

УДК 622.281

## О ДЕФОРМИРОВАНИИ МАССИВА, ВМЕЩАЮЩЕГО ВЫРАБОТКИ С КОМБИНИРОВАННОЙ РАМНО-АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ

**Дрибан В. А.**

*(УкрНИИМИ НАНУ г. Донецк, Украина)*

**Новиков А. О., Шестопапов И. Н.**

*(ГВУЗ «ДонНТУ», г. Донецк, Украина)*

*У статті наведено результати натурних досліджень деформування вміщувальних порід у підготовчих виробках, у яких посилення рамного кріплення анкерами виконувалось з різним відставанням у часі відносно до виймання порід у вибої*

*The results of field studies related to host rocks deformation in development headings where reinforcement of frame supports was made with different time lags relative to removal in the face are described.*

Перспективы развития угледобывающей отрасли неразрывно связаны с усложнением горно-геологических условий отработки, в том числе и увеличением глубины работ, которая уже сейчас достигает 1400 м. Особо актуальной становится проблема обеспечения длительной устойчивости горных выработок, которая предопределяет безопасность и эффективность работы угольных шахт. Так, на шахтах Украины для поддержания выработок преимущественно используются арочные металлокрепления из спецпрофиля СВП, объем применения которых достигает 95 %, при этом металлоемкость достигает 1 т/м. Несмотря на то, что уже сейчас средний размер поперечного сечения выработки в свету составляет более 13,8 м<sup>2</sup>, при этом около 35 % закреплены наиболее тяжелым профилем СВП-33 с плотностью 2 рамы на метр со-

стояние поддерживаемых выработок ежегодно ухудшается. Так, средняя протяженность ремонтируемых выработок ежегодно достигает 57 %, а полностью перекрепляемых – 25 %. Все это приводит к резкому росту эксплуатационных затрат и не позволяет увеличивать нагрузку на очистные забои.

Одним из перспективных направлений повышения устойчивости выработок является усиление рамной крепи анкерами, которые дают возможность использовать природную прочность пород, вовлекая массив в совместную работу с крепью. Вместе с тем, опыт применения комбинированного крепления [1] показывает, что эффективность его использования зависит от степени реализации деформационных процессов во вмещающем выработку породном массиве на момент выполнения работ по усилению крепи. В этой связи, проведение исследований, направленных на обоснование рациональных параметров комбинированного рамно-анкерного крепления, обеспечивающего длительную устойчивость поддерживаемых выработок, является весьма актуальными.

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

– первая группа работ учитывает наличие анкерной крепи, коэффициентом упрочнения вмещающих пород, который зависит от плотности установки и параметров анкеров [2, 3];

– вторая группа работ рассматривает комбинированную крепь как единую грузонесущую конструкцию, конструктивные параметры которой принимаются в зависимости от ожидаемых смещений контура незакрепленной выработки, зависящих от горно-геологических и горнотехнических факторов, характеризующих условия ее заложения [4];

– третья группа работ рассматривает комбинированную крепь как единую связную конструкцию, параметры которой рассчитываются теоретически с использованием положений строительной механики [5, 6, 7].

Следует сказать, что указанные направления имеют ряд системных недостатков, что в определённых геомеханических условиях приводит к ошибкам проектирования. Во-первых, указанные подходы рассматривают породно-анкерную конструкцию,

как статическую систему с фиксированными физико-механическими свойствами, в то время, как по мере развития полей деформаций и напряжений в массиве, либо часть, либо вся система переходит запредельное состояние, сохраняя при этом определенную несущую способность. Во-вторых, в виду необратимости геомеханических процессов, поведение системы существенным образом зависит от стадии ее ввода в работу по отношению к степени реализации необратимого деформирования вмещающего массива при проходке выработки до установки анкеров. Следствием указанных обстоятельств явилось то, что на данный момент отсутствуют четкие разграничения между существующими конструкциями комбинированных крепей на основе анкерных систем, а расчетные методики не принимают к учету изменение грузонесущей способности породно-анкерных конструкций в процессе эксплуатации, что не позволяет достоверно определить параметры крепи, обеспечивающие длительную устойчивость выработок. Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время отсутствуют научно обоснованные рекомендации по определению времени и места установки анкеров относительно проходческого забоя.

В результате проведенных авторами лабораторных исследований [8] установлено, что эффективность усиления рамной крепи анкерами определяется размером зоны разрушенных пород (ЗРП), образовавшейся вокруг выработки на момент установки анкеров. Так, при размере ЗРП до половины глубины анкерования, остаточная прочность укрепленных пород составляет не менее 50 % от первоначальной, и, соответственно, смещения контура выработки уменьшаются на 40 % и более. Указанное обстоятельство дает основание полагать, что управление пространственно-временными параметрами установки анкерных систем позволяет существенно повысить устойчивость горных выработок.

**Целью** настоящих исследований является изучение особенностей деформирования массива, вмещающего выработки с комбинированным рамно-анкерным креплением с помощью натуральных наблюдений в зависимости от временных и пространственных параметров установки усиливающей крепи.

Шахтные исследования проводились в двух подготовительных выработках шахты «Добропольская»: конвейерном штреке 5-й северной лавы и конвейерном штреке 5-й южной лавы пласта  $m_4^0$ . Комплексные станции устанавливались в забое выработок, при этом, усиление основной крепи (в забое устанавливались рамы) анкерами производилось с различным отставанием во времени после выемки породы. Контрольные замерные станции устанавливали на участках выработок, закрепленных только рамной крепью. Кроме того, были проанализированы результаты шахтных наблюдений, выполненных на глубинных замерных станциях в подготовительных выработках ОАО «шахта им. А. Ф. Засядько» инженерами технической службы шахты А. А. Цикра, Ю. С. Опрышко [9].

Так как на шахте «Добропольская» наблюдения проводились в одних и тех же горно-геологических условиях и полученные результаты близки, то в качестве примера рассмотрим данные наблюдений на замерных станциях, заложенных в 5-ом южном конвейерном штреке пласта  $m_4^0$ . Контрольный участок в выработке 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 пласт  $m_4^0$



штанги. При помощи опорных плит, полоса прижималась к породам кровли. Расстояние между рядами анкеров по длине выработки составляло 0,8 м, в ряду – 1,0 м. В кровлю устанавливалось четыре анкера. Расстояние от крайнего анкера в кровле до стенки выработки – 0,9 м. Длина анкерных штанг, устанавливаемых между рамами крепи составляла 2,4 м. В качестве затяжки применялись деревянные распилы, которыми вплотную затягивали кровлю и бока выработки. На рисунках 1, 2 представлены выкопировка с планов горных работ по пласту  $m_4^0$  и схема замерной станции.

Данные наблюдений представлены в виде графиков смещений глубинных реперов и изменения коэффициента разрыхления ( $k_p$ ) на участках скважины между реперами в зависимости от времени установки анкерной крепи после выемки породы в забое на 5, 20, 50, 80, и 220 сутки наблюдений (рис. 3-8).

На рисунке 3 показан график изменения размера зоны разрушенных пород (ЗРП) во времени на контрольной замерной станции. Как видно из графика, к моменту возведения усиливающей анкерной крепи с отставанием 0, 3, 5 и 10 м от забоя вокруг выработки образовалась ЗРП с размером, соответственно, 0; 0,28; 0,44 и 1,3 м.

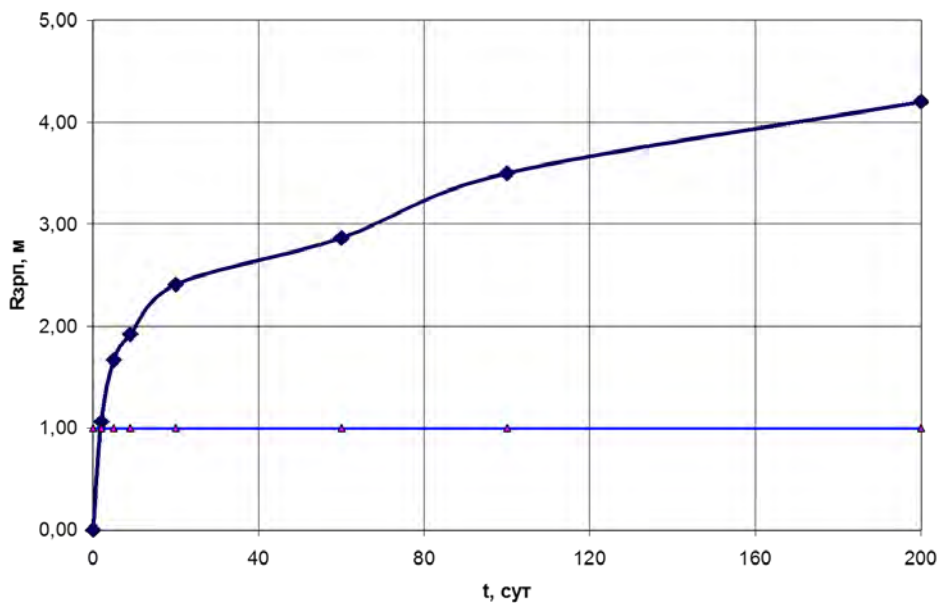


Рис. 3. Изменение размера ЗРП во времени на контрольной замерной станции

Анализ графиков (рис. 4) показывает, что на 5 сутки наблюдений на контрольной замерной станции смещения кровли выработки составили 32 мм. По графику изменения  $k_p$  видно, что поврежден участок 0-0,45 м с максимальным значением  $k_p = 1,040$ . При этом фронт разрушения двигался от контура вглубь массива. По мере удаления от этого участка смещения контура затухали. Размер ЗНД в кровле превышал 7,0 м.

