

УДК 622.016.222:622.838

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СОПРЯЖЕНИЙ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

Колдунов И.А.

(УкрНИИМИ НАНУ г. Донецк, Украина)

Виконаний аналіз впливу основних чинників на стан сполучень і одержані залежності можуть служити для прогнозу оцінки стану сполучень стволів з приствольними виробками за весь термін їх служби.

Analysis of the effect of major contributors on conditions of connections and dependences obtained can serve for prediction of assessment of conditions of shaft connections with pit bottom roadways for the whole period of their lifetime.

В настоящее время достаточно острой является проблема обеспечения эксплуатационной сохранности крепи сопряжений стволов с примыкающими выработками. Об этом свидетельствуют систематические обследования вертикальных шахтных стволов на территории Донбасса и последние исследования по изучению напряженно-деформированного состояния околоствольного массива и крепи шахтных стволов [1-7].

Ранее были выявлены основные причины повреждений крепи и даны общие прогнозные оценки сопряжений [5]. В то же время полученные зависимости не в полной мере пригодны для практических нужд, поскольку они не учитывают целый ряд специфических факторов, которые существенным образом влияют на состояние крепи сопряжений, а именно: характеристика крепи, влияние околоствольных выработок, слоистой структуры окружающих горных пород и т.д.

Настоящая работа посвящена разработке уточнённой оценки сопряжений шахтных стволов с учетом указанных факторов.

Состояние сопряжений было выражено в балльной оценке [1] от 1 (удовлетворительное) до 3 (аварийное) с шагом 0,5 балла.

Влияющие факторы на состояние крепи сопряжений оценивались.

При оценке горно-геологических условий расположения сопряжений использовался геомеханический показатель напряженного состояния массива $\gamma H/R_{cp}$, где γ – удельный вес пород; H – глубина; R_{cp} – средневзвешенная прочность пород на сжатие определяемая по формуле

$$R_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{c_i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (1)$$

где R_{c_i} – прочность пород на сжатие i -го слоя в районе сопряжения;

m – мощность i -го слоя пород в районе сопряжения.

Влияние очистных работ было определено коэффициентом K_o , вычисляемым по формуле [1]

$$K_o = \sum \Pi_j \sum_{k=1}^4 \operatorname{tg}(\chi_k^{(j)} - 60^\circ), \chi \geq 60^\circ, \quad (2)$$

где $\chi_k^{(j)}$ – угол оконтуривания предохранительного целика с k -ой стороны (k - число сторон оконтуривания) по j -ому пласту;

Π_j – показатель влияния j -ого пласта на сопряжение, определяется по формуле

$$\Pi_j = 1 - \frac{|H_j - H_c|}{0,3H_j} \geq 0, \quad (3)$$

где H_j и H_c – глубина залегания j -го пласта и сопряжения.

Влияние выработок околоствольного двора учитывалось коэффициентом K_e , определяемым по формуле

$$K_e = \frac{S_e}{S_{50}}, \quad (4)$$

где S_e – площадь околоствольных выработок в радиусе 50 м;
 S_{50} – площадь зоны в плане вокруг ствола в радиусе 50 м.

Влияние литологической структуры оценивалось показателем K_c , определяемым по формуле

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^n |Rc_{i+1} - Rc_i|}{R_{cp}}, \quad (5)$$

где Rc_i – прочность пород на сжатие (в массиве) i -го слоя.

Анализ влияния перечисленных факторов на состояние крепи сопряжений стволов осуществлялся методом многофакторного корреляционно-регрессионного анализа по зонам (рис. 1) [7].

Проверка различных видов формул множественной регрессии, соответствующих физическому смыслу задачи, позволили установить общий вид уравнения, с максимальными корреляционными отношениями

$$Y = a_0 \left(1 + \frac{\gamma H}{R_c}\right)^{a_1} e^{a_2 K_0} e^{a_3 K_e} (1 + K_c)^{a_4}, \quad (7)$$

где a_i – параметры уравнения регрессии;

Y – результирующий признак, оценка состояние крепи сопряжений.

Результаты многофакторного анализа приведены в таблице 1.

Пояснения к таблице: η - корреляционное отношение полученной зависимости; σ - средняя квадратическая ошибка; t - коэффициент достоверности (при $t \geq 3$ можно утверждать о тесноте связи между признаками); n - число анализируемых случаев; r - частные коэффициенты корреляции третьего порядка между результирующим признаком (оценкой состояния) Y и влияющими факторами $\gamma H/R_c$, K_0 , K_e , K_c (правильно читать -

$r(Y, \gamma H/R_c)$, $r(Y, K_o)$, $r(Y, K_e)$, $r(Y, K_c)$; * - исключение из выборки
недостовверных случаев.

