

Ю. П. ОЛЬХОВИКОВ

**КРЕПЬ
КАПИТАЛЬНЫХ
ВЫРАБОТОК
КАЛИЙНЫХ
И СОЛЯНЫХ
РУДНИКОВ**



МОСКВА "НЕДРА" 1984

Ольховиков Ю. П. Крепь капитальных выработок калийных и соляных рудников. М., Недра, 1984. 238 с.

Показаны геологические и гидрогеологические особенности калийных и соляных месторождений, дан анализ мер, позволяющих исключить возможность проникновения подземных вод через шахтные стволы в горные выработки. Описаны конструкции и способы возведения крепей стволов, околоствольных выработок и камер, способы их гидроизоляции. Изложены механизм и причины коррозионного и механического разрушения крепи и меры ликвидации последствий. Рассмотрены инструментальные методы контроля за состоянием крепи.

Для инженерно-технических работников горнодобывающей промышленности, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией горных предприятий.

Табл. 22, ил. 99, список лит.–46 назв.

Рецензент – инж. *В. И. Сергеев* (Минудобрений СССР)

ПРЕДИСЛОВИЕ

«Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981–1985 годы и на период до 1990 года» предусмотрено дальнейшее повышение производства калийных удобрений. Добыча калийных руд подземным способом возрастет к 1985 г. до 75–80 млн. т. Добыча каменной соли составит около 8млн. т. Такой рост будет обеспечен как за счет строительства новых, так и реконструкции действующих рудников.

Каждая отрасль горнодобывающей промышленности имеет свои особенности, обусловленные происхождением, условиями залегания и свойствами полезного ископаемого. Этим определяются пригодность и возможность вовлечения месторождения в промышленную эксплуатацию, способы и технология вскрытия и подготовки промышленных запасов, проходки и крепления горных выработок, виды и материалы применяемых крепей. Для калийных и каменно-соляных месторождений характерны растворимость соляных пород в воде и способность к проявлению деформаций ползучести в течение всего времени эксплуатации. Поэтому простое перенесение опыта из других горнодобывающих отраслей, угольной или железорудной в соляную не всегда дает положительные результаты. Например, разработка калийного или соляного месторождения подземным способом возможна лишь при обеспечении полной гидроизоляции. На калийных и соляных рудниках практически невозможно предотвратить затопление с помощью средств водоотлива, сколь бы мощными они не были. В мировой практике есть примеры, когда рудники были ликвидированы в течение нескольких часов, на других безуспешная борьба с водопритоком продолжалась десятилетиями [3, 39]. Чаше всего затопление происходит через шахтные стволы. Поэтому при строительстве стволов и горизонтальных капитальных выработок ставится цель не только успешно осуществить проходку и крепление, но и создать надежную защиту от проникновения подземных вод на весь период эксплуатации. Именно этим объясняется широкое применение при строительстве шахтных стволов калийных и соляных рудников дорогостоящих специальных способов проходки и водонепроницаемых крепей.

Наиболее сложными условиями эксплуатации отличаются калийные месторождения. Зародившаяся в годы первой пятилетки наша калийная промышленность развивалась бурными темпами, в результате чего в 1968 г. СССР вышел по выпуску калийных удобрений на первое место в мире. Успешно эксплуатируется Старобинское месторождение, построены новые рудники на Верхнекамском и Стебниковском месторождениях. Ведутся разведочные и проектные работы на месторождениях Средней Азии и Сибири. Только после 1970 г. для новых калийных рудников пройдено около 20 шахтных стволов общей протяженностью 8930 м.

Получила дальнейшее развитие и каменно-соляная промышленность. Произведена реконструкция старых и построены новые рудники на Артемовском и Солотвинском месторождениях, ведутся работы по реконструкции на Соль-Илецком месторождении, строится соляной рудник на Тыретском месторождении.

За это время накоплен богатый опыт строительства и особенно эксплуатации капитальных горных выработок в специфических условиях калийных и соляных рудников. Между тем работ, посвященных этим вопросам, после монографий А. Н. Андреичева (1950 г.) и Н. Г. Трупака (1961 г.) практически опубликовано не было, хотя отдельные вопросы строительства и возведения постоянной крепи нашли отражение в ряде журнальных публикаций. Больше всего ошутим недостаток информации по вопросам рациональной эксплуатации и обеспечения герметичности крепи шахтных стволов и капитальных горных выработок, пройденных на глубинах более 350–400 м.

Настоящая работа является попыткой обобщить опыт выбора, возведения и эксплуатации крепей капитальных горных выработок, накопленный в калийной и соляной промышленности.

С учетом опыта других горнодобывающих отраслей, широко освещенного в печати, это должно облегчить решение вопросов рационального выбора материалов, типов и способов возведения крепей капитальных горных выработок на строящихся и реконструируемых калийных и соляных рудниках.

1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ КАЛИЙНЫХ И СОЛЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СССР

1.1. МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНОЙ СОЛИ

В настоящее время в мире известно более 30 крупных бассейнов, из которых лишь на 16 ведутся промышленные разработки.

Основные запасы калийной соли нашей страны сосредоточены в Верхнекамском, Припятском, Прикарпатском и Среднеазиатском бассейнах. Разведанные запасы только трех первых бассейнов, где расположены основные рудники, составляют примерно 200 млрд. т калийных солей [28]. Уже разведаны и утверждены запасы по Тюбегатанскому и Карлюкскому месторождениям Среднеазиатского бассейна. Перспективным считается Прикаспийский бассейн.

В настоящее время калийные соли добываются в нашей стране на 11 рудниках, ведется строительство еще двух рудников в городах Березники и Соликамск Пермской области.

Верхнекамское месторождение расположено на левом берегу р. Камы на территории Чердынского, Соликамского и Усольского районов Пермской области РСФСР. По запасам это самое большое калийное месторождение СССР. В геологическом строении месторождения принимают участие осадочные породы кунгурского и уфимского ярусов перми и четвертичные отложения (рис. 1, а). В разрезе соляной толщи выделяют подстилающую каменную соль мощностью до 400 м, сильвинитовую и сильвинито-карналлитовую зоны общей мощностью до 110 м и покровную каменную соль мощностью до 55 м.

Надсолевой комплекс представлен соляно-мергельной, терригенно-карбонатной и пестроцветной толщами, а также четвертичными отложениями. Соляно-мергельная толща, залегающая непосредственно над соляной, сложена мергелями, глинами, каменной солью и гипсами. Нижняя ее часть, включающая пластины и линзы каменной соли, представляет собой переходную толщу мощностью до 90 м. На участках распространения переходной толщи различают два контакта: верхний – надсолевых пород с кровлей первого сверху пласта каменной соли и нижний – переходной толщи с покровной каменной солью. Нижний контакт находится на глубине 100–375 м.

Верхняя часть соляной толщи, включая калийную залежь, образует ряд пологих, но крупных поднятий и впадин. На фоне крупных структур выделяются складки, значительно осложняющие внутреннее строение соляной толщи [28].

Сильвинитовая зона представлена пластами красных и полосчатых сильвинитов, залегающих в следующей последовательности (снизу вверх): Красный-III, Красный-II, Красный-I и АБ. Друг от друга пласты отделены пачками межпластовой каменной соли. Промышленное значение имеют пласты Красный-II и АБ. В отдельных случаях отрабатывается пласт В карналлитового или сильвинитового состава, залегающий выше пласта АБ. Пласт Красный-II, который отрабатывается на всех Верхнекамских ка-

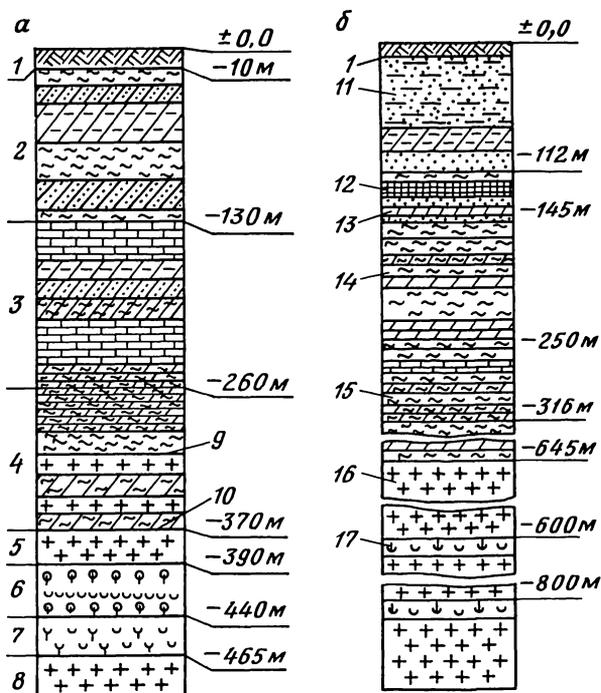


Рис. 1. Стратиграфические колонки Верхнекамского (а) и Старобинского (б) месторождений калийных солей:

1 – четвертичные отложения; 2 – пестроцветная толща; 3 – терригенно-карбонатная толща; 4 – соляно-мергельная толща; 5 – покровная каменная соль; 6 – сильвинито-карналлитовая зона; 7 – сильвинитовая зона; 8 – подстилающая каменная соль; 9 – верхний контакт; 10 – нижний контакт; 11 – обводненные пески с прослойками глин, суглинков и алевролитов; 12 – плотный мел и глина; 13 – переслаивание обводненных песчаников, песков и алевролитов; 14 – глины с редкими пластами обводненных мергелей, известняков и доломитов; 15 – глины с редкими пластами слабообводненных доломитов и мергелей; 16 – каменная соль; 17 – калийные соли

лийных рудниках, имеет сложное строение и состоит из семи слоев. Мощность пласта 0,8–11,9 м, а на участках шахтных полей действующих рудников 3 м и более. Кровля пласта состоит из переслаивающихся пропластков глин и каменной соли – «коржей» общей средней мощностью 0,3–0,5 м. Эта часть кровли неустойчива. Промышленный пласт АБ состоит из двух пластов: А и Б. Пласт А на всех рудниках сложен ярко окрашенным красным, сургучно-красным и розовым сильвином, прослой которых чередуются со светло-серой, белой или голубоватой каменной солью. Пласт Б на большей части месторождения сложен пестрыми сильвинитами, а на отдельных участках – карналлитами или смешанными слоями. Общая мощность пласта АБ равна 2,8 м. Кровля пласта более устойчива, чем у пласта Красный-II.

Подстилающая каменная соль представляет собой мощную литологически однородную толщу, сложенную каменной солью, в толще которой залегают четыре пласта глинисто-ангидритовых и ангидрито-карбонатных

пород. Подготовка запасов, проходка капитальных горных выработок, как правило, производится по подстилающей каменной соли. Лишь в отдельных случаях при обработке запасов обратным порядком (от границ шахтного поля) часть капитальных выработок располагают в пласте Красный-II. При этом в кровле оставляют защитную пачку сильвинита мощностью до 1 м для удержания от обрушения неустойчивых «коржей».

Считается, что в надсолевых породах подземные воды составляют единый гидравлически связанный водоносный комплекс, в составе которого выделяют четыре водоносных горизонта, различных по водообильности и коэффициентам фильтрации: четвертичных отложений, пестроцветной, терригенно-карбонатной и глинисто-мергелистой частей соляно-мергельной толщи [12]. Наиболее обводненными считаются породы терригенно-карбонатной толщи. В некоторых случаях нижняя часть соляно-мергельной толщи является безводной. Однако, как правило, оба контакта обводнены и давление подземных вод достигает 3,5 МПа.

Минерализация подземных вод на различных месторождениях приведена в табл. 1.

Старобинское месторождение расположено в пределах Любанского и Солигорского районов Минской области Белорусской ССР. В геологическом строении месторождения принимают участие докембрийские и девонские образования, верхнемеловые, третичные и четвертичные отложения. Стратиграфическая колонка месторождения для Солигорского участка показана на рис. 1, б. Соленосная толща имеет четыре калийных горизонта, каждый из которых залегает между пластами каменной соли. Промышленное значение имеют второй калийный горизонт и нижняя пачка третьего горизонта. На всех шахтных полях второй горизонт подразделяется на три слоя: верхний, нижний (сильвинитовые породы) и средний (каменная соль). Мощность пластов второго калийного горизонта 2,5–4,4 м. Покрывающая калийные пласты каменная соль мощностью 8–10 м представлена частым переслаиванием прослоев каменной соли мощностью 1–15 см с прослоями глины мощностью от нескольких миллиметров до 50 см. Мощность тех и других прослоев не выдержана, что делает кровлю второго калийного горизонта неустойчивой. Нижняя часть третьего калийного горизонта является основным промышленным пластом мощностью 2,1–4,5 м. Промышленная пачка представлена шестью сильвинитовыми слоями, чередующимися со слоями каменной соли. Пачка перекрыта глинисто-карналлитовой породой, отличающейся сложным строением и невыдержанной мощностью. Она сложена неравномерно чередующимися прослоями глины мощностью 10–70 см, каменной соли – 1–3 см, сильвинитов – 1–15 см, сильвинито-карналлитовыми и карналлитовыми прослоями – 5–70 см. Наличие в кровле большого количества глины с прослоями каменной соли и карналлитовой породы делает кровлю неустойчивой, что создает неблагоприятные условия проходки и эксплуатации горных выработок. Вскрытие и подготовка запасов второго и третьего калийных горизонтов на всех рудниках осуществлено системой главных и панельных транспортных, конвейерных и вентиляционных штреков, пройденных по рабочим пластам. В целом месторождение отличается спокойным, близким к горизонтальному (углы падения 1–7°) залеганием пластов [28, 37], отсутствием складчатых нарушений в пределах шахтных полей. На всей площади месторо-

Таблица 1

Месторождение	Место отбора пробы (глубина)	Состав рассола (основные компоненты), г/л								Плотность, г/см ³
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Br ⁻	
Верхнекамское	Третий Березниковский рудник (370 м)	120,30		3,04	0,94	192,17	1,96	-	-	-
	Второй Березниковский рудник, ствол № 2 (287 м)	121,70	0,02	1,46	0,5	188,82	3,94		-	1,206
Старобинское	Третий Солигорский рудник (420 м)	6,76	10,38	38,02	5,53	103,26		-	-	-
Стебниковское	Ново-Стебниковский рудник, ствол «Восточный» (120 м)	92,21	32,12	-	28,09	173,52	107,25	0,20	0,90	1,287
	Стебниковский рудник, ствол «Новый» (50 м)	120,13	1,59	0,46	1,14	187,35	4,58	0,18		1,195
Калушское	Рудник Калуш, ствол IV (75 м)	1,07	0,53	0,47	0,25	2,24	1,78	0,20	-	1,003
	Рудник им. 50-летия Октября, ствол «Главный» (57 м)	112,61	1,39	5,00	3,65	193,27	1,46			1,203

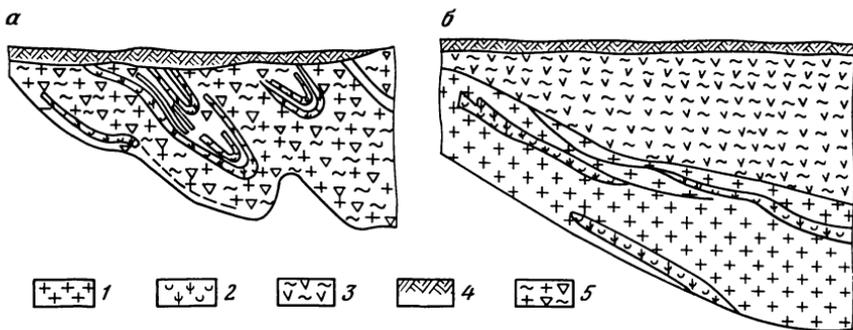


Рис. 2. Схематические геологические разрезы участков Стебниковского (а) и Калушского (б) месторождений:

1 — каменная соль; 2 — калийные соли; 3 — породы глинисто-гипсовой шляпы; 4 — четвертичные отложения; 5 — песчаниково-глинистые засоленные брекчии

ждения соленосные отложения перекрыты породами глинисто-мергелистой толщи мощностью 220–300 м, а на отдельных участках до 400–500 м [12]. Выше залегают меловые отложения, третичные пески и четвертичные отложения мощностью соответственно до 35, до 60 и 50–110 м.

Все покровные породы, начиная с верхней части глинисто-мергелистой толщи, обводнены и составляют единый гидравлически связанный водоносный комплекс [12]. Подземные воды практически пресные, лишь в верхней части глинисто-мергелистой толщи минерализация их достигает 76 г/л [4]. Напорные воды верхних водоносных горизонтов обеспечивают расчетный водоприток в шахтный ствол до 3200 м³/сут.

Наибольшую опасность при проходе шахтных стволов представляют обводненные песчаники (пльвуны) третичных отложений. Породы нижней части глинисто-мергелистой толщи безводны и являются водоупором. Соленосные отложения практически безводны, однако в отдельных случаях встречаются незначительные скопления рассолов с минерализацией до 400 г/л.

Стебниковское месторождение расположено в районе г. Стебник, в 10 км от г. Драгобыч Львовской области Украинской ССР.

В геологическом строении месторождения принимает участие верхнеолигоценные и нижнемиоценовые отложения трех свит вортыщенской и нижней части стебниковской серий и четвертичные отложения. Калиносные породы представлены пластовыми или линзообразными залежами мощностью от нескольких сантиметров до десятков метров. Протяженность участков распространения калийных пластов от 10 м до 2 км. Вмещающие породы представлены соленосными брекчиевидными глинами. Калийные пласты, как правило, смяты в узкие синклиналильные складки. Геологический разрез одного из участков месторождения показан на рис. 2, а. На большей части месторождения [12] соленосная толща перекрыта породами глинисто-гипсовой шляпы мощностью до 120 м [37], состоящей из глины, кристаллического гипса, мелкозернистого песка и галечника. Выше залегают четвертичные отложения, представленные глинами, суглинками с незначительным содержанием супеси, песка и мелкого гра-

вия, на отдельных участках – песчано-гравийно-галечниковые отложения. Мощность четвертичных отложений до 30 м [12].

Различают воды четвертичных отложений, пород глинисто-гипсовой шляпы, стебниковских и вортыщенских отложений. Четвертичным отложениям соответствуют пресные в верхней части или солоноватые в галечниках над глинисто-гипсовой толщей воды. Минерализация составляет 0,3–4 г/л. Воды глинисто-гипсовой шляпы по мере приближения к соляным породам переходят в рассолы с минерализацией до 400 г/л. На контакте соляных пород и глинисто-гипсовой шляпы минерализация достигает 420 г/л [4]. Подземные воды четвертичных отложений и глинисто-гипсовой шляпы образуют гидравлически связанный водоносный комплекс верхних надсолевых вод. Водоприток в шахтный ствол может достигать 360 м³/сут.

Калушское (Калуш-Голыньское) месторождение расположено в районе г. Калуша Ивано-Франковской области Украинской ССР. Месторождение объединяет ряд калиеносных участков, составляющих Калушскую и Голыньскую группу. Месторождения Калушской группы представлены пологими, слабонаклонными пластами и линзообразными отложениями, глубина залегания от 30 до 280 м. Соленосные отложения перекрыты породами пестроцветной толщи, гипсо-ангидритовой пачкой и отложениями галицкой серии. Мощность пестроцветной толщи, сложенной плотными рассланцованными глинами с прослоями песчаников, алевролитов, иногда гравия и гипса, ангидрита составляет 10–230 м. Мощность гипсо-ангидритовой пачки до 25 м. Плотные известковистые глины с прослоями песчаников составляют отложения галицкой серии. Соляные пласты в Голыньской группе в большинстве случаев смяты в синклинальные складки, падение пластов на крыльях складок до 30°. На отдельных участках соленосная толща перекрыта породами глинисто-гипсовой шляпы мощностью от 3 до 60 м. Четвертичные отложения представлены песками, гравием, галечником и суглинками. Геологический разрез месторождения показан на рис. 2, б.

Калушское месторождение имеет один ярко выраженный водоносный горизонт, приуроченный к галечникам четвертичных отложений. Подземные воды пресные, иногда солоноватые с минерализацией до 3 г/л. Водоприток в шахтные стволы достигают 500–1600 м³/сут [12]. Контакт глинисто-гипсовой шляпы с соленосными породами, как правило, безводный. Соленосные отложения также безводны, однако в единичных случаях встречаются рассолы с минерализацией до 425 г/л [12].

1.2. МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАМЕННОЙ СОЛИ

В пределах нашей страны известно более 100 месторождений каменной соли, но лишь незначительная часть их разрабатывается подземным способом. Основное промышленное значение имеют Артемовское, Солотвинское, Илецкое и Аванское месторождения. Ведутся работы по строительству рудника на Тыретском месторождении.

По геологическому строению Артемовское и Тыретское месторождения относятся к пластовым, Солотвинское, Илецкое и Аванское месторождения – купольного типа.

Артемовское месторождение каменной соли расположено севернее г. Артемовска Донецкой области УССР. Месторождение приурочено к юго-восточному крылу Бахмутской котловины, в геологическом строении которой принимают участие пермские, триасовые, юрские, меловые, третичные и четвертичные отложения.

Над соленосной толщей залегает красноцветная песчано-глинистая толща, сложенная в основном песчано-глинистыми породами. Песчаники толщи обычно рыхлого сложения, трещиноватые, тонкослоистые. Триасовые отложения представлены песчано-галечниковым комплексом и глинами, вышележащие толщи – в основном песчаниками, в верхней части глинами. Четвертичные отложения – суглинки, супеси и пески общей мощностью до 20–30 м [5].

Соленосная толща общей мощностью до 180 м выполнена переслаивающимися пластами гипса, ангидритов, глин, аргиллитов, песчаников, известняков и каменной соли, которая суммарно составляет около половины мощности всей толщи. Промышленное значение имеют три пласта каменной соли (Надбрянцевский, Брянцевский и Подбрянцевский) мощностью до 25–40 м. Залегание пластов спокойное с общим падением на северо-запад (2–5°).

Нижняя часть соленосной толщи практически безводна. Однако в верхней части, где происходят процессы выщелачивания каменной соли и гипса, отмечено наличие водоносных (рассольных) горизонтов, не имеющих распространения по всей площади месторождения. Водоприитоки в ствол могут достигать 250 м³/ч [5]. Вышележащие толщи, как правило, не имеют выдержанных водоносных горизонтов, дебит их незначителен. Химический состав вод разнообразен. Наибольшую минерализацию имеют рассолы верхней части соленосной толщи (до 240 г/л).

Отдельные участки месторождения имеют свои гидрогеологические особенности. Так, в районе шахтных стволов рудника им. Свердлова подземные воды распространены до глубины 90 м. Водоприиток из толщи четвертичных отложений до 5 м³/ч, из верхней части дроновской свиты до 29 м³/ч.

Схематический геологический разрез месторождения на участке рудника им. Свердлова показан на рис. 3, а.

Солотвинское месторождение каменной соли расположено в юго-восточной части Верхне-Тиссенской котловины в районе г. Солотвин, в 150 км от г. Ужгород. Граница месторождения с востока, юга и запада проходит по р. Тиссе.

В геологическом строении месторождения принимают участие породы терблицкой и солотвинской свит среднего миоцена. Соляная структура (купол) образовалась в результате выдавливания соли из недр через толщи вышележащих осадочных пород. Крылья купола, вытянутого с юго-востока на северо-запад, падают под углом 45–70°. Площадь выхода соляного тела к поверхности около 1,5 км². В центральной части соляной купол выходит под четвертичные аллювиально-делювиальные отложения, представленные гравийно-галечными породами, галечником. Мощность отложений 4–30 м. Непосредственно на поверхности соли залегает слой соленосного ила мощностью от нескольких сантиметров до 20 м. Третичные отложения представлены алевролитово-песчаниковыми породами и до глу-

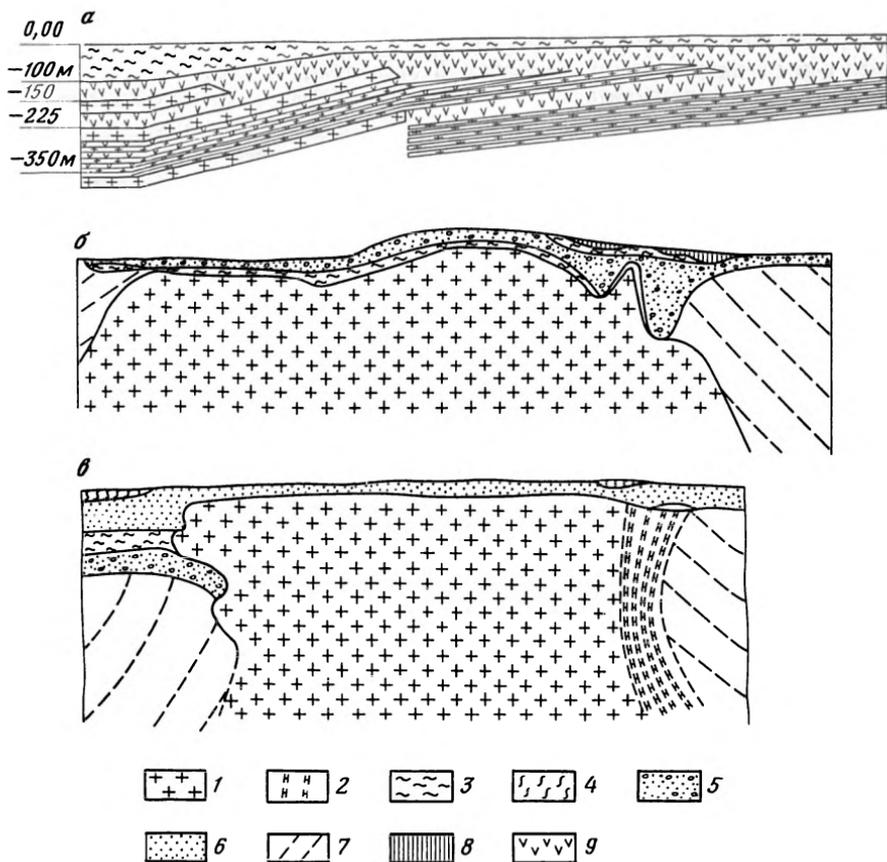


Рис. 3. Схематические геологические разрезы Артемовского (а), Солотвинского (б) и Илецкого (в) месторождений:

1 – каменная соль; 2 – каменная соль, переслаивающаяся с ангидритом; 3 – песчано-глинистые отложения, глины, солевой ил; 4 – суглинки; 5 – песчано-гравийно-галечниковые отложения; 6 – пески; 7 – коренные породы; 8 – торф; 9 – гипсы, ангидриты

бины 125–130 м трещиноваты. Коренные (вмещающие соляной купол) породы примыкают к соляному телу под углом около 60° и представлены серыми мергелями, глинистыми сланцами, песчаниками.

Месторождение характеризуется весьма сложными гидрогеологическими условиями. Выделяются два водоносных горизонта: аллювиальный и горизонт подземных вод коренных пород.

Наибольшее воздействие на соляное тело оказывают воды аллювиального горизонта, питающегося за счет р. Тиссы и атмосферных осадков. Воды этого горизонта безнапорные. Мощность водоносного горизонта около 10 м, в местах образования карстов на поверхности соляного тела достигает 50 м. В верхней части надсолевые воды пресные, в нижней части, особенно в местах образования карстов, минерализация достигает 150 г/л.

Подземные воды коренных пород приурочены к трещиноватым зонам, по химическому составу пресные в верхней части и высокоминерализованные рассолы – на больших глубинах. Как правило, эти воды отличаются значительными напорами (до 4,4 МПа). Карстообразование развито не только на поверхности соляного купола, но прослеживается и по его крыльям до глубины 70–100 м [36].

Схематический геологический разрез месторождения показан на рис. 3, б.

Илецкое месторождение каменной соли расположено на юге Оренбургской области, вблизи г. Соль-Илецк. Соляной купол размерами 1,5 × 2 км в центральной своей части выходит на дневную поверхность. Четвертичные отложения, покрывающие соляной купол, представлены рыхлыми песчано-глинистыми породами мощностью до 10 м в центральной части и до 40 м у границ купола. Вмещающие купол породы относятся к сульфатно-соляной свите кунгурского яруса перми, верхнепермским и неогеновым осадкам. Крылья купола падают под углом 70–85°.

В пределах соляного купола распространен только один водоносный горизонт, залегающий непосредственно над солью, которая и служит для него водоупором. Это воды четвертичных отложений. Мощность водоносного горизонта от 0,4–2 до 18 м. Воды двигаются с севера на юг, растворяют поверхностный слой соли, по трещинам и другим каналам проникают в соляное тело, растворяют его. На месторождении выделяют еще боковые (околосолевые) воды, которые приурочены к пермским и третичным отложениям. Минерализация боковых вод достигает 300 г/л, что обычно характерно для пород сильнозакарстованной сульфатно-соленосной толщи [6].

Схематический геологический разрез месторождения показан на рис. 3, в.

1.3. ОСНОВНЫЕ ЗАРУБЕЖНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНОЙ И КАМЕННОЙ СОЛЕЙ

Наиболее мощной калийной промышленностью обладают Канада, США, ФРГ, ГДР, Франция и Испания.

Саскачеванское месторождение Канады одно из самых крупных в мире. Образование месторождения относится к эпохе среднего девона. Продуктивную толщу составляют три выдержанных пласта сильвинитов мощностью около 30 м. Геологические условия месторождения отличаются разнообразием, отдельные участки характеризуются своими геологическими и гидрогеологическими особенностями. Соляные отложения залегают на глубине 925 м. Первый пласт калийных солей вскрыт на глубине 958 м.

Гидрогеологические условия месторождения очень сложные. Хотя число водоносных горизонтов на отдельных участках различно, принято выделять четыре водоносные толщи. Первая от поверхности водоносная толща приурочена к ледниковым отложениям. Второй является зона Блэрморской формации. Водоносные пески мощностью 60–100 м создают давление до 6,3 МПа. Третья водоносная толща мощностью около 300 м приурочена к карбонатным и соленосным породам. Четвертая водоносная

толща заключена между двумя относительными водоупорами — слоями «Красный первый» и «Красный второй». Наибольшие трудности при проходке шахтных стволов представляют пески Блерморской формации.

В США разрабатываются два месторождения калийных солей: Карлсбадское — в штате Нью-Мексико и Кейн-Крик — в штате Юта.

Карлсбадское месторождение является самым крупным месторождением калийных солей в США. Промышленные пласты залегают на глубине 210–250 м, имеют спокойное залегание от почти горизонтального до пологого, местами угол падения пластов достигает 25°. Водоносными в надсолевых отложениях являются лишь доломитизированные известняки мощностью около 9 м, залегающие на глубине 60–70 м. Остальные породы надсолевых толщ практически безводны и являются водоупором.

На месторождении Кейн-Крик известны три калийных горизонта, залегающих на глубине 850–950 м. Залегание пластов пологое, но осложненное складками. Гидрогеологические условия месторождения сложные [7].

В ГДР и ФРГ имеется несколько бассейнов калийных солей [46]. На территории ГДР — Гессен-Тюрингенский бассейн (район Верра), Магдебург-Гальберштадский бассейн (районы Страссфурта, Финенбурга и Люненбурга) и Тюрингенский бассейн (районы Южный Гарц, Унструт, Мансфельд и Заале). В ФРГ — Нижнесаксонский бассейн (районы Ганновера, Брауншвейга и Геттингена), район Северо-Германской низменности и район Нижнего Рейна. Как правило, месторождения имеют сложные геологические и гидрогеологические условия. Каждый район имеет свои особенности, свой тип геологического строения. Для Страссфуртского района характерны системы складок. Поверхностные воды и рассолы имеют контакт с соляными отложениями. Водозащитный слой представлен соленосной глиной и имеет мощность до 5–10 м. Этот район более других пострадал от подземных вод и рассолов, затоплено много стволов и рудников. В отдельных случаях водопритоки в стволы при затоплении достигали 8640 м³/сут, а давление рассолов до 5,8 МПа.

