

УДК 622.28(06)

**И.М. Паланкоев**

## **ОБЗОР ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ПРОХОДКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ МЕТОДОМ БУРЕНИЯ И СПОСОБОВ ВОЗВЕДЕНИЯ КРЕПИ**

*Проанализированы два основных вида бурения стволов – на полное сечение и с расширением передовой скважины; рассмотрен мировой опыт проходки стволов способом бурения; рассматриваются основные способы возведения крепи в стволах, пройденных способом бурения.*

*Ключевые слова: бурение стволов, комбайн, буровые шарошки, монтажные нагрузки, секционный способ, способ погружения крепи на плаву.*

---

**П**ерспективным направлением совершенствования техники и технологии строительства шахт является сооружение вертикальных горных выработок способом бурения, который характеризуется комплексной механизацией работ по разрушению и транспорту породы.

Способы проходки стволов бурением можно разделить на две основные категории - это бурение на полное сечение ствола и проходка с расширением передовой скважины бурением.

Способ проходки с расширением передовой скважины бурением применим только при наличии по всему геологическому разрезу довольно крепких и устойчивых пород, а также предполагает наличие выработки под центром ствола на подготавливаемом горизонте с возможностью приема и транспортирования буровой мелочи, поступающей в ходе бурения. Из-за данного условия этот способ в основном применяется при реконструкции горных предприятий.

Проходка бурением на полное сечение не требует наличия под центром ствола уже пройденной выработки, поэтому этот способ может применяться при строительстве новых шахт.

В практике бурения стволов на полное сечение наиболее распространены два способа — бесштанговый (комбайновый) и штанговый (эрлифтовый, РТБ).

Комбайновая проходка стволов в отечественной практике применяется с начала 1960-х годов. Первые комбайны ПД-1 и ПД-2 имели двухдисковый планетарный исполнительный орган с резцовым породоразрушающим инструментом и предназначались для проходки стволов глубиной до 1000 м в породах  $c < 6$ .

С применением комбайнов типа ПД в начале 1960-х годов пройдено пять стволов общей протяженностью 2600 м. Скорость проходки достигала до 177,5 м/мес готового ствола (шахта "Самсоновская-Западная"). Производительность труда проходчиков до 13,23 м/смену (шахта им. 50-летия Октябрьской революции).

Полученный опыт проходки стволов комбайнами ПД позволил создать комбайновый комплекс СК-1у. В комбайне СК-1у по сравнению с ПД было увеличено предельное значение усилия подачи на забой с 800 до 1400 кН.

Отечественные комбайны СК-1 в сравнении с комбайнами на тот же

диаметр проходки фирмы "Вирт" имеют меньшую надежность привода, вдвое меньшую мощность и развивают значительно меньшее усилие подачи, рассчитанное на одновременную работу втрое меньшего числа шарошек.

Большая надежность комбайнов фирмы "Вирт" объясняется частично тем, что в них практически без изменений используются оборудование и дисковые шарошки от широко применяемых в Германии комбайнов бурового типа для горизонтальных выработок.

В Германии комбайновое бурение сплошным забоем было впервые осуществлено комбайном для бурения с передовой скважиной GSB 450/500, модифицированным для бурения на полное сечение. Слепой ствол диаметром 5,1 м и глубиной 204 м на шахте "Гнейзенау" бурили со скоростью до 3 м/сут; 60 м ствола прошли за 70 дней.

На шахте "Генрих Роберт" установкой VSB VI-580/750 пробурен слепой ствол на горизонт 1200 м глубиной 180 м, диаметром 5,8 м. Ствол крепили металлическими кольцами диаметром 5,4 м с шагом 0,6 м и металлической сеткой с подвесного полка вслед за бурением. На бурение 167 м ствола затрачено 65 из 106 дней; 13 дней длился монтаж полка, 28 дней — смена инструмента и ремонт оборудования. Средняя скорость составила 4,4 м/сут, максимальная - 7 м/сут.

Установка фирмы "Роббинс" применена в США на шахте "Оак Гров" для бурения ствола диаметром 7,4 м на глубину 345 м. Комбайном пройдено 197 м. Максимальная скорость проходки достигала 21,3 м/мес.

Способ бурения стволов роторными буровыми установками и РТБ применяют в геологических условиях, где нет угрозы потери промывочной жидкости. Характерной особенностью способа является удержание незакрепленных стенок пробуренного ствола за счет

гидростатического давления промывочной жидкости, заполняющей ствол.