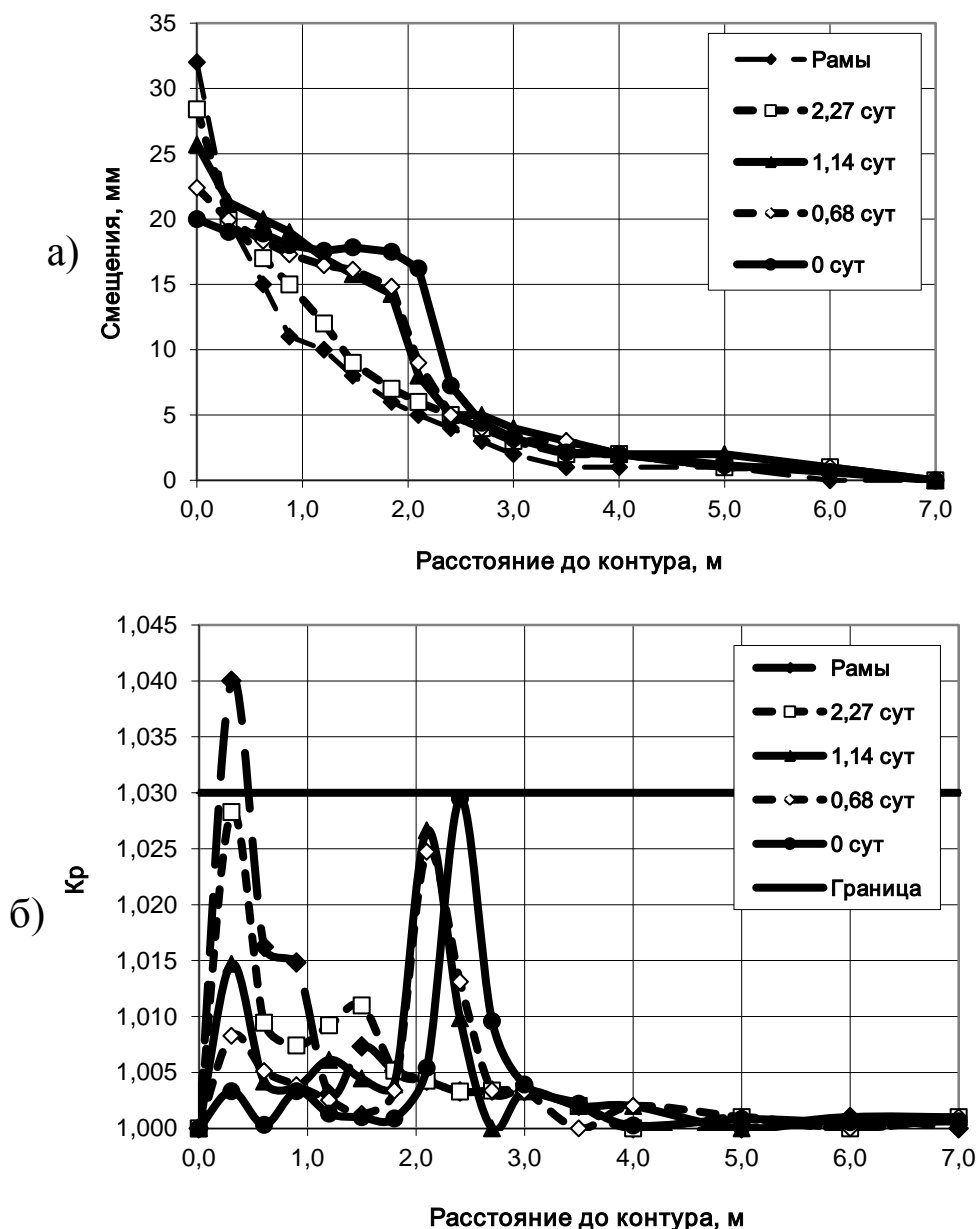


Рис. 4. Смещения глубинных реперов в кровле выработки (а) и изменения  $k_p$  (б) на 5-е сутки наблюдений

На станції, где установка анкерів виробилась сразу же после выемки породы в забое, смещения со стороны кровли составили 20 мм. При этом скрепленная анкерами оболочка (участок скважины 0-2,1 м) смещалась единым блоком без разрушения (максимальное значение  $k_p$  не превышало 1,003). Отметим, что состояние участка 2,1-3,0 м близко к предельному и в дальнейшем там пройдут необратимые деформации.

Аналогичные выводы можно сделать при анализе остальных станций, в которых усиление рамной крепи анкерной производилось с отставанием 3, 5 и 10 м. Смещения кровли выработки на станциях составили, соответственно, 22, 26 и 28 мм. При этом на участках скважины между контуром и 2 репером (0-0,5 м) происходит интенсивное разрыхление приконтурного массива. Причем, чем больший разрыв в отставании между выемкой породы и последующим анкерованием, тем выше степень разрыхления приконтурного участка,  $k_p^{\max} = 1,008; 1,015$  и  $1,028$ , соответственно. Очевидно, что в дальнейшем произойдет их разрушение.

На 20 сутки наблюдений (рис. 5) на контрольной замерной станции и станциях с комбинированной крепью, смещения кровли составили 116, 62, 71, 82 и 107 мм. При этом размер ЗРП, сформировавшейся вокруг выработки, достиг значений 1,35 м; 0,45 м; 0,7 м; 0,85 м и 0,75 м, соответственно. В то время как размер ЗНД в кровле остался неизменным. Анализ натуральных наблюдений позволяет сделать следующие выводы об особенностях деформирования вмещающего выработку массива:

а) на контрольном участке наблюдался дальнейший рост ЗРП от контура вглубь массива до 1,35 м,  $k_p^{\max} = 1,065$ ;

б) на участке, где анкерная крепь устанавливалась сразу же после выемки породы, разрушение пород происходило сразу анкерами (2,25-2,70 м),  $k_p^{\max} = 1,046$ . Скрепленная же анкерами оболочка сохранила целостность  $k_p^{\max} = 1,030$ ;

в) на замерной станции, установленной в месте, где анкерная крепь возводилась с разрывом во времени 0,64 суток (3 м), наблюдалось интенсивное деформирование в приконтурной части породного массива (0-0,4 м),  $k_p^{\max} = 1,032$ . Однако основные разрушения происходили за пределами скрепленной анкерами оболочки (2,25-2,65 м)  $k_p^{\max} = 1,051$ ;



г) аналогичные результаты при возрастании степени нарушения вмещающего массива, были получены и на двух других замерных станциях, где разрыв составлял, соответственно, 1,14 и 2,27 суток (5 и 10 м отставания).