В Ганновском районе распространены соляные штоки, калийные пласты смяты, собраны в многочисленные складки. Трещиноватая гипсовая шляпа и соляное зеркало обводнены. Близость обводненных пород к соляным штокам представляет опасность прорыва подземных вод в горные выработки.

В районе Северо-Германской низменности трещиноватая гипсовая шляпа достигает 100 м и сильно обводнена, вследствие чего карналлитовый пласт, залегающий под гипсовой шляпой, контактирует с подземными водами.

В Южном Гарце пласты калийной соли собраны в пологие складки. Мощность промышленного пласта 5–10 м. От водоносных горизонтов пласт защищен чередующимися слоями калийной соли и соленосной глины общей мощностью до 200 м [46].

В районе Верра залегание пластов пологое, спокойное. Над верхним сильвинитовым пластом залегают пласты калийной соли мощностью свыше 100 м. Расположенные выше сильводоносные плитчатые доломиты отделены от соляных отложений суглинками. Водопритоки могут достигать 28 000 м³/сут [4]. Ввиду сложного геологического строения глубины залегания калийных пластов в пределах месторождений различны (от 300

до 1100 м). По геологическим условиям район имеет некоторое сходство с Верхнекамским месторождением [31].

Сырьевой базой калийной промышленности *Франции* является Эльзасское месторождение, расположенное на востоке страны у границы с ФРГ. Промышленные пласты сильвинитов залегают на глубине 600–900 м и имеют угол падения 3–15°. Месторождение разбито сбросами и флексурами на несколько массивов, внутри которых залегание пластов преимущественно пологое. Водоносные горизонты в основном приурочены к верхней части разреза – аллювиальные отложения, частично песчаные мергели шатского яруса – и находятся выше кровли первого калийного пласта на 300 м и более. В целом гидрогеологические условия месторождения для проходки шахтных стволов и эксплуатации рудников весьма благоприятны. Максимальный приток воды в шахтные стволы при проходке достигал с участка протяженностью 10 м всего 6 м³/ч [18].

В *Испании* разрабатываются два месторождения – Каталонское и Наваррское.

Глубина залегания продуктивных пластов сильвинитового состава на Каталонском месторождении 275–1500 м, залегание пластов крутое. Месторождение расположено в северо-восточной части страны в районе г. Барселона. Калийные пласты перекрыты мощной толщей мергелей.

Наваррское месторождение расположено северо-западнее Каталонского. Сильвинитовые пласты в центральной части месторождения залегают полого на глубине 100–400 м. Промышленные пласты перекрыты каменной солью и мергелем.

Мощные толщи практически водонепроницаемых пород, покрывающие калийные пласты, надежно защищают горные выработки от проникновения воды. Гидрогеологические условия благоприятны для разработки. На некоторых рудниках эксплуатируются наклонные шахтные стволы, оборудованные конвейерами [7].

Среди зарубежных стран ведущее место по добыче каменной соли занимают США, Канада, Великобритания, ФРГ и ПНР.

В США выделяют пять бассейнов месторождений каменной соли: Восточный; берега залива Галф Коуст; Юго-Западный; Виллистона и Зеленой реки. Наибольшее значение имеет Восточный бассейн (районы Мичиган, Огайо и Онтарио). Например, участок пластового месторождения в штате Мичиган, разрабатываемый соляным рудником Детройта, имеет общую мощность соленосной толщи до 915 м, из них 610 м приходится на шесть пластов каменной соли, мощность которых достигает 120 м. Глубина разработки от 244 до 1830 м.

Основные месторождения каменной соли в Канаде представлены пологопадающими пластами. Добыча соли производится в Оджибуэ, Годерниче и Пагуоше. В Оджибуэ разрабатывается пласт мощностью 8 м, глубина разработки 300 м. Покрывающие породы: песчаники, известняки, пески, глины, гравий. Надсолевая толща имеет большое число водоносных горизонтов.

Месторождение каменной соли Чешир (Великобритания) представлено двумя пластами: мощностью 30–52 м верхний и 24–26 м нижний. Глубина разработки 100 м и более. Гидрогеологические условия весьма благоприятные.

1.4. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО УСЛОВИЯМ ВСКРЫТИЯ

Условия залегания калийных и соляных месторождений или их отдельных участков весьма разнообразны. Горнотехнические и гидрогеологические условия являются определяющими факторами. Большинство калийных и соляных месторождений залегают на значительной глубине. Началу освоения месторождения предшествует детальное изучение его с целью оценки тех трудностей, с которыми предстоит встретиться уже в первый период освоения, т. е. при проходке шахтных стволов.

Для обеспечения успеха строительства шахтных стволов, решения вопроса о способе проходки и типе крепи необходимо до разработки проекта знать следующие основные характеристики: характер залегания промышленных пластов; наличие толщи покровной каменной соли для калийных месторождений; наличие безводных (глинистых) пластов горных пород над соляными отложениями, их характеристики; фильтрационные характеристики (трещиноватость, пористость и т. д.) надсолевых отложений; расположение водоносных горизонтов, их характеристику; тип подземных вод; минералогический состав рассолов.

Особое внимание уделяется изучению гидрогеологии надсолевых отложений, что определяется особенностью природных солей хорошо растворяться в воде. Месторождение, существовавшее в природе миллионы лет, может погибнуть вследствие образования водопродвижающих путей между водоносными горизонтами и соляной залежью. Наибольшая вероятность этого возникает при проходке шахтных стволов, которые пересекают все водоносные горизонты, прорезают водозащитные толщи. Создается реальная возможность поступления подземных вод к соляным пластам.

В мировой практике имеется достаточное число примеров, когда в результате проходки шахтных стволов подземные воды по закрепному пространству проникали в горные выработки, что приводило в конечном итоге к затоплению рудников. Отдельные попытки бороться с водопритоками в соляные рудники с помощью водоотлива, как это практикуется в других горнорудных отраслях, как правило, успеха не имели.

А. Н. Андреевым была предложена классификация калийных месторождений, которая учитывает их специфику и особенности структуры. Все месторождения калийных солей сгруппированы в два класса, каждый из которых имеет две группы. Применительно к условиям вскрытия месторождения, отдельного участка или шахтного поля классификационные признаки могут быть распространены и на месторождения каменной соли, особенно пластовые.

Отнесение месторождения, его участка к определенному классу, группе не только характеризует гидрогеологические и инженерно-геологические условия разработки его, но по опыту вскрытия других месторождений этого класса (группы) позволяет более правильно выбрать способ проходки и тип крепи для будущего шахтного ствола.

Класс А объединяет месторождения с неизбежным контактом соляных и покровных пород (группы I и II).

К группе I относятся месторождения с простыми гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями. Это месторождения обычно

пологого или наклонного залегания. Пласты солей залегают среди мощных безводных отложений. На калийных месторождениях покровная каменная соль обычно отсутствует. Надсолевые толщи состоят преимущественно из глинистых и глинисто-мергелистых пород, обладающих хорошей пластичностью. Водоносные горизонты отделены от соляных отложений толщей водонепроницаемых пород. Из калийных месторождений к этой группе можно отнести Старобинское (СССР), Эльзасское (Франция), Карлсбадское (США), частично Калушское (СССР).

В группу II входят месторождения с осложненными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями. Продуктивные пласты пологого залегания обычно с большими нарушениями, в основном складками. В кровле пластов залегают неустойчивые породы, иногда соленосные глины. На калийных месторождениях выше неустойчивых пород часто залегает мощная толща покровной каменной соли. Хотя контакт надсолевых пород с солями не обводнен, существует опасность проникновения подземных вод, например, из подстилающих пород. Из калийных месторождений к этой группе можно отнести Гаурдакское (СССР), центральную часть Южного Гарца, район Верра (ГДР).

К классу Б относятся месторождения с обводненным контактом соляных и покровных пород (группы III и IV).

В группу III входят калийные месторождения, защищенные от водоносных горизонтов толщей покровной каменной соли. Обычно водоносный горизонт контактирует с соляными отложениями, выше которых залегают обводненные вторичные образования, например, гипсы. Характерными для этой группы являются Верхнекамское (СССР) и Саскачеванское (Канада) калийные месторождения. По условиям вскрытия аналогичные условия имеют центральная часть купола Индерского борно-калийного месторождения, Артемовское месторождение каменной соли, центральная часть купола Солотвинского месторождения.

К группе IV относятся месторождения с весьма сложными геологическими и гидрогеологическими условиями. Прежде всего это краевые части куполов или подобные им месторождения. Залегание пластов на участке вскрытия обычно характеризуется тектоническими нарушениями, складчатостью. Породы надсолевых толщ, как правило, разорваны, сдвинуты, сильно обводнены. Примером таких месторождений являются Стебниковское калийное, краевые части Илецкого и Солотвинского соляных куполов, Страссфуртский район (ГДР) и Ганноверский район (ФРГ).

1.5. ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛЯНЫХ ПОРОД

При разработке любого калийного или соляного месторождений возникает необходимость проходки и крепления капитальных выработок в соляных породах. Правильный выбор типа и материала крепи в определенной степени зависит от химического состава и физико-механических свойств окружающего массива пород. Для месторождений СССР наиболее распространенными являются следующие соляные породы: каменная соль или галит (NaCl); сильвин (KCl); карналлит ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$); полигалит ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); каинит ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$); кизерит ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$); лангбейнит ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$).

Встречаются и некоторые другие соли, например, бишофит, шенит и др. *Каменная соль* – минерал группы хлоридов, плотность 2,1–2,2 т/м³, коэффициент крепости по шкале М. М. Протодьяконова 2–3. Предел прочности пород на сжатие составляет 30–40 МПа, на растяжение 0,8–1,7 МПа, на изгиб 2,5–5,0 МПа. Разброс значений характеристик обусловлен некоторым различием минералогического состава, структурными особенностями соляных пород, примесями, особенно глинистыми [34, 37,39].

Каменная соль встречается чаще всего в плотных массах, образующих мощные пласты или куполы. Чистая каменная соль бесцветна, иногда имеет белесоватый или голубой оттенок (например, на Верхнекамском месторождении). Легко растворяется пресной водой и слабоминерализованными растворами. В отложениях каменной соли, особенно на пластовых месторождениях, залегают прослойки глинистых пород, которые значительно ухудшают ее прочностные свойства. На купольных месторождениях встречается белая мелкокристаллическая каменная соль (например, Индерское месторождение). Каменная соль отличается вязкостью, при динамических нагрузках – хрупкостью. Вязкость зависит от размера кристаллов (зерен). Мелкокристаллическая соль обладает большей вязкостью.

При нагрузках 15–20 МПа каменная соль переходит от хрупкого к пластическому состоянию, проявляет признаки ползучести. При значительных нагрузках они отмечаются с глубин 350–400 м. Начиная с 400–600 м распределение напряжений в массиве становится близким к гидростатическому.

Сильвинит – природная смесь каменной соли и сильвина. Сильвин – минерал группы хлоридов. Встречается в виде плотных масс, обычно пластового залегания. В природе часто имеет окраску от молочно-белой до розовой и красной. По сравнению с каменной солью обладает большей вязкостью. Плотность 1,85–2 т/м³, коэффициент крепости 1,5–2.

В сильвините кроме КСl и NaCl обычно присутствуют глинистые примеси до 2–3%, иногда до 6–8%. Сильвинит обладает близкими с каменной солью физико-механическими свойствами. Предел прочности на сжатие 25–38 МПа, на растяжение 0,6–2 МПа, на изгиб 2–4 МПа. Плотность сильвинита 1,9–2,1 т/м³. По сравнению с каменной солью сильвинит менее хрупок, обладает большей вязкостью. Коэффициент крепости 2–3.

Карналлит – минерал группы хлоридов. Хрупкая малоустойчивая порода. Обычно залегают мощными пластами. Отличительная особенность карналлитов – сильная гигроскопичность, вследствие чего он быстро растворяется под воздействием влаги воздуха. Кристаллы карналлита окрашены в желтый, оранжевый или красный цвет. Карналлит содержит горючие газы: метан, водород. Плотность – 1,6–1,8 т/м³, коэффициент крепости около 2. Предел прочности пород на сжатие составляет 13–17 МПа, на растяжение 0,2–0,8 МПа, на изгиб 0,35–1,5 МПа.

Зубер – соленосная водоупорная горная порода брекчиевидного строения, состоящая из зерен глины, мергеля, ангидрита, гипса, иногда и других пород. Содержание цементирующего материала – каменной соли достигает 15–20%. Обычно слои зубера перемежаются слоями каменной соли, загрязненной глинами. Под воздействием влаги зубер вспучивается.

Соляные породы относятся к упруго-пластическим и характеризуются

значительными деформациями ползучести. Под ползучестью понимают способность соляных пород деформироваться во времени при постоянной нагрузке. Поэтому показатели деформационных свойств соляных и соледержащих пород – модуль упругости E и коэффициент Пуассона μ – в определенной мере являются условными. Проявление упругих свойств или деформаций ползучести во многом определяется величиной и скоростью приложения нагрузки, временем действия нагрузки. Так, при высоких скоростях нагружения даже карналлит ведет себя как «упругое тело». Каменная соль, сильвинит и при незначительных нагрузках склонны к развитию значительных деформаций ползучести. Поэтому для практических расчетов взаимодействия соляных пород с крепью выработок наиболее целесообразно использовать показатели длительной прочности.

По данным лабораторных испытаний образцов кубиковой формы модуль упругости для каменной соли Старобинского месторождения составляет $(1,4-1,93) \cdot 10^{-6}$ МПа, а для сильвинита $1,18 \cdot 10^{-6}$ МПа. Коэффициент Пуассона 0,26–0,41 для каменной соли и 0,28–0,43 для сильвинита [34]. По данным шахтных испытаний [37], полученных на этом же месторождении, для каменной соли модуль упругости составляет $(1,23-2,7) \cdot 10^{-6}$ МПа, а для сильвинита $(1,2-2,7) \cdot 10^{-6}$ МПа. Коэффициент Пуассона для каменной соли равен 0,27–0,32, а для сильвинита – 0,26.

2. ПРОХОДКА ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

2.1. ВЫБОР МЕСТА ЗАЛОЖЕНИЯ СТВОЛОВ

Место заложения стволов для вскрытия шахтного поля каждого конкретного рудника определяют исходя из сочетания нескольких факторов. Для месторождений с относительно простыми условиями (группы I и II) решающее значение может иметь выбор удобного места для строительства сооружений поверхностного комплекса будущего предприятия, например, близость инженерных коммуникаций.

Иначе решается вопрос для месторождений с обводненным контактом соляных и покровных пород (группы III и IV), где в первую очередь должна обеспечиваться возможность устройства надежной гидроизоляции соляной залежи от обводненной части покровных пород. В условиях таких месторождений решающее значение могут иметь особенности геологического строения участка – наличие прочных нетрещиноватых пород или покровной каменной соли, позволяющих выполнить гидроизоляцию ствола и перекрыть возможные пути поступления подземных вод из вышележащих горизонтов к промышленным пластам или вообще к соляным породам. Для калийных месторождений группы III особое внимание при выборе места заложения стволов должно уделяться изучению покровной каменной соли и состоянию контактной зоны. В тех местах, где мощность покровной каменной соли уменьшается, например, на поднятиях, заложение стволов нежелательно, так как при вскрытии может не оказаться места для установки гидроизоляционных устройств, возможны нарушения покровной соли трещинами. Подобный случай имел место при проходке стволов № 2 Первого Соликамского и № 1, 2, 3 Первого Березниковского калийных рудников.

В стволе № 2 Первого Соликамского рудника при проходке ниже 101,5 м вскрыли вертикальную сбросовую трещину с раскрытием до 10 мм, которая была заполнена частично глиной и замороженным рассолом. В пределах сечения ствола трещина прослеживалась до глубины 116 м, что значительно затрудняло ее ликвидацию, так как замораживающие скважины были пробурены лишь до 115 м. Ниже 110 м было встречено еще несколько трещин.

При проходке ствола № 1 Первого Березниковского рудника покровная каменная соль с глубины 141,4 до 167,5 м оказалась трещиноватой. Благоприятным для проходки было то, что все трещины не выходили за пределы ствола и не давали притока рассолов.

Не рекомендуется закладывать шахтные стволы в местах изломов, перегибов пластов, на склонах поднятий вблизи их вершин, в местах, где в покровной соли имеются пропластки легкорастворимых пород, например, карналлитов. Так, в результате проникновения подземных вод в карналлитовый пласт на глубине 131 м в стволе № 2 Первого Соликамского рудника создалось аварийное положение. Первоначально водопристок составлял около 1 л/ч. Однако вследствие быстрого растворения карналлита в короткое время за крепью образовались пустоты, на заполнение которых

позднее было израсходовано 232 т цемента. При ликвидации водопритока тьюбинговая колонна была удлинена, дополнительно установлен еще один кейлькранц и два кольца чугунных тьюбингов.

На отдельных участках калийных месторождений покровная каменная соль может вообще отсутствовать.

Такие участки встречаются на Верхнекамском месторождении, хотя именно покровная каменная соль на этом месторождении является естественным водоупором.

Наиболее сложным является выбор места заложения шахтных стволов при вскрытии месторождений IV группы. В купольных структурах защитный слой покровной каменной соли обычно или отсутствует (размыт при образовании купола), или сильно закарстован (породы, покрывающие купол, нередко бывают нарушены и сильно обводнены). Примером может служить Индерское борно-калийное месторождение, где покрывающие соляной купол породы гипсовой шляпы сильно закарстованы, а расчетный водоприток в ствол с соляного зеркала (глубина 45–47 м) составляет $600 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Поэтому еще на стадии сбора исходных данных и разработки проекта проходки ствола особое внимание уделяют полноте сведений об особенностях участка предполагаемого строительства и инженерно-геологической характеристике, которая включает в себя:

- стратиграфию разреза;

- литологический (минералого-петрографический) состав пород;

- тектонику (наличие нарушений, амплитуды и элементы залегания пород, размеры и направление развития трещиноватости, наличие систем трещин и т. д.);

- физико-механические и теплофизические свойства пород;

- характеристику водоносных горизонтов (число, мощность, глубина залегания, гидростатические напоры подземных вод, коэффициенты фильтрации и дебиты);

- ожидаемые водопритоки в шахтный ствол по каждому водоносному горизонту;

- наличие водоупоров и возможность на этих участках возведения гидроизоляционных сооружений;

- характеристику подземных вод (вид и степень минерализации, жесткость, кислотность, агрессивность по отношению к предполагаемым материалам крепи ствола, температура, направление, скорость подземных потоков, химический состав подземных вод и т. д.).

Полнота сведений о геологическом и гидрогеологическом строении участка проходки ствола в значительной мере обеспечивает успех строительства и надежность эксплуатации будущего горного предприятия.

В практике известны случаи затопления стволов и разрушение рудников вследствие недостаточной изученности геологических особенностей участка строительства.

Например, при проходке грузольдского ствола на Артёмовском соляном руднике № 2 не была учтена трещиноватость зоны контакта. Предварительный тампонаж этого участка также выполнен не был, что привело к затоплению ствола.

2.2. СПОСОБЫ ПРОХОДКИ СТВОЛОВ

Предложенная классификация месторождений (см. подраздел 1.4) отражает и возможность применения различных способов проходки шахтных стволов. При решении этого вопроса выделяют четыре характерных участка проходки стволов при вскрытии соляных месторождений [39]: породы четвертичных или третичных отложений, горные породы непосредственно надсолевых отложений (породы кепрока), контактная зона, т.е. зона контакта пород кепрока с солью, и участок соляных пород.

Проходка стволов ниже контактной зоны в соляных породах, как правило, осуществляется обычным способом.

Наиболее сложную задачу представляет проходка шахтных стволов выше контактной зоны, на трех первых выделенных участках, которые можно объединить в комплекс надсолевых пород. Как свидетельствует практика проходки шахтных стволов на соляных и калийных рудниках ГДР и ФРГ, лишь в 50% случаев возможно применение обычного способа проходки [39]. Во всех остальных случаях гидрогеологические и геологические условия обуславливали проходку стволов в надсолевых породах только специальными способами.

В нашей стране применение специальных способов проходки стволов предусматривается во всех случаях, когда водоприток в ствол достигает $8 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Выбор специального способа проходки ствола зависит от характера и обводненности пересекаемых пород. Однако применение того или иного специального способа проходки для месторождений различных групп по предложенной классификации определяется не только геологическими и гидрогеологическими факторами. В отдельных случаях решающим в выборе оказываются технические возможности осуществления проходки, в других — способ проходки ствола выбирается традиционно.

Так, на Верхнекамском калийном месторождении (группа III) при строительстве стволов Первого Соликамского рудника была осуществлена проходка ствола № 1 способом цементации, а ствола № 2 способом замораживания. Оба ствола успешно эксплуатируются до настоящего времени. Однако осложнения, имевшие место при применении способа цементации в тот период, определили на многие годы применение исключительно способа замораживания горных пород от поверхности до покровной каменной соли. В то же время в сходных условиях района Верра (ГДР) распространение получил способ цементации.

Известны случаи применения способа замораживания на месторождениях всех четырех групп. Большинство шахтных стволов калийных и соляных рудников СССР пройдено с предварительным замораживанием горных пород (см. приложение).

Метод искусственного замораживания заключается в том, что в водонасыщенных породах вокруг будущего ствола создается защитная оболочка из замороженных пород, которая охраняет ствол от поступления подземных вод. По окружности диаметром, на 4–6 м превышающим диаметр ствола в проходке, бурят один-два ряда замораживающих скважин, оборудованных трубами для циркуляции хладоносителя, чаще раствора хлористого кальция. Расстояние между соседними замораживающими скважина-

ми составляет 0,9–1,25 м. Часть скважин, именуемых тампонажно-замораживающими, используется для предварительного тампонажа горных пород. Участки тампонажа, составы тампонажных растворов и число тампонажно-замораживающих скважин определяются проектом. Проведение предварительного тампонажа способствует последующему замораживанию пород, сокращает объемы тампонажного раствора при погашении замораживающих скважин и сроки проведения работ по проведению контрольной гидроизоляции ствола после возведения водонепроницаемой крепи на участке обводненных горных пород. Для замораживания пород до глубины 200–250 м применяют одноступенчатое замораживание, когда процесс замораживания ведется одновременно по всей высоте замораживающих колонок. При больших глубинах используют многоступенчатое замораживание. Создание ледопородного цилиндра, например в две ступени, предусматривает сначала замораживание пород верхнего участка с одновременным охлаждением пород нижнего участка. Затем нижняя часть замораживающих колонок переводится на режим активного замораживания пород, при этом верхняя работает в режиме поддержания температуры ледопородного ограждения.

При бурении замораживающих скважин очень важно правильно выбрать величину заглубления их в каменную соль или в породы, являющиеся естественным водоупором.

В практике успешных проходок шахтных стволов, например, на Верхнекамском месторождении, известны случаи заглубления от 2–3 до 20 м. Такой разброс связан с недостаточной изученностью гидрогеологии контактной зоны. Анализ проходки стволов Второго, Третьего и Четвертого Березниковских, Второго Соликамского и Ново-Соликамского рудников показал, что контактная зона отличается незначительной обводненностью, хотя имеющиеся рассолы содержат до 300 г/л солей. Практически проходка этой зоны возможна и без замораживания, если нет поступления воды с вышележащих горизонтов по скважинам или закрытому пространству ствола. Отказ от заглубления в замораживающих скважин в соль позволяет сохранить последнюю для размещения в ней гидроизоляционных устройств. Такое решение особенно ценно, когда мощность покровной каменной соли невелика. Однако при малом заглублении могут остаться незамороженными рассолопроводящие трещины.

Применение способа замораживания на месторождениях группы I не требует низких температур. Обычно температура хладоносителя составляет -20°C . Для успешного замораживания горных пород, насыщенных рассолами, в контактной зоне месторождений с обводненным контактом (класс Б) требуются более низкие температуры до (-40) – $(-50)^{\circ}\text{C}$, что является принципиальным отличием применения способа замораживания, например, в условиях Старобинского (группа I) и Верхнекамского (группа III) месторождений. На Старобинском месторождении, несмотря на благоприятные в целом гидрогеологические условия, применение способа замораживания определено наличием плывунов. Ниже плывунов, в том числе в надсолевых породах и в зоне контакта, все стволы были пройдены обычным способом.

Для месторождений класса Б подземные воды надсолевых толщ вблизи контакта обычно отличаются высокой минерализацией до 300–400 г/л (см.

табл. 1). Насыщенный раствор NaCl при минерализации 290 г/л замерзает при $-21,2^{\circ}\text{C}$, а более низкие температуры нужны для замораживания (насыщенных) растворов MgCl_2 в воде (до $-33,6^{\circ}\text{C}$). Насыщенные растворы карналлита $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ практически не замерзают при температуре хладоносителя -40°C .

Замораживание рассолов, находящихся под давлением, требует еще более низких температур. Вопрос о температурах замерзания сложных многокомпонентных рассолов изучен еще недостаточно, известно, что эти температуры всегда ниже температур замерзания любого из входящих в состав рассолов. В практике проходки шахтных стволов калийных рудников способом замораживания имеется много примеров появления водопритоков и даже возникновения аварийных ситуаций из-за плохого замораживания горных пород, насыщенных сложными высокоминерализованными рассолами. При проходке ствола № 1 Первого Березниковского калийного рудника на глубине 140–167 м был встречен незамороженный рассол при температуре хладоносителя -41°C и горных пород забоя ствола -24°C . При проходке ствола № 2 Первого Соликамского калийного рудника был встречен незамороженный карналлитовый рассол при температуре -43°C [39], а при вскрытии трещины в верхней части соляной толщи в ствол стал поступать рассол под давлением 0,9 МПа с температурой -31°C . Рассол имел следующий состав растворенных солей: NaCl–31 г; KCl–40 г, MgCl_2 –234 г, CaCl_2 –1,8 г и CaSO_4 –31 г на один литр. Опытным путем температура замерзания этого раствора была определена в -41°C .

При низкотемпературном замораживании обеспечить поддержание проектных температур удастся на практике далеко не всегда. Даже на тех рудниках, где замораживание горных пород в целом обеспечило успешную проходку стволов, фактические температуры, как правило, были выше проектных. Так, при проходке стволов Второго Березниковского калийного рудника было предусмотрено двухступенчатое замораживание. Первая ступень от 0 до 220 м при температуре замораживания (-20) – $(-23)^{\circ}\text{C}$, вторая ступень на глубинах от 220 до 320 м при температуре (-38) – $(-41)^{\circ}\text{C}$. В качестве хладоносителя применялся водный раствор CaCl_2 с плотностью $1,28 \text{ г/см}^3$, замерзающий при температуре -55°C . При проходке ствола № 3 замораживание пород первой ступени прошло успешно, на второй ступени фактическая температура хладоносителя поднималась до -33°C , но так как температура замерзания естественных рассолов была (-23) – $(-27)^{\circ}\text{C}$, в целом проходка прошла благополучно.

Наиболее низкие и устойчивые температуры замораживания были достигнуты при проходке ствола № 2 Первого Соликамского рудника, где в последний период замораживания температура прямого рассола (хладоносителя) составляла (-41) – $(-43)^{\circ}\text{C}$.

При создании ледопородного ограждения очень важно, чтобы температура охлаждающего раствора постоянно поддерживалась достаточно низкой. Наблюдения при проходке стволов Третьего Березниковского калийного рудника [29] показали, что температура горных пород с некоторым запаздыванием изменяется по тому же закону. При переходе с активного замораживания на режим пассивного поддержания ледопородного ограждения, когда температура охлаждающего раствора повышается до -20

или -25°C , часто отмечаются случаи появления водопритоков. Подобные водопроявления были зафиксированы при проходке стволов № 2 и 3 этого же рудника. При значительных повышении температуры горных пород в ледопородном ограждении могут образоваться «окна», через которые подземные воды будут поступать в ствол.

Колебания температуры не единственная причина образования «окон», чаще это вызвано отклонением замораживающих скважин от вертикали. Например, вследствие отклонения замораживающих скважин вокруг ствола № 2 Четвертого Березниковского калийного рудника уже на глубине 50 м образовалось три промежутка, превышающих проектное расстояние между соседними замораживающими скважинами более чем в 2 раза. На глубине 260 м их было уже шесть, а превышение достигало 2,73 раза. Аналогичное положение можно наблюдать и на других стволах. На рис. 4 показан погоризонтный план расположения замораживающих скважин вокруг ствола № 1 этого же рудника, у которого превышение расстояния между скважинами также достигало 2–2,72 раза. Отношение фактического расстояния между соседними замораживающими скважинами к проектному на различных глубинах у этого ствола приведено в табл. 2.

Известно много случаев затопления стволов через «окна». Например, ствол № 1 Третьего Березниковского калийного рудника [29], где расстояние между замораживающими скважинами на глубине 370 м было превышено в 2,76 раза (максимальное значение). На стволе № 2 Второго Березниковского калийного рудника, также затопленного через образовавшееся «окно» в ледопородном цилиндре при глубине забоя 271 м, превышение расстояния между скважинами достигло на глубине 150 м 2,86 раза, 250 м – 3,07, а на глубине 310 м до 3,51 раза. Другой причиной появления

Таблица 2

Глубина расположения скважин, м	№ скважин	Отношение фактического расстояния между скважинами к проектному ($l_{ф}/l_{пр}$)	Глубина расположения скважин, м	№ скважин	Отношение фактического расстояния между скважинами к проектному ($l_{ф}/l_{пр}$)
50	16 ⁶² –17 ⁶	2,17		13–15	2,53
100	16 ⁶² –17 ⁶	2,29		20–21	2,65
	26–28	2,05		23–24	2,09
150	16 ⁶² –17 ⁶	2,67		26–28	2,37
				34–35	2,05
	14 ⁶ –15	2,17	260	7 ⁶ –8	2,53
26–28	2,17	16 ⁶² –18		2,21	
7 ⁶ –8	2,33	13–15		2,57	
200	16 ⁶² –17 ⁶	2,53		20–21	2,45
	16 ⁶² –18	2,31		22–24	2,37
	14 ⁶ –15	2,72		23–24	2,13
			29–31	2,03	
			7 ⁶ –8	2,49	

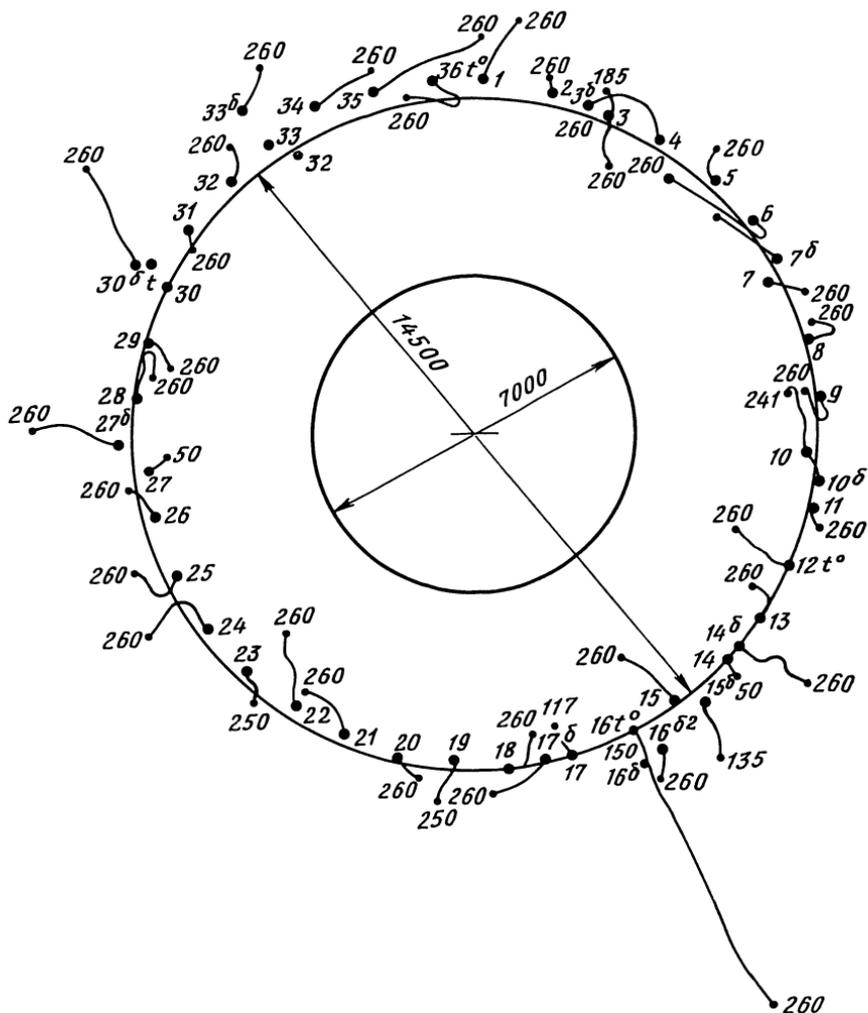


Рис. 4. Погоризонтный план расположения замораживающих скважин (обозначены номерами без индексов) у ствола № 1 Четвертого Березниковского калийного рудника (с индексом б обозначены дополнительные замораживающие скважины, а с индексом *t* – скважины для температурного контроля процесса замораживания пород)

«окон» может быть образование изолированных полостей, заполненных высококонцентрированным рассолом. Образованию полостей способствует увеличение расстояния между соседними скважинами.

