

УДК 622.023.42

Асс. ГАВРИШ А.К. (НГУ, Днепропетровск), канд.техн.наук БОРЩЕВСКИЙ С.В.,
канд.техн.наук ФОРМОС В.Ф. (ДонНТУ)

СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КАМЕРНЫХ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЕНСАЦИОННЫХ ПОЛОСТЕЙ

Безопасное и эффективное функционирование камерных систем разработки в значительной мере зависит от научно-обоснованного выбора параметров основных несущих элементов — междукамерных целиков (МКЦ) и потолочин, а также размеров добычных выработок. Этот вопрос ставится особенно остро, когда речь идет об обеспечении длительной устойчивости выработанного пространства в виду его дальнейшего использования в народнохозяйственных целях. Подобная ситуация имеет место при подземной добыче пильных известняков в Крыму.

До начала 90-х годов добыча естественного строительного камня в Крыму велась преимущественно открытым способом. Однако в настоящее время наложен запрет на создание новых технологических отводов под карьеры. Переход на подземную добычу пильных известняков Крыма стал наиболее рациональным решением, направленным на сохранение природных ландшафтов и экологического равновесия в этом уникальном регионе. К тому же, выработанное пространство в массиве плотных практически не трещиноватых известняков на небольшой глубине представляет собой прекрасную среду для размещения народнохозяйственных объектов различного назначения.

Решению вопроса обоснования рациональных параметров МКЦ и потолочин, а также размеров камер, обеспечивающих, с одной стороны, безопасное и эффективное ведение добычных работ, а также устойчивости выработанного пространства в течение длительного времени, с другой — минимальные потери полезного ископаемого в недрах посвящены работы некоторых исследователей [1–3 и др.]. Однако предлагаемые в них рекомендации сводятся к обобщающим зависимостям, применимым в узком диапазоне горно-геологических условий. К тому же остается без должного внимания большое количество влияющих на устойчивость породного массива факторов.

В общем виде, все методики расчета устойчивости основных несущих элементов камерных систем разработки, как правило, сводятся к решению двух взаимозависимых задач, а именно: определению действующих в МКЦ и потолочине напряжений или нагрузок (P) и сравнению с соответствующими предельными значениями (N_{np}) посредством коэффициента запаса прочности (Z):

$$Z = \frac{N_{np}}{P} . \quad (1)$$

Наиболее адекватные результаты при определении нагрузки на МКЦ в условиях подземной разработки пильных известняков Крыма дает подход, предложенный Л.Я. Парчевским и получивший развитие в совместных работах с А.Н. Шашенко. При этом используется аналитическое решение для выработки кругового очертания. Влияние соседних выработок учитывается с помощью принципа суперпозиции, впервые примененного П.М. Цимбаревичем. Отличие формы камер

от круглой учитывается путем введения коэффициента концентрации напряжений k . Таким образом, с достаточной для практических целей точностью нагрузка на целик определяется следующим выражением:

$$P = k \cdot \gamma \cdot H \cdot b_u \cdot \frac{1 + 4 \cdot m + 2 \cdot m^2}{2 \cdot m(1 + m)}, \quad (2)$$

где b_u — ширина целика, $m = \frac{b_u}{b_k}$, b_k — ширина камеры.

С учетом особенностей систем подземной разработки пыльных известняков Крыма автором работы [3] предложена формула для определения коэффициента концентрации напряжений k в следующем виде:

$$k = 1 + 0.1 \left| \ln \frac{b_k}{h} \right|, \quad (3)$$

где h — высота камеры (целика).

Анализ выражения (3) показывает, что второе слагаемое представляет собой приращение к нагрузкам, действующим на целик, от концентрации напряжений в окрестности выработок с поперечным сечением, отличным от круглого. Практический опыт показывает, что имеются пути снижения подобных концентраций напряжений в приконтурном массиве.

Технология добычи пыльного известняка такова, что на контуре очистных выработок камнерезным оборудованием оставляются пропилы некоторой глубины. Рядом исследователей было замечено, что эти пропилы благоприятно влияют на устойчивость вмещающего породного массива [4]. Очевидно, они играют роль компенсационных полостей, снижающих концентрации напряжений в окрестности выработок и, следовательно, повышающих их устойчивость. Изучение закономерностей перераспределения напряжений в массиве горных пород под действием компенсационных полостей и рационализация параметров последних позволит максимально увеличить этот эффект.