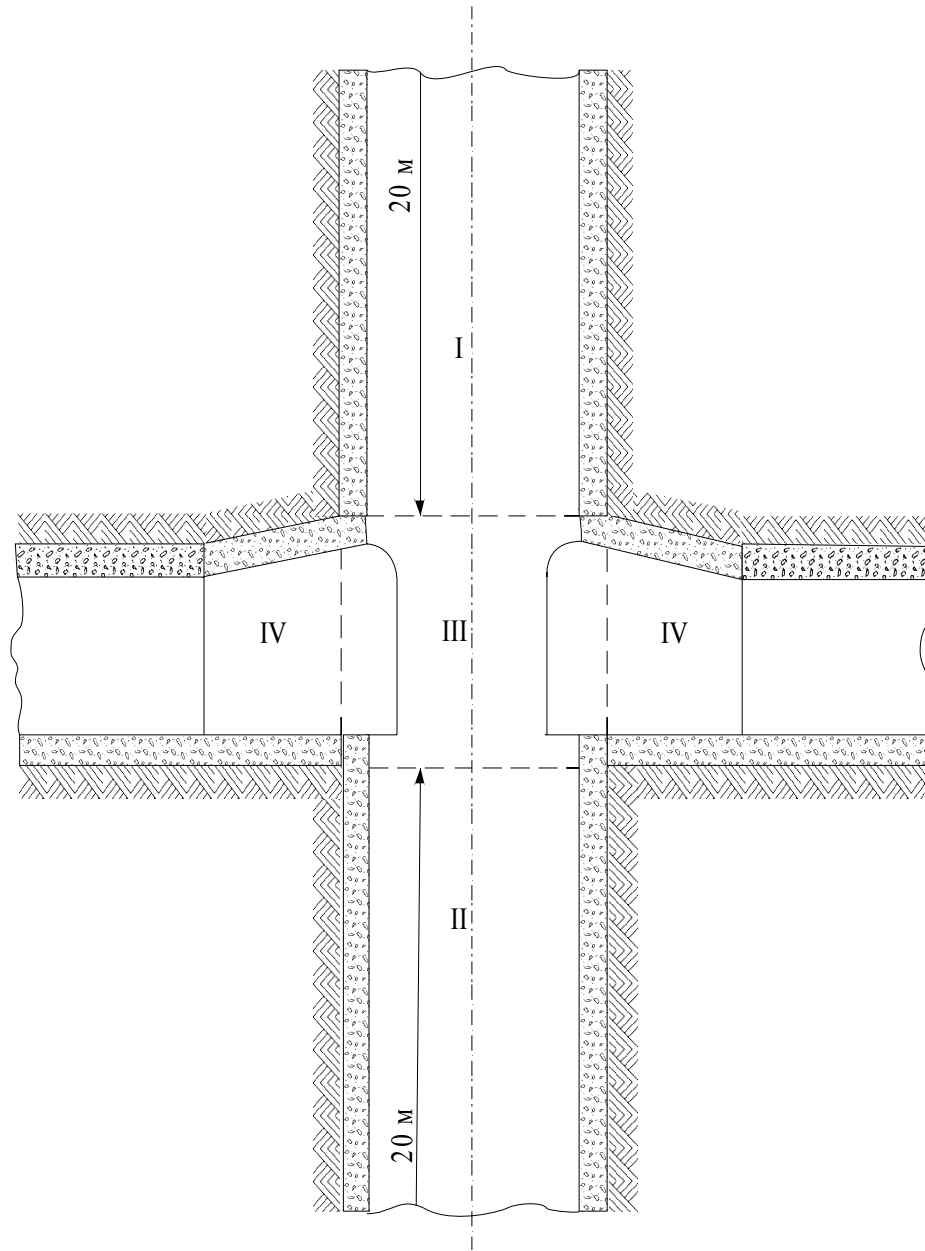


Рис. 1. Расположение зон сопряжения ствола с выработками

Таблица 1

Результаты многофакторного анализа

Зоны	Параметры уравнений регрессии					Статистики уравнений				Частные коэффициенты корреляции r , для			
	№	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	η	σ	t	n	$\gamma H/R_c$	K_o	K_e
БЕТОННАЯ КРЕПЬ													
I	0,56	2,31	0,51	-1,25	0,07	0,64	0,47	8,6	63	0,44	0,40	-0,29	0,03
II	0,67	1,61	0,65	-1,24	0,07	0,61	0,50	7,6	60	0,51	0,41	-0,19	0,01
"СМЕШАННАЯ" БЕТОННАЯ КРЕПЬ (с участками других крепей)													
I+II	0,56	1,85	0,71	-0,96	0,08	0,73	0,44	20,2	171	0,49	0,56	-0,17	0,01
III*	0,81	0,41	0,60	0,001	-0,01	0,56	0,39	7,1	74	0,13	0,53	-0,01	0,04
III	0,70	0,71	0,70	-0,34	0,02	0,71	0,34	12,7	78	0,18	0,61	-0,06	0,08
БЕТОННАЯ КРЕПЬ ОДНОСТОРОННИХ СОПРЯЖЕНИЙ (без камер)													
I+II	0,52	1,30	1,16	-0,85	0,21	0,86	0,32	18,7	34	0,59	0,73	-0,35	0,31
I	0,48	1,52	0,96	-0,31	0,20	0,84	0,29	13,1	21	0,35	0,65	-0,27	0,2
II	0,49	1,65	0,84	-0,42	0,02	0,89	0,25	22,3	30	0,75	0,76	-0,33	0,12
III	0,75	0,74	0,66	-0,39	0,19	0,71	0,34	8,7	39	0,35	0,67	-0,14	0,13
ЖЕЛЕЗОБЕТОННАЯ КРЕПЬ													
I+II	0,73	1,23	0,62	-1,27	0,23	0,85	0,36	22,4	57	0,36	0,54	-0,27	0,28
I+II	1,27	0,42	0,60	-1,82	0,04	0,91	0,31	43,8	68	0,22	0,73	-0,44	0,02
I	1,19	0,56	0,40	-1,63	0,21	0,79	0,43	10,7	26	0,14	0,39	-0,38	0,34
II	1,31	0,49	0,50	-1,91	0,09	0,83	0,39	15,2	32	0,24	0,53	-0,4	0,01
III	1,28	0,31	0,67	-1,78	0,10	0,81	0,44	14,8	42	0,21	0,59	-0,35	0,1
БЕТОНИТОВАЯ КРЕПЬ													
I+II	1,01	1,86	0,11	-2,32	0,35	0,76	0,48	12,1	45	0,53	0,08	-0,39	0,5
I	0,93	2,16	0,16	-1,88	0,26	0,81	0,44	10,6	22	0,49	0,07	-0,22	0,29
II	1,00	0,56	0,18	-1,96	0,66	0,90	0,32	19,4	18	0,34	0,15	-0,51	0,73
III	1,03	2,32	0,50	-0,45	0,14	0,73	0,35	5,8	15	0,6	-0,3	-0,13	0,22
СМЕШАННАЯ БЕТОНИТОВАЯ И КИРПИЧНАЯ КРЕПЬ													
I+II	0,57	1,46	0,71	-0,35	0,22	0,79	0,39	20,3	96	0,34	0,58	0	0,34
III	0,63	1,43	0,54	-0,40	0,23	0,64	0,49	6,3	35	0,36	0,41	0,08	0,17
КИРПИЧНАЯ КРЕПЬ													
I+II	0,59	1,59	0,69	-0,05	0,04	0,84	0,20	16,0	33	0,49	0,44	0,01	0,06
I	0,77	1,05	0,66	-1,06	0,25	0,84	0,31	16,2	33	0,09	0,69	-0,19	0,37
II	0,63	0,79	0,77	0,15	0,04	0,71	0,34	8,0	33	0,17	0,58	0,09	0,07
III	0,65	1,30	0,55	-0,07	0,02	0,75	0,35	7,5	20	0,3	0,5	0,06	0,12