Проходку стволов обычно начинают, когда граница замороженных пород перейдет в контур ствола в проходке. Необходимо, чтобы породные стенки ствола были хорошо заморожены, так как при укладке бетона будет происходить засорение бетонной смеси отваливающимися кусками породы, что снизит качество бетона. Кроме того, при дальнейшем заморажи-

вании незамерзшие породы будут заморожены, при этом создадутся дополнительные локальные нагрузки на крепь, что может вызвать ее разрушение. Следует также иметь в виду, что даже на расстоянии до 1,5 м от контура ствола в проходке после укладки бетона температура пород повышается на 3–4°С и понижается до прежнего уровня лишь через 12–18 сут [43].

В мировой практике известны случаи замораживания горных пород при проходке стволов до глубины 725 м в ПНР [15] и 914 м в Канаде [40]. С глубиной надежность замораживания несколько уменьшается. Как отмечено польскими исследователями [15], даже при замораживании практически пресных вод с глубиной толщина ледопородного ограждения, образующегося вокруг замораживающей колонки, уменьшается. Еще в большей степени это может проявиться при замораживании естественных рассолов, когда с глубиной возрастает их минерализация и, следовательно, понижается необходимая температура замерзания.

Для большинства горных пород доказано повышение прочностных свойств при замораживании, что должно повышать надежность ледопородного ограждения. Однако в отдельных случаях при длительном действии нагрузок отмечается снижение прочностных показателей [15, 40] некоторых категорий горных пород под влиянием замораживания. В диапазоне температур (–5)–(–15)°С со временем прочность песков снижается на 40, а глин на 60%. Поэтому при проходке стволов на калийных и соляных месторождениях на основе анализа режима замораживания и отклонений замораживающих скважин в отдельных случаях целесообразно уменьшать высоту заходок, переходить на возведение постоянной крепи сразу вслед за углубкой (сверху вниз). Такое решение позволяет уменьшить смещение породных стенок и избежать поломок замораживающих колонок.

Способ искусственного замораживания, как правило, применяется при проходке стволов в неустойчивых обводненных породах, в устойчивых трещиноватых и пористых породах применение замораживания целесообразно лишь тогда, когда цементация пород не может обеспечить полное исключение водопритоков. Например, при проходке стволов через слабые неустойчивые или через крепкие, но трещиноватые породы с большим притоком и напором подземных вод, как это было при проходке трех стволов на Яковлевском руднике. В других случаях применение замораживания может быть обосновано технико-экономическим расчетом.

В последние годы ведутся работы по применению жидкого азота для охлаждения хладоносителя или для прямого инъецирования и замораживания обводненных пород. Последний способ может быть весьма эффективным при локальном замораживании, например, при ремонтно-восстановительных работах. Замораживание жидким азотом отличается простотой технического оснащения замораживающей установки, меньшим временем создания ледопородного ограждения и более высокой прочностью замороженных пород вследствие высокой интенсивности процесса и низких температур.

Способ тампонирования при проходке обводненных пород надсолевых толщ по сравнению с замораживанием позволяет значительно сократить время и стоимость сооружения стволов. Тампонаж заключается в заполне-

нии трещин и пустот в породном массиве отверждающимися или коагулирующими растворами и наиболее эффективен, когда стволы проходятся в трещиноватых породах с раскрытием трещин не менее 0,15–0,20 мм [25]. Нагнетание тампонажного раствора производят через скважины, пробуренные с поверхности или из забоя ствола, что определяется характеристикой участка месторождения или технико-экономическим расчетом. Иногда тампонаж из ствола рассматривается как дополнительное мероприятие и применяется лишь для проходки отдельных наиболее опасных участков, как это было сделано при проходке стволов «Главного» и «Вентиляционного» Индерского разведочного рудника. Расход тампонажного раствора по 18 скважинам, пробуренным с поверхности, составил 2035 м³, по 12 скважинам, пробуренным через бетонную подушку из ствола, – 830 м³.

При бурении тампонажных скважин с поверхности также важно правильно выбрать величину заглубления их в соль. При проходке стволов Индерского рудника скважины были пробурены на 15 м ниже поверхности соляного зеркала, что было обусловлено отсутствием сведений о характере эрозионного разрушения и наличии карстов на поверхности соляного тела. В результате нижняя граница обводненной зоны была искусственно понижена на 15 м, хотя поверхность соляного тела, как было установлено при проходке, оказалась ненарушенной.

В практике калийной промышленности зарубежных стран есть примеры успешной проходки стволов с применением способа тампонирования. Так, за 1945–1975 гг. на калийных рудниках ГДР было пройдено три шахтных ствола, из них на руднике «Маркс–Энгельс» (район Верра, группа II) ствол № 2 диаметром 5,5 м пройден способом тампонирования, а два других на предприятии «Цилитц» – способом замораживания.

Проходка ствола способом тампонирования через обводненные трещиноватые породы часто сопровождается большим объемом бурения тампонажных скважин до 34 000 м и большим расходом цемента – до 2500 т [31]. Успех проходки стволов с применением тампонирования пород в значительной мере определяется достоверностью данных о гидрогеологии участка, полученных при бурении разведочной скважины. Так, перед началом проходки ствола № 1 Первого Соликамского калийного рудника считалось, что породы до зоны контакта мало обводнены. Только на участке 21–65 м предполагалось наличие маломощного водоносного горизонта. При проходке уже на глубине 2,7–3,3 м был встречен водоносный песок. При дальнейшей проходке расход цемента на тампонаж пород до глубины 78 м составил 700 т. Несмотря на это, водопритоки в ствол составляли: на глубине 15 м – 3,6 м³/ч, на 25 м – 15 м³/ч, 35 м – 50 м³/ч, 60,35 м – до 120 м³/ч. В результате во время проходки ствол дважды был затоплен. Однако в благоприятных условиях применение способа оправдывается. Так, в США на Карлсбадском месторождении (группа I) почти все стволы успешно пройдены способом тампонирования.

В настоящее время, особенно после освоения так называемого комплексного способа тампонажа обводненных горных пород, разработанного под руководством Э. Я. Кипко, вероятность успешного применения способа значительно повысилась. Первой попыткой пройти шахтный ствол в сложных горно-геологических условиях калийного месторождения с применением комплексного метода будет проходка опытного ствола на Че-

твртом Березниковском калийном руднике. Возможность успешной проходки шахтных стволов способом тампонирования на Верхнекамском месторождении подтверждается результатами обследований закрепного пространства стволов, выполненных Уральским филиалом ВНИИГалургии. Было показано, что цилиндр горных пород, протампонируемых при предварительном и последующем тампонировании, может служить основой гидроизоляции стволов. Как правило, контакты «тюбинг-бетон» и «бетон-порода» не обводнены, хотя окружающие ствол породы трещиноваты и сильно обводнены.

В табл. 3 приведены результаты обследований по стволам № 1 и 2 Второго Березниковского калийного рудника. При влажном бетоне на контакте с породой отмечались незначительные кратковременные истечения с дебитом в несколько литров в час. Лишь за тюбингом № 12 тюбингового кольца № 268 ствола № 1 была вскрыта полость, заполненная рассолом под большим давлением, в результате чего буровой инструмент был выброшен из шпура и первоначально горизонтальная струя рассола достигла противоположной стенки ствола. Истечение продолжалось 1 ч 15 мин, сум-

Таблица 3

№ тюбингового кольца	№ тюбинга	Глубина, м	Состояние контакта		Водоприток, м ³ /ч	Состояние бетона
			«тюбинг-бетон»	«бетон-порода»		
Ствол № 1						
56	9	67,8	Сухой	Сухой	—	Сухой, плотный
125	9	130	То же	То же	—	То же
146	9	158,4	»	Влажный	—	»
190	9	203,9	»	Сухой	—	»
202	9	215,4	»	Влажный	0,12	»
268	12	284,2	»	Течь	113	»
268	14	284,2	»	То же	—	»
268	3	284,2	Влажный	»	0,3	Влажный, плотный
268	5	284,2	Сухой	Сухой	—	Сухой, плотный
248	9	263,8	То же	Течь	0,06	То же
269	2	285,2	Влажный	Влажный	—	Влажный, плотный
269	4	285,2	То же	Течь	0,07	То же
269	14	285,2	Сухой	Сухой	—	Сухой, плотный
269	10	285,2	То же	То же	—	То же
269	5	285,2	Влажный	Влажный	—	Влажный, плотный
284	12	300,7	Сухой	Сухой	—	Сухой, плотный
Ствол № 2						
192	1	205,4	Влажный	Влажный	—	Влажный, неплотный
242	1	257,5	Сухой	То же	—	То же
263	1	279,4	То же	Сухой	—	Сухой, плотный
266	1	282,4	Течь	Течь	0,12	То же
268	1	290,4	Сухой	Сухой	—	»
288	2	307,9	То же	То же	—	»
309	1	326,7	»	»	—	»

марный объем воды составил 140 м^3 , затем образовавшаяся полость была заполнена тампонажным раствором под давлением $2,5\text{--}2,7 \text{ МПа}$.

Отсутствие воды за тубинговой колонной и бетонной рубашкой является доказательством возможности надежного гидроизолирования ствола за счет тампонирования околоствольного массива горных пород. Аналогичные результаты обследований получены и на стволах Солигорских рудников.

Применение тампонирования отдельно или в сочетании с другими способами, например с замораживанием, характерно для месторождений всех четырех групп, но наибольшее распространение оно получило на месторождениях класса А. Так, почти все стволы на Карлсбадском месторождении пройдены с применением тампонирования как основного способа.

Выбор тампонажного раствора во многом определяется минералогическим составом, состоянием и физико-механическими свойствами породного массива, его трещиноватостью и химическим составом подземных вод. Из физико-механических характеристик наиболее важное значение имеют прочность, трещиноватость и пористость, фильтрационная способность, размягчаемость при увлажнении и гранулометрический состав. Высокой механической прочностью обладают твердые скальные породы.

Рыхлые и мягкие породы отличаются слабой связью между минеральными частицами и имеют низкие прочностные характеристики. Большое значение для успешного тампонирования имеет трещиноватость пород. Трещины в породах обычно располагаются не беспорядочно, а образуют некоторые системы, знание и учет которых во многом могут определить успех проведения работ по тампонированию. Степень трещиноватости характеризует водные свойства пород, к числу которых относятся влагоемкость, водоотдача, водопоглощение, водопроницаемость и растворимость. Изучение комплекса характеристик горных пород является основой для выбора типа и состава тампонажного раствора и определения технологии тампонирования. Тампонажный раствор должен удовлетворять следующим требованиям: обеспечивать заданную прочность и качество тампонажного камня; скорость схватывания раствора должна соответствовать принятой проектом технологии ведения работ; текучесть раствора должна обеспечивать возможность хорошей прокачки его и проникновение раствора в трещины породного массива, а время начала процесса седиментации должно соответствовать производственному циклу нагнетания.

Наибольшее применение получили тампонажные растворы на основе цементов, что позволяет готовить растворы с самыми разнообразными качествами и свойствами. В зависимости от горно-геологических условий и задач тампонирования применяют растворы марок от 50 до 150. Процесс тампонирования цементными растворами называют цементацией.

Для приготовления тампонажных растворов применяются самоходные цементосмесительные машины 2СМН-20, СМ-10, СМП-20 и смесительные агрегаты, например, ЗАС-30. При проведении тампонажных работ с поверхности получили распространение самоходные цементационные агрегаты ЦА-320М, обеспечивающие давление нагнетания $4\text{--}40 \text{ МПа}$, производительность $8\text{--}82 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Чистые цементные растворы применяют для укрепления и водоподавления, если околоствольный массив представлен скальными трещино-

Таблица 4

Состав раствора (цемент : вода) по массе	Плотность, г/см ³	Сроки схватывания, ч - мин		Предел прочности при сжатии через сутки (МПа)		
		начало	окончание	1	3	28
1 : 2	1,27	3-30	14-00	2,0	2,5	10
1 : 1	1,54	3-20	12-30	2,5	5,5	18
1 : 0,6	1,68	2-50	11-20	3,5	8,0	24

ватными или рыхлыми водоносными породами. Цементно-песчаные растворы применяют, когда наряду с уплотнением породного массива и водоподавлением преследуется одновременно и цель заполнения пустот в околоствольных породах. Для уменьшения фильтрации трещиноватых скальных или рыхлых пород применяют глино-цементные растворы, иногда чистые глинистые растворы. При высоких скоростях движения подземных вод для заполнения трещин, пустот и уменьшения фильтрации породного массива применяют горячий битум. В отдельных случаях на различных участках ствола применяют тампонажные растворы различного состава и свойств, что позволяет получить лучшие результаты.

Наибольшее распространение получили цементные растворы на сульфатостойком порландцементе. Применяют густые цементные растворы состава 1:2 (цемент:вода) и жидкие составов 1:4, 1:6, 1:8. Необходимая концентрация должна подбираться экспериментальным путем и проверяться при опытных нагнетаниях в шахтных условиях. Характеристики некоторых цементных растворов на сульфатостойком порландцементе М500 приведены в табл. 4 [19].

Чистый цементный раствор состава 1:1 был применен, например, для тампонажа околоствольных пород при реконструкции грузолодского ствола № 2 Артемовского соляного рудника № 2, при реконструкции устья ствола «Новый» Стебниковского калийного рудника.

Широкое применение нашли цементно-песчаные растворы, обеспечивающие экономию цемента без ухудшения качества тампонажных работ. Состав цементно-песчаных растворов характеризуется отношением Ц:П:В (цемент:песок:вода). При добавке к раствору обычно (например, кварцевого) песка крупностью до 1 мм тампонажный раствор используют для заполнения пустот в околоствольном массиве и упрочнения пород с крупной трещиноватостью.

Добавление к раствору песка снижает прочность цементного камня и требует повышения скоростей нагнетания, чтобы уменьшить расслоение раствора и исключить выпадение песка. С целью улучшения свойств тампонажного раствора иногда добавляют тонкомолотый песок из естественных или искусственных материалов, например, из известкового щебня. Улучшению подвижности, сохранению стабильности свойств растворов способствует добавление 2-5% массы цемента бентонитовой глины.

Кроме чистых цементных и цементно-песчаных тампонажных растворов, находят применение глино-цементные растворы, отличающиеся более

низкой проникающей способностью и незначительной прочностью цементного камня. При этом глино-цементные растворы характеризуются достаточной связанностью, подвижностью и стабильностью свойств во время нагнетания. Вместо глины иногда применяется суглинок. Так, при проходке стволов разведочного рудника на Индерском месторождении борно-калийных солей тампонаж надсолевых пород был выполнен цементно-суглинистым раствором состава 1:2:1 с добавлением 3% хлористого кальция (от массы цемента).

Тампонирующие пород в условиях калийных и соляных месторождений с высокоминерализованными подземными водами (рассолами) имеет свои особенности. Например, нельзя применять растворы, приготовленные на пресной воде. Концентрация рассолов оказывает значительное влияние на прочность тампонажного камня. При использовании всех видов цемента, кроме магнезиального, с увеличением концентрации хлористого натрия в рассоле прочность тампонажного камня уменьшается. С изменением концентрации хлористого натрия с 5 до 30% прочность камня в возрасте 7 сут уменьшается с 15,0 до 6,2 МПа [19]. При использовании глиноземистого цемента прочность камня уменьшается в 10 раз, если раствор готовят на растворе хлористого натрия, а не на пресной воде. Менее других дает снижение прочности цементного камня тампонажный раствор, приготовленный из сульфатостойкого портландцемента на растворе хлористого натрия. Именно этим объясняется широкое применение сульфатостойкого портландцемента при креплении капитальных горных выработок на калийных и соляных рудниках.

Для придания тампонажным растворам нужных физико-химических свойств применяют специальные добавки. По виду и назначению добавки делят на ускорители твердения, поверхностно-активные, пено- и газообразующие и специальные.

Среди добавок ускорителей твердения наибольшее распространение получили хлористый кальций CaCl_2 , хлористый натрий NaCl , соляная кислота HCl , сернокислый глинозем $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, хлорное железо FeCl_3 , поташ K_2CO_3 , нитрит кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, строительный гипс. Чаще других применяют CaCl_2 , позволяющий уменьшить количество воды и расход цемента за счет повышения подвижности, повысить прочность цементного камня.

С целью увеличения проникающей способности, дальности распространения тампонажного раствора применяются пластифицирующие поверхностно-активные добавки. С 1970 г. стали применять сульфитно-дрожжевую бражку (СДБ), ее свойства практически не отличаются от свойств ССБ, которая применялась ранее. Промышленностью выпускаются концентраты СДБ: жидкий (КДЖ) и твердый (КДТ). Применение СДБ повышает устойчивость цементно-водных смесей, что дает возможность несколько снизить водоцементное отношение.

Для предотвращения расслаивания в состав тампонажных растворов вводят 1–5% бентонитовой глины.

При применении глиноцементных растворов для ускорения схватывания и повышения устойчивости против кислотной агрессии добавляют натриевое жидкое стекло. Особенно часто его применяют при создании вокруг стволов гидроизоляционных завес. Однако добавка жидкого стекла

в чистые портландцементные растворы несколько снижает прочность цементного камня.

В последнее время все чаще (США, Канада) стала применяться химическая цементация, когда в горные породы нагнетаются химические растворы, способные надежно закупоривать очень мелкие трещины, тампонирующие которых затруднено даже специальными цементами особо тонкого помола. Наиболее применимы химические растворы: терреннер, двухкомпонентный силикат (юстон и др.), винильный полимер (АМ-9), полиуретан (политиксон) [25].

На Саскачеванском калийном месторождении (Канада) при проходке ствола «Ярбо-1» была предпринята попытка пройти способом химической цементации зону пльвунов. Через трехметровую бетонную подушку, уложенную в забое ствола, было пробурено 44 скважины, через которые в породы Блерморской формации нагнетали винильный полимер АМ-9 с цементом. Однако на этом и других стволах породы Блерморской формации удалось пройти только с применением замораживания. На других участках надсолевых пород этого месторождения проходку осуществляли обычным горным способом и способом цементации.

Возможность применения растворов с заданными свойствами открывает перед химической цементацией широкие перспективы. Следует ожидать, что в ближайшие годы этот метод войдет в практику проходки и прежде всего — ремонта крепей шахтных стволов.

В отдельных случаях при пересечении стволом слабых водонасыщенных пород применяют забивную крепь. Так, при реконструкции клетового ствола соляного рудника им. Володарского ПО «Артемсоль» участок с 11,3 до 16,3 м, представленный глинистым водоносным песком с включениями глины, был пройден с забивной крепью. Аналогично проходилась участок с 2,7 до 3,3 м через водоносный песок на стволе № 1 Первого Соликамского калийного рудника. Однако применение этого способа проходки ограничивается небольшими участками. При больших мощностях водоносные пески проходят с применением замораживания, как, например, при проходке стволов Солигорских калийных рудников через обводненные песчаники третичных отложений.

Известно несколько примеров проходки шахтных стволов на калийных месторождениях способом роторного бурения на полный диаметр. Например, на Карлсбадском месторождении (группа I) в 1965 г. был пройден ствол глубиной 503,2 м диаметром 2,59 м.

Высокая стоимость, сложность сооружения и поддержания шахтных стволов калийных и соляных рудников определяют необходимость обеспечения наиболее полного использования готового ствола. В связи с этим предпочтительна проходка стволов большого диаметра, которые могут иметь многоцелевое назначение. Поэтому применение буровых установок типа РТБ, получивших наибольшее распространение, следует рассматривать лишь как возможность практической проверки этого метода в условиях калийного или соляного месторождения. Наиболее перспективным была бы замена замораживания надсолевых пород бурением, например, установкой УЗТМ-8,75. Сооружение такого ствола может производиться поэтапно, сначала в надсолевых породах, а затем после возведения постоянной крепи и обеспечения герметичности этого участка в соляных по-

родах. Несколько технологических схем проходки стволов способом бурения для условий калийных месторождений класса Б предложены в технической литературе [25].

В условиях Калушского (группа I) и Стебниковского (группа IV) месторождений возможно использование способа бурения для проходки шахтных стволов [39].

В последние годы рассматривается вопрос о проходке шахтных стволов на калийных рудниках с применением комбинированной технологии – предварительное замораживание и проходка стволопроходческими комбайнами (СК-1у, ПД-2).

2.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРОХОДКИ СТВОЛОВ

Проходку ствола на калийном или соляном месторождении с применением одного из рассмотренных выше специальных способов можно разделить на следующие основные виды работ: создание гидроизоляционной защиты (тампонирование или замораживание горных пород), выемку породы, возведение постоянной крепи и армирование ствола. Выемку породы и возведение постоянной крепи ведут участками по 20–50 м, называемыми заходками или звеньями. В зависимости от последовательности выполнения работ по выемке породы (углубке ствола) и возведению постоянной крепи различают следующие технологические схемы:

последовательная – разновременное производство работ в заходке (звене) по выемке породы и возведению постоянной крепи;

параллельная – одновременное производство работ по выемке породы и возведению постоянной крепи в двух смежных заходках (звеньях);

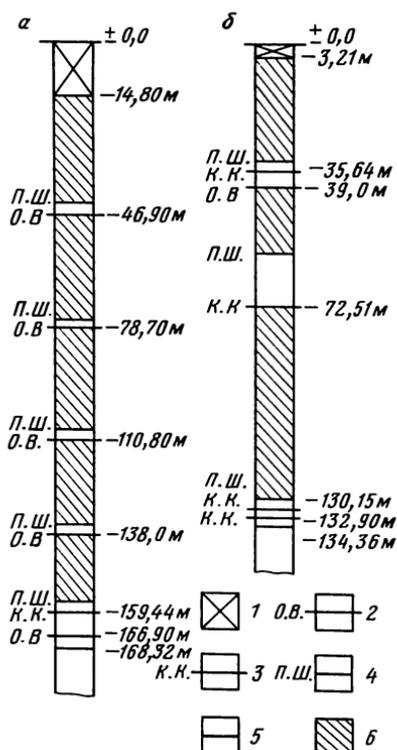
совмещенная – совместное в одной заходке (звене) производство работ по выемке породы и возведению постоянной крепи.

При последовательной технологической схеме работы по проходке ствола ведутся только в одной заходке, последовательно, начиная с верхней. Сначала вынимают породы на полную глубину заходки, затем возводят постоянную крепь. При выемке породы стенки ствола от вывалов и осыпания кусков породы защищают временной крепью. До окончания проходки вся заходка остается незакрепленной постоянной крепью. Во время выполнения работ по возведению постоянной крепи выемка породы в забое ствола приостанавливается. После окончания возведения постоянной крепи на всю высоту заходки работы переносят в следующую заходку, где в том же порядке ведут выемку породы и возведение временной крепи.

При параллельной технологической схеме работы по проходке ствола ведутся в двух смежных заходках одновременно. В верхней заходке возводят постоянную крепь, в нижней ведут дальнейшую углубку ствола (выемку породы). После выемки породы на полную глубину верхней заходки работы по проходке не останавливают, а производят выемку породы в следующей заходке на глубину 10–12 м. На границе заходов устанавливают неподвижный предохранительный полок. Затем в верхней заходке начинают работы по возведению постоянной крепи, а в нижней возобновляют дальнейшую выемку породы. Работы в смежных заходках

Рис. 5. Схема крепи стволы:

а—№ 3 Первого Березниковского калийного рудника; б—№ 2 Первого Соликамского калийного рудника; 1—бетонное устье ствола; 2—опорный венец; 3—гидроизоляционное устройство (кейлькрац); 4—пикотажный шов; 5—границы применения чугунной тубинговой крепи; 6—участки, пройденные по совмещенной технологической схеме с навеской тубингов сверху вниз



организуют таким образом, чтобы к моменту окончания выемки породы в нижней заходке и 10–12 м отхода в следующей, в верхней заходке заканчивались работы по возведению постоянной крепи. После этого переставляют предохранительный полок, и цикл работ повторяется.

При совмещенной технологической схеме в одной заходке одновременно ведутся работы по выемке породы и возведению постоянной крепи. Выделяют два варианта совмещенной схемы:

работы по выемке породы и возведению постоянной крепи выполняют последовательно и непосредственно на забое ствола;

работы ведутся одновременно (параллельно), отставание работ по возведению постоянной крепи от забоя составляет 4–8 м.

При применении способа искусственного замораживания технологическая схема проходки и крепления ствола должна исключать возможность деформаций ледопородного ограждения. В устойчивых породах, когда ледопородный цилиндр работает в режиме упругих деформаций и воспринимает полную внешнюю нагрузку, обычно применяют последовательную или параллельную схему проходки с возведением постоянной крепи снизу вверх. При малых нагрузках от горных пород и больших гидростатических нагрузках в устойчивых, трещиноватых породах при проходке ствола с замораживанием или цементацией предпочитают совмещенную схему проходки с одновременным возведением постоянной крепи сверху вниз.

В пластичных неустойчивых породах (глины, суглинки и т. п.), когда из-за больших нагрузок ледопородный цилиндр работает в упругопластическом режиме, применяют параллельную схему проходки и крепления. При этом временная крепь рассчитывается на совместное с ледопородным ограждением восприятие всех внешних нагрузок. Постоянную крепь также возводят снизу вверх.

В случаях, когда ледопородное ограждение подвержено пластическим деформациям (неустойчивые пластичные породы, малая толщина ледопородного ограждения, недостаточно низкие температуры ледопородного ограждения и т. п.), работы ведутся по совмещенной схеме. При этом высоту незакрепленного участка стремятся иметь минимальной. Подобная схема была, например, применена при проходке стволов Первого Соликамского и Первого Березниковского калийных рудников. Величина незакрепленного участка, как правило, не превышала нескольких метров (рис. 5).

В настоящее время при проходке вертикальных шахтных стволов на калийных и соляных месторождениях специальными способами наибольшее распространение получили совмещенная и параллельная технологические схемы проходки и крепления.

3. КРЕПЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

3.1. КРЕПЬ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ В ОБВОДНЕННЫХ ПОРОДАХ

Выбор способа и технологической схемы сооружения ствола в обводненных породах надсолевой толщи в значительной степени определяет вид временной и постоянной крепи.

Временная крепь выбирается в соответствии с технологической схемой возведения и конструкцией будущей постоянной крепи, характеристикой пересекаемых стволом горных пород. При возведении постоянной крепи снизу вверх, особенно при замораживании пород, к временной крепи предъявляются повышенные требования. В таких случаях она, помимо предохранения породных стенок ствола от обрушения отдельных кусков и вывалов породы, должна противостоять деформациям породных стенок, удерживать их от выпучивания внутрь ствола. В противном случае могут произойти значительные смещения породной стенки к центру ствола, вывалы породы и разрывы замораживающих колонок.

Крепь из металлических колец (швеллеров) с деревянной затяжкой показана на рис. 6. Кольца изготавливают из швеллерных балок № 14–20. Каждое кольцо состоит из нескольких сегментов (до 6–8 шт.) массой по 50–70 кг, которые собираются в кольца при помощи накладок из швеллеров меньшего профиля. Один конец накладки приваривают к одному сегменту, к другому накладка присоединяется с помощью штыря. Кольца крепи подвешиваются друг к другу специальными крючьями прямой или Z-образной формы. Расстояние между кольцами определяется устойчивостью пород и обычно равняется 0,5–2,0 м, чаще 0,8–1,0 м, между крючьями по периметру кольца 1,0–2,0 м. Крючья изготавливают из стали круглого профиля диаметром 25–32 мм. Пространство между кольцами и породной стенкой защищается деревянной затяжкой из досок шириной 150–200 мм и толщиной 40–50 мм.

Для повышения устойчивости крепи, особенно при взрывных работах в стволе, между кольцами с шагом 1,5–2,0 м устанавливают трубчатые стойки-распорки из труб диаметром 100–150 мм.

Отставание временной крепи от забоя зависит от устойчивости пород и обычно определяется проектом.

Такая крепь была применена, например, при проходке стволов Первого Солигорского и Второго Березниковского калийных рудников, при реконструкции стволов рудников Артемовского месторождения каменной соли.

Монолитный бетон возводится вслед за углубкой стволов с помощью призабойных опалубок. Толщина временной бетонной крепи при проходке с замораживанием пород определяется исходя из времени набора бетоном необходимой прочности до момента замерзания, высоты участка ствола, закрепленного только временной крепью, высоты заходки и продолжительности периода между возведением временной и постоянной крепей. В последние годы этот вид временной крепи получил наибольшее распространение и был применен при проходке шахтных стволов Третьего

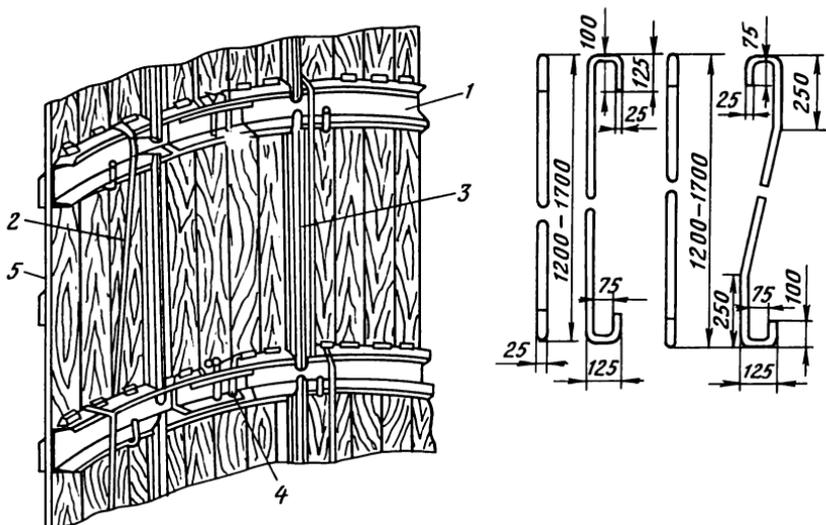


Рис. 6. Схема металлической временной крепи:

1 — швеллер; 2 — крюк подвески; 3 — стойка-распорка; 4 — штырь; 5 — деревянная затяжка

и Четвертого Березниковских рудников, Ново-Соликамского и Четвертого Солигорского калийных рудников.

