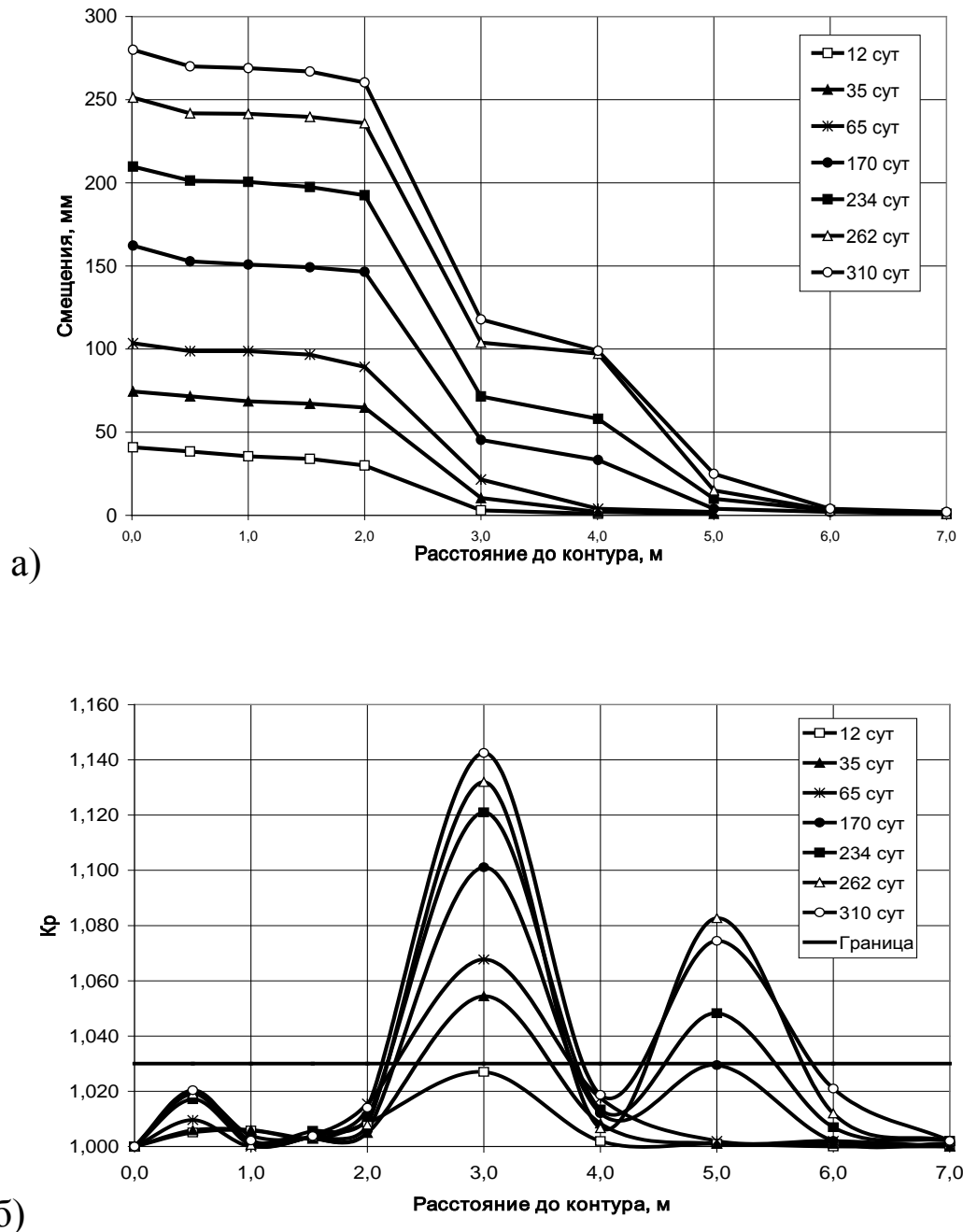


Рис. 10. Смещения глубинных реперов в кровле выработки (а) и изменения коэффициента разрыхления на участках скважины между глубинными реперами (б) на экспериментальном участке

На контрольной замерной станции разрушение пород в боках и кровле началось на 12 сутки наблюдений. В боках разрушения происходили на расстоянии 0,2-1,5 м от контура ($k_p = 1,044$). При этом, смещения боков на контуре составили 49 мм, а размер ЗНД = 2,5 м. В дальнейшем в боках происходил быстрый рост ЗРП от контура вглубь массива, сопровождающийся увеличением k_p : к 310 суткам наблюдений – до 1,22 (разрушен участок 0,1-2,3 м при смещениях боков 260 мм и конечном размере ЗНД в боках более 2,5 м). Средний k_p пород в боках составил 1,104.

