

УДК 622.258

К.т.н. БОРЩЕВСКИЙ С. В., к.т.н. ФОРМОС В. Ф., студ. ГАЛЕЧКО С. Ю. (ДонНТУ)

К ВОПРОСУ О КРИТЕРИЯХ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ СООРУЖЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ ШАХТ

Из общего объема горных выработок, сооружаемых в период строительства шахты, на долю стволов приходится 20...25%, а продолжительность их сооружения составляет 35...80% общего срока строительства шахты.

Следовательно, правильный выбор оснащения поверхности и технологических схем сооружения вертикальных стволов, особенно глубоких, имеет главное значение для сокращения сроков ввода в действие новых мощностей угольной промышленности.

Вместе с тем, несмотря на значительные достижения в создании проходческого оборудования и прогрессивных форм организации строительного производства, правильный выбор оптимальной технологической схемы сооружения конкретного вертикального ствола представляет определенные трудности по следующим причинам:

Во-первых. Существующая концепция выбора оптимальных параметров сооружения вертикальных стволов, базирующаяся на критерии стоимости строительно-монтажных работ (СМР) с учетом эффективности капитальных вложений в системе централизованного планирования народного хозяйства, не применима в условиях рыночных отношений и, тем более, в переходный инфляционный период.

Во-вторых. До настоящего времени отсутствует многофакторная классификация схем сооружения вертикальных стволов, способная охватить и оценить многообразие и взаимосвязь технологических схем сооружения объектов поверхности, подземной части и переходных периодов в процессе строительства шахты или подготовка новых горизонтов.

Все сказанное обусловило пересмотреть подходы к выбору технологии сооружения вертикальных стволов и критериям её оценки применительно к новым условиям хозяйствования, в котором авторы стремились учесть все новое в теории и практике сооружения вертикальных стволов и надеются, что оно будет полезным производственникам-шахтостроителям, работникам проектно-конструкторских, научно-исследовательских и учебных институтов горного профиля.

Под продолжительностью сооружения вертикального ствола понимается общая (с учетом времени совмещения) продолжительность всех периодов строительства – от начала оснащения ствола для проходки до сдачи его в работу в эксплуатационном режиме.

Количество, длительность и трудоемкость этапов работ, в соответствии с назначением и условиями проходки ствола могут изменяться. В свою очередь, в зависимости от принятой технологии сооружения ствола в отдельных случаях некоторые этапы могут исключаться, в других случаях добавляться. Так при сооружении воздухоподающего ствола в чистом виде отсутствует этап – армирование ствола, который из-за армирования канатной арматурой занижает непродолжительное время и содержится в составе работ последнего этапа. В то же время, при сооружении главного ствола возникли дополнительные этапы работ - устройство запасного выхода, демонтаж временного копра, которые обусловлены, как принятой технологией сооружения ствола, так и условиями строительства шахты.

Оба условия являются одинаково важными взаимосвязанными для выбора схемы оснащения и сооружения ствола. И если условия строительства шахты обусловлены экономическими и социально-экологическими факторами, то технология сооружения определяется исходя из геомеханических, горно- и гидро-геологических характеристик вмещающих ствол породного массива и технических возможностей используемого оборудования, а также от ТЭП применения каждого способа.

Так, стволы и их сопряжения с горизонтальными выработками при притоках воды в забой более 8 м³/ч обычно проходят с помощью специальных способов, обеспечивающих

повышение устойчивости и водонепроницаемости горных пород. Однако применение спецспособов не всегда дает ожидаемый результат и необходим поиск новых технических и технологических решений.

Анализ сооружения вертикальных стволов за период с 1960 по 1983г., выполненный НИИОМШСом [1], показал, что участки стволов, сооруженных спецспособами, занимают 4,5...5,7 % от общей продолжительности их сооружения.