Однако применение передовой бетонной крепи при различных сочетаниях факторов, определяющих ее устойчивость, не всегда обеспечивает необходимую надежность и не исключает деформации породных стенок и разрывы замораживающих колонок. Дело в том, что чем меньше промежуток времени между углубкой и возведением крепи и чем ближе к забою возводится крепь, тем большие нагрузки она испытывает со стороны породной стенки. С увеличением высоты незакрепленного участка смещение породной стенки увеличивается, появляется пучение поверхности забоя ствола [46]. При определенных условиях, например при проходке через замороженные пески, может произойти срез породной стенки по нижней кромке временной крепи. Возникает некоторое противоречие: для облегчения условий работы крепи в призабойной зоне и, следовательно, уменьшения ее размеров рекомендуется иметь отставание крепи от забоя не менее трех радиусов ствола в проходке [8], а для предотвращения смещения породных стенок и сохранения замораживающих колонок это отставание должно быть минимальным.

Передовая бетонная крепь обычно возводится участками по 3–4 м. Вследствие неравномерного распределения заполнителей по высоте бетонируемого участка прочность такого кольца различна. Наибольшую прочность имеет бетон в нижней части опалубки, наименьшая прочность и наибольшая пористость характерны для верхней части кольца. Расслоению бетона способствует допускающееся на практике превышение водоцементного отношения. Увеличение водоцементного отношения против проектного всего на 20% приводит к неравномерному распределению заполнителей по высоте опалубки [45]. В результате несущая способность крепи сни-

жается, бетон разрушается, породные стенки смешаются внутрь ствола. Случаи разрушения передовой бетонной крепи, до возведения постоянной, были отмечены в стволах Четвертого Солигорского калийного рудника.

Разрушение замораживающих колонок при деформациях ледопородного цилиндра встречается часто и достаточно изучено. При проходке ствола, когда по технологической схеме предусмотрено значительное отставание крепи от забоя, породная стенка успевает сместиться на некоторую величину внутрь ствола, увлекая за собой и замораживающие колонки, которые деформируются подобно балкам с защемленными концами. Максимальные смещения обычно наблюдаются в середине незакрепленного участка. Создается подобие «продольной волны», перемещающейся вслед за двигающимся забоем. Но значительно большую опасность представляют смещения стенок ствола, возникающие при длительных остановках в проходке, когда в замороженных породах развиваются деформации ползучести. Чаще всего это происходит, когда участки в 50–100 м длительное время закреплены только временной крепью, либо вовсе не имеют крепи. Так, на Четвертом Солигорском руднике в 1974 г. при проходке ствола № 1 было повреждено 18, а на стволе № 3–26 замораживающих колонок. Условия, при которых происходили разрывы колонок в стволе № 3, показаны на рис. 7. Ствол проходили с замораживанием пород до глубины 207 м. В 1981 г. при проходке был затоплен ствол № 4 Ново-Соликамского калийного рудника. Причиной аварии послужил разрыв трех замораживающих колонок (№ 1, 6-бис и 9) вследствие смещения пород соляно-глинисто-мергелистой толщи. Ствол был пройден до глубины 216 м, однако на участке 181,8–216 м постоянной крепи не было, временная бетонная крепь толщиной 40 см была возведена только до глубины 205 м.

Все это свидетельствует о том, что при проходке стволов в замороженных породах выбор технологической схемы, вида и размеров временной и постоянной крепей должны производиться с учетом необходимости исключения деформаций замораживающих колонок.

Иногда с целью усиления временной бетонной крепи и ее контакта с породным массивом на наружной поверхности крепи делают кольцевые выступы, подобно опорным венцам. Такое усиление было выполнено при креплении ствола № 2 Четвертого Солигорского калийного рудника на участке 20,7–45,9 м, где ствол пересекал породы, представленные песками с включением зерен гравия и единичной гальки. Расстояние между выступами по вертикали было принято 2–4 м. Аналогичное усиление выполнено при реконструкции устья грузолодского ствола на соляном руднике № 1 ПО «Артемсоль».

В отдельных случаях при пересечении стволом слабых водонасыщенных пород бетон временной крепи усиливают металлическими анкерами, чаще кольцами временной металлической крепи (см. рис. 6), временная крепь становится элементом постоянной крепи. Такое усиление было выполнено, например, в стволе № 1 на участке 217–226,8 м, в стволе № 4 на участке 143,5–205,6 м Четвертого Солигорского и в стволе «Главный» на участке 402,7–414 м Ново-Стебниковского калийных рудников. Иногда временную крепь оставляют с целью предотвращения вывалов породы из стенки ствола. Так, при расширении стволов соляных рудников Артемовского месторождения в слабых породах (песчаники, аргиллиты) имело ме-

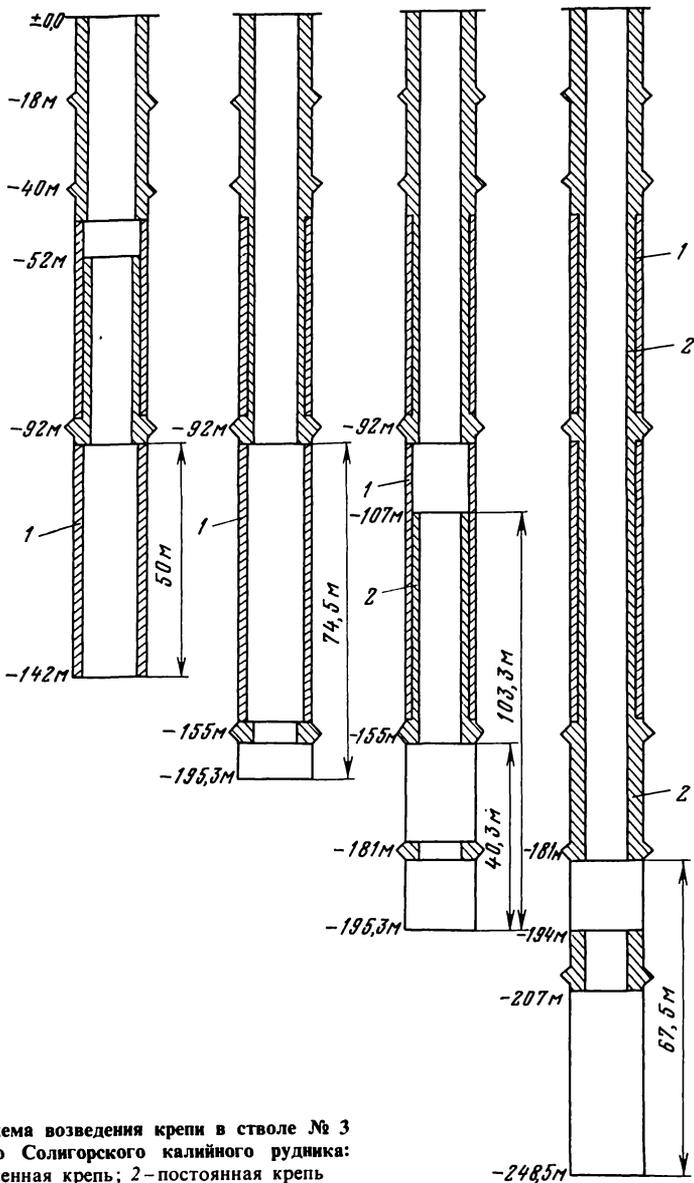


Рис. 7. Схема возведения крепи в стволе № 3
 Четвертого Солигорского калийного рудника:
 1 — временная крепь; 2 — постоянная крепь

сто множество вывалов. Например, только в грузолодном стволе рудника им. Свердлова произошло четыре вывала с объемами: $10,6 \text{ м}^3$ (песчаник, глубина 68,3–69,4 м); $47,6 \text{ м}^3$ (аргиллит, глубина 75,6–80 м); $71,4 \text{ м}^3$ (аргиллит, глубина 181–185,3 м) и 280 м^3 (аргиллит, глубина 209,8–219,8 м). В вентиляционном стволе № 3-бис рудника № 3 на участке 122–135 м объем вывала составил $194,6 \text{ м}^3$. Поэтому во многих случаях

временная металлическая крепь не демонтировалась. При реконструкции клетового ствола рудника им. Володарского такая защита от вывалов была выполнена на участках: 11,3–26; 29–33; 41–45; 52,6–86,6 и 155,8–161 м. Самым протяженным участком, где была оставлена временная металлическая крепь, стал участок пересечения скиповым стволом этого же рудника аргиллитов и песчаников от 18,5 до 101,6 м.

Однако устройство мощной временной крепи, способной предотвратить смещение породных стенок, исключить деформации замороженного породного массива при длине заходок до 50–70 м, может оказаться экономически невыгодным. В таких случаях переходят на совмещенную схему проходки и крепления ствола и сразу сверху вниз возводят постоянную крепь.

Известны случаи применения временной крепи из металлической или синтетической сетки на анкерах.

При проходке стволов в прочных породах с цементацией и при возведении постоянной крепи сверху вниз вслед за углубкой временную крепь не применяют.

Постоянная крепь стволов калийных и соляных рудников в надсоляных породах по классификации, предложенной в работе [8], относится к типу подпорных, препятствующих смещению породной стенки внутрь ствола. По своей конструкции и механическим характеристикам это жесткие, сложные и достаточно дорогостоящие крепи.

Постоянная крепь должна после окончания всех работ по креплению и обустройству ствола обеспечить полное исключение водопритока через крепь в ствол, притока подземных вод в зону растворимых пород или в рудник, соединения вод одного водоносного горизонта с другим, растворения или размыва окружающих ствол горных пород. Поэтому ее конструкция и применяемые материалы также выбираются в соответствии с геологическими и гидрогеологическими условиями конкретного участка проходки ствола. Выбор материала постоянной крепи производится с учетом характеристики подземных вод, способа проходки ствола, агрессивного воздействия воздушного потока, проходящего по стволу (пыль, влага, колебания температуры в течение года, газовый состав и др.).

В сложных горно- и гидрогеологических условиях калийных и соляных месторождений для крепления шахтных стволов в надсолевых обводненных породах, как правило, применяются двух-трехслойные комбинированные крепи. Такие крепи должны обладать повышенной прочностью, водонепроницаемостью и долговечностью. В качестве составной части крепи, обеспечивающей водонепроницаемость, обычно применяют чугунные тубинги. Основным недостатком такой чугунно-бетонной крепи является то, что она при значительных напорах подземных вод перестает работать как комбинированная конструкция. Происходит отрыв тубингов от бетона, что может быть причиной потери устойчивости тубинговой крепи [8]. Чугунная тубинговая крепь в сочетании с другими видами крепей является основой водонепроницаемых крепей стволов калийных и соляных рудников. Так, например, на Саскачеванском месторождении из 11 шахтных стволов в 10 случаях участок водоносной Блэрморской формации закреплен с применением чугунных тубингов. В соляной промышленности ГДР и ФРГ примерно 30% общей длины шахтных стволов закреплено чугунны-

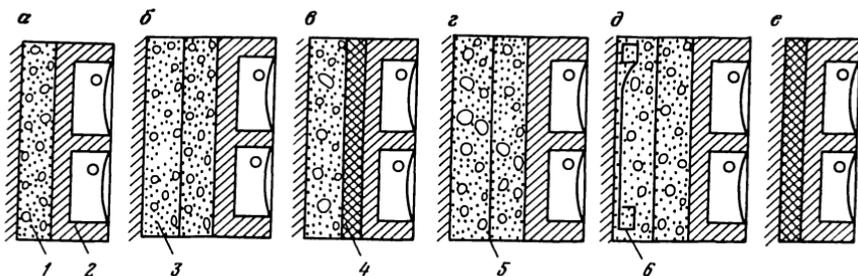


Рис. 8. Схемы наиболее распространенных конструкций постоянных крепей шахтных стволов в обводненных надсолевых породах с использованием чугунных тюбингов:

а – двухслойная крепь из монолитного бетона; *б* – трехслойная крепь из монолитного бетона; *в* – трехслойная крепь с пластбетоном; *г* – трехслойная крепь с полимерным экраном; *д* – трехслойная крепь, усиленная кольцами временной металлической крепи; *е* – двухслойная крепь с пластбетоном; 1 – бетон, укладываемый после установки тюбингов; 2 – чугунные тюбинги; 3 – бетон (передовая бетонная крепь); 4 – пластбетон; 5 – полимерный экран; 6 – временная металлическая крепь

ми тюбингами [44]. В калийной промышленности СССР доля тюбинговой крепи в стволах составляет около 54%.

Известны случаи крепления стволов калийных и соляных рудников деревом, например, на Калушском и Стебниковском калийных месторождениях, на соляных рудниках Артемовского и Илецкого месторождений.

Наиболее распространенные конструкции постоянной крепи шахтных стволов калийных и соляных рудников в надсолевых породах показаны на рис. 8. Более полные сведения о конструкциях постоянных крепей стволов калийных и соляных рудников СССР приведены в приложении.

3.1.1. Чугунная тюбинговая крепь

Термин «тюбинг» происходит от английского слова «tube» – труба и означает элемент, образующий трубу. В конце XVIII в. в Северной Англии при креплении шахтных стволов, проходимых в сложных условиях по рыхлым или слабым водоносным породам, применялась деревянная тюбинговая крепь. Крепь из деревянных тюбингов позволяла добывать полной водонепроницаемости крепи стволов. В 1792 г. при проходке ствола «Уоллсенд» у Ньюкасла на Тайне впервые были применены чугунные тюбинги, а в 1795 г. на стволе «Кениг» шахты «Уокер» в том же районе были применены чугунные тюбинговые кольца внутренним диаметром 1,83 м. Стыки между кольцами уплотнялись (пикотировались) деревом. Крепь из сплошных чугунных колец высотой 1,5 м диаметром 4–5 м применялась до начала XX столетия. Появление чугунных тюбингов в виде отдельных сегментов, составляющих тюбинговое кольцо, относится к 1776–1799 гг., когда был закреплен ствол шахты «Перси-Мейн». Тюбинги имели внутренние фланцы и соединялись болтами. Через несколько лет фланцы стали располагать с наружной (внешней) стороны тюбингов. Сложность монтажа тюбингов и уплотнения швов деревом при наличии болтового соединения заставила к 1829–1830 гг. отказаться от применения таких тюбингов. Ствол шахты «Престон-Грейндж», пройденный в эти годы, был до глубины 80 м закреплен несбалчиваемыми тюбингами с гладкой внутренней поверхностью. В дальнейшем такие тюбинги получили название английских. С 1850 г. чугунные тюбинги стали применяться в Германии. В первый период наибольшее распространение имели английские тюбинги, которыми к концу XIX в. только в Нижнерейнско-Вестфальском каменноугольном районе было закреплено 89 стволов общей протяженностью 5534 м. Нашли применение английские тюбинги и при

креплении стволов калийных шахт. Так, в 1876 г. в Штасфурте, в 1881 г. в Ашерслебене и в 1879–1888 гг. в Шенебеке было закреплено 250 м стволов на калийных рудниках. При проходке ствола «Герман» на шахте «Анна» в Германии были применены чугунные тубинги с внутренними фланцами и болтовыми соединениями. В 1883 г. при проходке ствола «Кениг Людвиг-1» в Нижнерейнско-Вестфальском каменноугольном районе применили тубинги новой конструкции, получившие название немецких*. Конструктором крепи Ю. Римером было предложено фланцы тубингов, расположенные с внутренней стороны, соединять болтами. Поверхность фланцев впервые имела точную механическую обработку, что позволяло гидроизолировать стыки свинцовой прокладкой толщиной 2–3 мм. Болтовые соединения уплотнялись свинцовыми шайбами. К концу XIX в. только в Рурском бассейне тубингами серии N было закреплено 55 стволов, общая протяженность составила 4212 м.

Первое применение чугунных тубингов в нашей стране относится к 1911–1912 гг., когда они были использованы при проходке стволов через пльвуны и неустойчивые породы в Донбассе [3]. В 1911 г. чугунные тубинги были применены при проходке ствола шахты № 41 Глубоковского рудника (Донбасс) [3]. Кольцо крепи, состоящее из 8 тубингов, имело высоту 700 мм. Уплотнение швов между тубингами достигалось за счет свинцовой прокладки. Диаметр тубинговой колонны в свету составил 3,3 м.

В 1912 г. при проходке стволов шахт Грушевского антрацитового рудника при пересечении пльвуна также были применены чугунные тубинги, но высотой 1500 мм, с уплотнением швов между ними суриковой замазкой. Кольцо крепи диаметром в свету 3,5 м состояло из 6 тубингов.

Широкое внедрение чугунной тубинговой крепи в нашей стране связано с развитием калийной промышленности и строительством метрополитенов. Распространение получили тубинги серии N.

С проходки стволов № 1 и 2 Первого Соликамского калийного рудника начинается первый период применения чугунных тубингов для крепления шахтных стволов на калийных рудниках СССР. Ствол № 1 проходили способом цементации, ствол № 2 – способом замораживания.

Для крепления обоих шахтных стволов в водоносных породах надсолевой толщи были применены тубинги серии N (рис. 9, а), изготовленные фирмой «Эмиль Энрико Курт» (Бельгия). Кольцо крепи высотой 1500 мм собиралось из 10 сегментов (тубингов). На внутренней стороне тубинги имели два горизонтальных ребра жесткости, препятствующие прогибу спинки тубинга [8]. Стыки между тубингами уплотнялись свинцовой прокладкой толщиной 2–3 мм. Для лучшего удержания прокладки поверхность фланцев выполнялась шероховатой. Для установки на различных глубинах использовали тубинги шести серий (табл. 5).

В начале 30-х годов для крепления стволов Первого Березниковского калийного рудника были применены чугунные тубинги, импортированные из Бельгии и Германии. Тип и размеры тубингов аналогичны применявшимся на соликамских шахтных стволах. Среди тубингов бельгийского производства была партия с волнистой спинкой (волнистые тубинги) высотой 1000 и 1500 мм (рис. 9, б). Импортных тубингов для крепления трех стволов на полную глубину оказалось недостаточно. Тогда по техническим условиям треста «Союзкалий» на УЗТМ (г. Свердловск) была изготовлена партия тубингов серии N. Техническими условиями предусматривалось нанесение рифления на поверхности горизонтальных фланцев и в конусных углублениях под свинцовые гидроизоляционные шайбы. Предполагалось, что искусственное увеличение шероховатости поверхности будет способ-

* Здесь и далее по тексту тубинги этой конструкции обозначаются серией N.

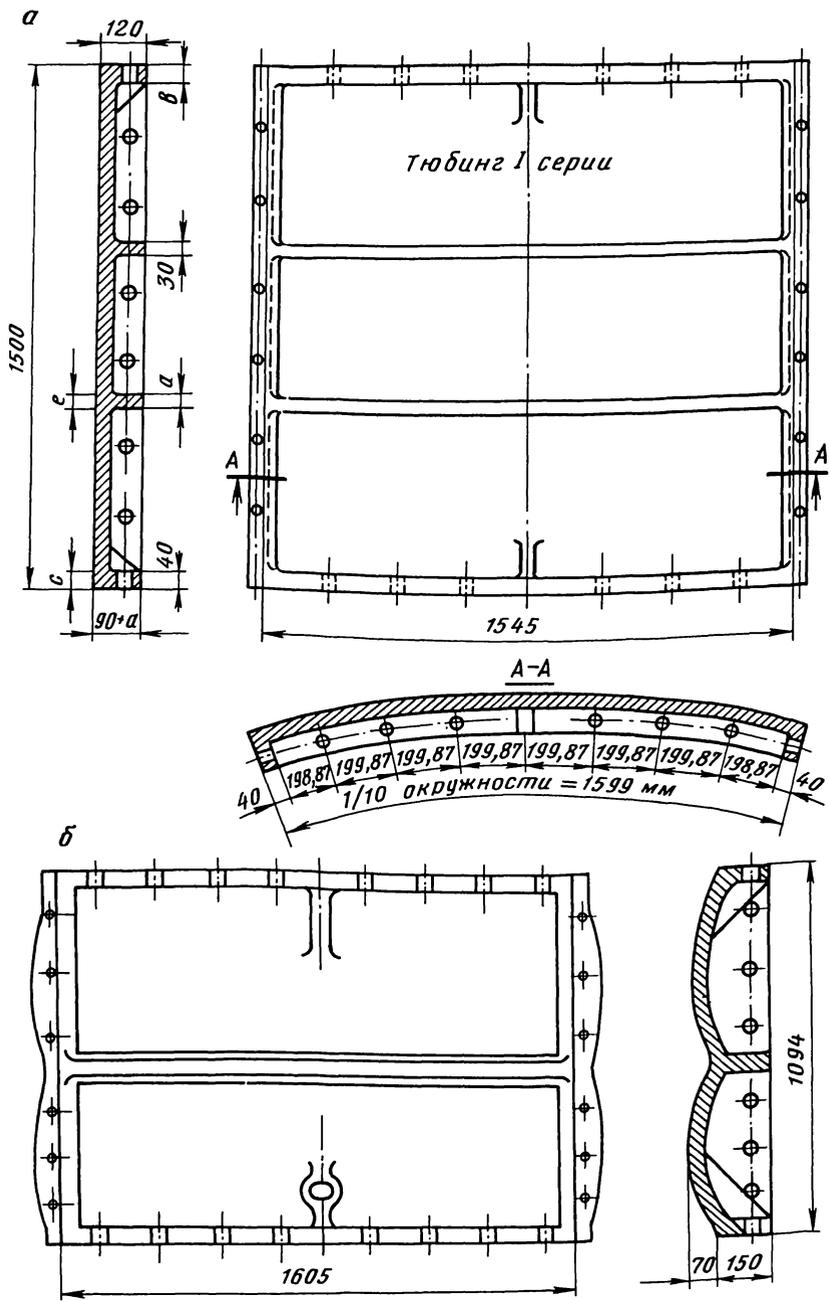


Рис. 9. Чугунные тюбинги серии N (а) и волнистые (б)

Таблица 5

Серия	Размеры тубингов, мм (см. рис. 9,а)				Серия	Размеры тубингов, мм (см. рис. 9,а)			
	а	в	с	е		а	в	с	е
I	30	40	43	35	IV	45	50	53	50
II	35	45	48	40	V	50	55	58	55
III	40	45	48	45	VI	55	60	63	60

ствовать достижению идеального уплотнения швов и болтовых соединений. Однако рифление под гидроизоляционные шайбы не было выполнено.

С началом строительства метрополитенов для крепления тоннелей метро стали применять специальные чугунные тубинги, получившие название тубингов Метростроя. Затем для крепления шахтных стволов в особо сложных гидрогеологических условиях трестом «Шахтспецстрой» были разработаны проекты крепи для стволов диаметром в свету 4,5; 5; 5,6 и 6 м с использованием тубингов Метростроя. Стандартное кольцо крепи высотой 1000 мм и диаметром в свету 5,6 м собирается из девяти нормальных (Н) тубингов, двух смежных (С) и одного ключевого (К). Плоскости вертикальных фланцев нормальных тубингов и двух фланцев смежных тубингов, которыми они примыкают к нормальному тубингам, имеют радиальное направление. Две других плоскости смежных тубингов, которыми эти тубинги примыкают к ключевому тубингу, составляют с радиальным направлением некоторый угол, что позволяет легко вставлять ключевой тубинг между двумя смежными.

В табл. 6 приведены составы колец крепи, набранных из тубингов Метростроя для различных диаметров шахтных стволов в свету.

Общий вид и размеры тубингов Метростроя показаны на рис. 10. Фланцы двух соседних тубингов образуют паз, зачеканкой которого, например, свинцовым шпуром обеспечивается герметизация стыков. Тубинги Метростроя использованы для крепления шахтных стволов на Калушском и Стебниковском калийных и Артемовском соляном месторождениях. В некоторых случаях паз после уплотнения свинцовым шпуром заполняли мастикой на основе расширяющегося цемента (например, стволы «Восточный» и «Западный-бис» Ново-Стебниковского калийного рудника).

На нескольких стволах были применены тубинги без паза, уплотнение соединительных швов которых производилось свинцом толщиной 2–3 мм, например, стволы «Южный» и «Новый» Стебниковского рудника.

Таблица 6

Диаметр ствола в свету, м	Число тубингов в кольце			Диаметр ствола в свету, м	Число тубингов в кольце		
	нормаль- ных (Н)	смеж- ных (С)	клю- чевых (К)		нормаль- ных (Н)	смеж- ных (С)	клю- чевых (К)
4,5	7	2	1	5,6	9	2	1
5,0	8	2	1	6,0	12	—	—

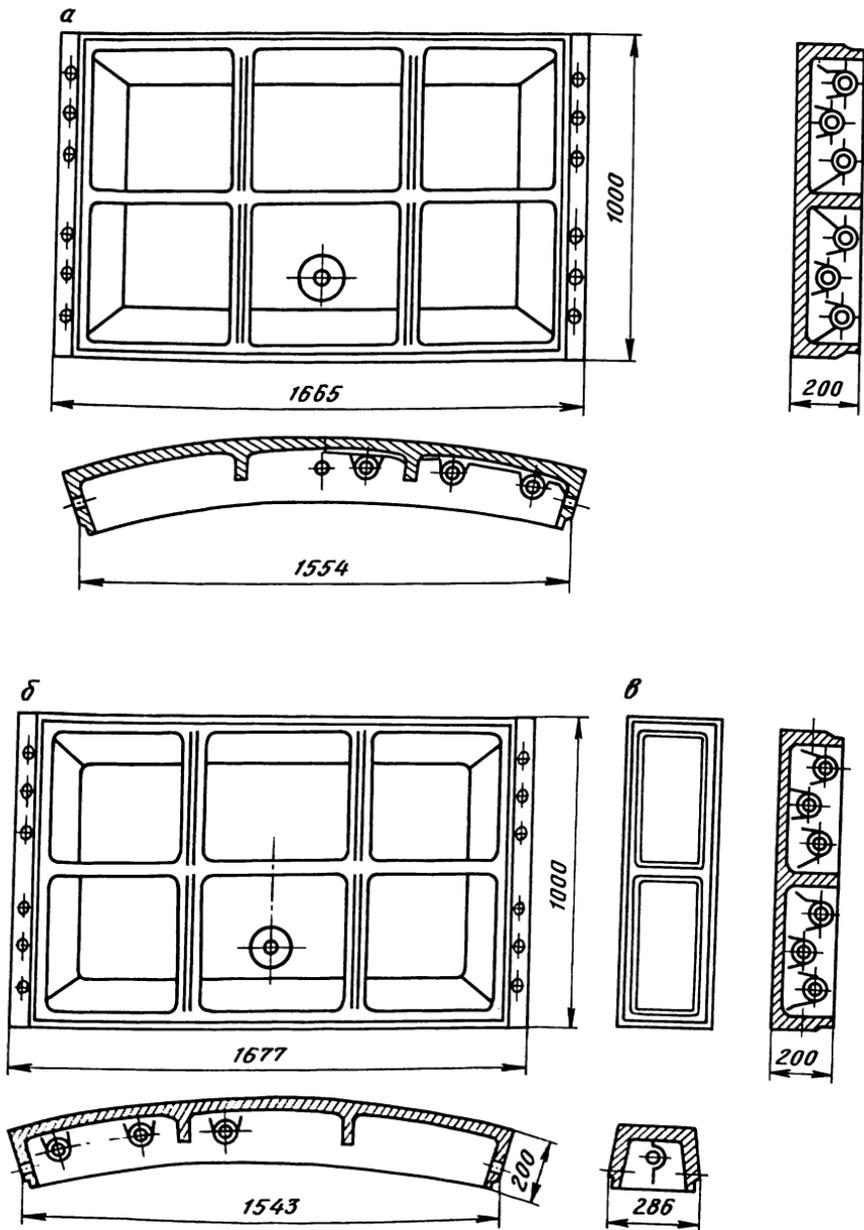


Рис. 10. Чугунные тубы Метростроя:
 а - нормальный; б - смежный; в - ключевой (замковый)

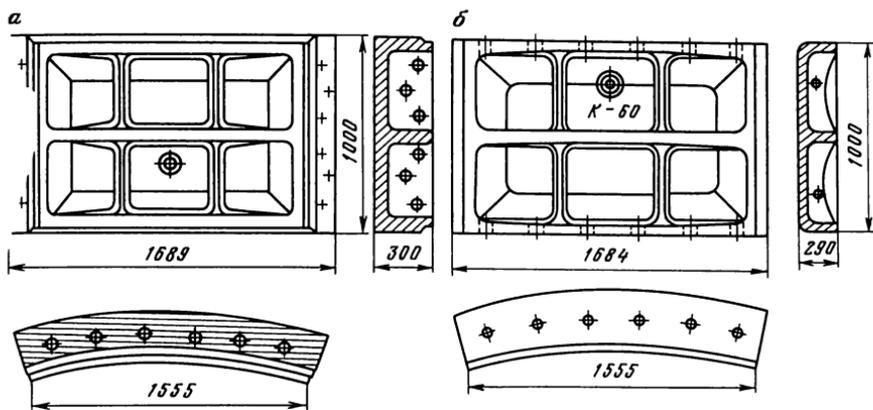


Рис. 11. Тюбинги серии Ш (а) и К (б)

С началом строительства Первого Солигорского калийного рудника возникла необходимость создания чугунной тюбинговой крепи диаметром 7 м. Трестом «Шахтспецстрой» было предложено приспособить для этого эскалаторные тюбинги Метростроя диаметром кольца в свету 7,9 м, состоящего из 13 тюбингов Н, двух тюбингов С и одного К. На основе этой крепи была разработана серия тюбингов с толщиной спинки 30, 40, 50, 60 и 70 мм. В кольцо высотой 1000 мм входило 14 одинаковых тюбингов. Уплотнение между тюбингами выполнялось свинцовыми прокладками толщиной 2 мм. Для лучшего уплотнения на горизонтальных фланцах по хордам, не пересекающим внутренний край фланца тюбинга, было нанесено шесть желобков прямоугольной формы. Внутри ствола фланцы соседних тюбингов образовывали паз для зачеканки (рис. 11, а). Некоторое время эти тюбинги именовались шахтными усиленными и маркировались соответственно толщине спинки Ш-50.

Иногда маркировку [39] расшифровывали как тюбинг Шахтспецстроя с толщиной спинки 50 мм. Такие тюбинги применялись при креплении шахтных стволов Первого Солигорского калийного рудника. Однако устройство желобков и чеканочного паза не обеспечивали качественной герметизации соединительных швов и вскоре эти тюбинги были усовершенствованы [39]. Чеканочный паз на фланцах был исключен, горизонтальные фланцы стали выполнять без желобков. На внутренней стороне, кроме горизонтальных кольцевых, тюбинги имеют еще и вертикальные ребра жесткости, которые обеспечивают жесткость конструкции тюбинга. Эти тюбинги применены при креплении шахтных стволов Второго Солигорского калийного рудника [40]. Затем при проходке ствола № 4 Первого Березниковского калийного рудника на горизонтальные фланцы было решено наносить рифление. Со временем такие тюбинги стали именоваться калийными и получили маркировку: К-30, К-40, К-50, К-60 и К-70. Этот тип тюбингов применялся для крепления шахтных стволов Третьего Солигорского, Второго и Третьего Березниковских калийных рудников, стволов № 3 и 4 Второго и № 2-бис Первого Соликамских калийных рудников. Общий вид тюбинга серии К показан на рис. 11, б. С середины 70-х годов

к моменту начала проходки шахтных стволов на Четвертом Солигорском, Ново-Соликамском и Четвертом Березниковском калийных рудниках тьюбинги серии К стали выпускать как с рифлением горизонтальных фланцев, так и без него.

В 1978 г. были утверждены ТУ 24-I-1728-78, по которым предусмотрено изготовление чугунных тьюбингов для стволов диаметром в свету от 4,5 до 8,0 м. В зависимости от диаметра кольцо крепи состоит из 9-16 тьюбингов. Толщина спинки тьюбинга, начиная с диаметра ствола 5 м, изменяется от 25 до 70 мм, высота тьюбингов 1000 мм, основные характеристики тьюбингов этой серии приведены в табл. 7.