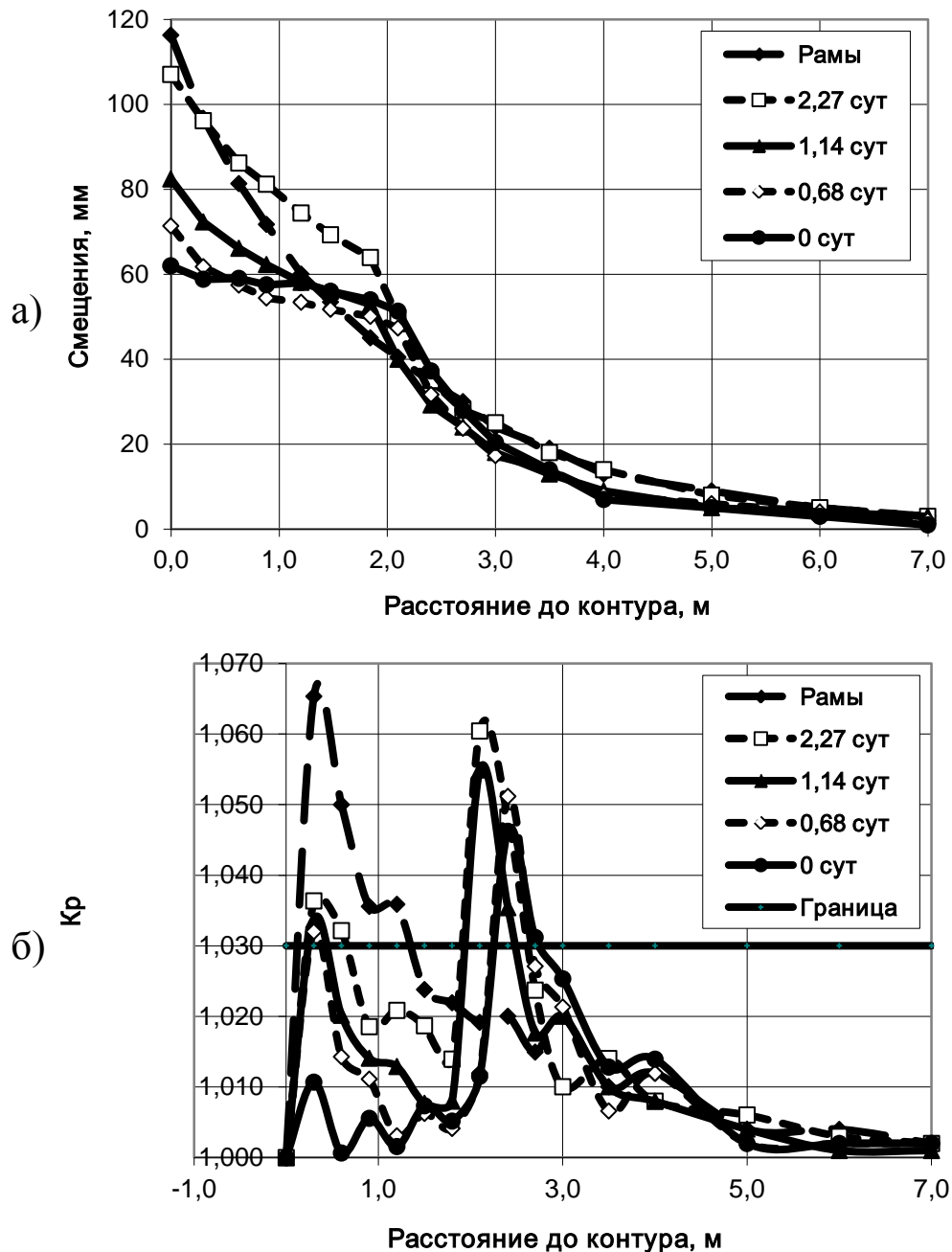


Рис. 5. Смещения глубинных реперов в кровле выработки (а) и изменения  $k_p$  (б) на 20-е сутки наблюдений

Так, фронт інтенсивного деформування продвинувся від контура виробки до 0,45 м і 0,65 м при  $k_p^{\max} = 1,034$  і  $1,036$ . За межами укріпленої анкерами оболонки  $k_p^{\max} = 1,055$  і  $1,060$ , відповідно.

На 50 сутки спостережень (рис. б) зміщення кровлі склали 179, 122, 131, 145 і 166 мм. Розмір ЗНД на всіх станціях перевищував 7,0 м. Розмір ЗРП, сформованої навколо виробки склав 2,65, 1,55, 1,3, 1,05, і 1,1 м, відповідно.

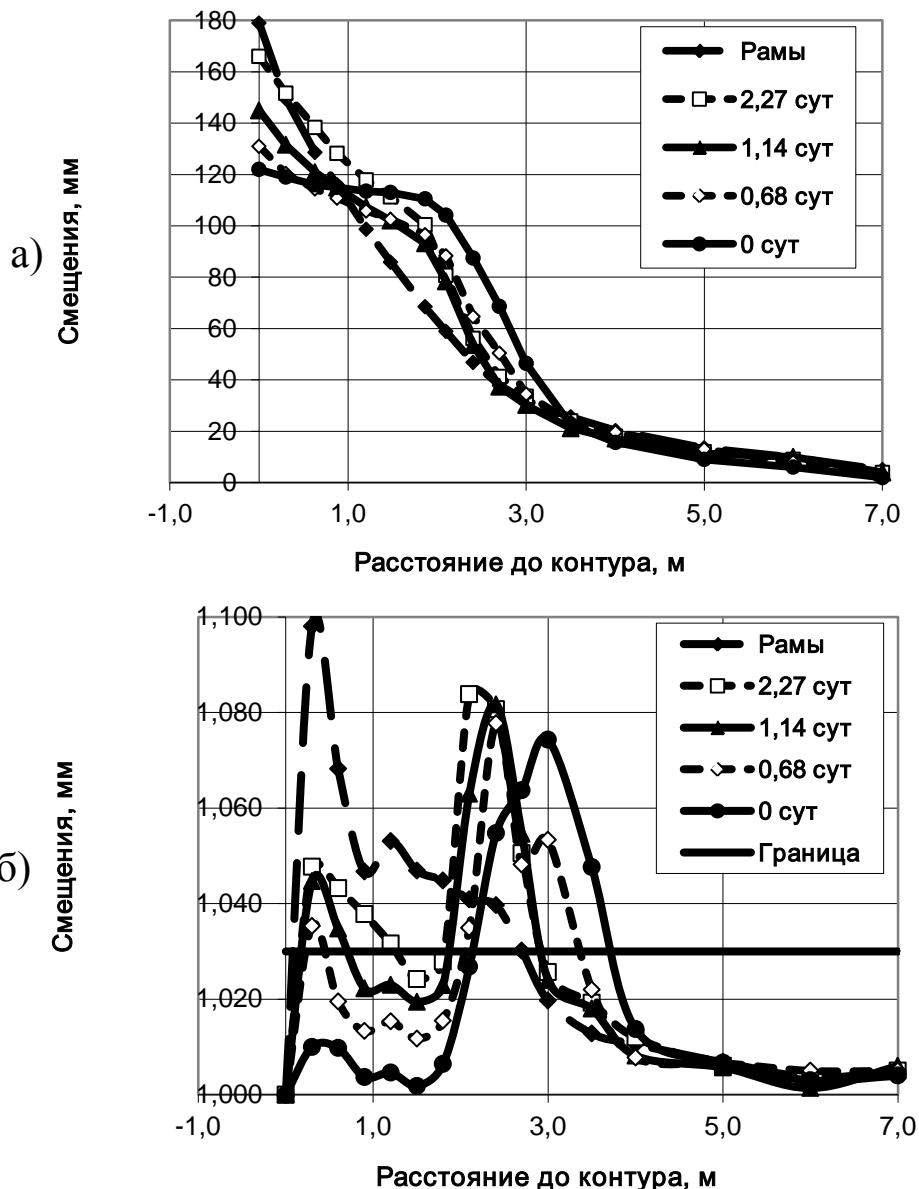


Рис. 6. Зміщення глибоких реперів в кровлі виробки (а) і змінення  $k_p$  (б) на 50-е сутки спостережень

При этом отмечены следующие особенности деформирования вмещающего выработку массива:

а) на контрольном участке наблюдался дальнейший рост ЗРП от контура вглубь массива (нарушен участок 0-2,65 м),  $k_p^{\max} = 1,098$ ;

б) на участке, где анкерная крепь устанавливалась сразу же после выемки породы, нарушен участок 2,15-3,70 м,  $k_p^{\max} = 1,074$ . Скрепленная же анкерами оболочка сохранила целостность;

в) на замерной станции, установленной в месте, где анкерная крепь возводилась с разрывом во времени 0,64 суток (3 м), наблюдалось частичное разрушение приконтурной части породного массива (0-0,5 м) с  $k_p^{\max} = 1,035$ ). При этом, основные нарушения локализовались за пределами скрепленной анкерами оболочки (2,05-3,35 м) с  $k_p^{\max} = 1,078$ ;

г) аналогичные результаты были получены в двух других замерных станциях. С той разницей, что размер разрушившейся приконтурной части породного массива, а также степень нарушения породного массива увеличились (0-0,7 м и 0-1,25 м) при  $k_p^{\max} = 1,045$  и 1,048 соответственно). За пределами укрепленной анкерами оболочки  $k_p^{\max} = 1,082$  и 1,084 соответственно.

На 80 сутки наблюдений (рис. 7) на контрольной замерной станции и станциях с комбинированной крепью смещения кровли выработки составили, соответственно, 237, 145, 161, 175 и 221 мм. Размер ЗНД на всех станциях превышал 7,0 м. Размер ЗРП, сформировавшейся вокруг выработки, в пределах замерных станций составил, соответственно, 2,9 м; 1,3 м; 1,7 м; 2,0 м и 3,9 м.

Данные по процессу деформирования следующие:

а) на контрольном участке наблюдался дальнейший рост ЗРП от контура вглубь массива (0-2,9 м),  $k_p^{\max} = 1,121$ ;

б) на участке, где анкерная крепь устанавливалась сразу же после выемки породы нарушен участок 2,05-3,35 м,  $k_p^{\max} = 1,087$ . Породно-анкерная оболочка – устойчива;

в) на замерных станциях, установленных в местах, где анкерная крепь возводилась с отставанием 3 и 5 м, наблюдалось частичное разрушение приконтурной части породного массива (0 - 0,6 и 0 - 0,75 м) с  $k_p^{\max} = 1,037$  и 1,050 соответственно). Основ-

ные нарушения происходили за пределами скрепленной анкерами оболочки (2,15-3,85 м и 1,85-3,85 м) с  $k_p^{\max} = 1,092$  и  $1,100$  соответственно);

г) при отставании 10 м приконтурный массив, укрепленный анкерами, был разрушен полностью, при незначительном (до 7 %) уменьшении смещения кровли. Кроме того, основные нарушения приурочены к участку массива, расположенному за породно-анкерной оболочкой. Так, если в интервале 0-1,8 м  $k_p^{\max} \leq 1,057$ , то на участке 1,8-4,0 м  $k_p^{\max} = 1,113$ .