В настоящее время компенсационные полости применяются, в основном, для восприятия неупругих деформаций конура выработок в неустойчивых слабометаморфизированных породах [5 и др.]. Для повышения устойчивости массива устойчивых пород, вмещающем выработки, этот способ не используется. Однако, снижение концентраций напряжений в приконтурном массиве, вызванных неустойчивой формой поперечного сечения выработок, путем применения компенсационных полостей позволит обоснованно уменьшить значение коэффициента k в выражении (2) и, следовательно, снизить величину действующей на целик нагрузки P . Если величина запаса прочности Z в выражении (1) удовлетворяет условиям разработки и дальнейшей эксплуатации выработанного пространства, то возможно снижение несущей способности целиков N_{np} за счет уменьшения их размеров таким образом, чтобы значение Z не изменилось.

Таким образом, обоснование рациональных параметров компенсационных полостей в виде щелевых пропилов, обеспечивающих максимальную устойчивость основных несущих элементов камерных систем разработки при добыче пыльного известняка является актуальной задачей. Для решения этой задачи было проведено математическое моделирование с помощью программы Underground, реализующей методы граничных элементов. Результаты исследований прошли промышленное испытание.

В работе [6] для одиночной камеры в устойчивых породах показано, что компенсационные полости в виде щелевых пропилов необходимо располагать в наименее устойчивых зонах породного массива, а внутри создавать давление некоторой величины.

Для камерной системы разработки предварительно было выполнено исследование влияния количества соседствующих камер и их высоты, соответствующей мощности залежи, на устойчивость основных несущих элементов. При этом подтвердились результаты исследований других авторов о том, что на напряженно-деформированное состояние породного массива в окрестности камеры наибольшее влияние оказывают две соседние. Величина действующей нагрузки с изменением высоты камер во всем диапазоне значений, соответствующем горно-геологическим условиям Крыма изменяется в пределах 20%. Исходя из этого, была составлена расчетная схема, показанная на рис. 1. Влияние количества камер и их высоты, отличных от соответствующих параметров расчетной схемы, предлагается учитывать путем умножения величины действующей в основных несущих элементах нагрузки, полученной по расчетной схеме, на коэффициент $K_{h,n}$. Значение коэффициента $K_{h,n}$ приведено в табл. 1.