Анализ полученных уравнений регрессии и их оценок показывает:

Для сопряжений с бетонной крепью

1) Характерны высокие частные коэффициенты корреляции $r(Y, \gamma H/R_c)$ для I и II зоны, которые подчеркивают значительное влияние геомеханического показателя $\gamma H/R_c$ на их состояние (рис. 2).

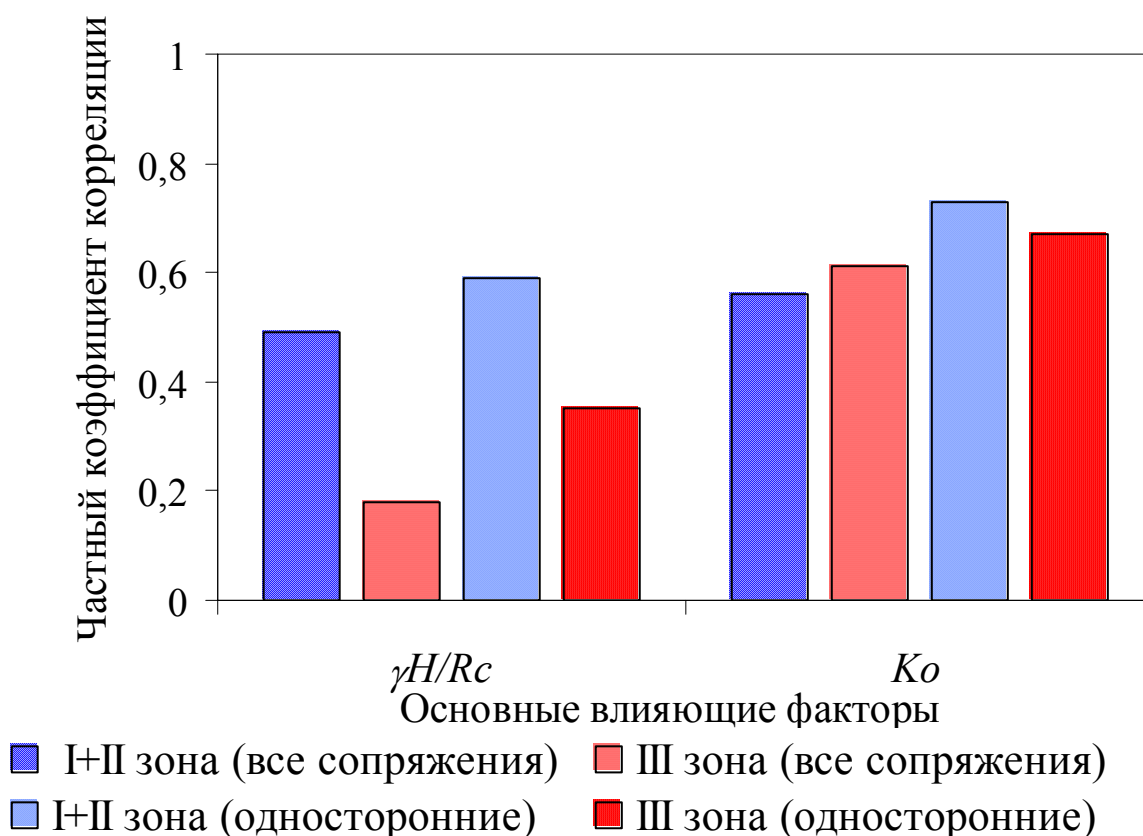


Рис. 2. Сравнительная оценка влияния $\gamma H/R_c$ и K_o на состояние сопряжений с бетонной крепью

Для III зоны частный коэффициент корреляции геомеханического показателя мало значим. Отметим, что в односторонних сопряжениях влияние показателя больше.

Разница влияния объясняется неодинаковым перераспределением горного давления в различных зонах и типах сопряжений.