Техническими условиями предусмотрено изготовление четырех видов тьюбингов нормальных (Н), опорных (О), верхних и нижних пикотажных (ВП и НП). Тьюбинг Т-7,5-30-Н означает: тьюбинг для ствола диаметром 7,5 м в свету с толщиной спинки 30 мм, нормальный. Общий вид тьюбинга показан на рис. 12, а.

Начиная с 1980 г. взамен ТУ 24-I-1728-78 введены в действие ТУ 24.01.3693-80.

По новым техническим условиям предусмотрен выпуск комплектов тьюбинговых колец диаметром в свету от 4,5 до 8,5 м с шагом через 0,5 м. Высота колец 1000 мм. Тьюбинги разделены на нормальные, верхние и нижние пикотажные и опорные. Нормальные и пикотажные тьюбинги могут иметь либо одно горизонтальное тампонажное отверстие, либо горизонтальное и наклонное. Нормальный тьюбинг с двумя тампонажными отверстиями показан на рис. 12, б. Наружная поверхность тьюбинга снабжена специальными приливами (ребрами жесткости) для улучшения связи тьюбинговой колонны с бетоном и повышения прочности тьюбингов. Ширина фланцев от 195 до 295 мм, толщина спинки от 25 до 70 мм (табл. 8).

При определении толщины тьюбингов следует учитывать коррозионный износ от длительной эксплуатации крепи в агрессивных условиях. Поэтому минимальная толщина спинки ограничена: для отечественных тьюбингов 25 мм, в зарубежной практике - 40 мм [25]. Необходимая толщина спинки тьюбингов определяется:

$$d = P2R_n / (2\sigma_{\text{ч}} - 3P),$$

Таблица 7

Диаметр ствола в свету, м	Число тьюбингов в кольце	Ширина фланца (мм) при толщине спинки тьюбинга, мм					
		25	30	40	50	60	70
4,5	9	200	-	-	-	-	-
5,0	10	200	270	270	270	270	300
5,5	11	200	270	270	270	270	300
6,0	12	200	270	270	270	270	300
6,5	13	-	270	270	280	290	300
7,0	14	-	270	270	280	290	300
7,5	15	-	270	270	280	290	300
8,0	16	-	270	270	280	290	300

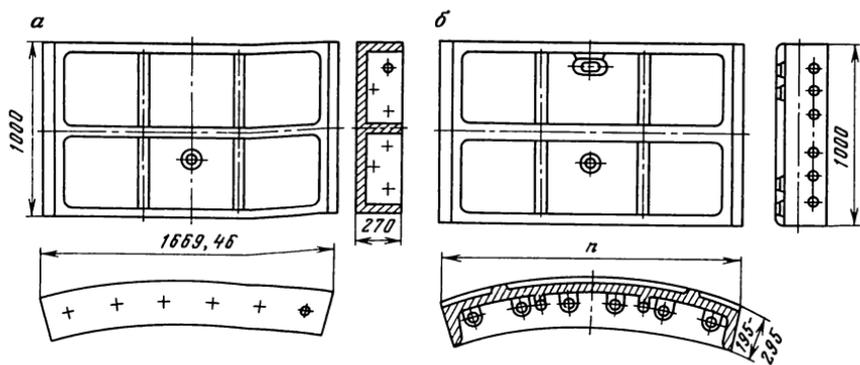


Рис. 12. Тюбинги по ТУ 24-1-1728-78 (а) и по ТУ 24.01.3693-80 (б):
 n – размер в зависимости от диаметра тюбингового кольца

где P – равномерное гидростатическое давление на крепь, МПа;
 R_n – наружный радиус крепи, см; $\sigma_{\text{ч}}$ – предел прочности чугуна при сжатии, МПа.

Пример. Определить необходимую толщину спинки тюбингов, изготовленных из серого чугуна СЧ 21-40 по ТУ 24.01.3693-80 при $P = 2$ МПа, $R_n = 376,5$ см. Серый чугун СЧ 21-40 по ГОСТ 1412-79 имеет предел прочности $\sigma_{\text{ч}} = 210$ МПа, следовательно:

$$d = 2 \cdot 2 \cdot 376,5 / (2 \cdot 210 - 3 \cdot 2) = 3,63 \text{ см.}$$

Согласно табл. 8 выбираем тюбинги с толщиной спинки 40 мм. Трестом «Шахтспецстрой» разработан проект чугунной тюбинговой крепи с высотой тюбингов 1500 мм, рис. 13, а. Наружная (внешняя) поверхность тюбингов снабжена ребрами жесткости, ширина фланцев несколько уменьшена. Тюбинги будут изготавливаться из высокопрочного чугуна на шаровидном графите. Предусмотрены серии тюбингов с толщиной спинки от 20 до 80 мм для стволов диаметром в свету от 4 до 9 м, при этом число тюбингов в кольце изменяется от 8 до 17 [8]. Характеристики тюбингов

Таблица 8

Диаметр ствола в свету, м	Число тюбингов в кольце	Ширина фланца (мм) при толщине спинки тюбинга, мм					
		25	30	40	50	60	70
4,5	9	195	265	265	–	–	–
5,0	10	195	265	265	265	265	295
5,5	11	195	265	265	265	265	295
6,0	12	195	265	265	265	265	295
6,5	13	–	265	265	275	285	295
7,0	14	–	265	265	275	285	295
7,5	15	–	265	265	275	285	295
8,0	16	–	265	265	275	285	295
8,5	17	–	265	265	275	285	295

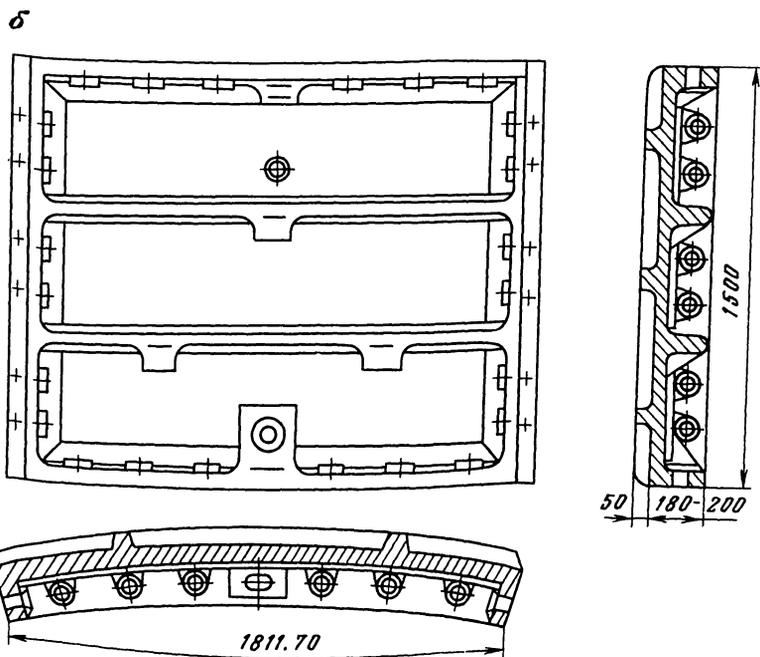
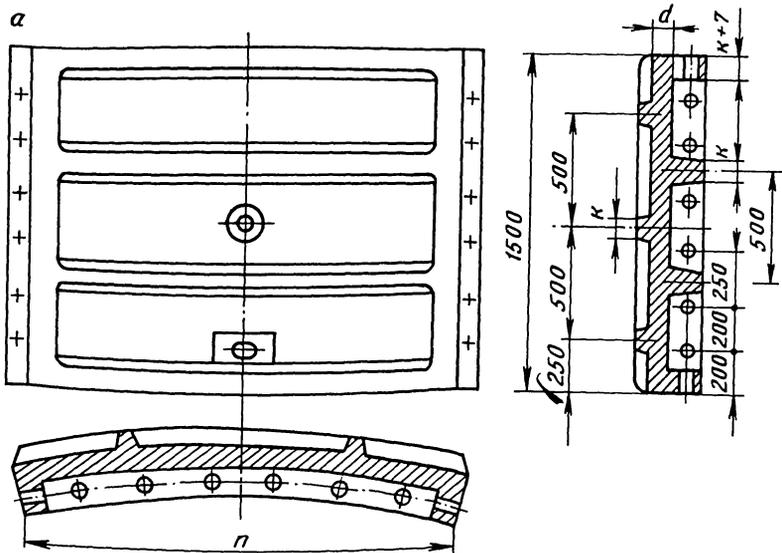


Рис. 13. Тюбинги конструкции треста «Шахтспецстрой» (а) и завода «Доза-мет» ПНР(б):
 l — длина тюбинга по хорде в зависимости от диаметра тюбингового кольца;
 K — толщина наружного ребра жесткости в зависимости от толщины спинки тюбинга d

Таблица 9

Диаметр ствола в свету, м	Число тьюбингов в кольце	Ширина фланца (мм) при толщине спинки тьюбинга, мм						
		20	30	40	50	60	70	80
5	10	155	165	175	185	195	205	215
6	11	155	165	175	185	195	205	215
7	13	155	165	175	185	195	205	215
8	15	170	180	190	200	210	220	230

для стволов диаметром в свету 5, 6, 7 и 8 м приведены в табл. 9.

В новых сериях тьюбингов рифление горизонтальных фланцев не предусматривается. Уплотнение вертикальных соединительных швов и болтовых соединений аналогично тьюбингам серии К.

При креплении шахтных стволов на Четвертом Березниковском и Ново-Соликамском калийных рудниках наряду с отечественными были применены тьюбинги производства Нижне-Силезского завода «Дозамет» (ПНР). Общий вид такого тьюбинга показан на рис. 13, б. Кольцо крепи высотой 1500 мм и диаметром в свету 7 м состоит из 12 одинаковых тьюбингов. Толщина спинки тьюбингов 40, 50 и 60 мм.

В зарубежной практике наибольшее распространение получили чугунные тьюбинги по стандарту ДИН 21501, которым предусмотрено изготовление тьюбингов высотой 1500 мм для стволов диаметром от 2 до 8 м. Число тьюбингов в кольце от 4 до 15, толщина спинки от 40 до 75 мм. Наружная поверхность тьюбинга имеет ребра жесткости [25].

В СССР тьюбинги изготавливаются в основном на Днепропетровском заводе металлургического оборудования (ДЗМО). Техническими условиями к тьюбингам по качеству литья, химическому составу металла, точности соблюдения геометрических размеров при литье и механической обработке и прочностным характеристикам предъявляются жесткие требования.

Обычно для оценки качества литья тьюбингов производят внешний осмотр и часть тьюбингов (порядка 0,5% партии) разламывают. В последние годы стал применяться метод ультразвуковой дефектоскопии. Новым стандартом на чугунную тьюбинговую крепь ДИН 21501 этот метод контроля качества литья был узаконен и впервые применен при приемке тьюбингов для ствола «Гуго Ханиель» (ФРГ).

В отечественной практике стандарта на чугунную тьюбинговую крепь нет. В технической литературе требования по химическому составу чугуна и его прочностным показателям порою разноречивы. Так, А. Н. Андричев [3] указывает, что чугун должен содержать фосфора не более 1%, серы не более 0,08%. Другие специалисты считают, что содержание фосфора должно быть не более 0,4%, серы не более 1,12%. В отношении остальных компонентов, как правило, указывается лишь желательная норма.

По ТУ 24-1-657-72 тьюбинги изготавливались из чугуна СЧ 21-40, а в отдельных случаях допускалось изготовление до 10% партии тьюбингов из чугуна СЧ 18-36. Тьюбингами, изготовленными по этим техническим условиям, закреплены, например, стволы Четвертого Солигорского калийно-

го рудника. Химический состав по содержанию основных компонентов факкультативный, однако серы не более 0,12%, фосфора не более 0,4%.

По ТУ 24-1-1728-78 предусматривалось изготовление тюбингов из того же чугуна, однако предельное содержание серы 0,12%, а фосфора только 0,3%.

Согласно ТУ 24.01. 3693-80 чугун СЧ 21-40, применяемый для изготовления тюбингов, должен содержать серы не более 0,15%, а фосфора не более 0,3%.

Для тюбингов, изготовленных Нижне-Силезским металлургическим заводом «Дозамет» (ПНР), содержание серы регламентируется 0,15%, фосфора 0,4%, причем обязательным является соблюдение соотношения содержания марганца к сере больше 4,5.

Во всех стандартах и технических условиях обычно регламентируются число и размеры дефектов литья: ужины, газовые, шлаковые и песочные раковины и т. п. Предусматриваются специальные способы устранения дефектов литья – заварка, заделка замазками на основе эпоксидных смол. Исправления дефектов в виде трещин, как правило, не допускаются.

Особое внимание уделяется соблюдению точности геометрических размеров. Для обеспечения необходимой точности разработаны автоматические и полуавтоматические линии с однократной установкой тюбинга в специальном приспособлении – спутнике, что позволяет резко уменьшить отклонения в размерах. Ранее, когда каждый тюбинг при обработке перемещался от одного станка к другому, достижение высокой точности практически было затруднено. Горизонтальная поверхность кольца, собранного из таких тюбингов, при их соединении имела «ступеньки», что затрудняло достижение герметичности стыка даже при подборе в кольцо тюбингов с одинаковым отклонением от проектной высоты. В зарубежной практике тюбинги выпускаются комплектно (кольцами), при этом кольцо по высоте иногда обрабатывается в собранном виде.

Допустимые отклонения размеров тюбингов, выпускаемых нашей промышленностью, приведены в табл. 10.

Для тюбингов завода «Дозамет» регламентируются следующие отклонения размеров.

Высота тюбинга, мм	± 1;
Различие по высоте тюбингов в кольце, мм	0,3;
Расстояние между болтовыми отверстиями, мм	± 1;
Высота (ширина) фланцев, мм	+ 4 (- 3);
Средняя толщина спинки (мм), измеренная в пяти точках, при проектном размере:	
до 50 мм	- 2,5
более 50 мм	- 4

Материал тюбингов должен иметь следующие физико-механические характеристики. При испытании на растяжение круглого стержня диаметром 20 мм и расчетной длиной 200 мм временное сопротивление не менее 210 МПа. При испытании на изгиб круглого стержня диаметром 30 мм, длиной 680 мм и расстоянии между опорами 600 мм временное сопротивление не менее 400 МПа. Стрела прогиба такого образца в момент излома должна быть равна 10 мм. Для проведения механических испытаний образцы отливаются одновременно с тюбингами, в отдельных случаях ис-

Допустимое отклонение размера тюбинга, мм	ТУ 24-1-1728-78	ТУ 24.01.3693-80
По ширине кольцевых бортов (фланцев)	+ 5 - 3	+ 5 - 3
По длине тюбинга	+ 0,7 - 0,3	+ 0,4 - 0,4
По высоте	± 0,2	± 0,2
По положению центров болтовых отверстий	± 1	± 1
По диаметру болтовых отверстий	± 0,62	± 0,62
Непараллельность кольцевых бортов относительно друг друга	0,2	0,2
Неперпендикулярность кольцевых бортов к радиальным	0,5	0,4

пользуются обломки тюбингов, разрушенных при определении качества отливок. Эти же образцы используют для определения химического состава материала тюбингов. Обычно производят испытания на растяжение и изгиб. Механические свойства и химический состав чугуна каждой плавки должны подтверждаться сертификатом.

По ТУ 24.01.3693-80 из каждой плавки в отдельные формы отливают по четыре образца. Испытание на растяжение проводится в соответствии с ГОСТ 1497-73 на цилиндрических образцах диаметром 15 мм и расчетной длиной 75 мм. Затем при удовлетворительных результатах испытаний хотя бы одного из трех образцов, отлитых в отдельные формы, из тела одного из тюбингов той же плавки вырезают образцы и проводят на них повторные испытания. При этом предел прочности при растяжении должен соответствовать ГОСТ 1412-79. Если первый из этих образцов даст удовлетворительный результат, материал считается принятым.

Для испытания материала тюбингов с толщиной спинки выше 60 мм на заводе «Дозамет» в начале, середине и конце плавки отливают по три прутка диаметром 45, длиной 450 мм. Для литья тюбингов применяют чугун с пределом прочности на растяжение не менее 230 МПа.

3.1.2. Схемы крепей стволов с чугунными тюбингами

Чугунная тюбинговая крепь применяется только как постоянная крепь и, как правило, лишь на тех интервалах глубин, где шахтный ствол пересекает водоносные породы. Остальные участки стволов крепятся бетоном, кирпичом. По использованию чугунных тюбингов в конструкции крепи ствола можно выделить четыре группы стволов, показанных на рис. 14. К группе I относятся стволы, в которых чугунными тюбингами закреплен участок от устья ствола до соляной залежи. Это характерно для стволов калийных рудников Верхнекамского месторождения, соляных рудников Артемовского месторождения, например, клетевой ствол рудника им. Свердлова, скипо-клетевой и вентиляционный ствол № 3-бис рудника № 3.

К группе II относятся стволы, в которых чугунными тюбингами закреп-

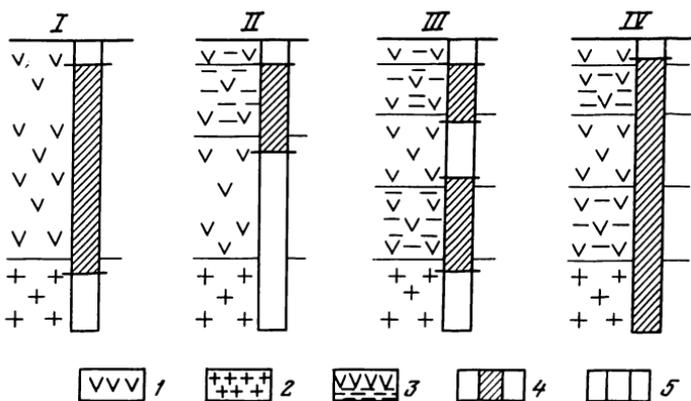


Рис. 14. Группы (I-IV) стволов по использованию чугунной тюбинговой крепи:

1 – надсоляные породы; 2 – соляные породы; 3 – надсоляные обводненные породы; 4 – участки стволов, закрепленные чугунной тюбинговой крепью; 5 – участки стволов, закрепленные другими видами крепей

плены участки от устья до пород, служащих естественным водоупором, но залегающих значительно выше соляной залежи, например, стволы Солигорских калийных рудников, ствол № 4 Артемовского солерудника № 4 и грузолюдской ствол рудника им. Свердлова.

В стволах, относящихся к группе III, тюбинговой крепью закреплены только участки пересечения стволом отдельных водоносных горизонтов. Наконец к группе IV относятся стволы, закрепленные на всю глубину чугунными тюбингами без разделения отдельных водоносных горизонтов и использования естественных водоупоров. В отдельных случаях тюбинговая колонна таких стволов имеет разрывы на участках сопряжений, закрепленных бетонной (каменной) крепью, например, стволы «Главный» и «Вспомогательный» Ново-Стебниковского калийного рудника. Иногда такое решение обосновывается техническими трудностями герметизации крепи в слабых, неустойчивых породах или отсутствием надежных водоупоров. Примером стволов этой группы могут служить скиповой и клетевой стволы солерудника им. Володарского ПО «Артемсоль», стволы калийного рудника Пийло на Калушском месторождении, стволы Индерского разведочного рудника.

В двух первых группах крепь ствола имеет одну тюбинговую колонну значительной высоты, до 300–400 м. Тюбинговая колонна обычно разделяется на отдельные звенья крепи высотой 25–30 м, однако встречаются отклонения как в большую, так и в меньшую сторону. Часто высота звена определяется в зависимости от конкретных условий проходки ствола или горно-геологических условий. Каждое звено крепи имеет опорный венец, через который вес крепи звена передается на окружающие породы. Обычно за звено крепи принимается участок между двумя соседними опорными венцами, включающий один из них [25].

Опорные венцы закладывают в прочных породах, способных воспринимать нагрузки, передаваемые звеном крепи на «постель» вруба. Геометри-

ческие размеры вруба и конструкции опорного венца определяются исходя из прочностных характеристик пород и применяемых в конструкции материалов. Погрешности в расчетах или неверный учет свойств строительных материалов могут привести к серьезным последствиям, например, разрушению породной «постели» вруба или проседанию всего комплекса опорного венца.

Для устройства опорных венцов на участках крепления стволов чугунными тубингами применяются специальные тубинги, получившие название опорных. Опорные тубинги имеют высоту 350–400 мм, ширину (по радиусу) 500–800 мм (рис. 15). Конструкция опорного венца с кольцом из опорных тубингов показана на рис. 16, а.

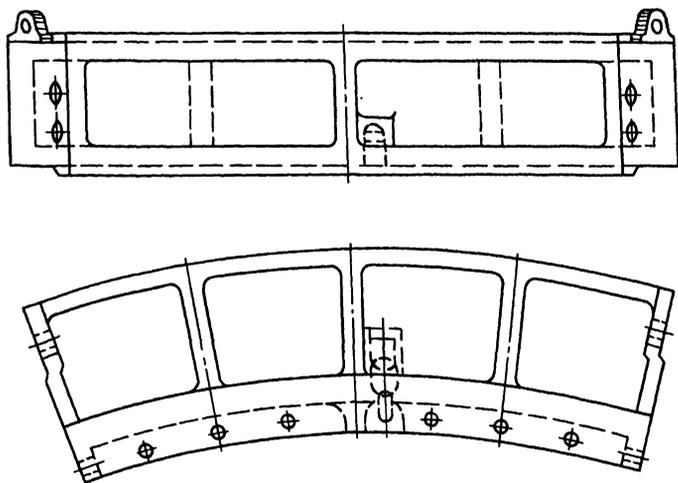


Рис. 15. Тубинг опорного кольца

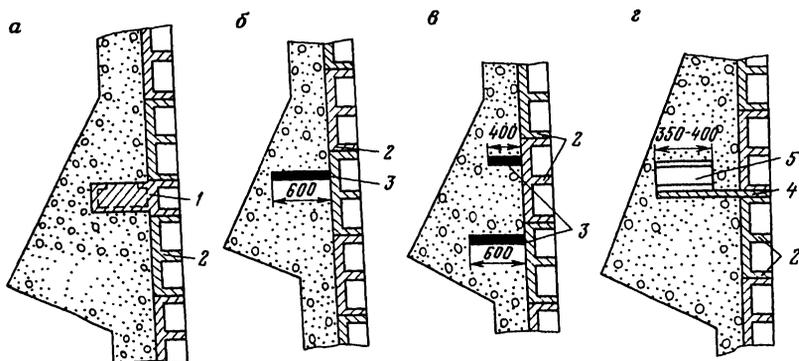


Рис. 16. Конструкции опорных венцов:

а – с использованием опорного кольца из специальных тубингов; б и в – с использованием рядовых тубингов соответственно с одним и с двумя ярусами анкеров; г – с опорной плитой конструкции треста «Шахтспецстрой»; 1 – тубинг опорного кольца; 2 – рядовой тубинг; 3 – анкер; 4 – металлическая плита толщиной 30 мм; 5 – отрезки двутавровой балки

Иногда в конструкции опорных венцов опорные тубинги заменяются рядовыми. В этом случае для усиления связи тубингового кольца с бетонном опорного венца применяются специальные средства: анкеры, опорные плиты. На рис. 16, б показана конструкция опорного венца, которая была применена при креплении стволов «Западный», «Главный», «Вспомогательный» и «Западный-бис» на Стебниковском и Ново-Стебниковском калийных рудниках. Усиливающим элементом конструкции служат анкерные болты длиной 600 мм и диаметром 60 мм, которые ввинчиваются в тампонажные отверстия тубингов. Такое усиление может быть выполнено и в нескольких соседних тубинговых кольцах. Например, на стволе «Восточный» Ново-Стебниковского рудника анкерами были усилены два кольца тубингов (см. рис. 16, в). Известны примеры, когда для усиления опорного венца в его конструкции просто используются рядовые тубинги без каких-либо дополнительных устройств, усиливающих связь тубингов с бетоном. Обычно устанавливают одно-три кольца. Опорные венцы такой конструкции выполнены в некоторых стволах Солигорских калийных и рудников Артемовского месторождения. Трестом «Шахтспецстрой» разработана конструкция опорного венца с опорной плитой, усиленной отрезками двутавровой балки (см. рис. 16, з). Подобная конструкция, выполненная в виде отдельных сегментов, была применена в опорных венцах стволов «Западный» Стебниковского, «Главный» и «Вспомогательный» Ново-Стебниковского калийных рудников, в вентиляционном стволе № 3-бис соляного рудника № 3 ПО «Артемсоль».

В отдельных случаях, когда из-за малой прочности пород не представляется возможным возвести опорный венец обычной конструкции, прибегают к различным способам усиления бетона вруба. Наиболее распространенным является увеличение площади «постели» кольцевого вруба, армирование бетона, усиление конструкции отрезками металлических балок. Так при устройстве опорного венца на глубине 122,5 м в клетевом стволе соляного рудника им. Володарского ПО «Артемсоль» была вскрыта образовавшаяся ранее промоина. Для усиления конструкции в бетон кольцевого вруба было уложено 26 отрезков двутавровой балки № 20 длиной 1200 и 2000 мм. Вместо усиления конструкции самого опорного венца иногда принимают меры по укреплению породного массива, например, тампонажем.

Установкой опорного венца начинается возведение тубинговой крепи звена. Применяют два способа наращивания тубинговой крепи на тубинг опорного венца: снизу вверх и сверху вниз. В первом случае кольца тубингов монтируются на опорном тубинговом кольце, как бы нагружая его сверху, во втором — кольца крепи подвешиваются под опорное кольцо, т. е. нагружают его снизу. Выбор способа зависит от условий проходки и принятой технологии возведения постоянной крепи ствола. В настоящее время способ подвески тубингов применяется редко, хотя он обладает целым рядом преимуществ, обеспечивающих успех проходки ствола.

Основные из них следующие:

отпадает необходимость установки временной крепи, что в значительной степени сокращает объем вынимаемой при проходке горной массы, расход материалов и трудовых ресурсов на возведение крепи. Так, на 300 м ствола диаметром в свету 7 м, пройденного с временной крепью из

бетона толщиной 500 мм, увеличение объема извлекаемой горной массы составит около 4000 м³, на столько же увеличивается объем бетона при креплении ствола;

сокращается до минимума или практически исключается возможность смещения породных стенок внутрь ствола. Это особенно важно при проходке в зоне замороженных пород и в случаях, когда прочность ледопородного ограждения вызывает опасения, поводом для которых могут послужить нарушения температурного режима замораживания горных пород (перерывы в работе замораживающей станции более высокие, чем по проекту температуры хладоносителя, выход из строя замораживающих колонок и др.) или значительное увеличение с глубиной расстояния между двумя соседними замораживающими колонками (например, на стволах Четвертого Березниковского рудника фактическое расстояние между соседними скважинами на глубине 150–260 м превышало проектное в 2–2,7 раза). Исключение деформаций стенок ствола, в свою очередь, уменьшает вероятность аварийного выхода из строя замораживающих колонок.

Таким образом, кажущаяся нетехнологичность такого способа возведения тубинговой крепи может дать выигрыш в конечном результате. Не случайно, что при проходке первых шахтных стволов Первого Соликамского и Первого Березниковского рудников широко применялся способ подвешивания тубингов. Примером успешного применения способа наращивания тубинговой крепи сверху вниз из зарубежной практики может служить ствол «Ярбо-1» [40]. При такой схеме предпочтительнее тубинги с ребрами на наружной спинке, что увеличивает их сцепление с бетоном. Отказ от наращивания тубинговой колонны сверху вниз не дал существенного выигрыша в скоростях проходки и крепления стволов, хотя в значительной мере повысил стоимость крепи.

Основными преимуществами возведения тубинговой крепи снизу вверх считают:

возможность выполнять проходку и крепление ствола по параллельной схеме, что способствует увеличению скорости строительства ствола; удобство укладки бетона в затубинговое пространство.

При любом способе монтажа тубинговых колец крепь двух соседних звеньев смыкается. Зазор между кольцами тубингов двух соседних звеньев крепи обычно шириной 20–40 мм уплотняется деревянными клиньями, пикотируется. Иногда при сооружении опорного венца последующего (нижнего) звена по различным причинам возникает необходимость несколько изменить, например, увеличить глубину установки опорного тубингового кольца против расчетной. В таких случаях возрастает ширина пикотажного шва. Так, в грузолодном стволе рудника им. Свердлова ПО «Артемсоль» на глубине 85,7 м ширина пикотажного шва, например, составила 90 мм. Для удобства выполнения пикотажа и повышения его надежности разработаны специальные конструкции тубингов, получившие название пикотажных.

На рис. 17 показан участок тубинговой крепи ствола № 1 Первого Березниковского калийного рудника, охватывающий два опорных венца и два пикотажных шва. Очевидно, что применительно к тубинговой колонне более правильно звеном крепи называть участок между двумя пикотажными швами, имея в виду, что вес этих тубингов передается через

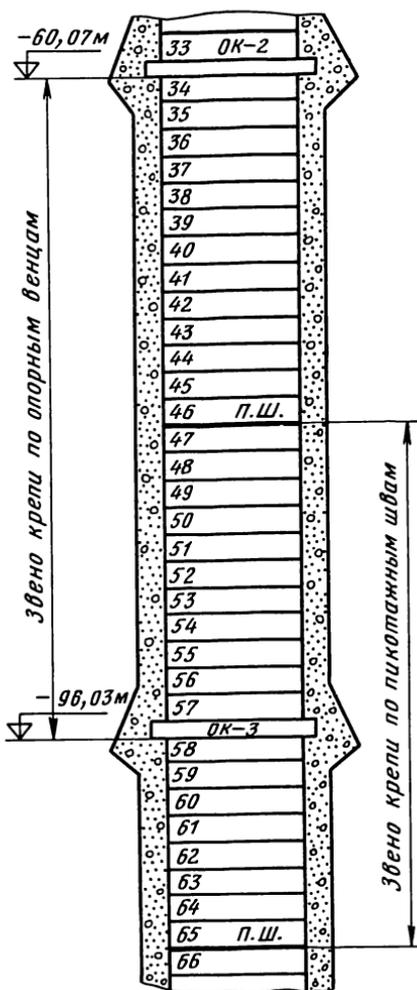


Рис. 17. Схема звена тубинговой крепи:
 ОК-2 — опорное тубинговое кольцо № 2;
 П.Ш. — пикотажный шов; 33–66 — порядковые
 номера колец тубинговой крепи

опорный венец на окружающие породы. В таком звене тубинговой колонны можно выделить тубинговые кольца, которые стоят на опорном кольце и подвешены к опорному кольцу снизу. Разделение тубинговых колец по положению из относительного опорного кольца удобно для рассмотрения температурных деформаций тубинговой колонны (см. подраздел 4.1).

Пространство между тубинговой колонной и породной стенкой или временной крепью, если она не демонтируется, заполняется цементно-песчаным раствором, бетоном, пластбетоном или их комбинациями.

Так, например, цементно-песчаный раствор состава (цемент : песок : вода) 1 : 2 : 1,5 был применен в надсолевых породах, а состава 1 : 3 : 0,88 в солях для заполнения затубингового пространства и пустот в околоствольном массиве при реконструкции скипо-клетевого ствола № 3 Артемовского соляного рудника № 3 в 1967–1978 гг.