Благодаря этому способ применим даже в слабых неустойчивых породах, при больших глубинах и диаметрах стволов.

Особенно эффективна проходка этими установками в неустойчивых обводненных породах, где значительно возрастает стоимость традиционной проходки из-за применения замораживания или других специальных способов. При использовании роторного бурения в таких условиях проблема поддержания стенок ствола решается путем подбора соответствующей промывочной жидкости, которая удерживает стенки ствола от обрушения, препятствуя поступлению в ствол подземных вод. В отечественной практике штанговые буровые установки начали применяться в период 1938—1950 гг. Производилось изучение способа и накопление промышленного опыта бурения установками МОМ и Щепотьева-Иванова. В 1951—1963 гг. были созданы уникальные буровые установки УЗТМ-6, 2, УКБ-3, 6, агрегаты реактивно-турбинного бурения (РТБ).

В настоящее время наиболее широкое применение получили штанговые бурильные установки реактивно-турбинного бурения РТБ и роторные установки L-35 фирмы «Вирт».

Вращение буровому органу передается через став бурильных труб с поверхности или, при способе РТБ, потоком жидкости, подаваемой по ставу труб. Крезь ствола возводится после окончания бурения.

В странах СНГ в настоящее время в основном используются установки РТБ, позволяющие бурить стволы диаметром до 5,7 м (шахты "Соколовская", им. газеты "Комсомольская правда" ПО "Ростовуголь"). Средняя глубина стволов 350 - 400 м, диаметр бурения 3,2 м.

Вращение агрегата происходит вследствие реакции со стороны забоя на относительное движение долот. Если величина реактивного момента недостаточна, то вращение агрегата производится ротором с поверхности через буровую колонну. Буровая жидкость, пройдя через турбобуры, омывает забой вблизи долот и по затрубному пространству поднимается на поверхность, вынося мелкие частицы разбуренной породы.

Институтом ВНИИБТ разработаны конструкции реактивно-турбинных агрегатов РТ-1020, РТБ-1310, РТБ-1200, РТБ-1560, РТБ-2080, РТБ-1624, РТБ-2250, РТБ-2600, РТБ-3000

Технические скорости бурения стволов малого диаметра и скважин большого диаметра в зависимости от горно-геологических условий, крепости пересекаемых пород, диаметра бурения и других факторов находятся в пределах 40-135 м/мес.

Установки роторного бурения немецкой фирмы "Вирт" достаточно широко используются в странах СНГ. Они позволяют бурить стволы диаметром до 8 м, отличаются меньшей массой и энергоемкостью, мобильностью, большей надежностью и производительностью.

Наибольшее распространение получили установки L-35 и L-40, представляющие собой развитие хорошо себя зарекомендовавших эрлифтовых буровых установок L-10 и L-15.

Установка L-40 (рис. 1.) состоит из транспортабельных блоков и узлов. Оборудование привода, буровая лебедка, вспомогательный компрессор и кабина управления смонтированы на трехосном прицепе на пневмоходу. Остальные блоки и узлы транспортируются грузовыми автомобилями.

В процессе бурения оператор с пульта управления регулирует осевое

усилие, момент и частоту вращения ротора, давление воздуха.

Оборудование установок L-35 и L-40 позволяет выполнять все технологические операции по проходке ствола: монтаж и спуск крепи, тампонаж закрепного пространства, откачку жидкости из ствола.