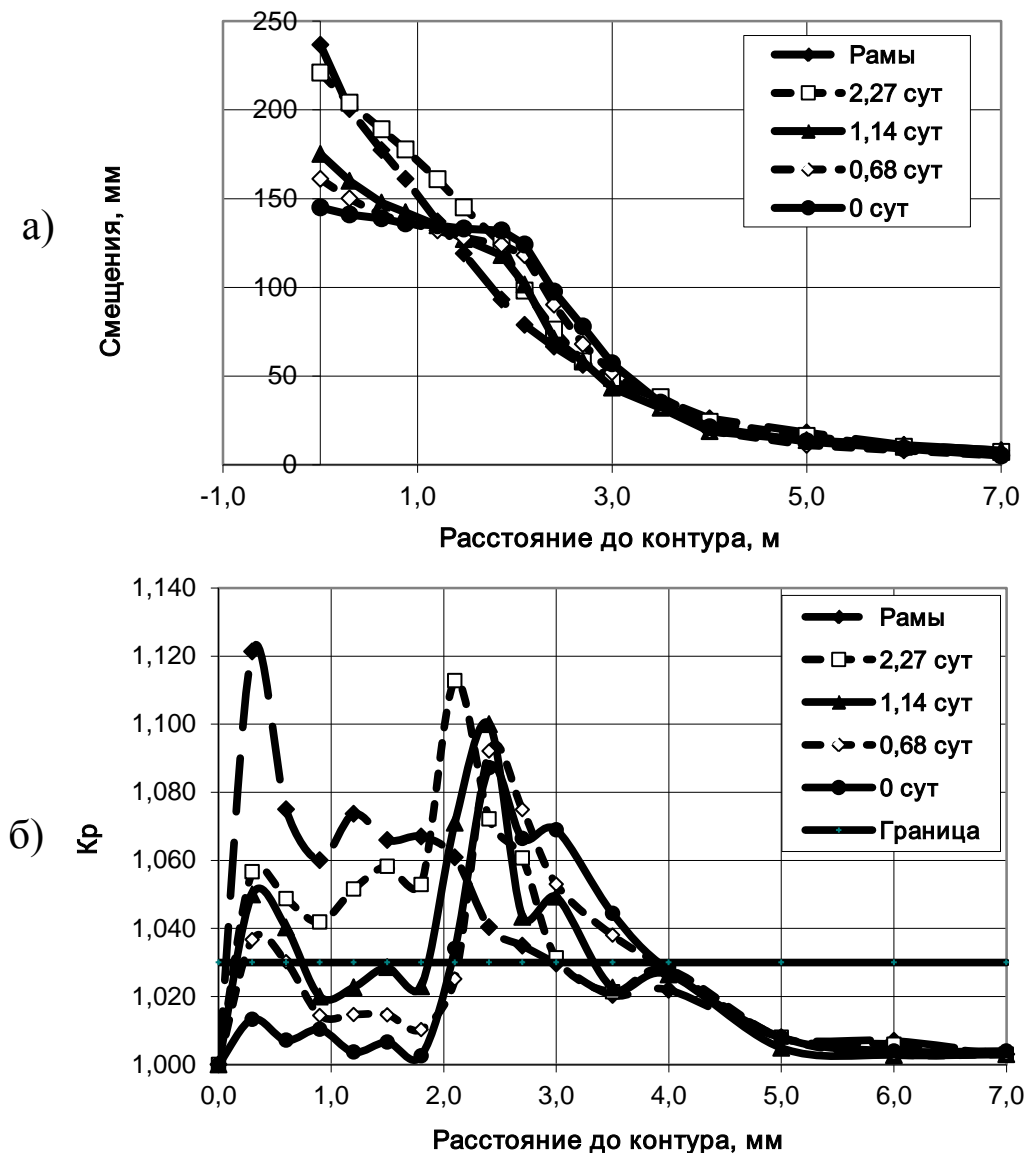


Рис. 7. Смещения глубинных реперов в кровле выработки (а) и изменения  $k_p$  (б) на 80-е сутки наблюдений

На момент окончания наблюдений (рис. 8) смещения кровли выработки составили 307, 204, 229, 241 и 280 мм. Размер ЗНД на всех станциях превышал 7,0 м. Размер ЗРП, сформировавшейся вокруг выработки, в пределах замерных станций составил 3,45, 2,3, 2,0, 2,05 и 3,8 м, соответственно. При следующих итоговых результатах:

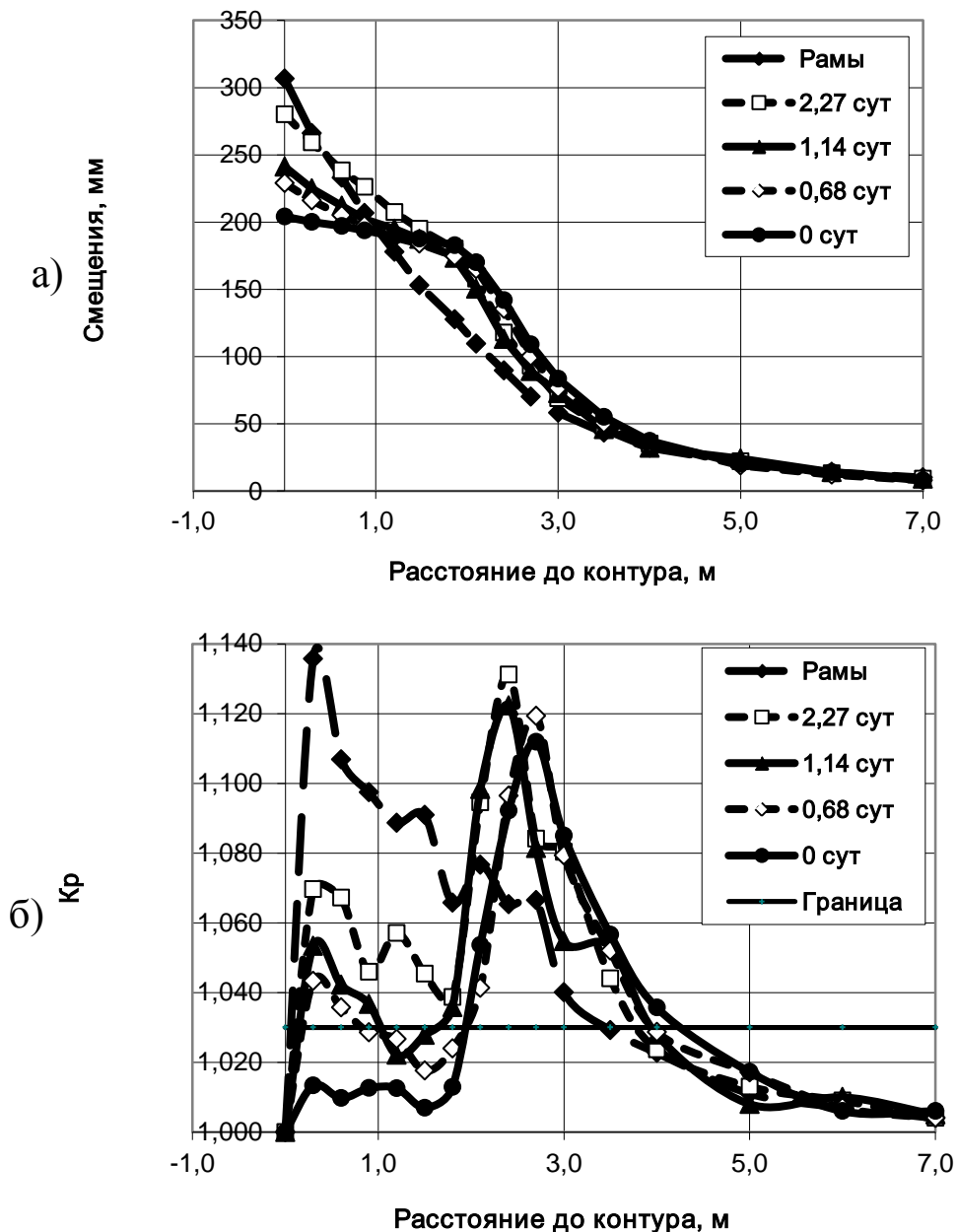


Рис. 8. Смещения глубинных реперов в кровле выработки (а) и изменения  $k_p$  (б) на момент окончания наблюдений (на 220-е сутки)

а) на контрольном участке наблюдался дальнейший рост ЗРП от контура вглубь массива (0-3,45 м),  $k_p^{\max} = 1,136$ ;

б) на участке, где анкерная крепь устанавливалась сразу же после выемки породы, нарушена только часть приконтурного массива, расположенная за анкерами 1,95-4,25 м,  $k_p^{\max} = 1,112$ ;

в) на участках, где анкерная крепь возводилась с отставанием 3 и 5 м, имело место частичное разрушение приконтурной части породного массива (0-0,85 и 0-1,05 м) с  $k_p^{\max} = 1,043$  и 1,053, соответственно. Основные разрушения происходили за пределами породно-анкерной оболочки (1,9 - 3,9 м) с  $k_p^{\max} = 1,119$  и 1,122 соответственно;

г) при отставании 10 м приконтурный массив был полностью нарушен. Однако основные разрушения произошли не на контуре выработки, а за пределами укрепленной анкерами области. В интервале 0-1,8 м  $k_p^{\max} \leq 1,070$ , за ее пределами (1,8-4,0 м) максимальное  $k_p^{\max} = 1,131$ .