Учитывая это, а также, ввиду того, что специальные способы проходки являются большой самостоятельной областью исследования и применяются они, как правило, на отдельных участках ствола, считаем, что влияние их на продолжительность сооружения ствола во всех рассматриваемых схемах будет одинаковым и при сравнении вариантов может быть опущено, поэтому, в настоящей работе рассматриваются технологические схемы сооружения стволов, базирующиеся на обычном и комбайновом способах проходки.

Таким образом, выбор технологии сооружения ствола и, следовательно, планирование сроков строительства ствола представляет определенные трудности по следующим причинам:

– **технологическим**, связанным с выбором оснащения поверхности, технологии строительства устья ствола и проходки его протяженной части в едином комплексе с выбором вида постоянной крепи с учетом геомеханических и гидрогеологических вопросов, кроме того, до настоящего времени отсутствует генеалогическая классификация схем сооружения вертикальных стволов, способная охватить и оценить многообразие и взаимосвязь технологических схем сооружения объектов поверхности, подземной части и переходных периодов в процессе строительства шахты или подготовка новых горизонтов;

– **организационным** – после выхода последних «Технологических схем сооружения вертикальных стволов» [2] накоплен значительный опыт в этой области, который не систематизирован и не обобщен. Это обстоятельство приводит к тому, что результаты расчетов, произведенные по нормативным документам и [2], получаются разные;

– **экономическим** – существующая концепция выбора оптимальных параметров сооружения вертикальных стволов, базирующаяся на критерии стоимости строительно-монтажных работ (СМР) с учетом эффективности капитальных вложений в системе централизованного планирования народного хозяйства, не применима в условиях рыночных отношений и инфляционных процессов.

Все сказанное обусловило использование комплексного подхода применительно к новым условиям хозяйствования, в котором учтено все новое в теории и практике сооружения вертикальных стволов и которое будет полезным производственникам-шахтостроителям, работникам проектно-конструкторских, научно-исследовательских и учебных институтов горного профиля.

Технология сооружения стволов охватывает большой комплекс отдельных работ, которые должны быть взаимосвязаны во времени и в пространстве.

Классификация технологических схем сооружения вертикальных стволов, удовлетворяющих условиям достижения высоких среднемесячных скоростей проходки и календарных скоростей сооружения стволов при минимальных затратах на их оснащение, основана на совокупности наиболее характерных признаков, присущих данной схеме. До сих пор в качестве характерных признаков были приняты: тип копра, тип подъемной машины и технология проходки ствола.

Многолетний опыт сооружения стволов в Донбассе показывает, что в настоящее время тип подъемной машины не может быть характерным признаком схемы, так как существует параметрический ряд передвижных подъемных машин, позволяющих осуществлять проходку стволов глубиной до 1050 м с нормативной скоростью. Для стволов глубиной до 1500...1600 м разработаны проходческие машины в блочно-контейнерном исполнении типа МПБК с концевой нагрузкой до 245 кН, продолжительность сооружения которых занимает не более 1,5 месяца.

Продолжительность же сооружения подъемных машин стационарной установки (как временных, так и постоянных) занимает 6 и более месяцев, что в отдельных случаях превышает продолжительность сооружения копров, и может послужить причиной задержки начала проходки ствола.

Таким образом схема сооружения ствола может характеризоваться только типом копра и технологической схемой проходки.

Из различного сочетания этих двух признаков число возможных схем может достигать 9 (рис.1). Большинство этих схем (кроме IIБ, IIВ, IIIБ) с большим или меньшим успехом применяли на практике. Если учесть, что каждая группа копров состоит из нескольких типов, конструктивно отличающихся друг от друга, то число возможных вариантов схем будет более 30. Кроме того, при сравнении отдельных схем сооружения стволов необходимо учитывать и тип комплекса забойного оборудования.

Производным элементом от принятой технологии сооружения ствола является схема оснащения для проходки его, которая по принятому оборудованию и способу его размещения должна отвечать целям и задачам, заложенным в принятой схеме.