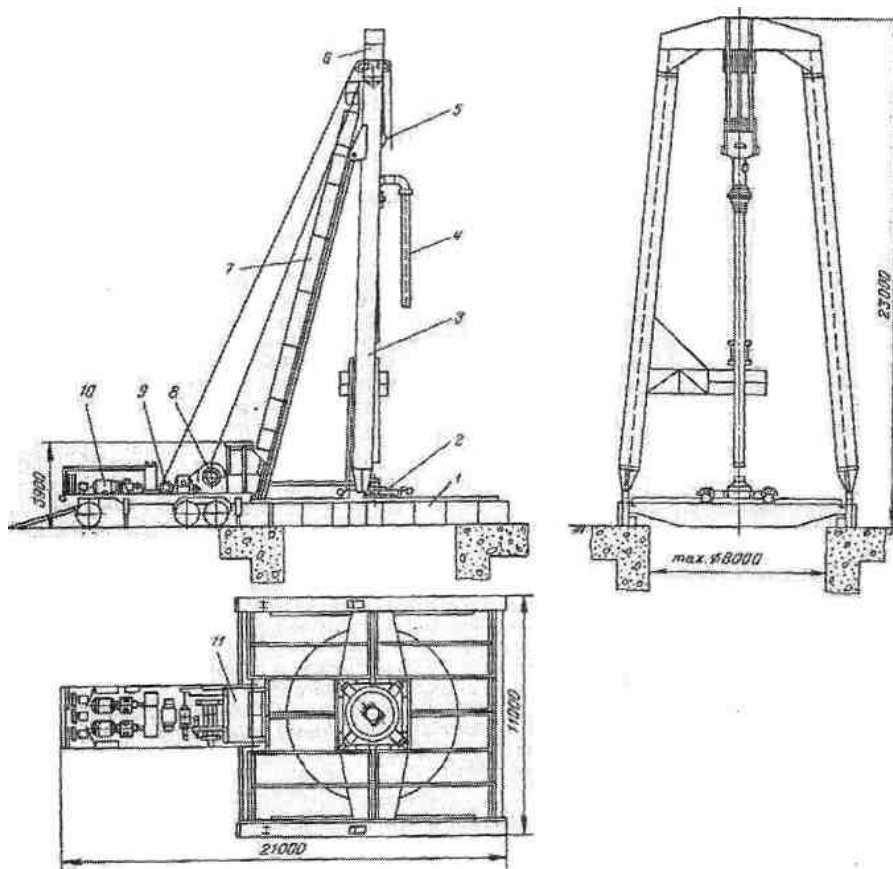
При среднем диаметре бурения 3,2 - 4 м и глубине 500 - 600 м средние скорости сооружения стволов составляют 20 м/мес. Максимальные - достигают 32 м/мес, например, вентиляционный ствол шахты "Новгородовская" ПО "Селидовуголь" диаметром в свету 3,5 м, глубиной 570 м сооружен за 18 мес.

Интересен опыт Китая в сооружении стволов диаметром до 9 м бурением. Использование буровой установки AS-9/500 позволило пройти вентиляционный ствол № 3 шахты «Пан Чжи» диаметром в черне 9 м и глубиной 506 м.

Бурение ствола осуществлялось с расширением в четыре этапа на диаметры: 3,0; 5,5; 8,0 и 9 м со среднемесячной скоростью соответственно: 164,9; 135,0; 170,45 и 101,9 м. Толщина стенок крепи 500, 700 и 900 мм. На отдельных участках ствол был закреплен тремя различными видами крепи: железобетонной - 420,1 м (83% общей глубины), однослойной стальной - 72,2 м (14%) и двухслойной стальной - 15,2 (3%).

Из наиболее значительных реализованных проектов по эрлифному бурению следует отметить выработку диаметром 3,05 м и глубиной 1830 м, пробуренную компанией "Паркер-Дриллинг" на острове Амчитка (США), и бурение компанией "Шафт Дриллерс" выработки диаметром 3,05 м глубиной 1700 м в штате Невада (США).

В процессе бурения роль временной крепи выполняет буровая жидкость.



**Рис. 1. Буровая установка L-40 фирмы «Вирт»:** 1 - опорная рама; 2 - ротор; 3 - буровая штанга; 4 - пульпоотводящий шланг; 5 - талевый блок; 6 - оголовок; 7 - подкос; 8 - буровая лебедка; 9 - вспомогательная лебедка; 10 - гидравлический привод; 11 - пульт управления

Постоянная крепь возводится после полного окончания бурения. Стволы крепятся обечайкой из стального листа толщиной 16,6 мм с ребрами жесткости из швеллера. В зависимости от диаметра и глубины ствола, массы крепи она возводится погружным или секционным способом.

Специфическими условиями крепления стволов, проходимых способом бурения, являются:

- крепь возводится после окончания бурения ствола конечным диаметром до проектной глубины;
- крепь возводится с поверхности земли, при этом ствол заполнен промывочной жидкостью;

- после спуска крепи производится тампонаж закрепного пространства и откачка из ствола промывочной жидкости.

Особые условия возведения крепи определяют и ряд дополнительных требований:

- необходимость воспринимать нагрузки в момент возведения крепи;
- необходимость воспринимать дополнительные нагрузки, возникающие в момент возведения (монтажные нагрузки);
- крепь должна обладать высокой водонепроницаемостью;

- крепь должна обеспечить возможность механизации работ по ее возведению.