2) Влияние очистных работ, выраженное K_o , является самым весомым фактором во всех зонах бетонных сопряжений

($r(Y, K_o)=0,4-0,76$), однако различие влияния по видам сопряжений и зонам не значимо.

3) Воздействие выработок околоствольного двора K_e и структурного коэффициента K_c во всех зонах -минимально и выражено в основном в односторонних сопряжениях (рис. 3).

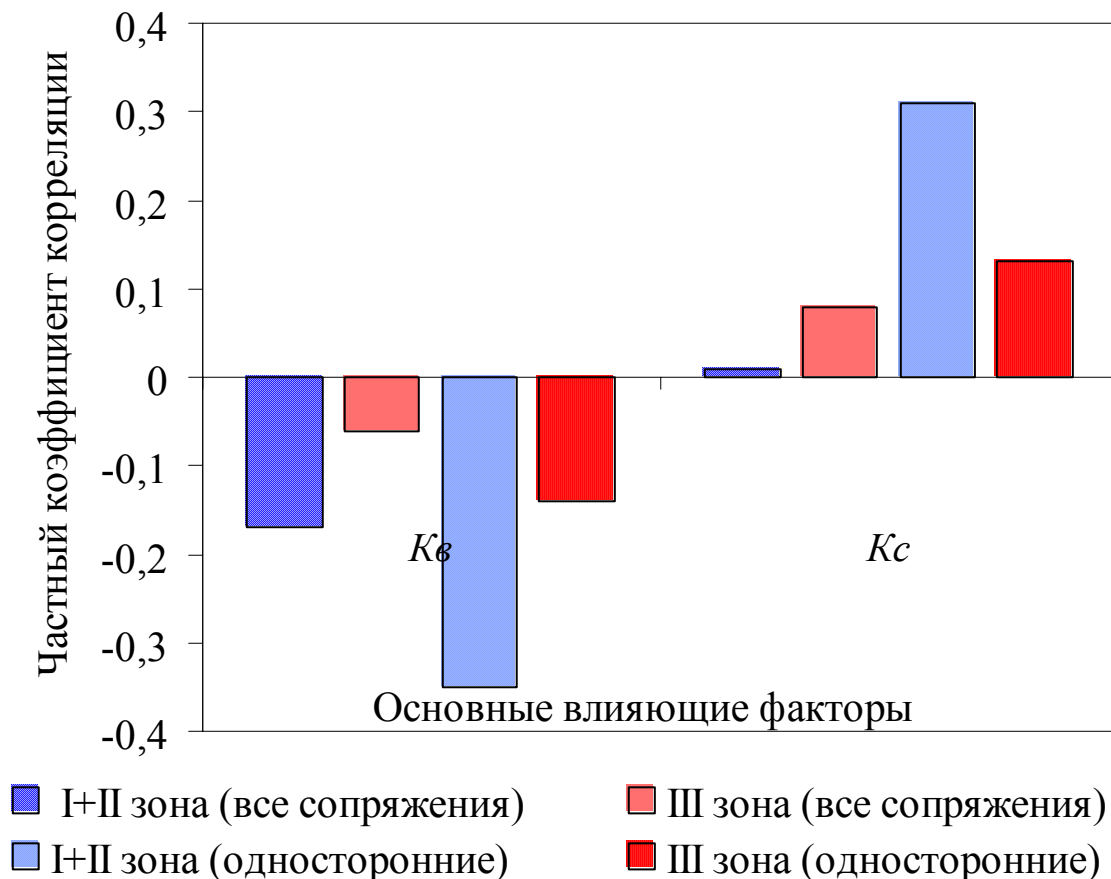


Рис. 3. Сравнительная оценка влияния K_e и K_c на состояние сопряжений с бетонной крепью

Для сопряжений с железобетонной крепью

1) Прослеживается значимое влияние геомеханического фактора $\gamma H/R_c$ на состояние железобетонных участков, которое несколько ниже, чем на бетонных (рис. 4), но, тем не менее, является достаточно весомым во всех зонах ($r(Y, \gamma H/R_c)=0,14-0,36$).

2) Наблюдается ярко выраженное воздействие на состояние железобетона очистных работ (K_o) см. рис. 4, которое является

самым весомым фактором во всех зонах, так же как и на бетон ($r(Y, K_o) = 0,39-0,73$).