В кровле (рис. 11б) разрушения пород произошли на участке скважины 0,3-1,8 м ($k_p = 1,1$ при размере ЗНД = 4,0 м и смещениях на контуре 129 мм). Последующие наблюдения показали, что происходит развитие ЗРП вглубь массива: к 310-м суткам наблюдений разрушенные породы находятся на расстоянии 0,2-2,3 м от контура ($k_p = 1,281$ при размере ЗНД > 6,0 м и смещениях на контуре 440 мм). Среднее значение k_p составило 1,073.

Сопоставляя характер развития деформаций и разрушений на участке выработки с комбинированным креплением имеет место меньшая степень нарушенности вмещающего массива (средние значения k_p в кровле и боках составляют, соответственно, 1,04 и 1,073) по сравнению с контрольным участком, закрепленным рамной крепью (значения k_p составили 1,1 и 1,104 соответственно).

Применение в выработке анкерования кровли позволило создать породно-анкерную конструкцию, которая при развитии деформаций в глубь массива практически не разрушилась (k_p в укрепленной зоне не превысил 1,016 против 1,288 для аналогичного участка пород в кровле выработки с рамной крепью) и сохранила достаточную несущую способность.

Состояние выработки на контрольном и экспериментальном участках на различных этапах эксплуатации показаны на рисунке 12.