В отечественной и зарубежной практике для крепления стволов, проходимых способом бурения, обычно применялись чугунные тубинги, стальные и сталебетонные крепи, монолитный железобетон, железобетонные тубинги и рамные блоки.

Погружной способ впервые был применен 150 лет назад в Западной Европе и до сих пор там является основным способом возведения крепи при бурении стволов до 500 м. В бывшем Союзе этот способ применялся при бурении стволов глубиной до 100 м установками МОМ.

Сущность способа заключается в следующем. На раздвижных платформах устанавливается днище, на котором возводится несколько звеньев крепи (рис. 2). Днище подводится к стволу и при помощи буровой лебедки опускается в устье ствола до тех пор, пока оно начнет плавать. Отцепляются подъемные канаты и в крепи монтируется полук. На платформе собирается и наращивается следующее звено, оно подводится к стволу и соединяется с крепью, опущенной в ствол. По мере наращивания звеньев, крепь постепенно погружается. Регулирование погружной крепи производится путем закачки в колонну балластной жидкости - воды или промывочной жидкости. Крепь наращивается до тех пор, пока днище опустится на забой ствола. После этого тампонируется закрепное пространство и откачивается из ствола балластная жидкость.

Погружной способ может применяться при любых типах крепи. Главное достоинство погружного способа заключается в том, что крепь спускается одной герметичной колонной. В стволе нет изолированных стыков между отдельными звеньями крепи.

Приток воды в ствол незначительный, и практически не требуется производить работы по гидроизоляции.

Недостатками этого способа являются:

- высокие монтажные нагрузки при креплении стволов глубиной более 100 м;

- для спуска крепи необходим значительный (25-35 мм) зазор между крепью и породными стенками ствола, что уменьшает полезную площадь сечения ствола на 20-30% и требует большого расхода цемента на тампонаж закрепного пространства;

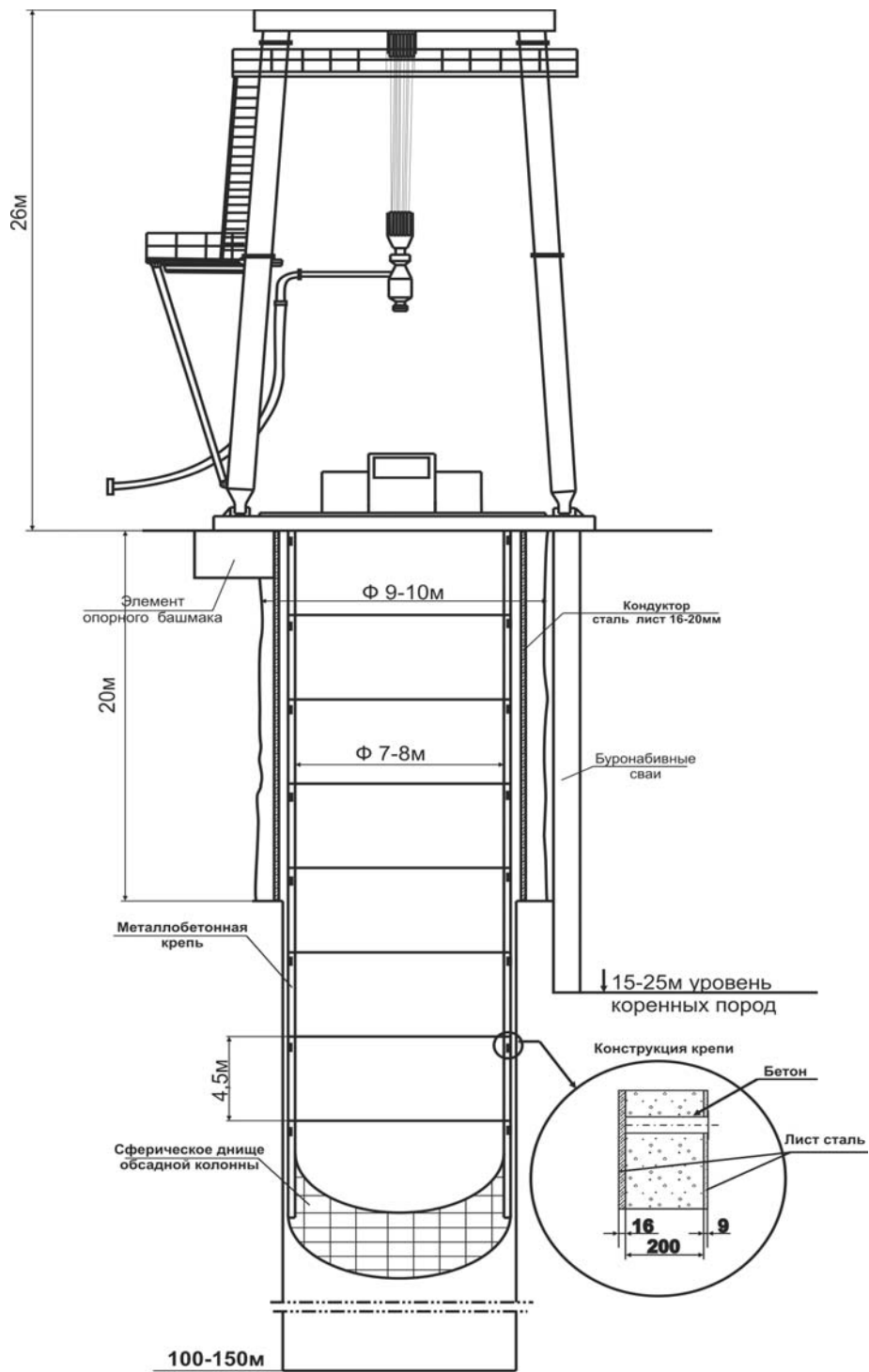
- высокие требования к вертикальности ствола. При наличии искривлений, превышающих зазор между крепью и передней стенкой, крепь при спуске может застрять.