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать следующие выводы:

Максимальный технический эффект (уменьшение смещений кровли) достигается в случае, когда усиление рамной крепи анкерами производилось сразу же после выемки породы в забое. При этом скрепленная анкерами оболочка не разрушается и принимает нагрузки со стороны вмещающего массива, выполняя роль крепи. Фронт разрушения переносится за ее пределы. Смещения кровли выработки в этом случае уменьшаются приблизительно на треть по сравнению с выработкой, закрепленной только рамной крепью. Уменьшается также общая степень нарушенности вмещающего массива, в частности, суммарный размер зоны разрушенных пород уменьшается на 50 %.

При усилении рамной крепи анкерами в случае, когда размер ЗРП, сформировавшейся к моменту анкерования, не превышает половины глубины анкерования, что соответствует отставанию 5 м, установлены следующие особенности деформирования вмещающего массива. Сразу же после установки рам в забое (после выемки породы) начинается развитие ЗРП от контура вглубь массива. Благодаря своевременной установке анкеров появляется возможность этот процесс замедлить, а затем и остановить. По-

родно-анкерная оболочка сохраняет целостность. Смещения кровли уменьшаются на 20 %.

При большем разрыве во времени между выемкой породы и установкой анкеров полностью остановить развитие ЗРП от контура вглубь массива не удастся. Скрепленная анкерами оболочка разрушается полностью, а смещения контура выработки с комбинированной рамно-анкерной крепью приближаются к смещениям контура выработки, закрепленной в аналогичных условиях только рамными конструкциями крепи.

Конвейерный штрек 2-й западной лавы пласта  $l_4$  шахты им. А. Ф. Засядько пройден по пласту мощностью 1,0-1,1 м на глубине 750 м. Пласт  $l_4$  – простого строения, вмещающие его породы – средней устойчивости. Непосредственно в кровле пласта залегает алевролит, мощностью 6,1-12,4 м, с прочностью на одноосное сжатие 36,8 - 58,0 МПа. Он разбит трещинами под углом 70-80°. В основной кровле пласта залегает слой аргиллита, перекрытого песчаником. В непосредственной почве пласта залегает склонный к пучению алевролит с пределом прочности на одноосное сжатие 39,0-54,0 МПа и мощностью 0,6-1,0 м. Ниже залегает песчаник серый мелкозернистый. В нижней пачке слоя наблюдается переслаивание песчаника с алевролитом. Мощность песчаника 3,5-5,3 м прочностью на одноосное сжатие 60,8-88,0 МПа. Ниже песчаника залегает алевролит мощностью до 8 м прочностью на одноосное сжатие 28,0-50,0 МПа.

Выработка была пройдена комбайном и закреплена рамно-анкерным креплением, с сечением в свету 13,8 м<sup>2</sup> (рис. 9). Шаг установки рам составлял 0,8 м. Между рамами устанавливались 11 анкеров с наклоном под углом 75-85° в сторону проходческого забоя. Пучение почвы напротив «окна» лавы достигало 0,9 м, а смещения пород кровли - 350 мм. Позади лавы производилась подрывка пород почвы с отставанием 180-200 м.

В выработке были оборудованы несколько станций с глубинными реперами, каждая из которых представляла собой вертикальную скважину, пробуренную на высоту 6,5 м в кровлю штока с семью реперами. На рисунке 10 представлена выкопировка из плана горных выработок с указанием места заложения замерных станций.





Полученные в результате исследований данные обрабатывались аналогично предыдущему случаю. Строились графики перемещений глубинных реперов в скважине, а также рассчитывались значения  $k_p$  между реперами (рис. 11). Для более детального рассмотрения процессов деформирования приконтурной части массива рассмотрим участок скважины 0-1,8 м.

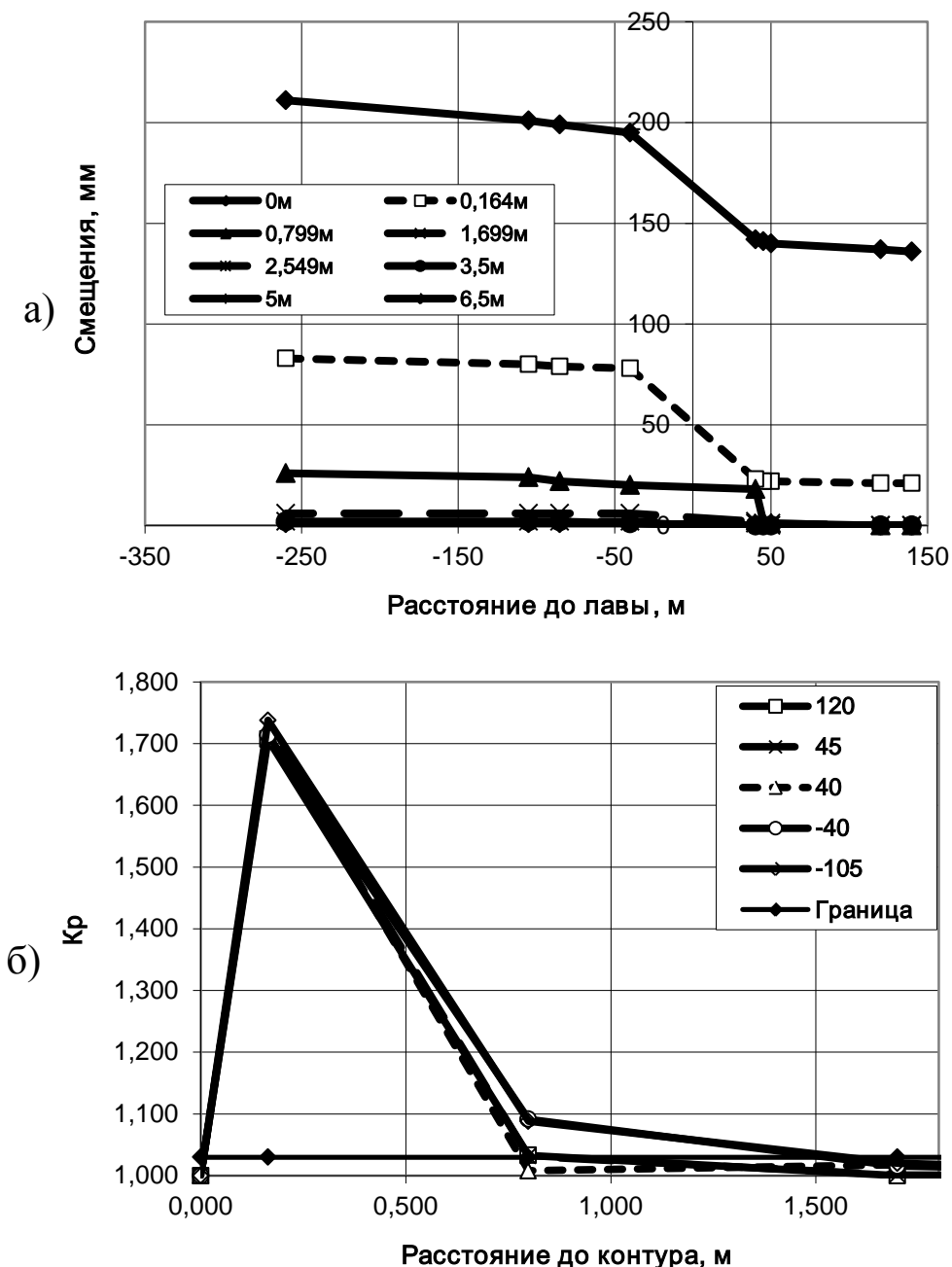


Рис. 11. Смещения глубинных реперов в кровле выработки (а) и изменения  $k_p$  (б) на замерной станции ю043

При анализе результатов натуральных наблюдений установлено, что породы, расположенные на участке между контуром и вторым репером (до глубины 0,8 м), были разрушены еще до прохода лавы. При попадании выработки в зону опорного давления впереди лавы (начиная с замера – 40 м) происходит уплотнение пород между контуром и первым репером (до замера +40 м), а затем их последующее разрушение, сопровождающееся расширением до максимального значения 1,780 (замер +260 м).