Однако, это требование содержит противоречие в своей основе и поэтому выбор аффективной схемы сооружения ствола заключается в нахождении оптимального соотношения между себестоимостью строительно-монтажных работ (СМР) и продолжительностью сооружения ствола, то есть в определении оптимальной величины зависимости «время – себестоимость СМР».

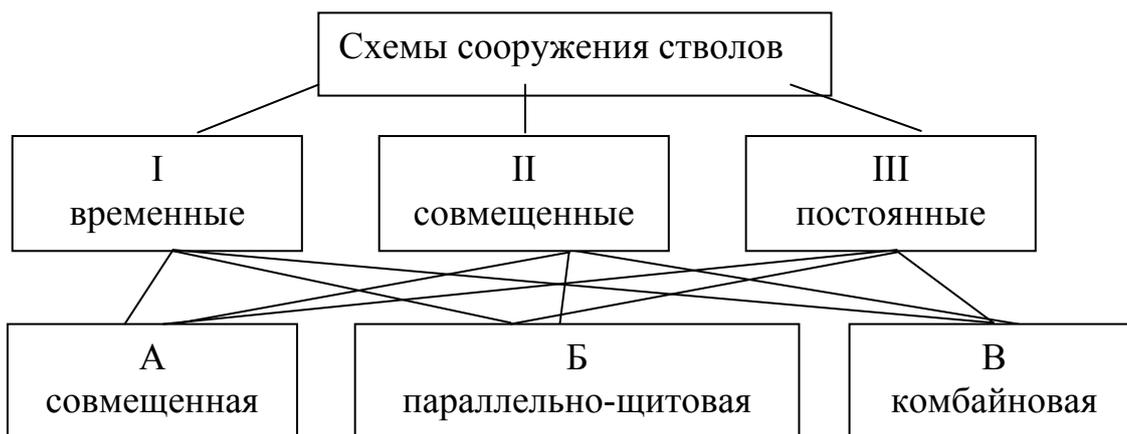


Рис.1. Классификация схем сооружения вертикальных стволов шахт

В настоящее время при выборе оптимальных параметров технологической схемы сооружения вертикальных стволов (да и строительства шахты в целом) принят критерий стоимости строительства с учетом эффективности капиталовложений, приведенных к году окончания строительства [3].

Выбор эффективной технологической схемы предлагается определять из условия сравнения вариантов:

1. По критерию продолжительности, в соответствии с рис. 1 [4]:

$$\tau_1 < \tau_0 \quad (1)$$

2. По критерию себестоимости СМР

$$C_1 \leq C_0 \cdot \left(1 + \gamma \frac{\tau_0 - \tau_1}{\tau_1} \right) \quad (2)$$

где: τ_0, τ_1 – продолжительность сооружения ствола по вариантам, мес;

C_0, C_1 – себестоимость СМР сооружения ствола по вариантам, у. е. с. (условных единиц стоимости);

γ – доля условно-постоянных расходов в составе себестоимости СМР, определяемая на основе анализа предыдущих статистических данных.

При разработке проектно-сметной документации для строительства шахт и стволов специалистов в первую очередь интересует нахождение средней технической скорости проходки ствола при требуемой продолжительности сооружения его.

В свою очередь продолжительность сооружения ствола:

$$\tau = 2 \sqrt{(1+k) \cdot \sum t \frac{H}{V_n}} \quad (3)$$

средняя техническая скорость проходки ствола:

$$V_n \geq 4(1+k) \cdot \sum t \frac{H}{\tau^2} \quad (4)$$

Эти формулы могли бы удовлетворить специалистов, если бы на начальной стадии проектирования им были известны значения двух других неизвестных величин – $\sum t$ и $(1+k)$. Однако нахождение этих величин приводит к рассмотрению различных технологических схем сооружения ствола, что довольно трудоемко.