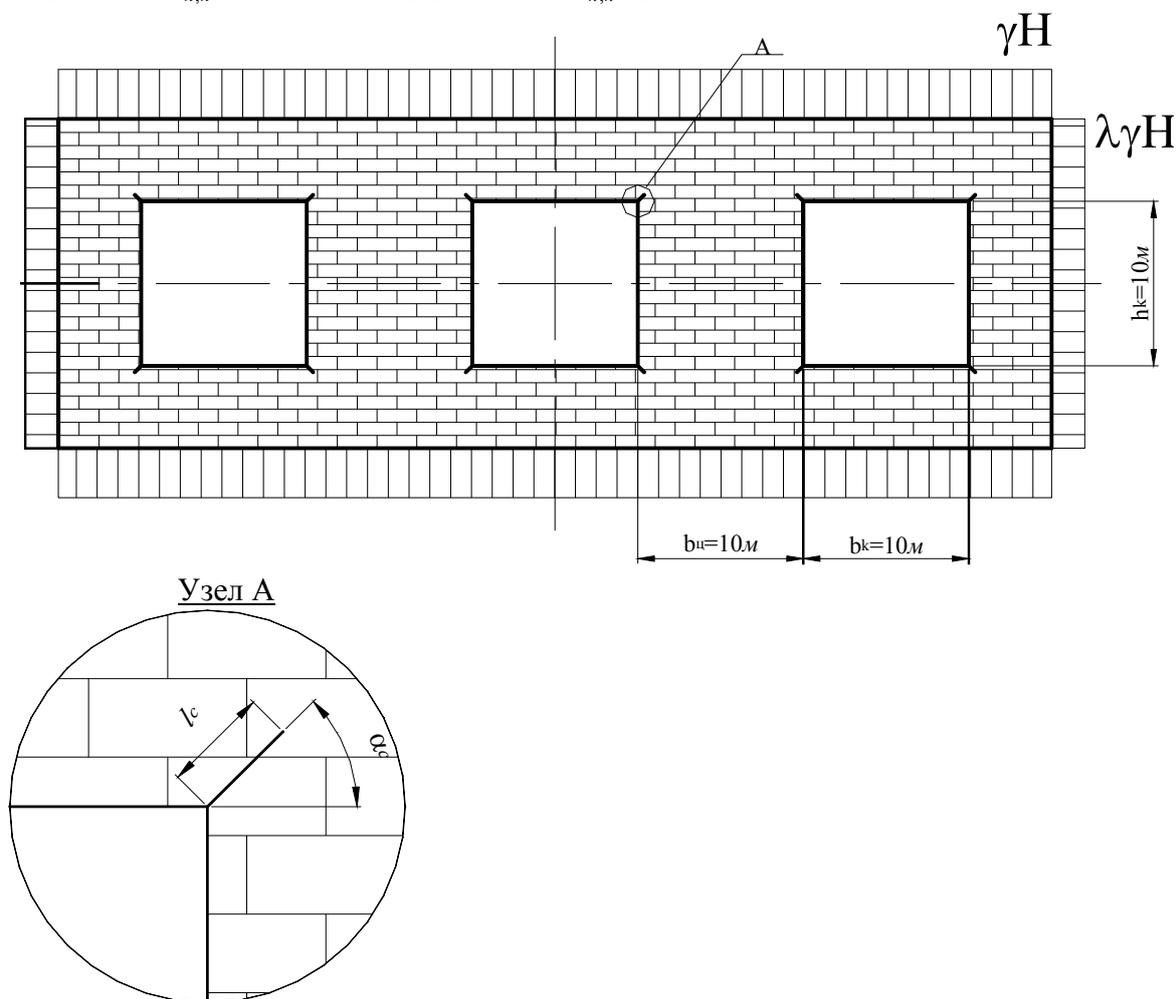


Рис. 1. Расчетная схема камерной системы разработки при исследовании влияния параметров компенсационных полостей на устойчивость подземных сооружений

Искомymi параметрами компенсационных полостей были: ориентация в пространстве (α_c), длина (l_c) и величина внутреннего давления (P_c). Оценка напряжен-

но-деформированного состояния вмещающего массива производилась по точечному критерию следующим образом.

Некоторая область породного массива в окрестности рассматриваемой системы разбивалась сеткой точек большой плотности, в каждой из которых определялись действующие напряжения, а на основе их — эквивалентное напряжение σ_e по формуле А.Н. Шашенко. Эквивалентное напряжение в каждой точке сравнивалось с пределом прочности известняка на одноосное сжатие R_c , уменьшенным на величину структурного ослабления K_c , а также на величину коэффициента, учитывающего длительную прочность известняков $K_d = 0.73$, следующим образом:

$$K = \frac{R_c \cdot K_c \cdot K_\sigma}{\sigma_e \cdot K_{h,n}} \quad (4)$$

Рекомендации по определению величины структурного ослабления массива для условий пильных известняков Крыма приведены в работе [3].

Таблица 1. Значения коэффициента $K_{h,n}$ в зависимости от высоты и количества камер

n \ h	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
3	1	0.949	0.982	1.015	1.046	1.075	1.104	1.131	1.156	1.181
5	1.033	0.981	1.015	1.048	1.081	1.111	1.14	1.168	1.195	1.221
7	1.045	0.992	1.027	1.061	1.093	1.124	1.154	1.182	1.209	1.235
9	1.052	0.998	1.033	1.067	1.1	1.131	1.161	1.189	1.216	1.242
11	1.054	1.001	1.036	1.07	1.103	1.134	1.164	1.192	1.219	1.245
13	1.056	1.003	1.037	1.071	1.104	1.136	1.165	1.194	1.22	1.247
>13	1.06	1.006	1.041	1.076	1.108	1.14	1.17	1.198	1.226	1.252

В точке с наименьшим значением коэффициента $K = K_{\min}$ устойчивость массива минимальна. В случае системы камер без компенсационных полостей это значение принималось за эталонное $K_{\min} = K_{\min}^e$. С ним сравнивались значения K_{\min}^i , полученные для систем камер с различными параметрами компенсационных полостей. Если выполнялось условие $K_{\min}^i > K_{\min}^e$ и количество точек, в которых наблюдалось неупругое деформирование массива ($K < 1$), не увеличивалось, это означало, что компенсационные полости с заданными параметрами повышали устойчивость вмещающего породного массива.