На участке между первым и вторым репером в кровлю (на расстоянии в кровлю 0,164 – 0,799 м) уплотнение пород начинается несколько раньше (замер – 45 м) с последующим разрушением (разрыхлением) пород в зоне опорного давления и позади нее. Некоторому уплотнению в зоне опорного давления лавы подвержены породы, расположенные между вторым и третьим репером (расстояние от контура в кровлю 0,8 – 1,7 м). Их разрушение происходит уже после прохода лавы (замер + 105 м). Породы кровли, расположенные в пределах заанкерванной части массива (до глубины 2,4 м – участок скважины между третьим и четвертым репером), а также вне его (участок скважины за четвертым репером) не достигают предельных деформаций (предельных значений коэффициента разрыхления) в течении всего периода наблюдений (замеры от -140 до + 260 м).

Анализ представленных на рисунке 11 графиков показывает, что такой характер деформирования вмещающих пород характерен либо для выработок, в которых усиление рамной крепи анкерами производилось со значительным разрывом во времени между выемкой породы и установкой анкеров, либо для выработок, закрепленных только рамной крепью. Об этом свидетельствует форма графиков смещений пород кровли в пределах приконтурного участка, усиленного анкерами и графиков изменения  $k_p$ , а также данными, проведенными авторами 5-ом южном конвейерном штреке пласта  $m_4^0$  (см. рис. 4-8).

17-й западный конвейерный штрек пласта  $m_3$  шахты им. А. Ф. Засядько был пройден комбайном с двухсторонней подрывкой пород. Пласт  $m_3$  – сложного строения, мощностью 1,76-2,33 м. Непосредственная кровля представлена аргиллитом слоистым, трещиноватым, от весьма неустойчивого до неустойчивого

(Б<sub>1</sub>-Б<sub>2</sub>) мощностью 2,5-3,0 м. Основная кровля – аргиллит мощностью от 10,0 до 18 м. Непосредственная почва представлена алевролитом, склонным к интенсивному пучению (до 0,6-0,8 м/мес.) мощностью до 0,8 м. Основная почва – алевролит мощностью 14,0-20,0 м. В почве пласта на удалении 1,5-3,0 м встречается песчаник в виде линз мощностью 1,5-2,0 м. Все западное крыло находится в пределах пологой антиклинальной складки, крылья которой осложнены как разрывными, так и пликативными нарушениями более высокого порядка. Вследствие этого угольный пласт и вмещающие породы ослаблены, склонны к обрушению. Угольный пласт и вмещающие породы характеризуются повышенной трещиноватостью.

Сечение выработки в проходке – 20,7 м<sup>2</sup>. Крепление выработки – рамно-анкерное. Арочная податливая крепь КМП – А4К с сечением в свету 18,0 м<sup>2</sup> (рис. 12) устанавливалась с шагом 0,65 м. Между рамами в кровлю выработки устанавливались 8 анкеров длиной 2,4 м.

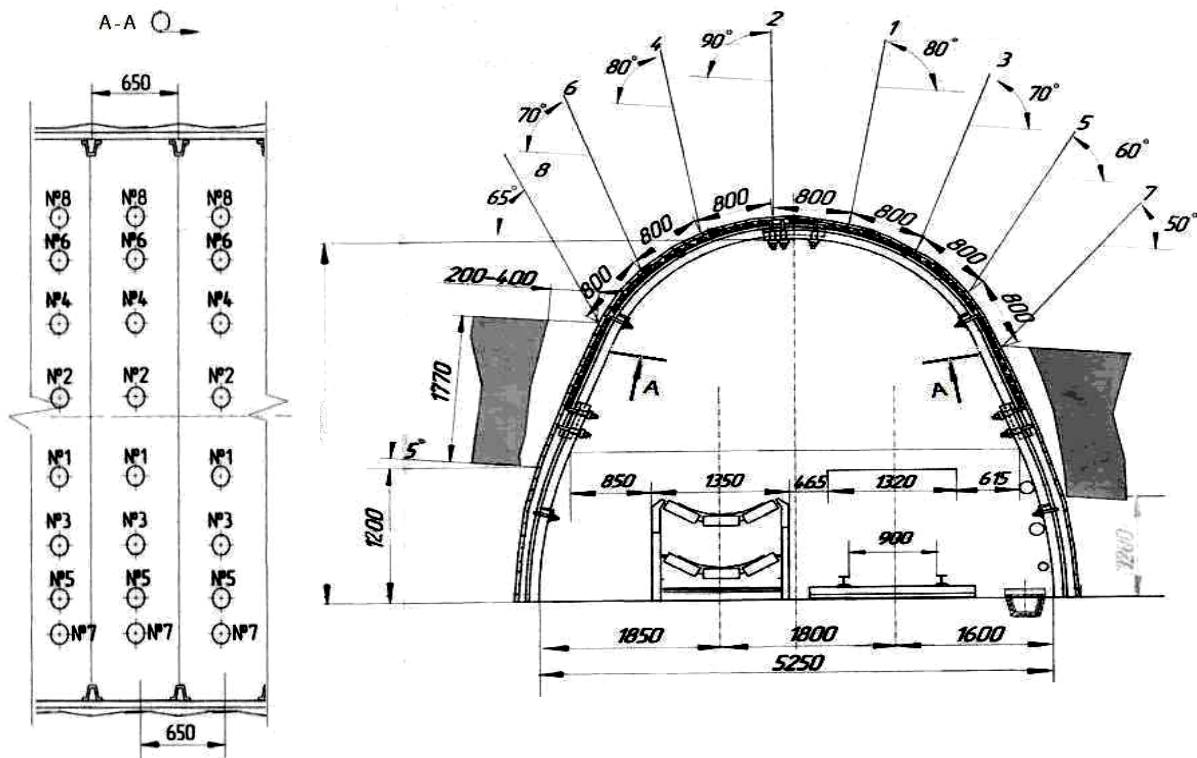


Рис. 12. Паспорт крепления 17-го западного конвейерного штрека

Для наблюдения за смещениями пород кровли в выработке были оборудованы глубинные замерные станции на глубину от 5,5 до 8,1 м (замерные станции Ю022, Ю040, Ю049 и Ю061). Место установки замерных станций показано на рисунке 13. Наблюдения проводились на протяжении 252-461 суток.

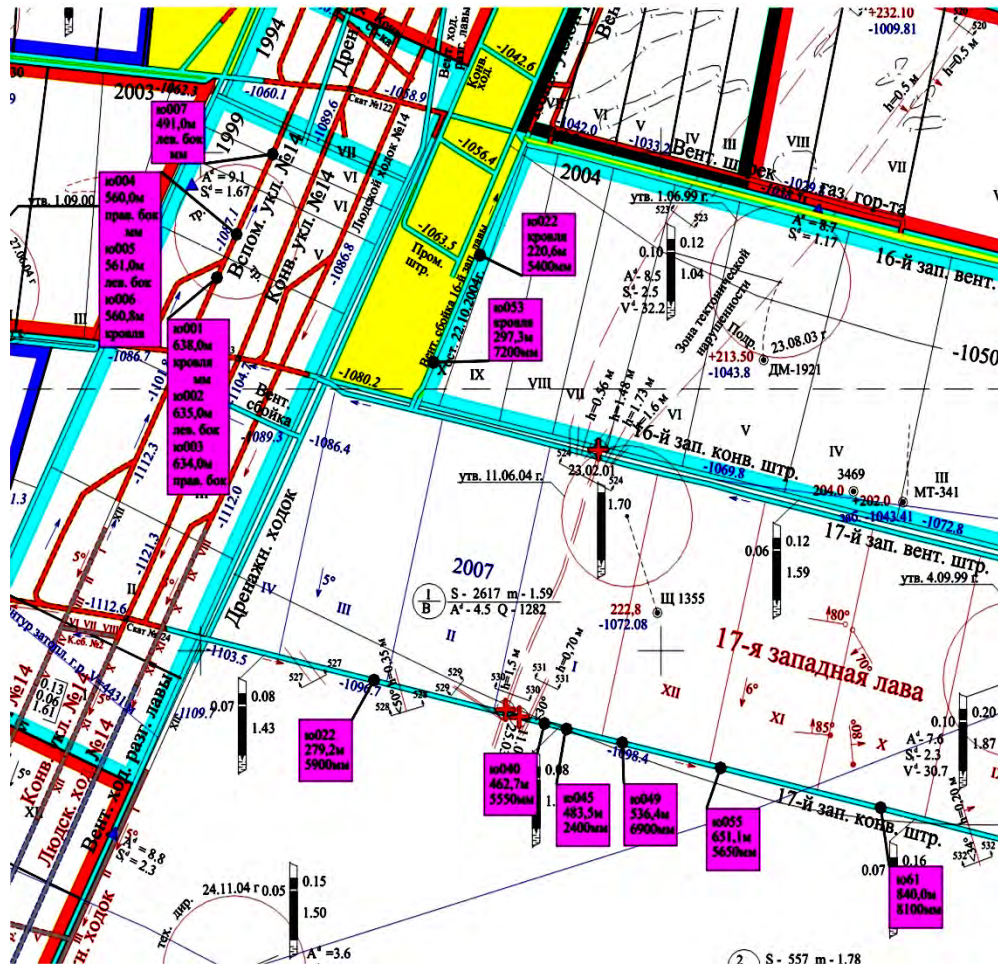


Рис. 13. Схема расположения глубинных реперов в 17-ом западном конвейерном штреке пласта  $m_3$

Характеристика замерных станций представлена в таблице 1.