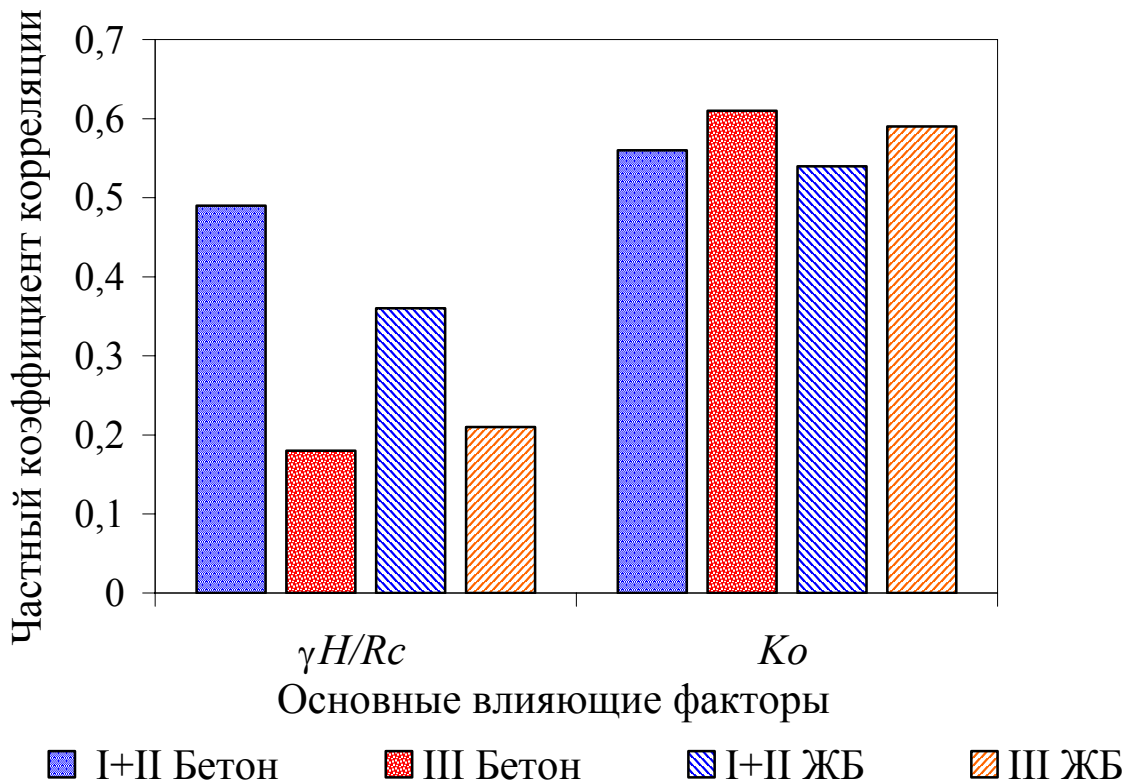


Рис. 4. Сравнительная оценка влияния $\gamma H/R_c$ и K_o на состояние сопряжений с бетонной и железобетонной крепью

3) Заметно влияние на состояние железобетонных районов выработок околоствольного двора, выраженное коэффициентом K_g (рис. 5). Частный коэффициент $r(Y, K_g)$ значим и колеблется от минус 0,27 до минус 0,44.

4) Отметим малую значимость $r(Y, K_c)$ по отношению с другими анализируемыми статистиками, кстати, как и на бетоне (см. рис.5).

Для сопряжений, закрепленных бетонитовой крепью

Имеет место кардинальное изменение соотношения влияния рассматриваемых признаков по сравнению с жестким бетонным креплением, а именно: малозначимый частный коэффициент корреляции $r(Y, K_o)$, при довольно весомых $r(Y, \gamma H/R_c) = 0,34-0,6$; $r(Y, K_g) = (-0,13) - (-0,51)$ и $r(Y, K_c) = 0,22-0,73$ (рис. 6).

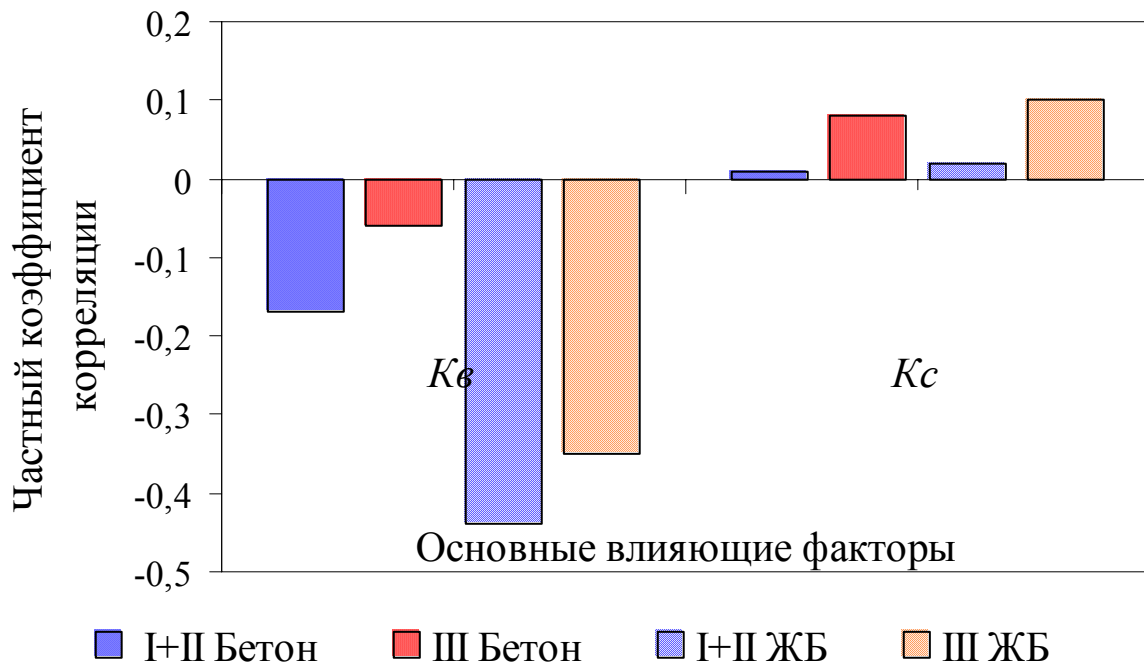


Рис. 5. Сравнительная оценка влияния K_e и K_c на состояние сопряжений с бетонной и железобетонной крепью

Полученный результат свидетельствует о высокой адаптивности бетонитовой крепи к региональному изменению напряженного состояния массива обусловленному влиянием очистных выработок, оконтуривающих предохранительные целики при значительной чувствительности данного вида крепления к локальным факторам.