Погружной способ применяется при креплении стволов небольшой (до 100 м) глубины или в стволах, где нагрузки от проявления горного давления превышают монтажные. Остановимся более подробно на монтажных нагрузках и их определении.

В отличие от постоянных эксплуатационных нагрузок монтажные нагрузки не определяют конструктивные параметры крепи и ее грузонесущую способность.

Монтажные нагрузки только лимитируют отдельные операции при возведении крепи, определяют их технические границы. При правильном проведении работ монтажные нагрузки не должны превышать грузонесущую способность крепи, определяемую по условиям постоянных нагрузок.

Следовательно, вопрос о монтажных нагрузках сводится к определению максимально допустимой их величины и подбору такой технологии работ, при которой монтажные нагрузки не превышали бы максимально допустимых величин.



**Рис. 2. Спуск сталебетонной крепи на плаву**

При погружном способе возведения крепи из-за разности уровней жидкости (внутри крепи и в самом стволе) крепь испытывает нагрузку погружения:

$$P_{МП} = \frac{Q_k + Q_B + H\gamma S}{F_B} \quad (1)$$

Эта нагрузка определяет глубину ствола, при которой возможно применять погружной способ возведения. При секционном способе возведения крепи крепь воспринимает нагрузку от собственного веса (без учета потери веса в среде промывочной жидкости).

$$P_{MB} = Q_k h_c \quad (2)$$

где  $H$  - глубина ствола, м;  $h_c$  - высота секции крепи;  $\gamma$  - удельный вес промывочной жидкости;  $Q_k$  и  $Q_k'$  - вес 1 м крепи в воздушном пространстве и в промывочной жидкости;  $Q_D$  - вес днища.

Эта нагрузка создает в крепи напряжения растяжения, она определяет высоту секции крепи.

В случае, если крепь опущена на забой, она испытывает нагрузку от веса всей крепи:

$$P_{MB} = Q_k h_c \quad (3)$$

Глубина ствола, при которой монтажные нагрузки погружения не превышают грузонесущей способности крепи, определяются из выражения:

$$H = \frac{PF_B - Q_D}{Q_k - \gamma(F_n - F_B)}$$

Максимальная высота крепи ( $H$ ) и секции ( $h_c$ ) при которой напряжения на сжатие (растяжения) не превышают допустимых напряжений от собственного веса крепи при опускании ее на забой, будет выражаться формулой:

Для металлических обечаек сталебетонной крепи

$$H = \frac{m\phi\sigma_{сж}F_k}{Q_k}, \quad h = \frac{m\phi\sigma_p F_k}{Q_k}$$

Для железобетонных колец

$$H = \frac{m\phi(\sigma_{сж}F_b + m_a\sigma_a F_a)}{Q_k}$$

$$h = \frac{m\phi\sigma_a F_a}{Q_k}$$

где  $F_n$  и  $F_B$  - площадь крепей по наружной и внутренней поверхности, м<sup>2</sup>;  $Q_k$ ,  $Q_k'$ ,  $Q_D$  - вес 1 м крепи в воздухе, в промывочной жидкости и вес днища;  $\gamma$  - удельный вес промывочной жидкости;  $\sigma_{сж}$ ,  $\sigma_B$ ,  $\sigma_a$  - допускаемые напряжения сжатия стали, бетона, арматуры;  $\sigma_p$  - допускаемые напряжения растяжения;  $m$  - коэффициент условия работы;  $\phi$  - коэффициент, учитывающий продольный изгиб крепи.