Поэтому для облегчения труда проектировщиков предлагаются эмпирические зависимости этих величин, полученные на основании обработки статистических данных по сооружению 210 стволов с учетом требований нормативных документов.

Величина $(1+k) \cdot \frac{H}{V_n}$ представляет собой продолжительность проходки и оборудования (или в целом сооружения) подземной части ствола. Тогда величину $(1+k)$ назовем коэффициентом сооружения подземной части ствола, а $\sum t$ – продолжительность подготовительно-переходных периодов назовем продолжительностью сооружения наземной части ствола с учетом технологии проходки его (для краткости – продолжительность сооружения копра).

Исходя из нормативных документов, используемых проектировщиками (РД 12.13.034-85 «Ведомственные нормы продолжительности оснащения стволов передвижным проходческим оборудованием и задела в строительстве», СНиП 3.2.03-84 и др.), получены следующие зависимости:

- для стволов глубиной $300 \leq H \leq 700$ м

$$\sum t_{700} = \left(a \cdot \eta + \frac{h-50}{15} \right) + \left(\frac{\sqrt{H}}{2} - \sqrt{\frac{700}{H}} \right) + (n-1) - \frac{b}{450}, \quad (5)$$

- для стволов глубиной $700 \leq H \leq 1300$ м

$$\sum t_{1000} = \left(a \cdot \eta + \frac{h-50}{15} \right) + \frac{\sqrt{H}}{2} + (n-1) - \frac{b}{450}, \quad (6)$$

Значения коэффициента сооружения подземной части ствола для различных глубин сводим в табл. 1.

Табл. 1. Коэффициент сооружения подземной части ствола $(1 + k)$.

Значение коэффициента k при	Вспомогательные, главные, скипо-клетевые стволы		Воздухоподающие		Вентиляционные		
	Армирование ствола						
	жесткая	канатная	жесткая	канатная	жесткая	канатная	
$H \leq 900\text{м}$	$0,4 \cdot V_n \cdot \sqrt{\frac{n}{H}}$	$0,3 \cdot V_n \cdot \sqrt{\frac{n}{H}}$	$0,35 \cdot V_n \cdot \sqrt{\frac{n}{H}}$	$0,3 \cdot V_n \cdot \sqrt{\frac{n}{H}}$	$0,3 \cdot V_n \cdot \sqrt{\frac{n}{H}}$	$0,25 \cdot V_n \cdot \sqrt{\frac{n}{H}}$	
$H > 900\text{м}$				$0,25 \cdot V_n \cdot \sqrt{\frac{n}{H}}$			
$V_n = 55$	$H \leq 900\text{м}$	$22 \cdot \sqrt{\frac{n}{H}}$	$16,5 \cdot \sqrt{\frac{n}{H}}$	$19,25 \cdot \sqrt{\frac{n}{H}}$	$16,5 \cdot \sqrt{\frac{n}{H}}$	$16,5 \cdot \sqrt{\frac{n}{H}}$	$13,75 \cdot \sqrt{\frac{n}{H}}$
	$H > 900\text{м}$				$13,75 \cdot \sqrt{\frac{n}{H}}$		

В формулах 5, 6 и таблице 1 приняты следующие обозначения:

- a - величина, зависящая от типа копра, используемого для проходки ствола, мес.;
- h - приведенная высота башенного копра, сооружаемого над стволом, м $h = h_n + h_n$, то есть, равна сумме высот надземной и подземной частей башенного копра, м;
- $h = 50$ - для всех остальных копров, в том числе и башенных, сооружаемых способом надвигки на ствол;
- η - коэффициент, характеризующий технологическую схему или способ проходки ствола, изменяется в пределах 1...2;
- b - коэффициент, характеризующий тип армировки ствола ($b = H$ – для стволов с канатной армировкой; $b = 0$ – для стволов с жесткой армировкой);
- H - глубина ствола, м;
- n - количество двухсторонних сопряжений ствола с околоствольными дворами и камер загрузки скипов углем или породой. Каждое одностороннее сопряжение ствола с околоствольным двором принимается с коэффициентом 0,5.
- V_n - нормативная скорость проходки ствола по СНиП 3.02.03-84 $V_n = 55\text{ м/мес.}$
- V_n - средняя техническая скорость проходки ствола, определяемая как частное от деления глубины ствола на время, затраченное на проходку ствола, без учета технологического отхода.