Это обстоятельство можно объяснить структурой бетонитовой крепи, представляющей собой сплошную оболочку из бетонитового камня, ограждающей породные стенки ствола, которая обладает существенно большей податливостью, чем бетон и железобетон.

Иными словами, являясь блочной структурой, бетонитовая крепь чутко реагирует на локальные деформации вмещающего массива, обусловленные его слоистостью и, в то же время, обладая большими, чем сплошная крепь деформационными способностями, менее подвержена влиянию очистных работ.

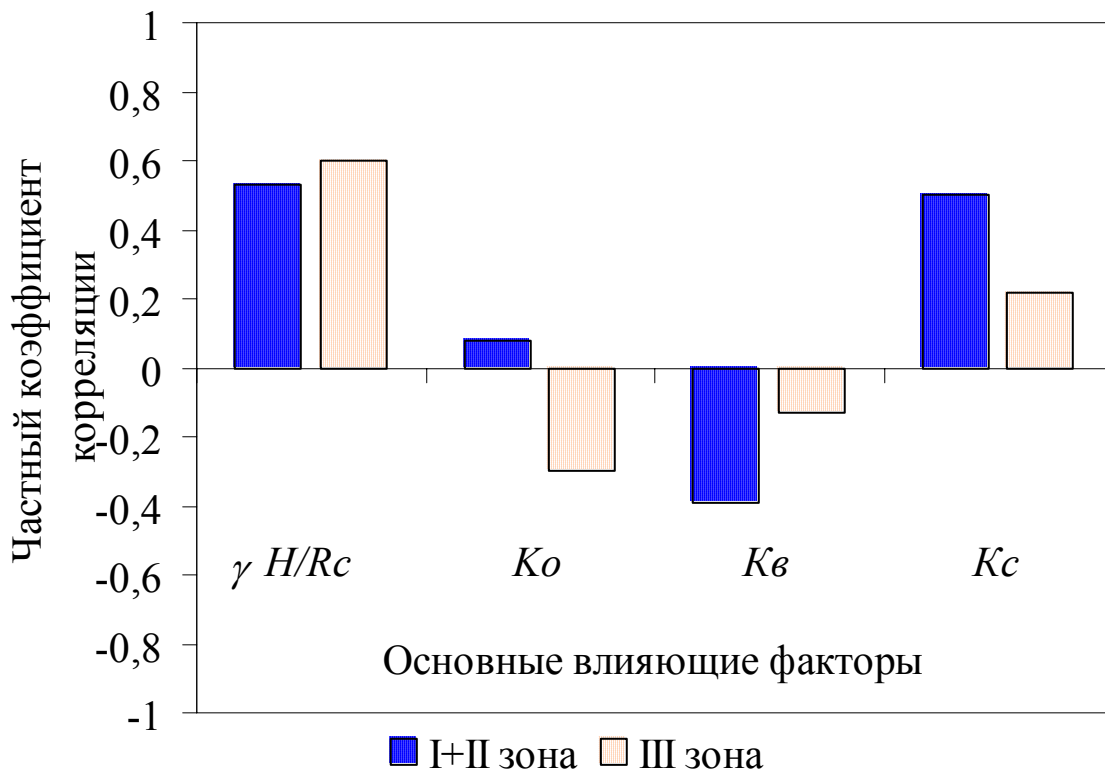


Рис. 6. Сравнительная оценка влияния $\gamma H/R_c$, K_o , K_e и K_c на состояние сопряжений с бетонитовой крепью

Для сопряжений с бетонитово-кирпичной и кирпичной крепью

Как при бетонном и железобетонном креплении прослеживается высокое влияние очистных работ K_o ($r(Y, K_o) = 0,44-0,69$) и геомеханического показателя $\gamma H/R_c$ ($r(Y, \gamma H/R_c) = 0,34-0,49$). Значимое влияние во многих зонах структурного коэффициента K_c ($r(Y, K_c) = 0,06-0,37$) и практически полное отсутствие влияния выработок околоствольного двора K_e (рис. 7).

Отсюда можно сделать вывод, что кирпичная крепь обладает иными деформационными свойствами, чем бетонитовая из-за уменьшения контактов между элементами крепи. В то же время на практике зачастую участки с бетонитовой крепью чередуются с районами, закрепленными кирпичной крепью. Проведенный выше анализ показал совершенно противоположное воздействие влияющих факторов на состояние этих типов крепей. В большинстве случаев это и послужило одной из причин нарушения таких стволов.

Как видно из представленного анализа, значимые коэффициенты корреляции в установленных уравнениях регрессии, показывают, что состояние сопряжений стволів с околоствольными выработками необходимо рассматривать дифференцированно, в зависимости от вида применяемой на участках сопряжений крепи.

Значимую, но меньшую относительно других крепей, корреляцию уравнений регрессии для бетонной крепи ($\eta=0,56-0,73$) можно объяснить тем, что в выполненном анализе невозможно было учесть такой фактор, как реальное качество крепи, которое зачастую бывает ниже проектного. Этот признак существенно может влиять на несущую способность, а, значит, и на состояние крепи сопряжений.