При этом применяют бетоны повышенной плотности и водонепроницаемости, устойчивые к соляной агрессии. Большинство стволов, особенно на калийных месторождениях, проходят с применением низкотемпературного замораживания, когда температура породной стенки при укладке бетона достигает $(-10) - (-25)^{\circ}\text{C}$. На породной стенке или временной крепи образуется слой инея или льда толщиной до 5–10 мм. Уложенный за тубинги бетон до замерзания должен набрать определенную прочность с тем, чтобы к моменту оттаивания ствола быть способным принять нагрузку. В связи со сложными условиями транспортировки в ствол, укладки и твердения бетона особое внимание уделяется подбору материалов, качеству приготовления бетона, составу бетонной смеси, что должно гарантировать незамерзание бетона до набора им некоторой «критической» прочности, достаточной для восприятия нагрузок после оттаивания. При

понижении температуры ниже 0°C интенсивность гидратации цемента понижается и при -10°C практически прекращается. Поэтому с целью понижения температуры замерзания жидкой фазы применяются различного рода химические добавки (CaCl₂, NaCl), понижающие температуру замерзания бетона. Такой бетон после размораживания способен набрать прочность до проектного значения. Иногда прибегают к предварительному разогреву бетонной смеси. Например, при креплении стволов Первого Березниковского калийного рудника на отдельных участках крепления стволов бетонная смесь готовилась на воде, нагретой до 100°C.

При выборе вида и марки цемента, состава бетона важно учесть химический состав подземных вод и горных пород конкретного участка.

Подобный подбор состава бетона был, например, осуществлен при креплении стволов Первого Березниковского и Первого Соликамского калийных рудников. При креплении ствола № 2 на Соликамском руднике для разных участков были применены следующие типы цементов: шлаковый цемент (0,81–9,81 м и 18,81–21,81 м), портландцемент (9,81–18,81 м; 21,81–114,8 м; 117,8–122,8 м и 126,8–130,2 м) и магнезиальный цемент (114,8–117,8 м; 122,8–126,8 м и 130,2–134,36 м). Применение магнезиального цемента было связано с наличием в породной стенке пропластков карналлита.

Аналогично должны выбираться и составы тампонажных растворов, чтобы исключить растворение породных стенок и уменьшить коррозионное разрушение цементного камня. Однако и тщательный подбор состава бетона и раствора не всегда предохраняет их от соляной коррозии. Недооценка влияния состава подземных вод и окружающих пород может привести к тому, что тампонажный раствор за крепью не образует твердого камня. Такой случай имел место при тампонаже на стволе «Восточный» Ново-Стебниковского рудника.

Бывшим институтом НИИ-200 совместно с трестом «Шахтспецстрой» были разработаны рецептуры бетонов для крепления стволов калийных рудников на основе глиноземистого и сульфатостойкого портландцемента. Первоначально бетон, разработанный НИИ-200, был применен на Калущком руднике им. 50-летия Октября, а затем на шахтных стволах Второго Солигорского калийного рудника. После этого бетон был рекомендован для широкого применения на месторождениях калийных и каменной солей. Бетоном по рецептуре НИИ-200 на глиноземистом и сульфатостойком цементах закреплены ствол № 4 Первого Березниковского рудника, многие стволы на Артемовском соляном месторождении, например, скипо-клетевой ствол № 3 на руднике № 3.

Жесткие требования предъявляются и к качеству инертных наполнителей бетона. Для бетона, разработанного НИИ-200, применяли щебень, содержащий не более 0,5% глинистых и пылевидных частиц, приготовленный из плотных изверженных пород. Крупность щебня для удобства спуска бетона в ствол по трубам не должна превышать 40 мм. Песок с модулем крупности 2,2–2,6 должен содержать пылевидных фракций не более 1% и известковых примесей не более 1%.

Позднее институтом Теплопроект были разработаны составы бетонов для заполнения затюбингового пространства при температуре породной стенки до ~25°C, которые приведены в табл. 11. Как правило, для приго-

Таблица 11

Вид работы	Подвижность бетонной смеси после приготовления, см	Ориентировочный расход материалов*, кг/м ³						
		це-мен-та	пес-ка	щеб-ня	во-ды	добавок		
						CaCl ₂	СДБ	NaCl
Бетонирование крепей стволов и сопряжений с околоствольными выработками при проходке без замораживания:								
А	3-5	400	640	1200	160	-	0,80	-
Б	11-13	500	600	1100	200	-	1,00	-
В	13-15	520	670	1000	208	-	1,04	-
Заполнение затюбингового пространства в замороженных породах при температуре контакта горных пород с бетоном до -10°С:								
А	4-5	400	640	1200	160	4,0	0,80	-
Б	11-13	500	600	1100	200	5,0	1,00	-
В	13-15	520	700	950	208	5,2	1,04	-
Заполнение затюбингового пространства в замороженных породах при температуре контакта горных пород с бетоном от -10 до -15°С:								
А	4-5	400	640	1200	160	-	0,80	4,0
Б	11-13	500	600	1100	200	-	1,00	10,0
В	13-15	550	600	1030	220	-	1,10	11,0
Заполнение зарюбингового пространства в замороженных породах при температуре контакта горных пород с бетоном от -15 до -25°С:								
А	7-9	460	620	1120	196	-	0,90	6,90
Б	18-20	530	570	1060	220**	-	1,06	7,50
В	20-22	560	540	1050	230**	-	1,12	8,25

* Расход цемента дан для щебня фракции 5-20 мм, при применении щебня наибольшей крупности 40 мм или 70 мм расход цемента соответственно уменьшается.

** Расход воды увеличен с учетом ее испарения при электроразогреве и укладке.

А - при транспортировке бетона в бадах; Б и В - при транспортировке бетона по трубам диаметром 154 мм на глубину соответственно до 300 и свыше 300 м.

товления бетона используется сульфатостойкий портландцемент. Эти бетоны были применены при креплении стволов № 3 и 4 Второго Соликамского и стволов Третьего Березниковского калийных рудников.

Укладку бетона в затюбинговое пространство производят в соответствии с «Инструкцией по выбору состава бетона и технологии бетонирования при креплении шахтных стволов, проходимых в сложных гидрогеологических условиях» $\left(\frac{\text{ВСН 326-74}}{\text{ММСС СССР}} \right)$. Минимальная толщина бетона, укладываемого на участке низкотемпературного замораживания, — 500 мм. Важно, чтобы к моменту остывания до 0°C бетон успевал набрать не менее 50% расчетной прочности. При обычном замораживании иногда допускается уменьшение толщины крепи до 350–400 мм. Например, при возведении временной бетонной крепи в зоне замороженных пород в стволе «Алвнисал» (Канада) [25] толщина бетона составляла 30 см, а в стволе № 7 шахты «Августа-Виктория» (ФРГ) — 40 см. На стволах «Вульфен-I» и «Вульфен-II» (ФРГ) при средней температуре породной стенки — 6°C толщина составляла 35 см, а температура бетона при укладке + 16°C. Зона оттаивания пород достигала 35 см. Через 7 сут температура бетона снижалась до 0°C. При низкотемпературном замораживании на стволах Первого Березниковского калийного рудника толщина бетона за тюбингами составляла 30 см.

Ряд исследователей считают «критической» прочность, составляющую 30% от проектной [8].

Увеличение толщины затюбингового бетона не всегда может дать повышенные прочностные свойства крепи в целом. Как показывают исследования, если в краевых частях бетона из-за влияния низких температур достигается 60–80% прочности, то в середине бетона прочность еще ниже. Причиной этого являются температурные условия твердения, когда в середине бетон разогревается до 60–75°C. Из-за избытка тепла увеличивается зона оттаивания замороженных пород, что может привести к увеличению нагрузок на крепь. При одновременной укладке больших объемов бетона вода из оттаявших пород может собираться в пустотах или в нижней части участка оттаивания и при повторном замораживании создавать повышенные нагрузки на крепь. Известны случаи, когда это приводило к разрушению бетона и тюбингов.

Таким образом, при проходке стволов способом замораживания минимальная толщина бетонной крепи за тюбингами определяется условиями набора бетоном прочности. В тех условиях, когда ствол проходится без применения замораживания и для проверки соответствия толщины бетонной крепи, принятой по условиям твердения при минусовых температурах, ожидаемым нагрузкам выполняют расчет крепи по методике, изложенной в работе [8]. При этом исходят из предположения, что бетон фильтрует воду и не воспринимает гидростатические нагрузки, которые полностью передаются на тюбинговую крепь.

Укладку бетонной смеси за тюбинги обычно выполняют на высоту одного тюбингового кольца. К недостаткам такой технологии бетонирования следует отнести прежде всего образование большого числа швов бетонирования, прочность которых составляет всего 21–88% прочности смежных участков бетона. Увеличение высоты участков непрерывного бе-

тонирования наряду с сокращением числа швов значительно уменьшает величину усадки бетона, уменьшает проницаемость бетона и всей крепи, что очень важно для крепи стволов калийных и соляных рудников. Специальными исследованиями доля технологических швов бетонной крепи в остаточном водопитоке определена в 35–75% [23]. За счет выщелачивающего действия минерализованных вод со временем эта доля возрастает.

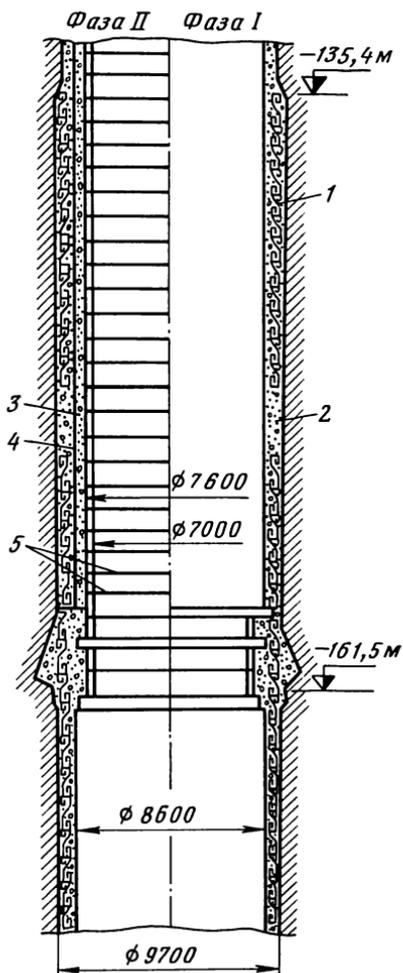
В отечественной практике есть несколько примеров использования при заполнении затюбингового пространства в стволах калийных рудников так называемого метода раздельного бетонирования, когда крупный заполнитель (щебень) укладывается за тюбинговые кольца отдельно, а затем в «каменный скелет» нагнетается под давлением цементно-песчаный раствор. Примером могут служить стволы Первого Березниковского калийного рудника, где этим способом бетонировали участки по 7,5–15 м. При креплении ствола № 1 Первого Соликамского калийного рудника на опорное кольцо (глубина 69,5 м) было установлено 21 кольцо тюбингов, затюбинговое пространство заполнено «кирпичной щебенкой». Затем весь участок высотой 31,5 м за 12 ч был заполнен цементным раствором под давлением до 1,5 МПа [3]. Применяют метод раздельного бетонирования и при заполнении пустот и вывалов породы больших объемов. Например, при расширении грузлоудского ствола рудника им. Свердлова ПО «Артемсоль» на участке 209,8–219,8 м произошел вывал породы (в основном аргиллита) объемом 280 м³. Образовавшаяся полость была заполнена щебнем, после чего произвели нагнетание тампонажного раствора.

С целью повышения гидроизоляционных свойств крепи с середины 60-х годов для заполнения затюбингового пространства стал применяться пластбетон. Это безводный, безцементный материал, характеризующийся высокой водонепроницаемостью и химической стойкостью. При высоком качестве наполнителей (щебень, песок) пластбетон может иметь предел прочности при одноосном сжатии до 40–70 МПа. Вяжущим для пластбетона является фурфуролацетонный мономер ФА, а отвердителем – бензолсульфокислота. В состав пластбетона входят: фурфурол – 1,5–2,0% массы заполнителя; мономер ФА – 8–16% массы заполнителя; заполнитель (щебень и песок) – 84–90% массы пластбетона и отвердитель – 20–30% массы мономера.

Впервые на калийном месторождении пластбетон был применен на стволе № 2 Второго Солигорского рудника на участке от 18 до 92,6 м, затем в стволе № 1 Второго Березниковского рудника пластбетоном был укреплен участок с 36 до 159 м. В том же стволе при установке опорного венца тюбинговой колонны на глубине 163,52 м произошло оседание всего «башмачного комплекса», укрепленного первоначально пластбетоном. Величина оседания составила 38–128 мм. Как выяснилось, причиной оседания была недостаточная прочность пластбетона, особенно на контакте с породной стенкой. На Солигорском калийном руднике участок крепления ствола пластбетоном после оттаивания горных пород (близких к пльвунам) был деформирован вследствие недостаточной прочности пластбетона. Аварийное состояние ликвидировали тампонированием закрепного пространства цементным раствором под давлением 0,5–2,5 МПа. Выбуренные позднее керны показали, что крепь за тюбингами представлена

Рис. 18. Схема крепи ствола № 2 Четвертого Солигорского калийного рудника с усиленной передней бетонной крепью и полимерным гидроизоляционным экраном:

1—металлическая временная крепь; 2—передовой бетон; 3—бетон постоянной крепи; 4—полимерный гидроизоляционный экран; 5—кольца чугунной тубинговой крепи



переслаивающимися участками цементного камня и пластбетона. Это свидетельствует о том, что в момент тампонажа пластбетон все еще находился в вязком состоянии. После этих случаев пластбетон в сочетании с передовым бетоном стали применять в стволах калийных рудников лишь для обеспечения герметичности крепи (см. рис. 8, в и е). Подобные конструкции крепи успешно применены на стволах № 2 Третьего Березниковского, № 2 Четвертого Березниковского и № 4 Четвертого Солигорского калийных рудников.

Случаи, когда пластбетон в крепи ствола длительное время остается вязким, не единичны. Так было и в стволе № 3 Михайловского карьера КМА [14], на Четвертом Березниковском и Ново-Соликамском рудниках, где отмечалось выдавливание пластбетона через открытые тампонажные пробки тубингов.

Наряду с пластбетоном для повышения гидроизоляционных свойств крепи нашло применение полимерного экрана, который в виде полиэтиленовой, полиизобутиленовой или поливинилхлоридной пленки толщиной до 2,5 мм размещают между передней бетонной крепью и бетоном, укладываемым за тубинговые кольца при установке последних снизу вверх (см. рис. 8, з). Соединительные швы пленки свариваются или склеиваются специальными клеями. Экран, установленный в толще крепи (например, между двумя слоями бетона), способен противостоять гидростатическому давлению до 10 МПа. Такая крепь возведена в стволах Ново-Соликамского, Четвертого Березниковского и Четвертого Солигорского калийных рудников.

На рис. 18 показаны конструкция и фазы возведения крепи ствола № 2 Четвертого Солигорского калийного рудника. Участок 135–172 м представлен слабыми неустойчивыми обводненными породами (песок, аргиллитоподобная трещиноватая глина). Поэтому передовая бетонная крепь была

усилена кольцами металлической временной крепи. Между передовой бетонной и постоянной бетонной крепью уложен полиэтиленовый экран. Проходка и крепление ствола производились по параллельной схеме. Для устройства экрана применяют полиэтиленовые листы по ТУ 7-19-6-78. Донецким ПромстройНИИпроектom рекомендована следующая толщина полиэтиленового экрана в зависимости от гидростатического давления подземных вод.

Гидростатическое давление подземных вод, МПа	2	2,5	3	3,5
Толщина полиэтиленового экрана, мм	1,5	1,8	2,1	2,5

Однако применение полиэтиленового экрана имеет ряд недостатков. При температурах $(-20) - (-25)^{\circ}\text{C}$ эластичность пленки заметно снижается, в связи с чем возникает опасность разрыва ее при монтаже и особенно на уступах бетона, образующихся в месте примыкания двух соседних участков передовой бетонной крепи. При эксплуатации стволов, в крепь которых заложены полимерный экран, практически исключается возможность контроля состояния бетона за экраном и проведения работ по тампонажу околоствольного массива пород, так как бурение шпуров через экран становится нежелательным.

3.1.3. Обеспечение герметичности чугунной тубинговой крепи

Применение чугунных тубингов еще не решает задачи обеспечения водонепроницаемости крепи. Изготовленные вне ствола, в заводских условиях, элементы тубингового крепления должны быть смонтированы в стволе в единую тубинговую колонну, способную противостоять деформациям и напору подземных вод. Если при этом учесть, что условия, в которых эксплуатируется крепь ствола, не остаются неизменными, а крепь собирается из большого числа элементов, становится ясно, что задача эта не из легких. Действительно, кольцо крепи из чугунных тубингов серии К диаметром в свету 7 м и высотой 1000 мм состоит из следующего числа деталей: чугунные тубинги – 14; тампонажные пробки – 14; болты М36 – 168; горизонтальные и вертикальные свинцовые прокладки – по 14; гидроизоляционные и стальные накладные шайбы болтовых соединений – по 336; гидроизоляционные и стальные накладные шайбы под тампонажные пробки – по 14.

Не меньшую сложность составляет разнородность материалов, используемых при возведении тубинговой крепи ствола. Это чугун, бетон, сталь, свинец, дерево, пластмасса.

Для достижения конечной цели применения крепи – герметичности ствола все соединения отдельных элементов уплотняются. Уплотнение горизонтальных и вертикальных швов между тубингами в различных типах тубинговой крепи решено по-разному. Существуют два способа герметизации соединительных швов – пикотирование деревом и уплотнение свинцом. Уплотнение деревом применяется в современной тубинговой крепи лишь при герметизации соединительных швов в местах примыкания друг к другу тубинговых колец соседних звеньев крепи. Такие соединения получили название пикотажных швов.

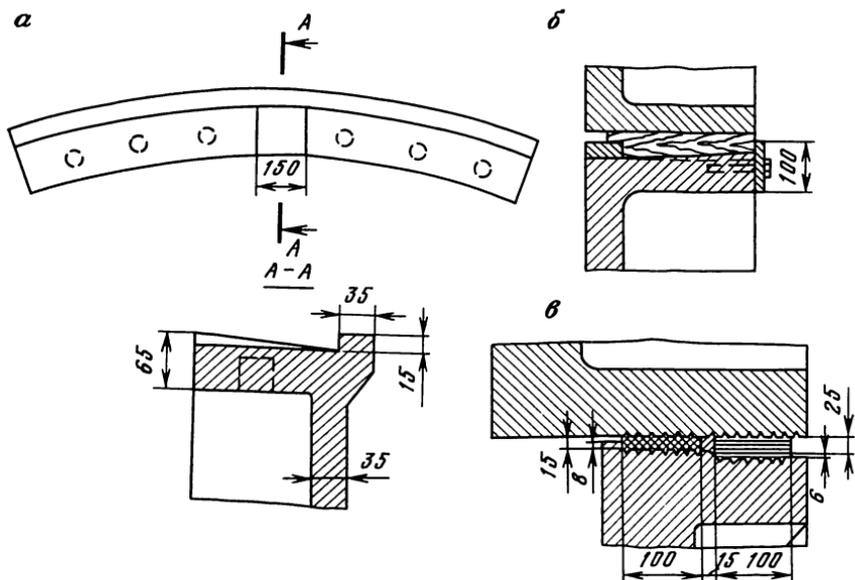


Рис. 19. Элементы уплотнения пикотажных швов:
 а и б – в тубингах серий N и K; в – ступенчатый пикотажный шов

Уплотнение пикотажных швов. Для устройства пикотажного шва, как правило, используются специальные тубинговые кольца – верхние и нижние пикотажные. Тубинги пикотажных колец отличаются от рядовых. Фланцы, между которыми выполняют пикотаж, не имеют болтовых отверстий, они большей толщины, что должно исключать изгиб фланцев при пробивке пикотажного уплотнения. Фланец нижнего пикотажного тубинга имеет специальную проточку под конус, что обеспечивает лучшее удержание пикотажного материала. По наружному краю фланца делается выступ для предотвращения при производстве пикотажа выхода клиньев в пространство за тубинги. На рис. 19, а показаны элементы уплотнения пикотажных швов в тубингах, применявшихся при креплении шахтных стволов Первого Соликамского калийного рудника. В тубингах более позднего производства (серии Ш и К) выступ на верхнем фланце нижнего пикотажного кольца был заменен металлической планкой высотой 20 мм, которая прикрепляется к тубингу болтами (см. рис. 19, б). Это стало возможным в связи с увеличением в этих сериях тубингов минимального размера ширины горизонтального фланца до 270 мм и значительно упростило технологию изготовления тубингов. Чтобы предотвратить выдавливание пикотажного уплотнения внутрь ствола напором подземных вод, с внутренней стороны крепи пикотажный шов укрепляется специальными пластинами, которые крепятся к фланцу нижнего пикотажного тубинга. Такой тип пикотажного шва наиболее распространен, хотя и не является единственным. Иногда пикотажный шов выполняют между двумя параллельными фланцами рядовых (нормальных) тубингов. Например, в стволе «Западный-

бис» Стебниковского калийного рудника (тюбинги серии Ш); в стволах Солигорских калийных рудников, в стволах Индерского разведочного рудника (тюбинги Метростроя). Болтовые отверстия в горизонтальных фланцах заклинивают деревянными пробками. Однако фланцы рядовых тюбингов не всегда способны противостоять усилиям расклинки. Иногда при пикотаже фланцы расходятся (отгибаются), появляются трещины. В отдельных случаях происходит выламывание фланца. Такое разрушение тюбингов произошло при пробивке пикотажного шва на отм. 67,6 м в стволе № 4 Второго Ново-Соликамского калийного рудника. Кроме того, пикотаж между параллельными фланцами рядовых тюбингов легче выдавливается напором воды внутрь ствола, а удерживающее металлическое кольцо не всегда способно препятствовать этому. Такой случай, например, имел место в стволе № 2 Первого Солигорского рудника.

Ряд исследователей тюбинговой крепи считают, что пикотажный шов выполняет роль «амортизатора», что весьма важно при появлении осевых (вертикальных) нагрузок на крепь [3]. Однако практика эксплуатации шахтных стволов, закрепленных чугунными тюбингами, как правило, этого не подтверждает. Лишь незначительные колебания ширины пикотажных швов (3–5%) не приводят к появлению течи через шов (при растяжении колонны тюбингов) или поломке фланцев. Особенно наглядно это проявляется в первые годы эксплуатации стволов после оттаивания ледопородного ограждения, во время «общего растрояства крепи» [3]. Так, в первые три года эксплуатации ствола № 4 Первого Березниковского калийного рудника в двух верхних пикотажных швах течь наблюдалась практически постоянно. По результатам 49 обследований состояния крепи ствола течь через эти пикотажные швы была отмечена в одном 36 и в другом 41 раз.

Значительные водопритоки через пикотажные швы наблюдались в стволах Солигорских рудников. Причем течь через пикотажные швы составляла 25–30% общего водопритока.

Величина раскрытия пикотажного шва зависит от места расположения его в звене крепи. При возведении крепи сверху вниз с подвеской тюбингов пикотажный шов устраивают над опорным венцом, при установке тюбинговых колец снизу вверх – под опорным венцом. Между опорным тюбингом и пикотажным швом обычно помещаются 2–3 тюбинговых кольца.

В исследовании причин повреждения тюбинговой крепи Р. Г. Бахштрем (1962 г.) показал, что из 43 обследованных им стволов с поврежденной крепью в 11 причиной было осевое сжатие. При этом в 6 случаях были повреждены пикотажные швы. Анализируя причины разрушения пикотажных швов, Р. Г. Бахштрем пришел к выводу, что пикотажный шов, расположенный вблизи опорного венца, является слабым звеном в тюбинговой колонне. Отмечено также, что боковой сдвиг тюбинговой крепи часто происходит именно по пикотажному шву и достигает в отдельных случаях нескольких сантиметров.

Р. Г. Бахштремом описан пример третьего типа сложного пикотажного шва, уплотнение которого имеет ступенчатую форму и выполнено из нескольких материалов, в том числе и резинового (каучукового) уплотнителя (см. рис. 19, в).

Уплотнение соединительных швов. Обеспечение водонепроницаемости соединительных швов между тубингами наиболее важная и ответственная задача. На 100 м тубинговой колонны, собранной из тубингов серии К диаметром в свету 7 м, приходится 3600 м вертикальных и горизонтальных соединительных швов. Уплотнение осложняется тем, что обработка тубингов на заводах-изготовителях не предусматривает контрольной сборки и проточки колец крепи по высоте под один размер. Обработанные отдельно и скомплектованные затем в одно кольцо в стволе тубинги имеют отклонения фактического размера высоты. При сборке колонны с перевязкой тубингов (обычно на 1/3 часть длины тубинга) или без перевязки между соседними тубингами неизбежно образуются зазоры. Убедительный эксперимент был проведен при проходке ствола № 2 Второго Солигорского калийного рудника [14]. Контрольная сборка на стенде 9 рядовых тубингов показала, что зазоры достигают 2,5 мм (рис. 20). Еще более интересный результат был получен при проверке качества монтажа опорного кольца тубингов на глубине 57,118 м в стволе № 3 Второго Березниковского калийного рудника. Превышение края фланца тубинга № 10 над фланцем тубинга № 7 составляло 8 мм, а разность отметок фланцев двух соседних тубингов № 10 и 11 составляла 3 мм. Ясно, что уплотнение таких соединительных швов задача не из легких.

Водопритоки, которые могут возникнуть в результате некачественного уплотнения соединительных швов, достигают порой значительных размеров. При оттаивании ледопородного ограждения в стволе № 3 Первого Солигорского калийного рудника наблюдалось интенсивное поступление воды в ствол. Из общего водопритока 130 м³/сут до 40–50% поступало через соединительные швы. В 1957 г. в Польше был затоплен ствол «Сольно-П» в Иноврацлаве, где общий приток через не зачеканенные швы тубинговой крепи достигал 600 м³/ч.

Предложенный Ю. Римером способ гидроизоляции соединительных швов свинцом до настоящего времени является наиболее распространенным, хотя были предложены и другие решения для различных типов тубингов, особенно для уплотнения горизонтальных соединительных швов, так как именно горизонтальные швы чаще всего являются местом проникновения воды в ствол.

В тубингах, стволов Первого Соликамского и Первого Березниковского калийных рудников, как и в тубингах, изготовленных УЗТМ, ширина горизонтальных фланцев не превышала 180 мм. Независимо от вида обработки поверхности фланцев (с рифлением или без него) между ними укладывалась свинцовая прокладка толщиной 2–3 мм. После стягивания болтов соединительный шов из ствола прочеканивался. Считалось, что заполнение свинцом выемок рифления является наиболее надежным способом обеспечения «идеального» уплотнения. При креплении стволов Первого Солигорского калийного рудника первоначально уплотнение горизонтальных швов в тубингах серии Ш выполняли с расчеканкой свинца в кольцевом пазу (рис. 21, а). Такой шов оказался способным противостоять гидравлическим напорам не более 0,7 МПа. Позднее, при ликвидации водопритоков, свинец был вырублен из паза, а вновь произведенная чеканка выполнялась по схеме, показанной на рис. 21, б. Такое уплотнение выдерживало напор подземных вод в 2,5 МПа.

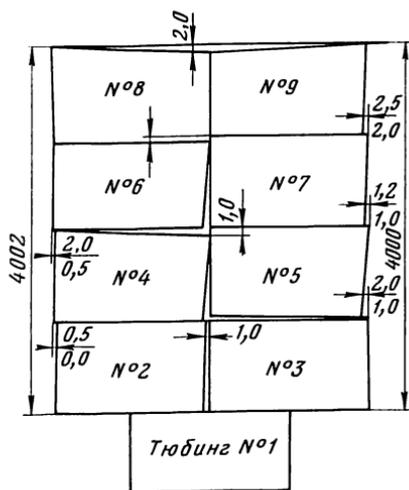
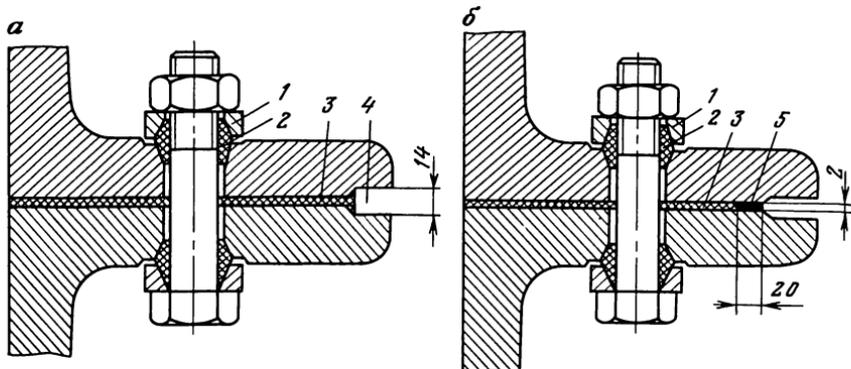


Рис. 20. Зазоры в тубинговой крепи, образующиеся из-за неточной обработки тубингов

Рис. 21. Схемы уплотнений соединительных швов тубингов серии Ш в стволах Первого Солигорского калийного рудника:

а — первоначальный вариант; б — конечный вариант; 1 — стальная шайба; 2 — свинцовая гидроизоляционная шайба; 3 — свинцовая прокладка; 4 — кольцевой паз; 5 — свинец, уплотненный чеканкой



Тюбинги более позднего производства, начиная с серии К, и тубинги, изготовленные в Польше, кольцевого паза не имеют, что, по свидетельству А. Н. Андричева (1961 г.), способствует достижению высококачественного уплотнения.

Уплотнение тубингов Метростроя производится не листовым свинцом, а свинцовым шнуром эллиптического сечения, например, 12 × 18 мм (ствол «Новый» Стебниковского калийного рудника, стволы Индерского разведочного рудника). После расчеканки шнура в пазу свободная от свинца часть кольцевого паза заполняется различного рода мастиками или замазками, чаще на основе расширяющегося цемента. Такой способ уплотнения не обеспечивает надежной гидроизоляции, особенно в стволах с переменным температурным режимом. Так, в стволе «Восточный» с начала эксплуатации (1963 г.) не удастся обеспечить герметичность соединительных швов.

Следует отметить, что свинцовая прокладка, особенно между горизонтальными фланцами тубингов, не только является элементом гидроизоля-

ции, но и играет роль эластичного элемента, снижающего жесткость тюбинговой колонны, что в известных пределах позволяет избежать разрушения тюбингов при искривлении стволов. Примером могут служить стволы Второго Солигорского калийного рудника, где в результате образования мульды над отработанной частью шахтного поля произошло искривление оси стволов. В верхней части стволов смещение центра сечения после 10 лет эксплуатации по стволам № 1, 2, 3 соответственно составило 48, 54 и 59 мм.

В оценке роли рифления среди исследователей нет единого мнения. Сторонники рифления считают, что при стягивании болтов и под действием веса вышерасположенных тюбингов свинцовая прокладка деформируется, заполняет углубления в рифлении и это вместе с чеканкой обеспечивает герметичность шва. Противоположное мнение основывается на том, что при температурных колебаниях гребешки рифления внедряются (при нагреве) в свинцовую прокладку, и затем (при охлаждении) образуются пути для проникновения воды в ствол, так как свинец не обладает упругостью. Такое представление о механизме деформирования свинцовой прокладки не соответствует действительности. Для того чтобы сжать прокладку по высоте, необходимо в свинце создать напряжения, превышающие предел текучести при сжатии. Для свинцового образца кубиковой формы предел текучести при сжатии равен 12 МПа [25]. Однако между фланцами тюбингов свинцовая прокладка находится в условиях, отличающихся от условий испытания образца кубиковой формы. Шероховатая поверхность фланцев препятствует «вытеканию» свинца. Как показал Ф. Хертрих [42], свинцовая прокладка приобретает свойство текучести, лишь когда максимальное напряжение сжатия в ней, приложенное в середине фланца, превысит значение

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{т.р}} l / (\sqrt{3} d),$$

где $\sigma_{\text{т.р}}$ – предел текучести свинца при растяжении; l – ширина фланца тюбинга; d – расстояние между фланцами тюбингов, толщина слоя свинца, не имеющего сцепления с фланцем тюбинга.