Для подтверждения справедливости полученных формул возьмем фактические данные из [5] сравним их с данными, вычисленными по формулам. Расчеты приведены в табл. 2.

Сравнение фактических и вычисленных данных табл. 2 показывает, что полученные формулы хорошо согласуются с практикой и на стадиях планирования и проектирования с достаточной степенью точности могут служить основой (критерием) для определения продолжительности сооружения стволов.

Табл. 2. Фактические и расчетные данные по стволам

№ показателя	Наименование показателя	Вентиляционные стволы		Воздухоподающие стволы		Скиповые стволы		
		ш. Прогресс, северный, вентиляционный	ш. Комсомолец Донбасса, вентиляционный №1	ш. Октябрьский рудник, вентиляционный №2	ш. Комсомолец Донбасса, вздухоподающий №1	ш. Комсомолец Донбасса	ш. Прогресс, скиповой	
1	Тип копра	пост. метал.	проходч. ДГОШС	проходч. НИИОМШС	проходч. ДГОШС	$h = 108$ башенный	$h = 120$ башенный	
2	Тип армирования	канат	канат	канат	канат	жесткая	канат.	
3	Схема проходки	совмещ	совмещ	совмещ	совмещ	совмещ.	совмещ.	
4	Глубина, м Н	983	615	1000	371	633	1319	
5	Диаметр, м $D_{св.}$	5,5	6	5	6	7,0	7,5	
6	Скорость проходки, м/мес.	36	100	28	100	100	29	
7	Водопритоки, м ³ /ч	16...24	2...4	10...20	2...6	1...2,2	4...16	
8	$\sum t$, мес.	факт.	24,5	17	23,5	12,7	41	43,5
9		расчет	22,1	16,0	22,2	13,4	28	33,7
10	τ , мес.	факт.	57,5	29	67,5	20	72	105
11		расчет	55,7	29,5	67,5	22,5	48,0	90,5
12		норм	48,3	33,9	48,8	26	55	72,7

Примечание: нормативная продолжительность сооружения стволов рассчитана, исходя из нормативной скорости проходки, т. е. $V_n = 55$ м/мес., а расчетная – из фактической скорости проходки.

Литература

1. Ягодкин Ф.И. Технология крепления вертикальных стволов облегченными крепями // В сб.: Организация и технология шахтного строительства / Харьков : ВНИИОМШС, 1987. – С. 53–61.
2. Технологические схемы сооружения вертикальных стволов//Ч.1. Оснащение и проходка вертикальных стволов обычным способом. ВНИИОМШС. – Харьков. – 1979. – 273с.
3. Левит В.В., Борщевский С.В. К вопросу оценки и выбора технологических схем сооружения вертикальных стволов//Гірничодобувна промисловість України і Польщі: Актуальні проблеми і перспективи: Матеріали Українсько-Польського форуму гірників – 2004 (Ялта, Крим, 13-19 вересня 2004). – Дніпропетровськ: НГУ, 2004. – С.157–165.
4. Байсаров Л.В.,Ильяшов М.А.,Новик Е.Б.,Левит В.В., Борщевский С.В. Анализ опыта и направления совершенствования организации строительства шахтных стволов// Уголь Украины. – 2004.– №8.– С. 38.
5. Гузев А.Г. Проектирование и строительство горных предприятий: Учебник для вузов, 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Недра, 1987. – 232с.

© Борщевский С. В., Формос В. Ф., Галечко С. Ю., 2007