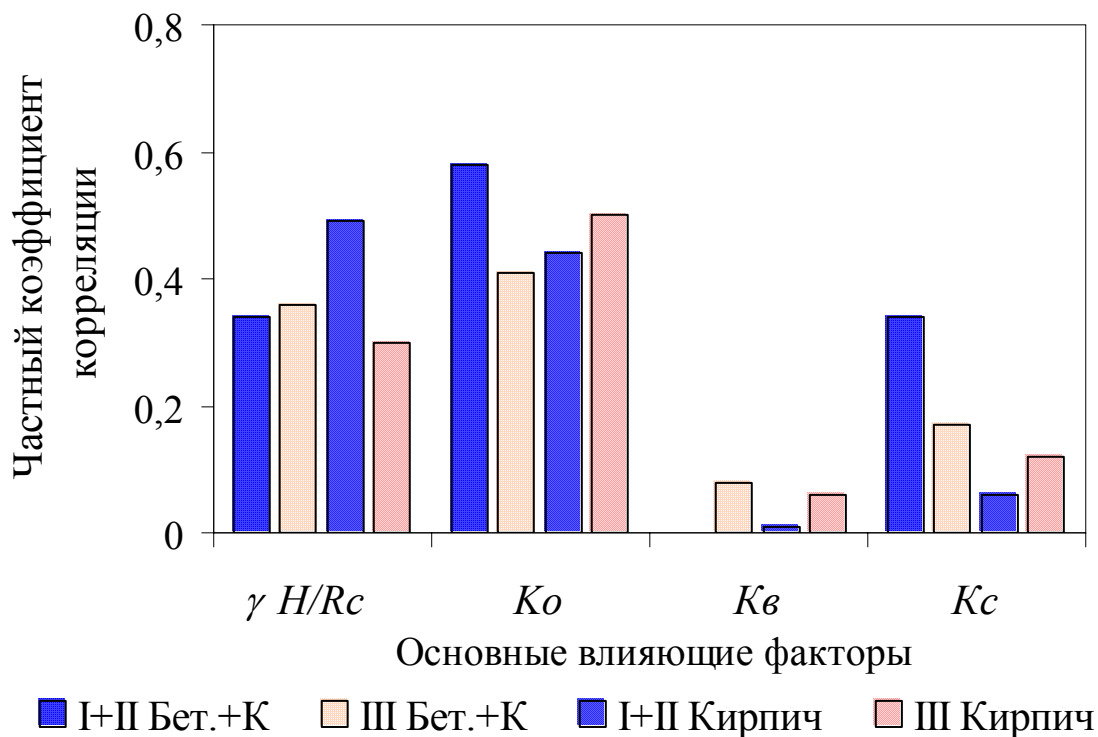


Рис. 7. Сравнительная оценка влияния $\gamma H/R_c$, K_o , K_b и K_c на состояние сопряжений с бетонитово-кирпичной (Бет.+К) и кирпичной крепью

В то же время более высокая корреляция других видов крепей ($\eta=0,7-0,9$) объясняется точностью выбора влияющих факторов (материал изготовления железобетона, бетонита и

кирпича в основном стандартны и проектный мало отличается от фактического).

Частные коэффициенты корреляции в полученных уравнениях регрессии наиболее высокие, а соответственно и степень влияния на состояние сопряжений у показателей $\gamma H/R_c$ и K_o (рис. 8). Таким образом, устойчивость сопряжений с околоствольными выработками в основном определяется напряженным состоянием околоствольного массива. Первый показатель характеризует естественное состояние горного массива в районах сопряжений с учетом глубины их расположения, второй – дополнительное повышение напряжений вследствие влияния очистных выработок. Необходимо отметить, что показатель K_o несколько преобладает т. е. является более значимым для определения состояния сопряжения.

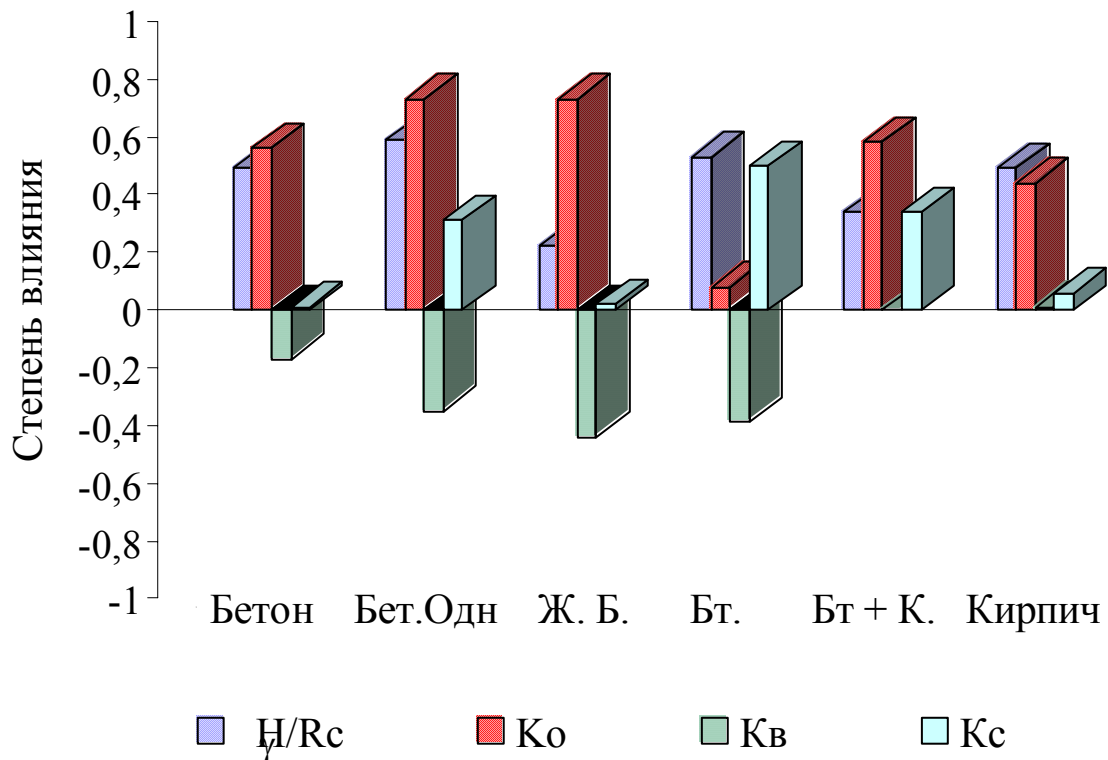


Рис. 8. Оценка влияния факторов на состояние I и II зоны сопряжения в зависимости от типа крепи