Обработка данных производилась путем построения графиков смещений глубинных реперов на замерных станциях в зависимости расстояния до контура на момент окончания наблюдений (рис. 14), на основании которых были построены графики изменения  $k_p$  на участках между реперами.

Таблица 1

Характеристика замерных станций в 17-м зап. конв. штреке

Номер замерной станции	Место установки замерной станции	Глубина установки реперов, м	Продолжительность наблюдений, сут	Конечные смещения кровли, мм
Ю022	ПК13+19,2	5,9	461	175
Ю040	ПК23+2,7	5,5	377	256
Ю049	ПК26+16,4	6,9	341	165
Ю061	ПК42	8,1	252	265

На всех замерных станциях (ю022, ю040, ю049, ю061), за 252 – 461 сутки наблюдений (рис. 14) произошло разрушение пород на глубину, соответственно, 2,5 м, 0,8 м, 1,9 м и 2,3 м от контура. Конечный размер ЗНД в кровле составил, более 5,9 м, 5,5 м, 6,9 м, 8,1 м, соответственно, а среднее значение  $k_p$  – 1,03; 1,047; 1,024 и 1,033. При глубине анкерования 2,2 м, на станциях ю022 и ю061 скрепленная анкерами оболочка была разрушена полностью, а на станциях ю040 и ю049 – на 36,4 и 86,4 %. В тоже время, при визуальном осмотре состояния крепи не было обнаружено ни высыпаний пород между анкерами, ни обрывов анкеров, ни разрушения контурных замков. Несмотря на имевшие место радиальные трещины на контуре и отслоения пород, разрушений межрамных ограждений не зафиксировано. Состояние выработки – удовлетворительное.

Анализ результатов наблюдений за деформированием пород на глубинных замерных станциях в выработке позволил сделать следующие выводы.

1. Интенсивное разрушение пород кровли выработки на всех станциях начинается от контура выработки, затем происходит его плавное затухание. Такой характер деформирования вмещающего массива характерен для выработок, закрепленных только рамными конструкциями крепи либо для выработок с комбинированной рамно-анкерной крепью, в которых установка анкеров производилась со значительным отставанием между выемкой породы и последующим анкерованием (см. рис. 4-8).

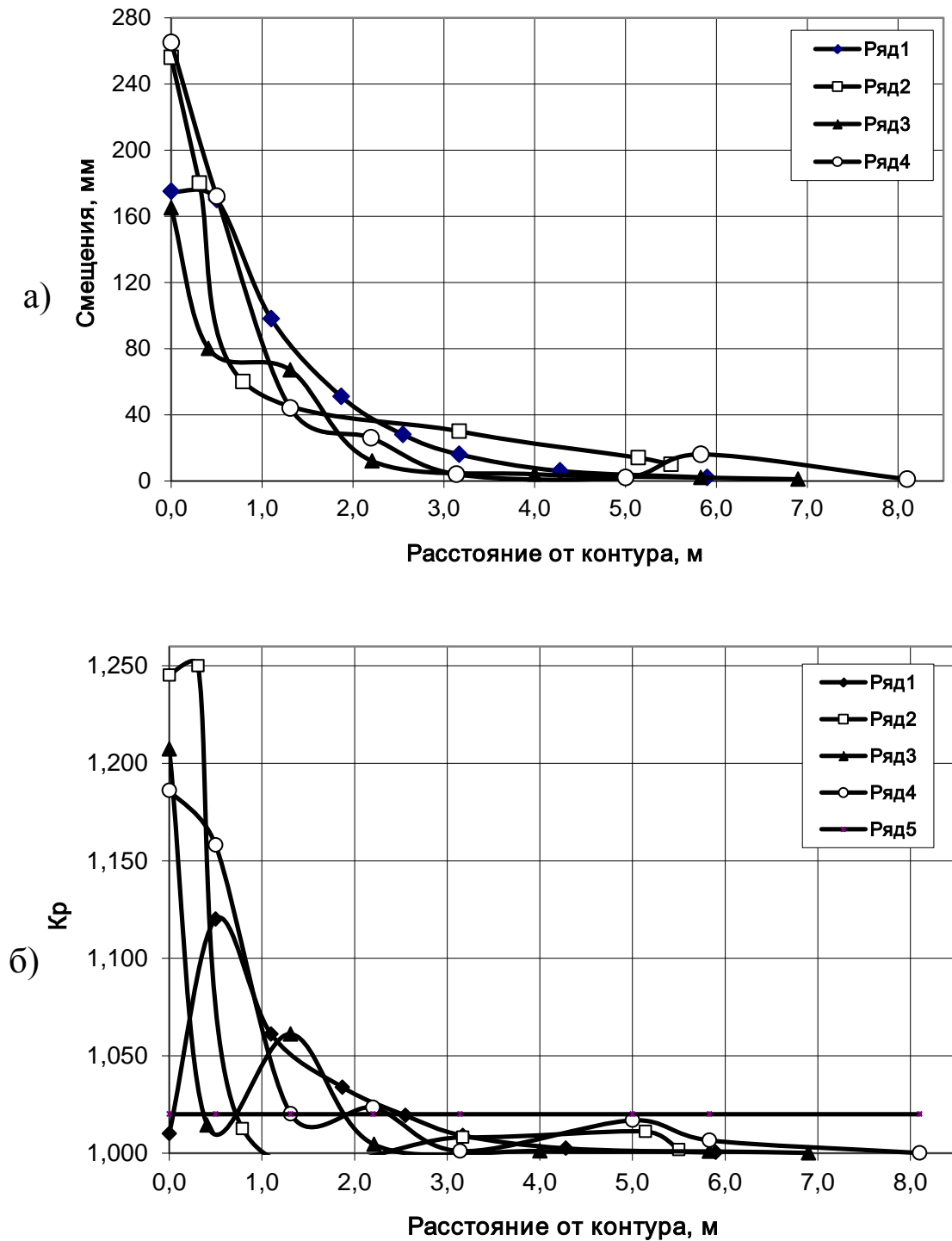


Рис. 14. Смещения реперов в кровле выработки (а) и изменения  $k_p$  (б) на момент окончания наблюдений: ряд 1 – станция Ю022; ряд 2 – станция Ю040; ряд 3 – станция Ю049; Ряд 4 – станция Ю061; Ряд 5 (граница) – предельное значение  $k_p$

2. При установке анкерной крепи со значительным отставанием от забоя, в трех станциях из четырех скрепленная анкерами оболочка разрушилась полностью.

3. Применение анкеров в составе комбинированной рамно-анкерной крепи позволило снизить смещения на контуре выработки (смещения на контуре не превысили 265 мм, что меньше конструктивной податливости замков рамной крепи), а также уменьшить общую степень нарушенности приконтурного массива по сравнению с выработками, закрепленными только рамной крепью.

Коренной западный штрек пласта  $k_7^5$  горизонта 1078 м был закреплен рамно-анкерной крепью, пройден комбайновым способом. Усиление рамной крепи анкерами производилось вслед за проходом лавы. Сечение выработки в проходке – 20,7 м<sup>2</sup>. Шаг установки арочной крепи КМП – А4К - 0,65 м. Позади «окна» лавы между рамами устанавливались восемь анкеров длиной 2,4 м. Вмещающие породы: основная и непосредственная кровля – песчаник, почва выработки – склонный к пучению глинистый сланец. В выработке была оборудована комплексная замерная станция, представляющая собой скважину длиной 5,35 м, пробуренную в кровлю выработки, в которую устанавливались глубинные репера. Кроме того, в бока и почву выработки были установлены контурные реперы. На первых трех глубинных реперах, данные по их перемещению после 82,6 суток отсутствуют ввиду обрывов нитей.

Анализ механизма деформирования вмещающего выработку массива производился путем построения графиков перемещений глубинных реперов в кровле, а также путем построения графиков изменения  $k_p$  между реперами (рис. 15). По графикам видно, что при отходе лавы на 49,5 м поврежден участок скважины 1,7-3,3 м (размер ЗРП = 1,6 м). При этом максимальное значение  $k_p = 1,08$ . Размер ЗНД = 35 м.

При дальнейшем отходе лавы от замерной станции происходит интенсивное увеличение ЗРП на уже разрушившемся участке. При этом зона разрушенных пород росла как вглубь массива, так и в сторону контура выработки:

а) при отходе лавы на 64 м разрушился участок 1,6-4,0 м;

б) при отходе лавы на 82,6 м наблюдалось дальнейшее развитие повреждений (1,4–4,4 м).