При $\sigma_{\text{т.р}} = 8$ МПа, $l = 270$ мм, $d = 2$ мм величина $\sigma_{\max} = 623$ МПа, а среднее значение напряжения сжатия в свинцовой прокладке по ширине фланца – $\sigma_{\text{ср}} = 207,3$ МПа (рис. 22). Если предположить, что рифление под действием силы натяжения болтов, веса вышерасположенной тюбинговой колонны или температурного расширения тюбингов внедрено в свинцовую прокладку на 0,25 мм со стороны каждого фланца, то толщина слоя свинца, способного вытекать из шва, составит 1,5 мм. В этом случае σ_{\max} возрастает до 831 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 277$ МПа. Таким образом, чем больше ширина фланца тюбингов и чем глубже внедряется рифление в прокладку, тем большую нагрузку может выдерживать свинцовая прокладка без признаков истечения свинца. Даже при полном внедрении рифления в свинец остается слой прокладки толщиной 0,5–1,0 мм. Создать подобные нагрузки на свинцовую прокладку в реальных условиях практически не представляется возможным. Исследованиями, выполненными в Уральском филиале ВНИИГалургии, показано, что рифление практически не оставляет следов на свинцовой прокладке, т.е. рифление по ширине фланца, за

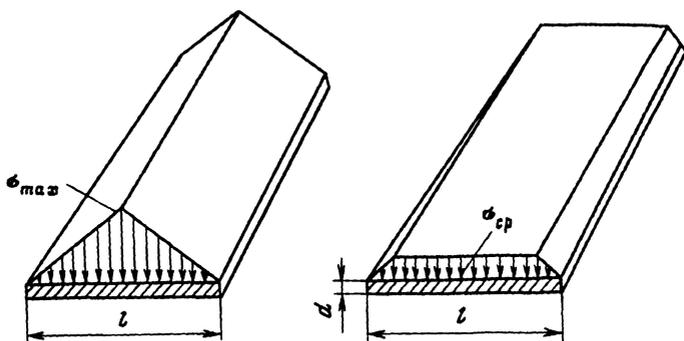


Рис. 22. Эпюры напряжений в свинцовой прокладке соединительного шва

исключением зоны чеканки, может рассматриваться лишь как искусственно созданная шероховатость. Так, при ликвидации аварии в стволе № 3 Третьего Березниковского калийного рудника был разобран участок тубинговой крепи. Поверхность демонтированных свинцовых прокладок имела лишь слабые следы воздействия рифления. Более того, часть горизонтальных швов имела следы проникновения цементного раствора в шов на глубину до 150 мм, т.е. свинцовая прокладка с наружной стороны тубинговой колонны не герметизировала шов. На прокладке, нагруженной болтами, в экспериментальных условиях отчетливо видно, что следы рифления имеются лишь на участках около болтов (рис. 23). Изменение глубины внедрения рифления в свинец по ширине фланца тоже неодинаковое, некоторое увеличение глубины внедрения наблюдается около болтовых соединений. Очевидно, что такое внедрение рифления никакого влияния на водонепроницаемость соединительного шва не оказывает. Препятствием на пути воды свинцовая прокладка является лишь в зоне чеканки, где заполнение рифления 100%. Как показывает практика, ширина этой зоны не превышает 25–30 мм от края тубинга, а остальная часть прокладки не выполняет роли гидроизолятора. Экспериментально было показано, что прокладка шириной 50 мм после чеканки удерживает гидравлический напор в 4 МПа.

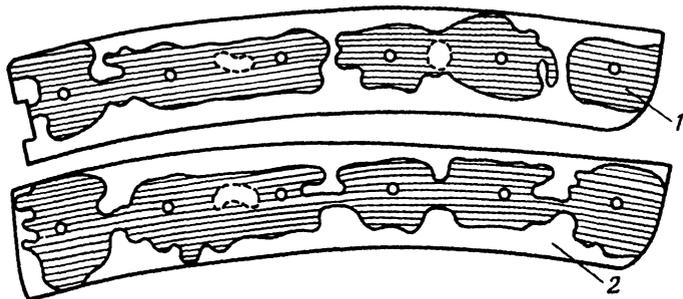


Рис. 23. Свинцовые прокладки со следами внедрения рифления фланцев тубингов: 1 – поверхность со следами рифления; 2 – поверхность без следов внедрения рифления

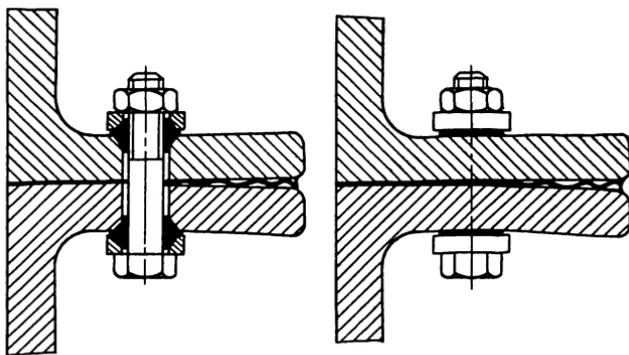


Рис. 24. Схема выталкивания свинца и образования «волн» в свинцовой прокладке соединительного шва при чеканке

Таким образом, рифление поверхности горизонтальных фланцев тюбингов способствует лишь удержанию свинца, увеличивает предельно допустимые напряжения в прокладке и сцепление между поверхностью фланца тюбинга и свинцовой прокладкой, что при чеканке швов исключает образование волн и выталкивание свинцовой прокладки из шва (рис. 24), как это было зафиксировано при креплении ствола № 2 Второго Солигорского калийного рудника в 1966 г. Повышение гидроизоляционных характеристик соединительных швов за счет рифления имеет место только в зоне чеканки. Рифление следует рассматривать лишь как искусственное увеличение шероховатости поверхности фланцев.

В большинстве шахтных стволов тюбинговая крепь в процессе эксплуатации не остается неподвижной, что вызывает необходимость постоянного контроля за герметичностью швов и подчеканки их в случаях появления течи. В условиях действующего ствола проведение этих работ сопряжено с перерывами в работе подъемных установок. Стремление исключить эти вынужденные остановки в работе привело к тому, что было предложено множество других решений по уплотнению горизонтальных швов, правда, пока не получивших достаточного распространения. Например, в США было предложено гидроизоляцию стыковых швов выполнять дрезгой (чугунные опилки, хлористый аммоний и сера), в СССР на шахте № 20/23 «Западно-Донбасская» в опытном порядке были применены прокладки из ПОВ-30 и ПОВ-40. Некоторые исследователи предлагают уплотнять швы с наружной стороны тюбинговой колонны. Отрицательными факторами в таком решении являются технологическая сложность устройства их и невозможность контроля и ремонта во время эксплуатации ствола. В других предложениях сделаны попытки за счет конструктивного решения или применения упругого уплотнителя обеспечить «подвижку» тюбингов без потери герметичности шва. Общим недостатком, присущим большинству этих решений, является сложность уплотнения стыка горизонтального шва с вертикальным. Все эти предложения не нашли широкого применения в практике.

Значительно менее разнообразны способы уплотнения вертикальных

швов между тьюбингами. Как правило, между вертикальными фланцами также помещается свинцовая прокладка толщиной 2–3 мм, рифления поверхности фланцев не делается. Для повышения эффекта чеканки со стороны ствола на фланцах в 15–20 мм от внутреннего края тьюбинга делается бороздка. Если тьюбинги имеют кольцевой паз (например, тьюбинги Метро-строя), то уплотнение вертикального шва аналогично и ничем не отличается от уплотнения горизонтальных швов. Вертикальные швы реже горизонтальных являются местом проникновения воды. Случаи выдавливания прокладок из вертикальных швов наблюдаются лишь при непараллельности поверхностей фланцев, что может быть либо при деформации колец тьюбингов, либо вследствие дефекта обработки фланцев.

Уплотнение болтовых соединений. Болтовое соединение предназначено для соединения отдельных тьюбингов в кольцо тьюбинговой крепи, а кольцо – тьюбинговую колонну, для создания усилия сжатия гидроизоляционных прокладок между тьюбингами и для предотвращения смещения колец или отдельных тьюбингов в горизонтальной или вертикальной плоскостях. Выполняя эти функции, само болтовое соединение часто является местом проникновения воды. При измененных условиях работы крепи (изменение нагрузок, колебания температуры и др.) прежде всего болтовое соединение проявляет признаки потери герметичности и способно пропускать до 35% общего водопритока. Значительное число болтовых соединений делает задачу обеспечения герметичности их весьма трудоемкой. Наибольшее применение для уплотнения болтовых соединений нашли асбобитумные и свинцовые гидроизоляционные шайбы. С целью повышения эффекта герметизации гнездо под гидроизоляционную шайбу в теле тьюбингов выполняют в виде конуса (см. рис. 21). Предполагалось, что при обжатии свинцовой гидроизоляционной шайбы между стальной обжимной шайбой и поверхностью тьюбинга должен образоваться валик свинца высотой 4–5 мм. В случае, если такой валик не образуется и стальная шайба входит в соприкосновение с тьюбингом, рекомендуется либо увеличить размер свинцовой шайбы, либо добавить по половине свинцовой шайбы на каждую сторону болтового соединения [3]. Условия работы свинца в прокладке между фланцами тьюбинга отличаются от работы его в гидроизоляционной шайбе. Здесь свинец работает так же, как в кубиковом образце, т.е. предел текучести материала шайбы при сжатии равен 12 МПа. Гидроизоляционная шайба выполняет еще и роль элемента, передающего усилие натяжения болтов фланцам тьюбингов. При размерах шайб тьюбингов серии К допустимое натяжение болтового соединения составляет 15 кН. При большем натяжении болтов происходят разгрузка, сброс натяжения. Экспериментально установлено, что при первоначальном натяжении болта, например, равном 50 кН, разгрузка до 25 кН происходит всего за 30 мин, а полная разгрузка до 15 кН за 7–8 сут. Всякое временное увеличение натяжения болтов вследствие практического отсутствия у гидроизоляционной шайбы упругого восстановления ее формы и размеров приводит к ослаблению болтового соединения и появлению течи. При натяжении 15 кН болтовое соединение способно противостоять напору воды до 3 МПа. Однако при малейшем сдвиге шайбы или динамическом воздействии герметичность нарушается. Для изготовления гидроизоляционных шайб тьюбинговой крепи должен использоваться материал, обла-

дающий большей упругостью, способный воспринимать большие натяжения болтов. Поэтому было предложено при изготовлении гидроизоляционных шайб заменить свинец на полиэтилен высокого давления. Исследованиями показано, что полиэтиленовая шайба разгрузается за первые 30 мин до 75–78% первоначальной нагрузки, полная разгрузка происходит за 37–40 сут, остаточное натяжение болтового соединения равно 30 кН. Первоначально полиэтиленовые шайбы были применены в опытном порядке в стволе № 2 Третьего Березниковского и стволе «Новый» Стебниковского калийных рудников. Испытания на герметичность показали, что болтовое соединение с полиэтиленовыми шайбами выдерживает напор до 6 МПа, сохраняет герметичность при динамических воздействиях и колебаниях температуры. С момента проходки и крепления шахтных стволов Четвертого Солигорского рудника полиэтиленовые шайбы стали применяться повсеместно.

Таким образом, в болтовых соединениях, где усилие натяжения болта передается через материал гидроизоляционной шайбы, рабочее усилие сжатия болтами фланцев тубингов определяется рабочим сечением и свойствами материала гидроизоляционной шайбы. Недостатком такого решения является отсутствие возможности увеличить натяжение болтов, достоинством – возможность при повторном подтягивании восстановить герметичность соединения без замены гидроизоляционной шайбы или с частичным добавлением материала гидроизоляционной шайбы. В 1962 г. для тубингов серии Ш было предложено жесткое болтовое соединение, в котором вместо гидроизоляционных шайб применена свинцовая втулка, но практического применения оно не нашло. Одной из причин этого была сложность повторного обеспечения герметичности соединения.

3.1.4. Гидроизоляционные устройства тубинговой крепи

Шахтный ствол, пересекающий все надсолевые породы и водоносные горизонты, создает реальную возможность проникновения подземных вод к соляным пластам. С целью исключения такого контакта, перекрытия путей возможного движения подземных вод к соляным пластам в конструкции крепи шахтных стволов на соляных и калийных месторождениях предусматривают специальные гидроизоляционные устройства.

По назначению и месту установки в крепи ствола гидроизоляционные устройства можно разделить на три группы (рис. 25).

К группе I относятся устройства, возводимые в нижней части водонепроницаемой крепи шахтных стволов. Они защищают соляную залежь от подземных вод всех водоносных горизонтов, расположенных выше и объединенных шахтным стволом в один водоносный комплекс. Гидроизоляционное устройство возводится, как правило, в водонепроницаемых породах, иногда в верхней части соляной залежи. Полное гидростатическое давление объединенного водоносного комплекса воздействует на такое гидроизоляционное устройство в направлении сверху вниз.

В практике есть различные решения по расположению гидроизоляционных устройств в соляных породах. Если в одних стволах расстояние от контакта (соляного зеркала) до верхнего гидроизоляционного устройства исчисляется несколькими метрами, то в других оно составляет

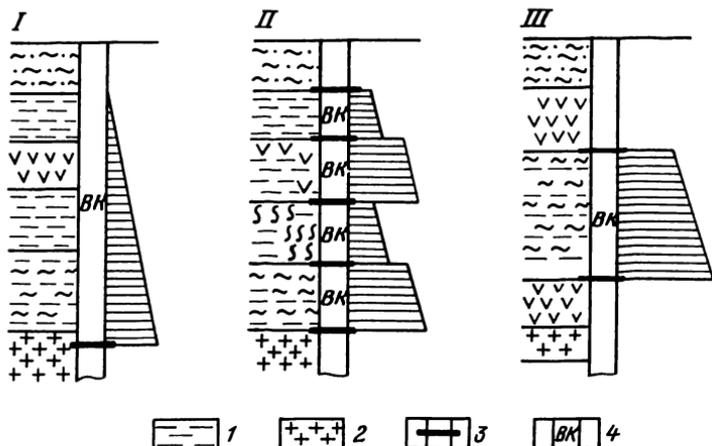


Рис. 25. Группы (I-III) гидроизоляционных устройств по назначению: 1 - обводненные породы; 2 - соляные породы; 3 - гидроизоляционные устройства; 4 - участки крепления ствола водонепроницаемой крепью

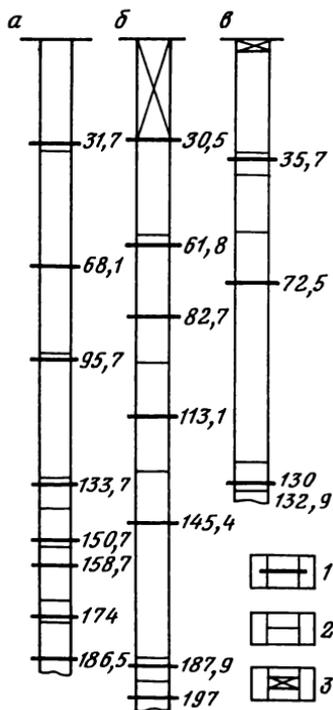


Рис. 26. Схемы расположения гидроизоляционных устройств в крепи ствола «Гягихорст» рудника Марианлюк (а), ствола «Рослебен» № 2 калийного рудника Генрих Рау (б) и ствола № 2 Первого Соликамского калийного рудника (в):

1 - место установки гидроизоляционного устройства; 2 - пикотажный шов; 3 - бетонная крепь

40–60 м. Наиболее рационально располагать гидроизоляционные устройства в непосредственной близости от контакта, если состояние пород ниже контакта позволяет достичь надежной гидроизоляции. При большом заглублении гидроизоляционного устройства в соль создается возможность движения подземных вод от контакта до гидроизоляционного устройства.

За счет неплотностей и температурных колебаний тюбинговой крепи подземные воды на этом участке будут проникать в ствол, что со временем приведет к образованию пустот в соляных породах за крепью. При такой схеме защиты соляной залежи обычно рассматривается вопрос о числе гидроизоляционных устройств. В некоторых шахтных стволах калийных рудников на Верхнекамском месторождении их возведено по 4-5. Однако число не решает вопроса надежности защиты. В зарубежной практике обычно ограничиваются одним гидроизоляционным устройством, а в нашей стране их возводят не менее двух.

Возведение гидроизоляционных устройств этой группы является заключительным этапом крепления ствола на участке использования специального способа проходки и применения водонепроницаемой крепи. Выполнению этих работ обычно предшествует тщательная подготовка, работы проводят в минимально возможные сроки.

К *группе II* относятся устройства, целью возведения которых является разделение друг от друга нескольких водоносных горизонтов, пересекаемых шахтным стволом. Гидроизоляционные устройства этой группы рассредоточены по водонепроницаемой крепи ствола, каждое из них возводится на границе двух водоносных горизонтов. Гидростатическая нагрузка может воздействовать на такое устройство одновременно сверху вниз и снизу вверх. Такое расположение гидроизоляционных устройств по высоте водонепроницаемой части крепи ствола характерно для строительства шахтных стволов на соляных и калийных рудниках в ГДР и ФРГ. Примером могут служить стволы: «Гагихорст» рудника Мариаглюк, «Рослебен» № 2 калийного рудника Генрих Рау (ГДР) и № 2 Первого Соликамского калийного рудника (рис. 26).

Группу III составляют гидроизоляционные устройства, которые возводятся с целью гидроизоляции одиночного водоносного горизонта, когда только обводненный участок крепят специальной водонепроницаемой крепью, например, чугунными тюбингами. Верх и низ такого участка водонепроницаемой крепи герметизируют гидроизоляционными устройствами. В практике крепления шахтных стволов калийных и соляных рудников СССР такое расположение гидроизоляционных устройств не встречается. В качестве примеров могут быть приведены гидроизоляция тюбинговой колонны в стволе «Ярбо-1» и сталебетонной крепи в стволе «Алвинсал» на Соскачеванском калийном месторождении Канады [25, 40].

По конструктивному исполнению все гидроизоляционные устройства, разного рода диафрагмы, перемычки, завесы, клиновые венцы и т. д. можно разделить на две группы. Классификационным признаком является конструкция элемента, непосредственно препятствующего движению подземных вод по закрепному пространству. В первую группу входят устройства, в которых гидроизоляционным элементом является клиновое уплотнение, выполненное пикотажем зазора деревянными клиньями. Ко второй группе относят устройства с гидроизоляционным замком из эластичного или аморфного материала, например, глины или битума. Существуют и комбинированные конструкции.

Кейлькранцы. Подавляющее большинство гидроизоляционных устройств, выполненных в стволах калийных и соляных рудников нашей страны, имеют клиновой замок с деревянной расклинкой, выполненный

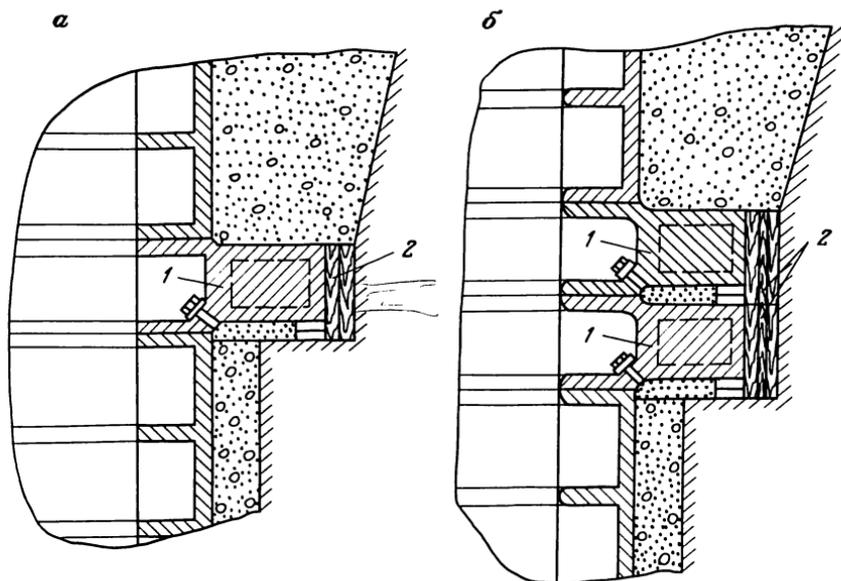


Рис. 27. Конструкции одинарного (а) и двойного (б) кейлькранцев:
1 — опорный тубинг; 2 — пикотажное уплотнение;

в зазоре между наружной частью кольца опорных тубингов и окружающей породной стенкой (рис. 27, а). Это устройство носит название кейлькранц. Кейлькранцы обеспечивают надежную гидроизоляцию в том случае, если деревянный замок (уплотнение) выполнен в плотной водонепроницаемой породе. При этом ни одна замораживающая скважина, если участок проходил с замораживанием горных пород, не должна пересекать зону уплотнения.

В стволах калийных рудников СССР около 60% всех кейлькранцев выполнены в соляных или солосодержащих породах. Первые кейлькранцы с соляной стенкой возведены в стволах № 1 и 2 Первого Соликамского калийного рудника. Такое решение было продиктовано тем, что непосредственно над соляными породами (над покровной каменной солью) не было слоев (пропластов), удовлетворяющих требованиям по мощности и прочности. В дальнейшем практика установки кейлькранцев в солосодержащих породах получила распространение. Примеры установки кейлькранцев в соляных пластах в зарубежной практике неизвестны. Более того, считается, что установка кейлькранцев в породах, имеющих только трещины, выполненные солью, не имеет смысла. Например, при проходке ствола на руднике Сильвайт (Канада) по этой причине было принято решение отказаться от установки кейлькранца, заменив его химическим уплотнительным материалом. В отечественной практике известны случаи установки кейлькранцев в алевролитах, мергелях, доломитах, соленосной брекчии. Например, в стволах солерудников ПО «Артемсоль» большинство кейлькранцев установлено в ангидрите и лишь единицы в доломитизированном известняке и соли.

Участок ствола, на котором предполагается установка кейлькранцев, проходится с мерами предосторожности, чтобы исключить повреждение соляных пород в месте будущего пикотажного уплотнения. За 3–4 м выше места установки кейлькранца буровзрывные работы прекращают и дальнейшую разборку породы ведут отбойными молотками. Также проходят участок ствола ниже кейлькранца.

На стволах Четвертого Березниковского и Ново-Соликамского калийных рудников в опытном порядке по рекомендации треста «Шахтспецстрой» и Уральского филиала ВНИИГалургии участки для установки кейлькранцев в солях проходили буровзрывным способом. С целью предохранения соляной стенки от повреждений при взрывах по периметру ствола оставляли защитную берму шириной 0,9 м, которая выбиралась отбойными молотками. Такой способ защиты оказался достаточным, нарушений соляной стенки у кейлькранцев обнаружено не было.

Породная стенка для замка тщательно обрабатывается, шлифуется. Это позволяет более детально обследовать поверхность стенки с целью обнаружения трещин, каверн и других дефектов, которые могли бы в будущем послужить причиной потери герметичности всего устройства. При устройстве кейлькранцев в соляных породах такой контроль обязателен. На Верхнекамском месторождении для обработки и шлифовки соляной стенки получила распространение специальная фреза, изготовленная в Березниковском управлении треста «Шахтспецстрой». Ряд авторов считают, что шлифовка породной стенки необходима для более надежного уплотнения контакта [31], однако в стволах Солигорских калийных рудников, где кейлькранцы выполнены не в солях, шлифовка не производилась, и это не отразилось на их герметичности.

В отдельных случаях в породной стенке встречаются прослои, способные пропустить воду, когда деревянным замком одного кейлькранца перекрыть прослой по всему периметру ствола невозможно. Поэтому точное место установки кейлькранца определяется лишь после тщательного обследования состояния породной стенки, вследствие этого глубина выбранного участка может отличаться от расчетной менее чем на высоту одного тюбингового кольца. Тогда образовавшийся зазор в тюбинговой колонне заполняют специальными металлическими вставками. Так, после установки двух кейлькранцев в стволе «Вентиляционный» Индерского разведочного рудника в месте стыковки тюбингов двух звеньев крепи зазор составлял около 400 мм. Большая часть зазора (360 мм) была заполнена вставкой между тюбингами колец № 30 и 31, состоящей из швеллера № 30 и двух металлических колец толщиной по 30 мм. Остальную часть зазора заполнили пикотажным швом между тюбинговыми кольцами № 28 и 29.

В других случаях гидроизоляция достигается установкой двух кейлькранцев друг над другом в виде сдвоенного кейлькранца (см. рис. 27, б). Такие конструкции выполнены, например, в стволах Второго и Третьего Березниковских и Второго Соликамского калийных рудников. Но и сдвоенным кейлькранцем не всегда удается перекрыть водопроводящий пропласток. В подобных случаях между тюбинговыми кольцами размещают специальные кольца-вставки, что позволяет наиболее удачно расположить пикотажное уплотнение.

При устройстве кейлькранца тюбинги опорного кольца устанавливают

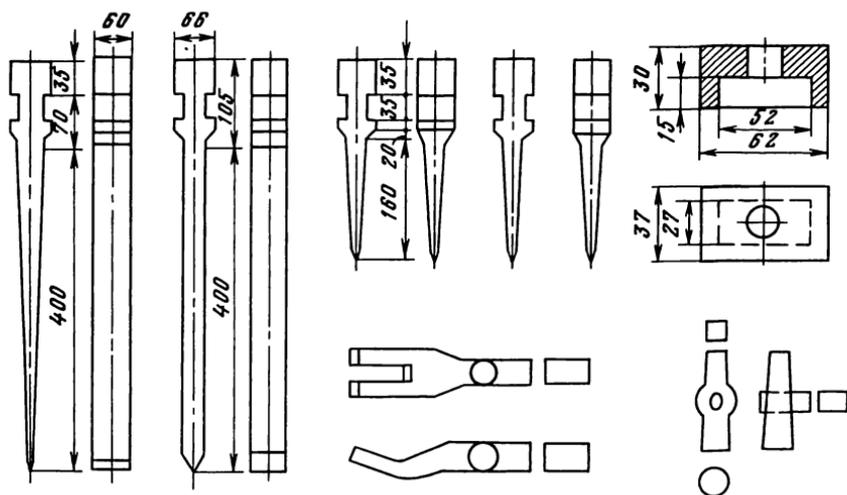


Рис. 28. Специальный инструмент для пробивки пикотажного уплотнения

на специальную постель, выполненную чаще всего в виде выступа породной стенки ствола. Иногда постель создается искусственно, например, из кирпичной кладки. После обработки и зарисовки породной стенки и установки опорного кольца тубингов приступают к устройству гидроизоляционного замка. Сначала в кольцевой зазор между породной стенкой и тубингами устанавливают футеровочные доски из мягких пород дерева (сосна, осина). При этом следят, чтобы между футеровочными досками не оставалось зазоров, доски с сучками выбраковываются. В соседних рядах футеровочные доски устанавливают в шахматном порядке. Затем выполняют уплотнение (пикотаж) клиньями из плотной древесины (дуб, лиственница). В первую очередь забивают более крупные клинья. Перед забивкой очередного клина сначала с помощью металлических пробойников (рис. 28) в деревянном уплотнении делается гнездо, в которое затем забивается деревянный клин. Для уменьшения поломки клиньев применяют специальные «наголовники» или посадочные молотки. Иногда для окончательной «доводки» уплотнения прибегают к забивке в готовое уплотнение дополнительных металлических клиньев [43]. Качество уплотнения повышается, если при пробивке металлических пробойников и пикотажных клиньев применяют пневмомолотки и смазку клиньев дегтем или древесной смолой. Чтобы уменьшить деформации кольца опорных тубингов кейлькранца при пробивке клиньев, работу ведут несколько звеньев проходчиков, которые, равномерно рассредоточиваясь по окружности ствола, забивают один типоразмер клиньев и продвигаются по кольцу в одном направлении. Однако полностью исключить деформаций кольца все же не удастся. Радиальные смещения тубингов достигают 7–10 мм.

Ширина кольцевого зазора для уплотнения обычно равна 80–100 мм. Выдержать равной ширины зазора часто не удастся, более того из-за повреждений породной стенки или выборки природной трещины образуются местные «раздутия». Если ширина зазора не превышает 200–250 мм,

уплотнение выполняют обычным способом. При большей ширине пикотажный шов начинает вспучиваться и дальнейшее его уплотнение становится невозможным. Подобный случай имел место на стволе № 1 Четвертого Солигорского калийного рудника, где при ширине пикотажа более 400 мм пучение достигло 50 мм. С целью исключения вспучивания пикотажного шва применяют металлические вставки различной формы. Применение чугунных вставок с соотношением длины к ширине более 5–10 нежелательно, так как при неравномерном уплотнении в чугуне могут образоваться трещины, которые невозможно уплотнить деревом. Мелкие вставки в виде плоских стальных клиньев применялись для достижения больших напряжений в пикотажном уплотнении, когда забивка деревянных клиньев становилась невозможной [43].

В проектах треста «Шахтспецстрой» предусматривается применение футеровочных досок и 15 типоразмеров клиньев (рис. 29). При такой пробивке («стандартной») объем дерева, забиваемого в кольцевой зазор, превосходит объем пикотируемого пространства в 2–2,6 раза [39]. По высоте пикотажного уплотнения значение коэффициента уплотнения изменяется от 3,1–3,3 в верхней части до 1 в нижней. В отдельных случаях в нижней части за счет скалывания клиньев образуются пустоты. Значительное увеличение в верхней части обусловлено применением большого числа мелких клиньев. Напряжения, которые создаются при этом в пикотажном материале и нагрузки, передаваемые им на породную стенку, также неравномерны по высоте уплотнения. В верхней части они достигают $q = 40 \div 43$ МПа, в нижней части до высоты 50–70 мм практически равняются нулю. Гидроизоляционная способность пикотажного уплотнения также изменяется по высоте. В верхней части «стандартной» пробивки при $q = 40$ МПа уплотнение выдерживает гидростатический напор 6 МПа, на глубине 100 мм от поверхности уплотнения при $q = 28$ МПа пикотажное уплотнение становится водопроницаемым. Таким образом, лишь верхний слой «стандартного» пикотажного уплотнения толщиной 100 мм является гидроизолирующим. Проникновение воды через уплотнение происходит за счет зазоров, образующихся в пикотажном уплотнении при пробивке деревянных клиньев на не полную глубину гнезда, образованного металлическим пробойником, обламывания клиньев и размочаливания древесины [14]. Нарушение герметичности кейлькранцев может произойти и в том случае, когда при уплотнении породная стенка разрушается или металлическими пробойниками, или от чрезмерных нагрузок пикотажного уплотнения. На необходимость соизмерения нагрузок от пикотажного уплотнения с физико-механическими свойствами пород, образующих породную стенку кейлькранца, было указано В. А. Цибульским (1938 г.).