Тем не менее если показатель $\gamma H/R_c$ значим почти во всех случаях, то влияние K_o для участков сопряжений закрепленных

бетонитовой крепью близко к нулю. Это свидетельствует о том, что бетонитовая крепь, обладая лучшими деформационными характеристиками, менее чувствительна к влиянию очистных работ проводимых у границ предохранительного целика.

Влияние изрезанности массива околоствольными выработками (показатель K_e) имеет в основном отрицательное значение частного коэффициента корреляции. Иными словами высокая плотность уже пройденных горизонтальных горных выработок в районе сопряжения оказывается благоприятным фактором, повышающим степень устойчивости сопряжения. Подчеркнем, что в данном случае не анализировался вопрос влияния сбойки, которая, безусловно, ухудшает устойчивость массива и крепи в момент проведения выработки.

Это можно объяснить тем, что анализируемый массив, изрезанный уже пройденными выработками околоствольного двора, воспринимая повышенные смещения, возникающие при оконтуривании предохранительного целика очистными работами, выступает как бы своеобразным "экраном" районов сопряжений от повышенных напряжений.

Показатель K_c , характеризующий структурные особенности вмещающего массива в районах сопряжений, оказался наиболее значим во всех зонах сопряжений, закрепленных бетонитовой крепью. При других видах крепи он проявил себя только в отдельных зонах и не так значимо.

ВЫВОДЫ

Таким образом, эксплуатационная способность сопряжений стволов с выработками может быть достигнута, главным образом, сохранением устойчивости околоствольного массива пород в районах сопряжений, определяемая его напряженно-деформируемым состоянием, характеризуемая геомеханическими показателями $\gamma H/R_c$ (естественное) и K_o (под влиянием очистных работ), которые наиболее высокие. Следовательно, управлять НДС, а соответственно и состоянием сопряжений с околоствольными выработками, с обеспечением при этом

оптимального взаємодіяння крепи с оточуючими породами необхідно:

– зниженням напруженого стану околовольного масива (раціональне розположення очистних виработок відносно ствола; розгрузка вузлов сопряжений от підвишених напружень – розгрузочні щели т. д.);

– зміненом свойств околовольного масива пород (розличні способи упрочнення пород);

– примененом крепи с прочностними и деформационними характеристиками, соответствующими напруженому стану пород на участках сопряжений;

– примененом конструктивных мер защиты от підвишених вертикальных и радиальных смещений пород.

Конкретний вид заходів и их параметри для защиты сопряжений стволов с околовольними виработками при их проектуванні и експлуатації определяют в зависимости от оценок стану сопряжений по уравнениям (таблицы), исходя из степени воздействия каждого влияющего признака, а также расчетов параметров крепи, согласно [1].

Полученные зависимости, имеющие весьма значимые статистические связи, и выполненные оценки влияния приведенных факторов на стану сопряжений могут служить для прогноза стану сопряжений стволов с околовольными виработками за весь срок их службы, как при проектуванні сопряжений - для определения их оптимальных параметров (расположение в массиве, тип и параметры крепи); так и при эксплуатации – для корректировки способов и средств охраны и поддержания (планирование расстояний от очистных и околовольных виработок, упрочнение пород, усиление крепи и т.д.).

СПИСОК ССЫЛОК

1. КД 12.01.01.201–98. Расположение, охрана и поддержание горных виработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания /УкрНИМИ Минуглепрома

- Украины, утв. 26.06.98. – Донецк, 1998. – 149 с.
2. Методические указания по выбору рациональных форм сопряжений вертикальных стволов с околоствольными выработками и расчету параметров их крепи на больших глубинах /Л.: Печ. цех ВНИМИ, 1990. – 72 с.
 3. Дрибан В.А. О напряженно-деформированном состоянии массива горных пород // Проблемы гірського тиску. – 1999. - №2. - С. 89 – 103.
 4. Дрибан В.А. Общие закономерности формирования напряженно-деформированного состояния массива // Проблемы гірського тиску. – 2003. - № 10. – С. 198 – 210.
 5. Охрана и поддержание глубоких вертикальных стволов в Донбассе / Кулешов В.М., Южанин И.А., Кулибаба С.Б., Дрибан В.А. – М.: ЦНИЭИуголь, 1987. - Вып. 4. - 32 с.
 6. Козел А.М., Борисовец В.А., Репко А.А. Горное давление и способы поддержания вертикальных стволов. – М.: Недра, 1976.-293 с.
 7. Указания по определению параметров и конструкций крепи вертикальных шахтных стволов и приствольных камер на больших глубинах в горногеологических условиях Центрального и Стаханово-Первомайского районов Донбасса /Л.: Печ. цех ВНИМИ, 1981. – 72 с.