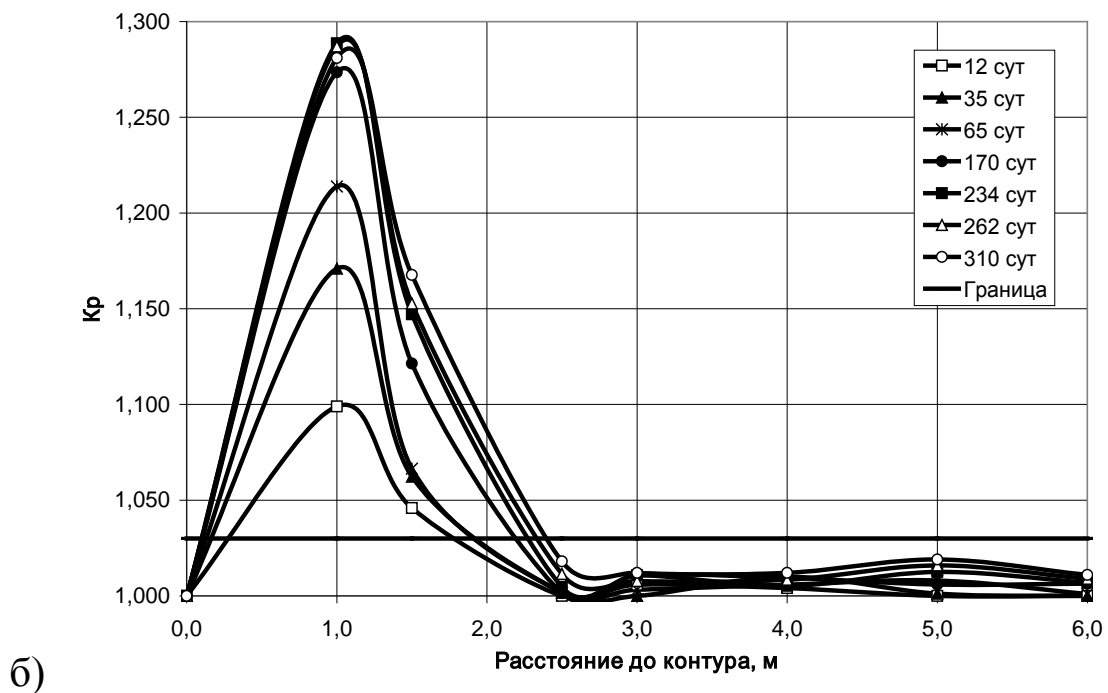
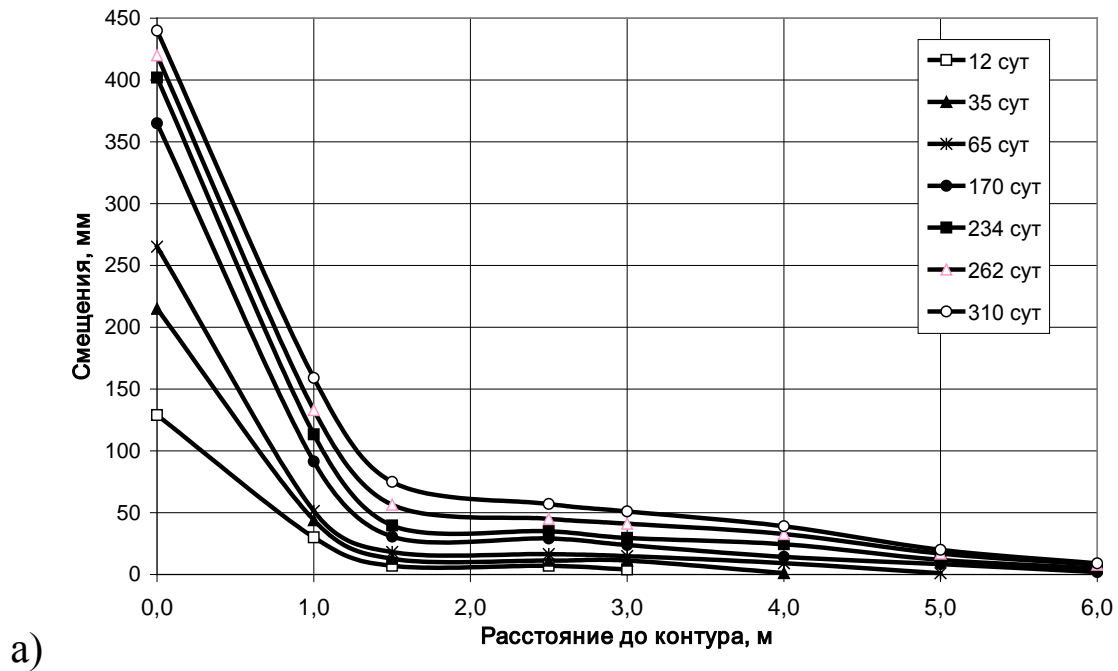


Рис. 11. Смещения глубинных реперов в кровле выработки (а) и изменения коэффициента разрыхления на участках скважины между глубинными реперами (б) на контрольном участке