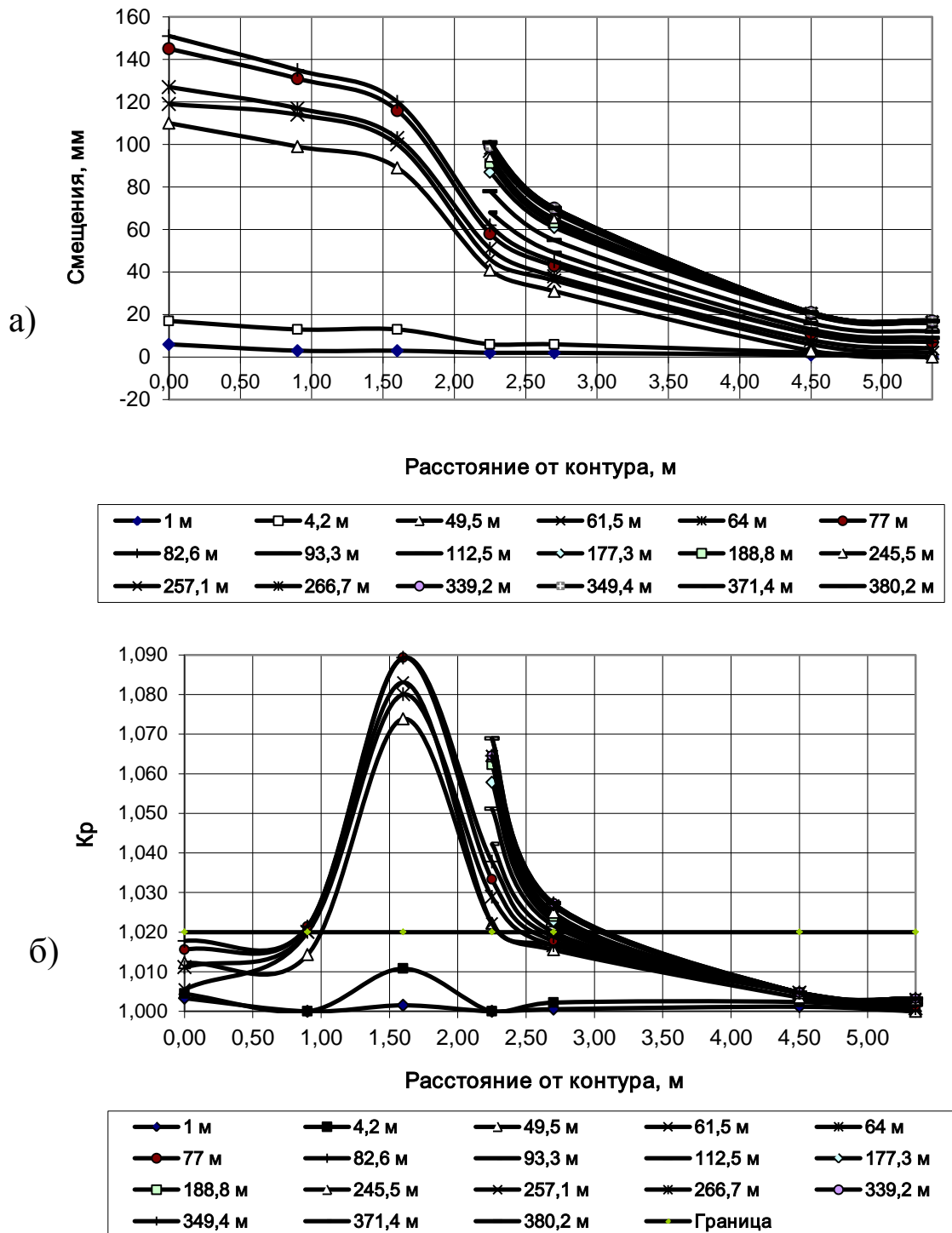


Рис. 15. Смещения реперов в кровле выработки (а) и изменения  $k_p$  между реперами (б) на момент окончания наблюдений



Установлено также, что приконтурный участок массива 0 - 1,4 м в течение всего времени (на расстоянии от 0 м до 82,6 м после прохода лавы) остался неповрежденным. Таким образом, применение усиливающей анкерной крепи позволило частично сохранить целостность приконтурного массива, который воспринимая нагрузки со стороны вмещающего массива, фактически явился дополнительной крепью.

Следует отметить, что частичное разрушение скрепленной анкерами оболочки (участок скважины 1,4-2,2 м) обусловлено, по всей видимости, либо сокращением фактической активной длины анкера до 1,4-1,5 м, либо некачественным «проклеиванием» стержня анкера в шпуре.

**Выводы.** Проведенные шахтные исследования особенностей деформирования массива, вмещающего выработки с комбинированным рамно-анкерным креплением в зависимости от времени установки усиливающей крепи относительно выемки породы в забое позволили сделать следующие выводы.

1) Использование рамной крепи совместно с анкерованием кровли с плотностью 1 анк/м<sup>2</sup>, позволяет параллельно с уменьшением плотности установки рам, уменьшить смещения кровли до 66 % по сравнению с участками выработок, закрепленных только рамной крепью.

2) Применение анкерования позволяет уменьшить общую степень нарушенности вмещающего массива, в частности, максимальное значение коэффициента разрыхления пород уменьшается на величину до 0,024, а среднее – на 0,015 по сравнению с выработками, закрепленными только рамной крепью.

3) При применении анкерно-рамных конструкций крепи "сшитый" анкерами участок (0-2,2 м) не разрушался (в его пределах максимальное значение  $k_p$  составило 1,013, что не превышает предельных значений). Разрушение массива происходит за его пределами – в интервале 1,95-4,25 м;

4) Усиление рамной крепи анкерами с отставанием на 5 м от забоя позволило замедлить, а затем остановить начавшееся после выемки породы развитие деформационных процессов от контура вглубь массива. При этом размер разрушившейся приконтурной части породного массива не превышал половины глубины анке-

рования (0-1,05 м). Основные повреждения, благодаря установке анкеров, происходили за пределами скрепленной анкерами оболочки. Размер ЗРП уменьшился на 41 %, среднее значение  $k_p$  уменьшилось на величину до 0,011, а максимальное – на 0,017 по сравнению с выработками, закрепленными в аналогичных условиях только рамной крепью;

4) Усиление рамной крепи анкерами с отставанием 5-10 м от забоя не позволяет полностью остановить начавшееся развитие ЗРП от контура. Скрепленная анкерами оболочка разрушается полностью. Однако, благодаря установке анкеров степень нарушения приконтурного массива на участке 0-2,1 м существенно меньше, чем в выработках, закрепленных только рамной крепью. Так, если на контрольном участке  $k_p$  составил 1,094, то на участке с комбинированной крепью, в котором анкера устанавливались с отставанием 10 м – 1,058.

5) Установка анкеров с отставанием более 10 м нецелесообразна. В этом случае смещения пород кровли приближаются к смещениям в выработках, закрепленных только рамной крепью, поддерживаемых в аналогичных условиях.

## СПИСОК ССЫЛОК

1. Новиков А. О. Обоснование предельных сроков применения дополнительных мероприятий, направленных на повышение устойчивости горных выработок / А. О. Новиков, Ю. А. Петренко, И. Н. Шестопапов, А. В. Резник // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Гірничо-геологічна» / Редкол.: Башков Є.О. (голова) та інші. — Випуск 16(206). — Донецьк. ДВНЗ «ДонНТУ», 2012. — С. 179—184.
2. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. — ВНИМИ, 1986. — 222 с.
3. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания [Текст] : КД 12.01.01.201-98 : Утв. Минуглепромом Украины 25.06.98. — Донецк: УкрНИМИ, 1998. — 154 с.

4. СОУ 10.1.05411357.010:2008. Система обеспечения надежного и безопасного функционирования горных выработок с анкерным креплением. Общие технические требования. — 89 с.
5. Бурчаков Ю. И., Гнедин В. Е., Денисов В. М. Строительная механика : Учебн. пособие для студентов вузов. — М. : Высшая школа, 1983. — 255 с.
6. Корнилков М. В. Влияние параметров управляющих силовых воздействий на несущую способность рамных крепей горных выработок. // Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения) : Доклады международной конференции. Т. 3. — Екатеринбург : УрО РАН, 1998. — С. 189—192.
7. Черев Д. А. Выбор параметров рамно-анкерной крепи на основе исследования закономерностей изменения внутренних усилий : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.22 / Черев Дмитрий Алексеевич. — Екатеринбург, 2004. — 18 с.
8. Новиков А. О. Исследования влияния усиления рамной крепи анкерами на процесс формирования вокруг выработки зоны разрушенных пород / А. О. Новиков, И. Н. Шестопапов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Гірничо-геологічна» / Редкол. : Башков Є. О. (голова) та інші. — Випуск 16(206). — Донецьк. ДВНЗ «ДонНТУ», 2012. — С. 173—179.
9. Бокий Б. В. Промышленная проверка эффективности рамно-анкерного крепления горных выработок / Б. В. Бокий, А. А. Цикра, Ю. С. Опрышко // Геотехническая механика. — Днепропетровск : ИГТМ НАНУ, 2005. — Вып. 57. — С. 60—66.