По условию восприятия монтажных нагрузок при возведении крепи погружным способом, первое место занимает сталебетонная крепь (до глубины 500 м), затем крепь из чугунных тубингов (погружение до 200 м). Остальные виды крепи способны выдерживать монтажные нагрузки при погружении до 100-120 м.

Секционный способ возведения крепи разработан советскими специалистами и впервые был применен в 1950 г. на вентиляционном стволе №6 «Красная звезда» в Донбассе. Данный способ был разработан для агрегатов РТБ и установок УЗТМ и УКБ-3.6. К сожалению, в данное время в России установки УЗТМ и УКБ-3.6 не применяются.

В отличие от погружного способа, при котором крепь опускается на плаву одной колонной, при секционном способе крепь возводится путем спуска в ствол отдельных секций.

Организация работ по спуску секций зависит от типа установки и крепи и производится по следующей схеме.

Под вышкой, при помощи буровой лебедки и талевой системы отдельные звенья крепи монтируются в секцию. Высота секции предопределяется грузоподъемностью вышки (рис. 3).



**Рис. 3. Секции сталебетонной крепи**

В верхнем звене секции монтируется прицепное устройство. На бурильной колонне секции крепи опускаются в ствол, прицепное устройство отцепляется от крепи и бурильная колонна демонтируется. В аналогичной последовательности собираются и спускаются в ствол последующие секции, которые устанавливаются на ранее спущенную крепь. Тампонаж закрепного пространства производится путем нагнетания раствора по трубам, спущенным в закрепное пространство. Главным достоинством секционного способа являются незначительные монтажные нагрузки и малые зазоры между крепью и породными стенками ствола. Крепь может быть спущена в ствол даже со значительными искривлениями. К недостаткам способа относится наличие стыков между отдельными секциями, через которые может поступать вода в ствол.

В США разработан способ опускания крепи одной колонной при помощи гидроподъемника грузоподъемностью до 900 т. Гидроподъемник фирмы «Джо Стайн» состоит из четырех домкратов с наружным диаметром 406 мм с гидравлическим приводом, установленных на

квадратном стальном основании со стороной в 3,0 м. На домкраты устанавливаются два кольца: одно для подъема, другое для удержания труб. В каждом кольце находится по восемь малых горизонтальных ползунков, которые в вытянутом состоянии подходят под подъемные кольца на спускаемой колонне. Рабочий ход домкратов 2,7 м, что позволяет спустить колонну на 2,4 м. При спуске крепи с гидроподъемниками на внешней стороне колец привариваются специальные опорные кольца высотой 25-38 мм и шириной 76 мм.

Последовательность операций при данном способе возведения крепи следующая:

Горизонтальные ползуны нижнего кольца гидроподъемника устанавливаются под подъемными кольцами на спускаемой колонне. Включая гидропривод, поднимают штоки домкратов с верхним кольцом на высоту 2,4 м и выдвигают горизонтальные ползуны на поднятом кольце таким образом. Чтобы они уперлись в крепь и были ниже опорных колец. Убираются горизонтальные ползуны нижнего кольца и опускаются штоки домкратов, а вместе с ними и колонна крепи на 2,4 м. Нарастается следующее звено. Снова выдвигаются горизонтальные ползуны нижнего кольца и на них подвешивается колонна. Затем убираются горизонтальные ползуны верхнего кольца, выдвигаются поршни домкратов на 2,4 м, а вместе с ними поднимается верхнее кольцо, выдвигаются горизонтальные ползуны и цикл повторяется. В такой последовательности, ступенями по 2,4 м производится спуск всей колонны. **ИАС**

### **Коротко об авторе**

*Паланков И.М.* – Президент Объединенной шахтостроительной компании «Союзспецстрой» г. Москва, oshk@souzspecstroy.ru