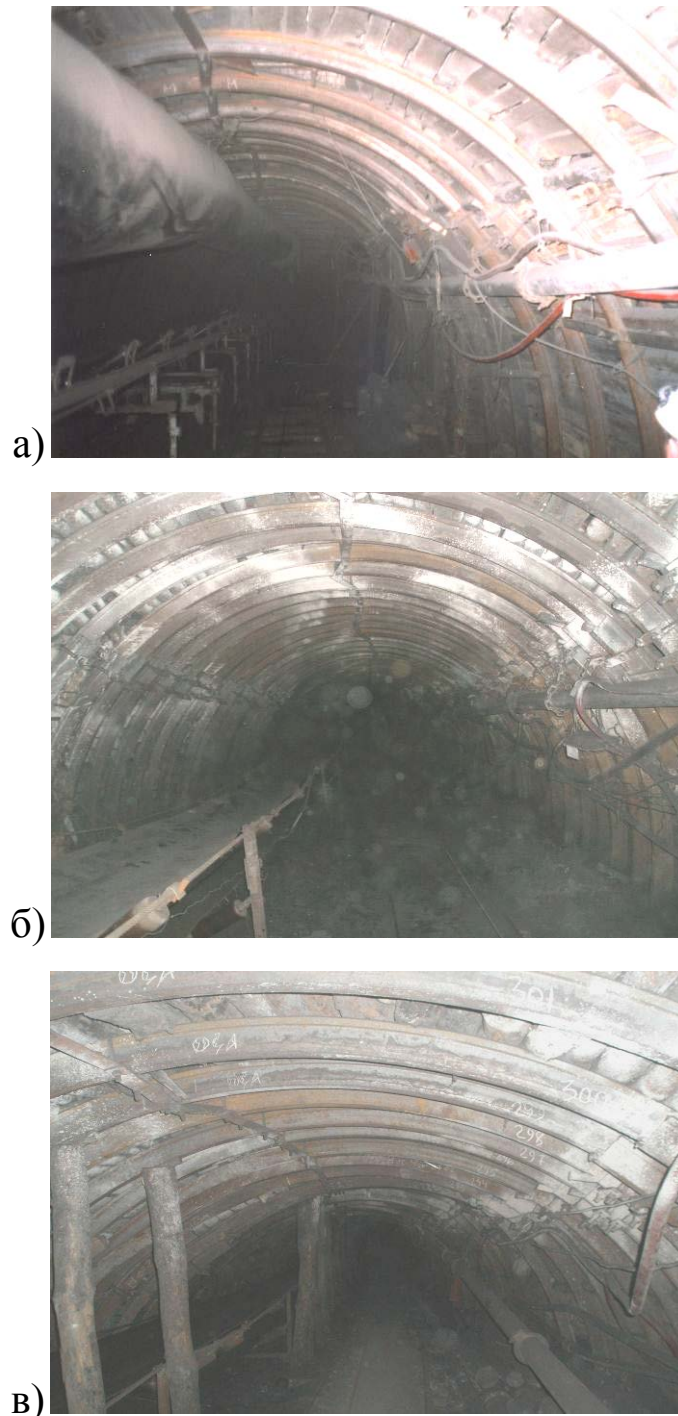


Рис. 12. Состояние выработки при ее проведении на экспериментальном участке (а), экспериментального (б) и контрольного (в) участков на момент окончания наблюдений

На момент окончания наблюдений состояние выработки на экспериментальном (см. рис. 12 б) участке устойчивое. Разруша-

ющих деформаций пород на контуре выработки между рамами крепи, обрывов анкеров, повреждений и деформации металлических полос, а также несущих элементов металлической рамной крепи на участке с комбинированной крепью за время наблюдений зафиксировано не было.

Контрольный же участок (см. рис. 12 в) был деформирован и нуждался в перекреплении.

Выводы и направления дальнейших исследований. Проведенные шахтные испытания комбинированной крепи в подготовительных выработках показали, что расчетные параметры крепи обеспечивает устойчивое состояние выработки. При этом обеспечивается:

а) создание вокруг выработки грузонесущей конструкции, максимально использующей природную прочность вмещающих пород. Скрепленная анкерами оболочка выполняет роль крепи и препятствует развитию деформационных процессов во вмещающем массиве;

б) снижение в 1,5 раза материалоемкости крепления и уменьшение в 2,3 раза затрат на крепление;

в) увеличение до 2-х раз скорости проведения выработок за счет увеличения шага установки крепи по сравнению с выработкой, закрепленной в аналогичных условиях только рамной податливой крепью.

Планируется использовать комбинированное крепление на шахте при проведении конвейерных выработок следующего яруса и монтажных ходков.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Развитие научных основ повышения устойчивости горных выработок шахт Западного Донбасса. / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Мартовицкий А.В., Черватюк В.Г.]. – Днепропетровск: Лізунов Пресс, 2010. – 390 с.
2. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – ВНИМИ, 1986. – 222 с.

3. СОУ 10.1.05411357.010:2008. Система обеспечения надежно-го и безопасного функционирования горных выработок с анкерным креплением. Общие технические требования. – 89 с.
4. Черев Д.А. Выбор параметров рамно-анкерной крепи на основе исследования закономерностей изменения внутренних усилий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 225.0022 / Черев Дмитрий Алексеевич. – Екатеринбург, 2004. – 18 с.
5. Методика определения параметров анкерных породо-армирующих систем для обеспечения устойчивости горных выработок: СТП (02070826) (26319481) / Н.Н. Касьян, Ю.А. Петренко, А.О. Новиков, И.Н. Шестопапов и др. – Донецк-Доброполье, 2010. – 27 с.