Исследования были проведены для различных физико-механических свойств вмещающих пород и горно-технических условий, соответствующих условиям подземной разработки пильных известняков Крыма. Было выявлено, что основное влияние на параметры компенсационных полостей оказывают вертикальная составляющая естественного поля напряжений $\sigma_{yy} = \gamma H$, коэффициент Пуассона μ и отношение предела прочности пород на растяжение R_p к пределу прочности пород на сжатие $\psi = \frac{R_p}{R_c}$.

Ориентация пропилов в пространстве (угол α_c) практически не зависит от параметров σ_{yy} , μ , ψ и может принимать любое значение из следующего диапазона:

Ориентация пропилов в пространстве (угол α_c) практически не зависит от параметров σ_{yy} , μ , ψ и может принимать любое значение из следующего диапазона:

$$25 \leq \alpha_c \leq 35. \quad (5)$$

Длина пропилов линейно зависит от параметра α_c и определяется следующей эмпирической зависимостью:

$$l_c = l_c^{cp} \pm 20\% = (3,12\psi - 0,14) \pm 20\%, \text{ (м)}. \quad (6)$$

Величина внутреннего давления в пропилах нелинейно зависит одновременно от трех параметров σ_{yy} , μ , ψ . Для определения средней величины давления в пропилах по результатам исследований построена номограмма, приведенная на рис. 2. Фактическое значение величины внутреннего давления может находиться в следующем диапазоне в зависимости от найденного по номограмме среднего значения:

$$P_c = P_c^{cp} \pm 8\%. \quad (7)$$

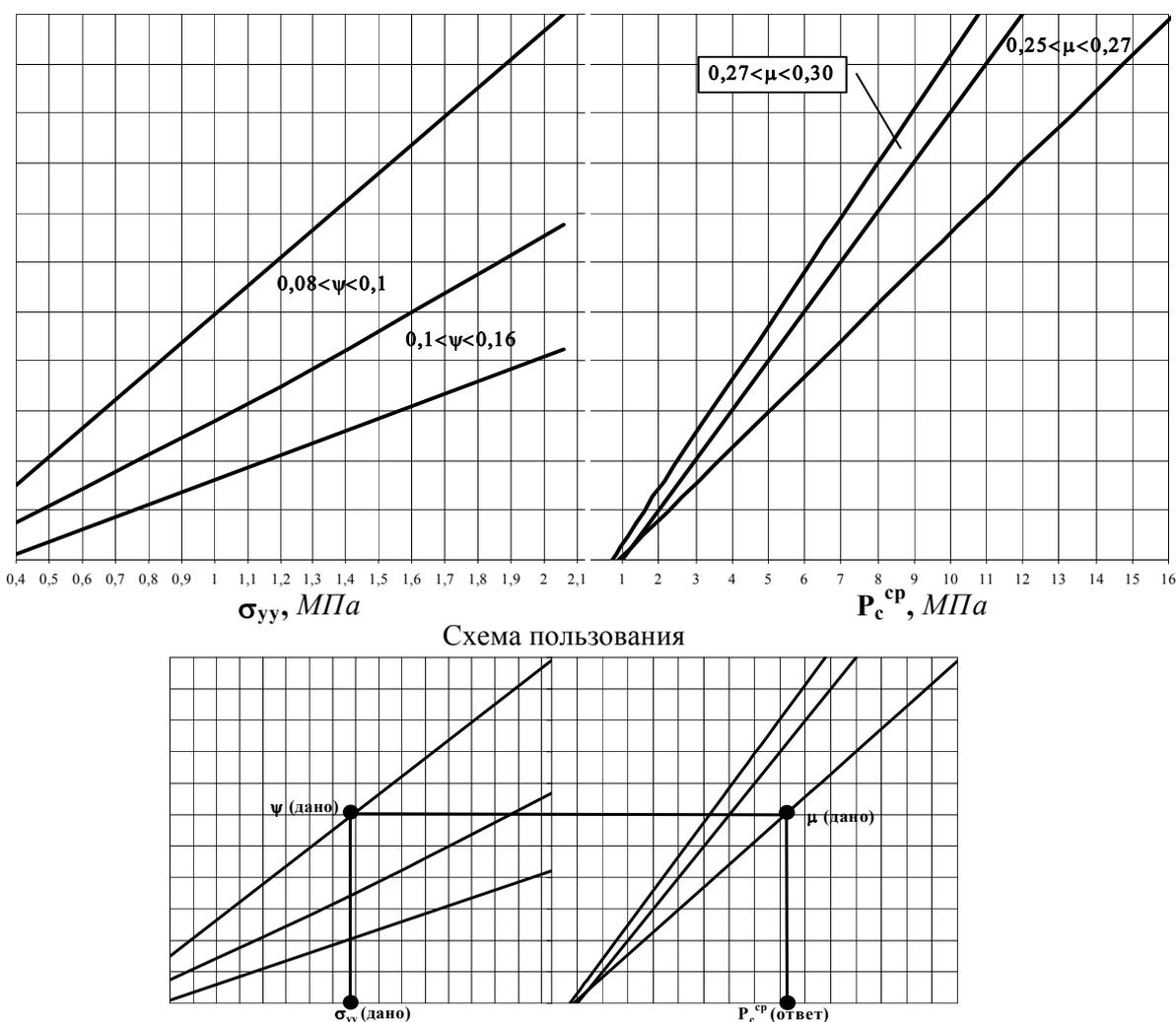


Рис. 2. Номограмма для определения средней величины внутреннего давления в пропилах P_c^{cp} в зависимости от вертикальной составляющей естественного поля напряжений σ_{yy} , коэффициента Пуассона μ и коэффициента ψ

Применение компенсационных полостей с приведенными выше параметрами позволяет добиться снижения концентраций напряжений во вмещающем породном массиве, величину которого удобно оценивать с помощью коэффициента относительного снижения концентраций напряжений:

$$\Delta K = \frac{K_{\min} - K_e}{K_e}. \quad (8)$$

Значение ΔK нелинейно зависит от коэффициента Пуассона μ и коэффициента ψ . Эта зависимость приведена на рис. 3.

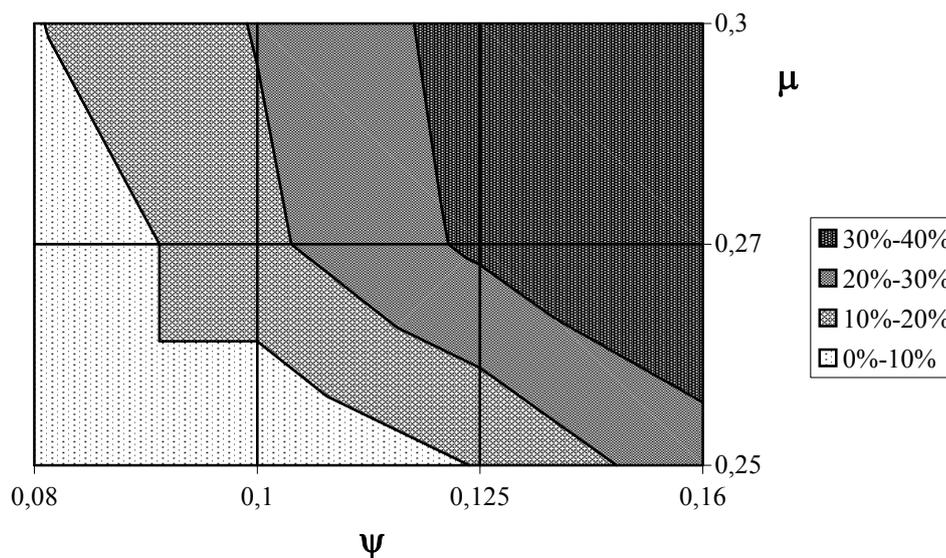


Рис. 3 Зависимость коэффициента ΔK от физико-механических свойств пильных известняков

С учетом ΔK можно скорректировать выражение (3) следующим образом:

$$k = 1 + 0.1 \cdot \left| \ln \frac{b_k}{h} \right| \cdot (1 - \Delta K). \quad (9)$$

Так как значение ΔK больше нуля, то значение k , полученное по формуле (9) будет всегда меньше значения, полученного по формуле (3). Соответственно уменьшится и величина действующей на целик нагрузки P . При неизменном значении коэффициента запаса прочности Z можно снизить величину несущей способности целика N_{np} за счет уменьшения его размеров и, следовательно, повысить коэффициент извлечения полезного ископаемого.

Компенсационные полости с рекомендуемыми параметрами были применены при проектировании и строительстве овощефруктохранилища «Беш-терек» (Крым) с попутной добычей пильного камня. За счет уменьшения ширины междукламерных целиков был повышен коэффициент извлечения на 12%. Экономический эффект составил 158 тыс. грн.

Таким образом, была решена актуальная задача обоснования параметров способа повышения устойчивости горных выработок, образованных при подземной добыче пильных известняков в Крыму, с целью их дальнейшего использования для размещения различных народнохозяйственных объектов.

Библиографический список

1. **Усатенко А. В.** Обоснование рациональных параметров камерной системы разработки при слоевой выемке пильных известняков. — Дис...канд. техн. наук. — Днепропетровск, 1989. — 161 с.
2. **Уланова Н. П.** Оптимизация параметров камерной системы разработки пильных известняков. — Дис...канд. техн. наук. — Днепропетровск, 1990. — 138 с.
3. **Глухов Н. Д.** Физико-технические основы освоения подземного пространства Крыма. — Дис. ... докт. техн. наук: 05.15.04. — Днепропетровск, 1996. — 353 с.
4. **Шашенко А.Н., Кухарев Е.В., Глухов Н.Д., Похилова О.Г.** Положительное решение от 31.01.92 по заявке № 4872098/035 (068432).2.
5. **Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Кужель С.В.** Напряженное состояние породного массива в окрестности камеры с компенсационными выработками // Науковий вісник НГА України, 1999. — №6. — С. 40–42.
6. **Гавриш А.К., Роечко А.Н.** Управление напряженно-деформированным состоянием породного массива в окрестности одиночной камеры большого поперечного сечения с помощью компенсационных полостей // Зб. наук. праць №8 «Проблеми гірського тиску». — Донецьк, 2002. — С. 40–52.

© Гавриш А.К., Борщевский С.В., Формос В.Ф., 2005

УДК 622.258

Докт.техн.наук ЛЕВИТ В.В, канд.техн.наук БОРЩЕВСКИЙ С.В., канд.техн.наук КАМЕНЕЦ В.И. (ДонНТУ)

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ СООРУЖЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ ШАХТ ДОНБАССА

Вертикальные стволы являются уникальными инженерными сооружениями по масштабу и сложности решаемых технических задач при строительстве и эксплуатации шахт. Поиск и разработка эффективных направлений сокращения продолжительности строительства вертикальных стволов и снижения расходов материально-технических ресурсов является актуальной научно-технической проблемой, имеющей особо важное народно-хозяйственное значение в связи с острой необходимостью реконструкции и развития угольной промышленности Украины.

Особенностью современного развития угольной промышленности Донецкого бассейна является необходимость строительства и реконструкции шахт производственной мощностью несколько миллионов тонн в год для разработки угольных пластов на больших глубинах, что повлечет за собой увеличение продолжительности строительства и сметной стоимости, усложнение горно-геологических условий.

Сооружение вертикальных стволов при строительстве и реконструкции шахт является наиболее продолжительным и трудоемким процессом. На выполнение этих работ приходится от 40 до 50% общего времени и до 30% сметной стоимости строительства шахты.

При этом затраты времени на сооружение клетевых и скиповых стволов, с которых начинается строительство по сравнению с воздухоподающими (фланговыми) соответственно выше на 24...27%.

Это подтверждает, что большим резервом сокращения продолжительности или реконструкции шахты является ускорение сооружения стволов, обеспечивающих развитие фронта горнопроходческих работ в целом.

Сокращение продолжительности сооружения вертикальных стволов может быть достигнуто благодаря ускоренному выполнению каждого этапа строительства