В отдельных случаях неудачный выбор места и условий установки кейлькранцев в значительной мере усложняет выполнение работ по пикотажу или делает вообще невозможным создание надежной гидроизоляции. При проходке и креплении ствола № 1 Четвертого Солигорского калийного рудника кейлькранц № 1 на глубине 266,97 м был установлен в плотной аргиллитоподобной глине. Выполнить кольцевой паз равной ширины не удалось из-за вывалов породы. В результате ширина зазора составляла 128–620 мм. При пробивке уплотнения с металлическими вставками наблюдалось некоторое увеличение ширины зазора и пучение поверхности

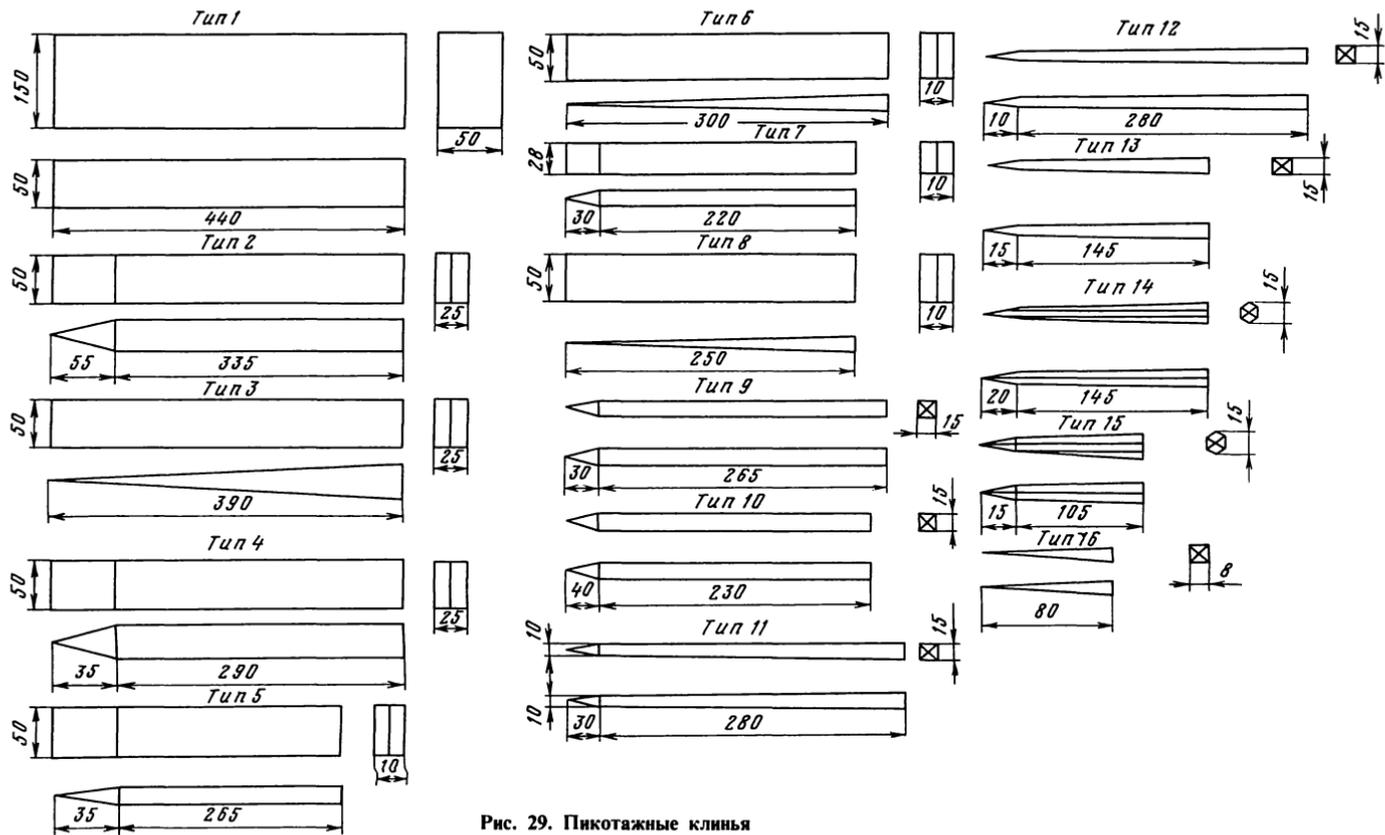


Рис. 29. Пикотажные клинья

уплотнения. На уплотнение этого кейлькранца было израсходовано 825 футеровочных досок, дубовых клиньев типа № 2-2175, типа № 3-2330 и 6900 мелких клиньев. Кейлькранц № 3 этого же ствола возводился на глубине 283,8 м. Породная стенка была представлена следующими породами (сверху вниз): доломит, серая плотная глина мощностью 1-2 см, доломит мощностью 110-210 мм и глина микрослоистая, плотная, трещиноватая. При разделке ниши под кейлькранц в стволе наблюдался приток воды до 3 м³/ч. Из-за попадания влаги и малой прочности пород при обработке стенки происходило отслоение кусков доломита на контакте с глиной. Попытка сохранить породную стенку вертикальной привела к тому, что кольцевой зазор увеличился местами до 425 мм. При пробивке уплотнения нижняя часть породной стенки от глины начала выкрашиваться. Ширина кольцевого зазора в отдельных местах увеличилась еще на 15-20 мм, появилось пучение поверхности уплотнения до 50 мм. В результате было принято решение отказаться от дальнейшего выполнения работ по уплотнению кейлькранца.

Уральским филиалом ВНИИГалургии были проведены работы по совершенствованию технологии и улучшению гидроизоляционных характеристик кейлькранцев. В стволе № 2-бис Первого Соликамского калийного рудника был возведен экспериментальный кейлькранц. Для получения более рациональной эпюры нагрузок на породную стенку уплотнение производилось в основном крупными клиньями типов 2 и 3, для окончательной доводки использовались клинья типов 13 и 14. Соблюдалась определенная очередность пробивки и порядок расположения клиньев в пикотажном уплотнении (табл. 12).

Максимальное давление на породную стенку в верхней части такого уплотнения $q = 22 \div 24$ МПа. Следовательно, кейлькранц с таким уплотнением может быть установлен в пласте водонепроницаемой породы с пределом прочности при сжатии не менее 20 МПа. Толщина слоя пикотажного уплотнения, способного противостоять статическому напору воды, увеличилась до 200-230 мм (рис. 30). Для повышения гидроизоляционной способности пикотажного уплотнения после замыкания тубинговой колонны над кейлькранцем под пикотажные клинья нагнетали цементный раствор. Давление нагнетания 1,0-1,5 МПа. Ликвидация пустот под пикотажом исключает возможность накопления в них воды, проникающей либо вследствие намокания древесины, либо по трещинам в породной стенке, которые не были обнаружены ранее или образовались при пробивке

Таблица 12

Очередность забивки клиньев	Типоразмер забиваемого клина (см. рис. 29)	Расположение клиньев в поперечном сечении уплотнения по типоразмерам
Установка футеровки	1	1-1
1	2	1-2-1
2	2	1-2-2-1
3	3	1-2-3-2-1
4	3	1-3-2-3-2-1
5	3	1-3-2-3-2-3-1

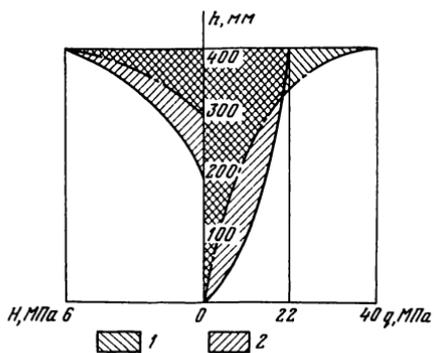


Рис. 30. Эпюры нагрузок на породную стенку и гидроизоляционные характеристики пикотажного уплотнения кейлькранцев: 1 – «стандартная» пробивка; 2 – измененная пробивка

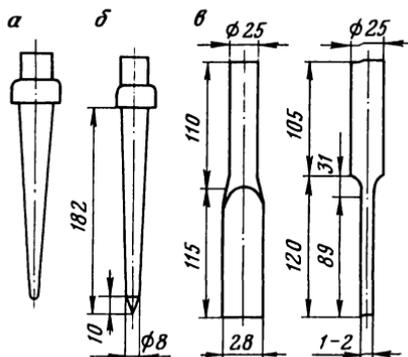


Рис. 31. Конструкция игл для контроля герметичности пикотажного уплотнения: а – круглая конусная игла; б – круглая конусная игла, предложенная трестом «Шахтспецстрой»; в – плоская игла

уплотнения. Отсутствие пустот уменьшает вероятность проникновения воды через пикотажное уплотнение.

После пробивки уплотнения в нем происходит некоторое уменьшение напряжений, выравнивание их за счет деформаций волокон древесины трубчатой структуры. В эксперименте понижение величины q продолжалось более 20 сут. Установившаяся нагрузка составляла 50–55% первоначальной. При подаче после этого к поверхности уплотнения воды за счет набухания происходило увеличение величины q на 2–3%.

При подготовке кольцевого паза редко удается обеспечить равный зазор между тубингами и породной стенкой. Ширина зазора в разных точках окружности может отличаться в 2–3 раза. Возможность устройства деревянного клинового замка при неравной ширине кольцевого паза является одним из основных преимуществ кейлькранцев перед гидроизоляционными устройствами других конструкций. Точно определить необходимое число клиньев не представляется возможным. Пробивку прекращают, если в пикотажное уплотнение становится невозможным внедрить стальную иглу (рис. 31) при ударе кувалдой массой 8 кг. Круглая конусная игла рекомендована трестом «Шахтспецстрой» и может быть применена для текущего контроля состояния поверхности уплотнения. Применение плоской иглы затруднено, так как практически не удается создать уплотнение, способное противостоять внедрению этой иглы. Число точек контроля обычно от 100 до 300. Однако следует иметь в виду, что этот традиционный метод не дает полной и надежной оценки. Невозможно проверить всю поверхность пикотажа даже при еще большем числе точек контроля. Кроме того, игловой метод контроля не позволяет оценить герметичность всей конструкции кейлькранца в целом. Поэтому было разработано и предложено еще несколько методов оценки.

В работе [3] описаны два способа проверки кейлькранцев (рис. 32). Первый из них был применен при испытании кейлькранца № 2 на отм.–166,74 м в стволе № 2 Первого Березниковского калийного рудника.

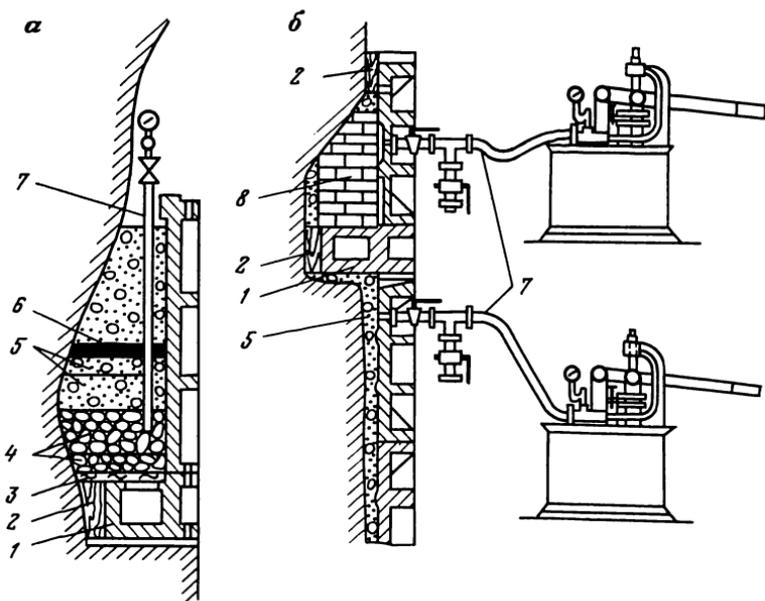


Рис. 32. Схемы испытаний герметичности кейлькранцев:

а – при подаче воды (рассола) сверху; *б* – при подаче воды (рассола) сверху и снизу; 1 – опорный тубинг; 2 – пикотажное уплотнение; 3 – металлическая стружка; 4 – щебень; 5 – бетон; 6 – асфальт (битум); 7 – напорный трубопровод (шланг); 8 – кирпичная кладка

Оба способа весьма трудоемки в применении, особенно, когда после первого испытания возникает необходимость продолжить забивку клиньев.

В Уральском филиале ВНИИГалургии был разработан и рекомендован для внедрения способ проверки герметичности кейлькранцев сжатым воздухом. Определение готовности пикотажного уплотнения выполняется в два этапа – предварительная и окончательная оценки. Предварительную оценку делают по игловому точечному способу. Если при этом обнаруживаются участки недостаточного уплотнения, то производят дополнительное уплотнение их мелкими клиньяными типов 13, 14 (см. рис. 29). Для окончательной проверки поверхность пикотажного уплотнения зачищается стамеской, очищается от мусора и возможной влаги. Затем по всей поверхности насыпается ровным слоем сухой цемент толщиной 5–10 мм. Под пикотажное уплотнение через 2–3 тампонажных отверстия в опорных тубингах подается сжатый воздух под давлением 0,6–0,8 МПа (рис. 33). Давление воздуха в полости под пикотажом контролируется по манометру. Появление на поверхности цементного слоя «вулканчиков» свидетельствует о недостаточном уплотнении. Места прохода воздуха через пикотажное уплотнение дополнительно уплотняются клиньяными типов 13, 14 (см. рис. 29) и после этого испытание повторяется. Впервые метод был опробован в стволе № 3 Второго Березниковского калийного рудника. Однако число «вулканчиков» было столь велико, что от этого метода отказались, как от нереального. Позднее на стволе № 2-бис Первого Соликам-

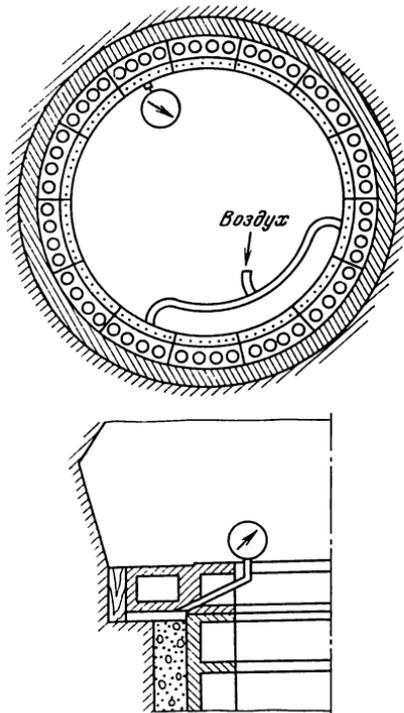
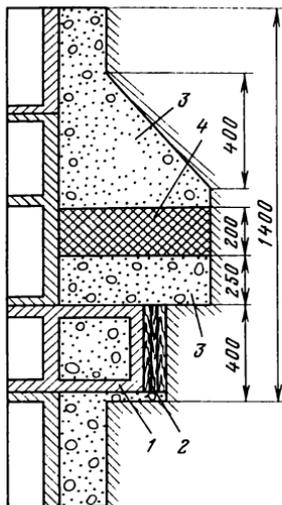


Рис. 33. Схема испытания герметичности кейлькранцев сжатым воздухом

Рис. 34. Конструкция кейлькранца с битумным замком: 1 – опорный тубинг; 2 – пикотажное уплотнение; 3 – бетон; 4 – битум



ского рудника при пробивке экспериментального кейлькранца с конструкцией пикотажного уплотнения по схеме Уральского филиала ВНИИГалургии к применению метода контроля герметичности кейлькранца сжатым воздухом вернулись снова. Испытания показали надежность такой проверки, после чего метод оценки герметичности кейлькранцев сжатым воздухом был внедрен в практику.

Прочие типы гидроизоляционных устройств. Среди гидроизоляционных устройств без клинового замка некоторое распространение получили битумные пояса (замки) и глиняные диафрагмы (пояса). Большинство этих устройств применено в стволах, закрепленных тубингами Метростроя, например, на Стебниковском и Калужском месторождениях.

Примером применения гидроизоляционных устройств с битумными замками может служить ствол № 4 Калужского калийного рудника им. 50-летия Октября (рис. 34). При устройстве кейлькранцев на глубинах 29,8 и 64,67 м над пикотажем как защитные устройства были выполнены битумные замки. Высота битумного слоя (кольца) составляла 200 мм. Аналогичное усиление кейлькранца на глубине 59,8 м сделано в стволе «Новый» Стебниковского калийного рудника.

В большинстве случаев гидроизоляционные устройства из битума (битумные пояса) выполняют как временную защиту от перетока воды по закрепному пространству. При проходке ствола № 3 Второго Березниковского рудника в зоне замороженных пород по закрепному простран-

ству постоянно протекала вода, что ставило под угрозу возможность качественного выполнения пикотажа кейлькранцев. С целью прекращения водопритока затюбинговое пространство в кольцах тьюбинговой крепи № 268 и 274 было заполнено не бетоном, а горячим битумом. Битумные замки позволили на некоторое время задержать движение подземных вод по закрепному пространству и возвести основные гидроизоляционные устройства (кейлькранцы) в сухих условиях. Подобные замки были выполнены в стволе № 1 Второго Березниковского калийного рудника на участке 312,12–312,98 м, на Четвертом Солигорском калийном руднике в стволе № 1 на глубине от 226,8 до 228,3 м, в стволе № 3 с 240,05 по 241,6 м.

Есть примеры сооружения битумных гидроизоляционных устройств (поясов) и как постоянных средств гидроизоляции стволов. Такой битумный пояс был выполнен в стволе «Главный» Калушского рудника им. 50-летия Октября. При этом за кольца тьюбинговой крепи № 22,23 и 24 было подано более 30 м³ битума, разогретого до 175–185°С.

При креплении шахтных стволов Аванского соляного рудника основным элементом гидроизоляции крепи в закрепном пространстве был принят битум. В подъемном стволе основание тьюбинговой крепи на глубине 110 м было герметизировано битумным замком. На участке 110–114 м между наружной и внутренней бетонными оболочками сделана битумная обмазка, а под бетонный опорный башмак на глубине 114 м уложена битумная гидроизоляционная подушка высотой 200 мм. Аналогичные опорные венцы в сочетании с битумными гидроизоляционными замками выполнены на глубинах 120 и 125 м в вентиляционном стволе этого же рудника.

Примером гидроизоляционного устройства с глиняным замком может служить ствол «Главный» Ново-Стебниковского калийного рудника. Кольцевое пространство за тьюбингами на глубине 97,8 и 119,9 м было расширено на высоту 3,5 и 4,5 м до диаметра 8 м (рис. 35). Затем кольцевые ниши были заполнены утрамбованной мятой плотной глиной без включений песка и камня. Для этого на деревянной плите укладывали слой глины и деревянными молотками уплотняли ее, слой составлял 5–7 см. Затем глину нарезали на плитки 20 × 20 см и укладывали в кольцевую нишу, где послойно утрамбовывали отбойными молотками до полной усадки. Аналогичное устройство выполнено при реконструкции грузолюдского ствола рудника им. Свердлова ПО «Артемсоль» на участке 99–100,56 м. Опыт эксплуатации стволов, защищенных глиняными замками, показал малую надежность этого типа гидроизоляционных устройств.

В некоторых случаях глиняные замки применяются для усиления кейлькранцев. Так, например, в стволе «Южный» Стебниковского калийного рудника над слоем бетона высотой 0,9 м, покрывающим непосредственно пикотажное уплотнение кейлькранца (глубина 97,18 м), был выполнен глиняный пояс высотой 2,6 м (рис. 36). Технология приготовления и укладки глины аналогична описанной выше.

Отдельную группу составляют гидроизоляционные устройства комбинированного типа.

Конструкции комбинированных гидроизоляционных устройств, как правило, содержат деревянное пикотажное уплотнение, защищенное слоем из какого-либо эластичного, аморфного материала (глина, битум, пласти-

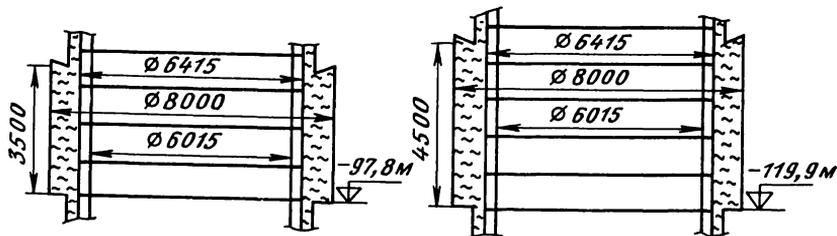


Рис. 35. Гидроизоляционные устройства с глиняным замком (глиняные пояса)

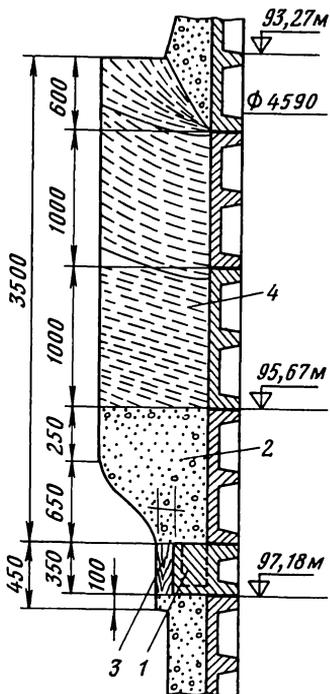
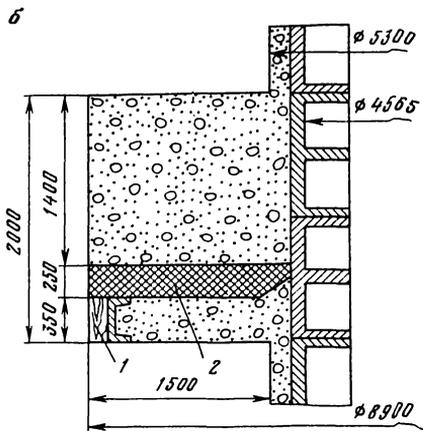
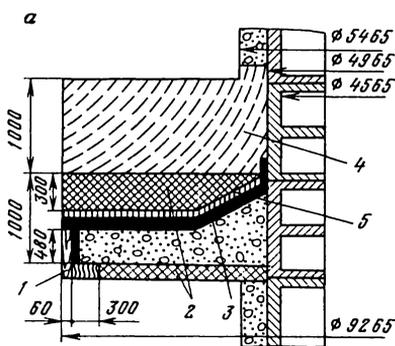


Рис. 36. Конструкция кейлькрапца с глиняным замком:

1 — опорный тубинг; 2 — бетон; 3 — пакотажное уплотнение; 4 — мятая утрамбованная глина

Рис. 37. Конструкция комбинированных гидроизоляционных устройств:

1 — пакотажное уплотнение; 2 — битум; 3 — гидроизол; 4 — мятая глина; 5 — кирпич



ческие массы и т.п.). Конструкции комбинированных гидроизоляционных устройств приведены на рис. 37.

Кольцевая диафрагма (рис. 37,а) сооружена на глубине 52,3 м в стволе «Западный» Стебниковского калийного комбината. Породная стенка в месте устройства диафрагмы представлена глинистой соленосной брекчией с обломками аргиллита и песчаника. Работы по устройству диафрагмы выполнялись в следующем порядке. В породной стенке первоначально была сделана кольцевая выработка высотой 2 м и глубиной от стенки ствола 1,9 м. На почве кольцевой выработки было установлено деревянное кружало, по периметру которого и между породной стенкой установлены два ряда футеровочных досок. На внутреннюю стенку футеровочных досок с помощью битумной мастики были наклеены четыре слоя рубероида (гидроизола). Затем на высоту кружала почва выработки была покрыта расплавленным битумом. После установки тюбингового кольца за ним по остывшему битуму сооружали бетонную опорную плиту. Поверхность бетонной плиты покрывали слоем цементного раствора толщиной 20 мм состава 1:2. Затем поверхность опорной плиты была оклеена четырьмя слоями рубероида на битумной мастике и уложен защитный слой из кирпича. После трехсуточной паузы и набора бетоном достаточной прочности кольцо футеровочных досок уплотняли дубовыми пикотажными клиньями. Пикотажное уплотнение и защитный слой кирпича покрывали расплавленным битумом толщиной 300 мм. Остальную часть кольцевой выработки заполняли мятой глиной.

На рис. 37,б показана гидроизоляционная диафрагма, выполненная в стволе «Западный-бис» Ново-Стебниковского калийного рудника на глубине 106,95 м. В кольцевой нише было собрано кольцо из швеллера № 27. Между швеллером и тюбинговой колонной уложена бетонная опорная плита. В зазоре между породной стенкой и швеллером выполнено пикотажное уплотнение. Затем поверхность пикотажа и опорной плиты покрывали слоем расплавленного битума толщиной 250 мм. Остальную часть кольцевой выработки заполняли бетоном.

Кроме описанных выше гидроизоляционных устройств, предложено несколько конструкций с резиновыми уплотнителями, прутьями из эластичных материалов [14]. Например, в работе [10] описан «резино-пробковый герметизатор». Вместо пикотажа заливают жидкий компаунд на основе эпоксидных смол ЭД-5 или ЭД-6, который затем отверждается, превращаясь в прочную и водонепроницаемую массу [32].

Была предложена конструкция, в которой гидроизоляционный элемент состоял из последовательных слоев битума (350 мм), жидкого стекла (150 мм) и второго битумного слоя (300 мм). Вся эта композиция укладывалась за рядовым (нормальным) тюбингом.

3.1.5. Основные элементы организации работ при креплении стволов чугунной тюбинговой крепью

При разработке проекта строительства шахтного ствола, выборе технологической схемы проходки и возведении постоянной крепи учитывают сложность горно-геологических условий, устойчивость породных стенок, конструкцию постоянной крепи (двух- или трехслойная крепь, одинарная

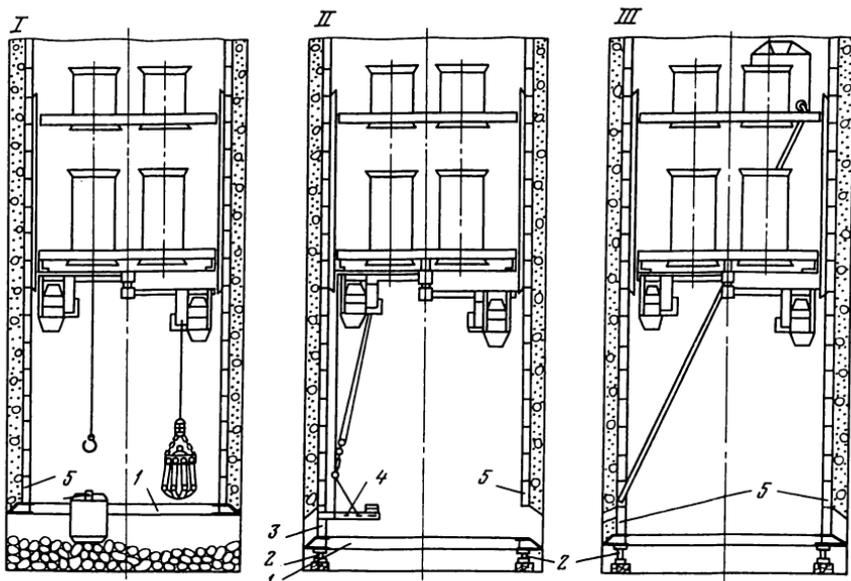


Рис. 38. Схема возведения тубинговой колонны при совмещенном способе выполнения работ: 1 – монтажное кольцо; 2 – домкраты; 3 – монтируемый тубинг; 4 – траверса; 5 – тубинговые кольца

или двойная тубинговая колонна и т. д.) и тип применяемых породоразрыхляющих и породопогрузочных машин и механизмов.

При любой технологической схеме в случае применения искусственного замораживания пород особенно важно соблюдение указанных в проекте последовательности выполнения работ, заданной скорости проходки и допустимой величины обнажения пород. Отступление от этих требований может стать причиной повышенных деформаций ледопородного ограждения, нарушения его сплошности, разрыва замораживающих колонок. При обнаружении каких-либо отклонений от проекта они должны быть детально изучены, составлена необходимая техническая документация (эскизы, зарисовки, измерения и т. п.). Чаще всего такими отклонениями являются несоответствие фактического геологического разреза проектному, появление зон повышенной пластичности или пучение пород, зон тектонических нарушений, деформации крепи. Во всех подобных случаях дальнейшие работы по проходке ствола прекращаются до принятия проектной организацией дополнительных решений.

В проектах проходки и крепления шахтных стволов специальными способами с применением чугунных тубингов в основном применяется организация производства работ, разработанная трестом «Шахтспецстрой» для всех технологических схем.

При совмещенной технологической схеме и наращивании тубинговой колонны сверху вниз (рис. 38) работы по проходке и креплению ствола начинаются с сооружения комплекса опорного венца со специальным базовым тубинговым кольцом. Затем на глубине несколько ниже места за-

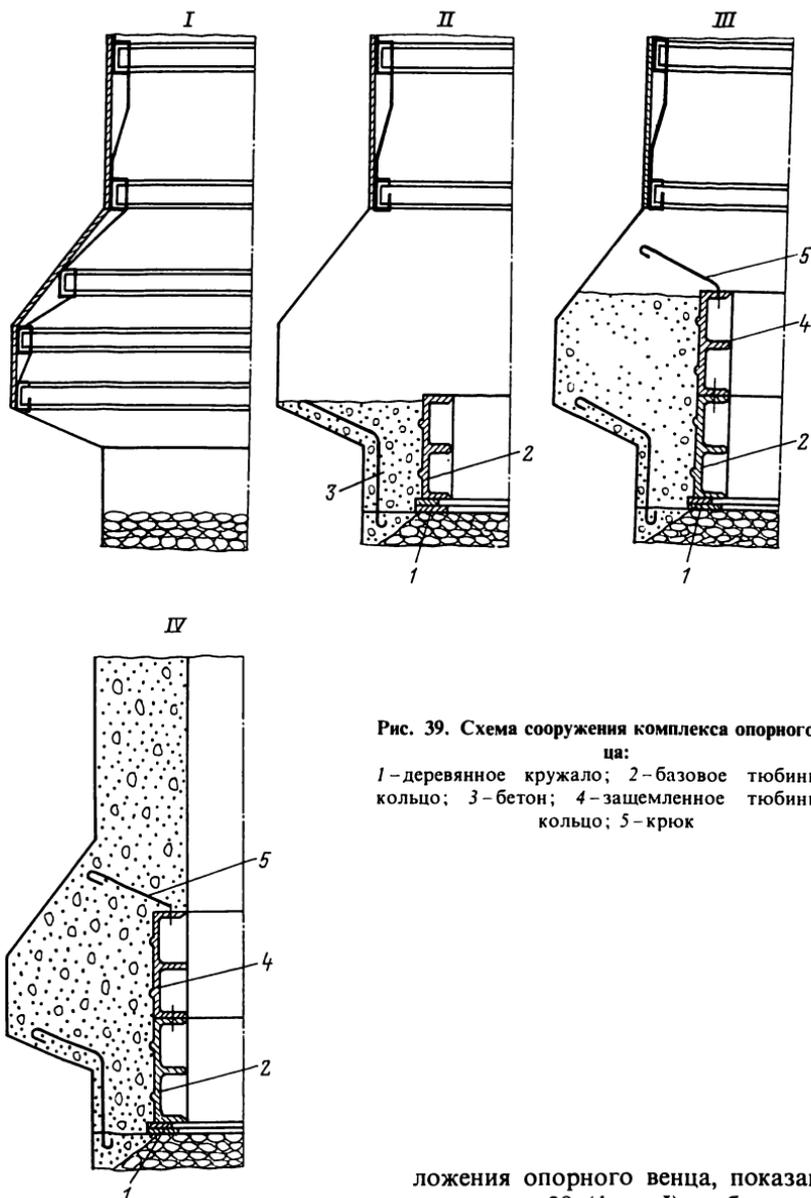


Рис. 39. Схема сооружения комплекса опорного венца:

1 - деревянное кружало; 2 - базовое тьюбинговое кольцо; 3 - бетон; 4 - защемленное тьюбинговое кольцо; 5 - крюк

ложения опорного венца, показанного на рис. 39 (фаза I), работы останавливают. На специальном деревянном кружале монтируется первое (базовое) кольцо тьюбингов. Между породной стенкой и базовым кольцом тьюбингов укладывается бетон (раствор) на высоту 0,7-0,8 высоты тьюбингов (фаза II). Затем на базовом кольце монтируется второе тьюбинговое кольцо, которое является составной частью комплекса опорного венца (фаза III). Для этого тьюбинговое кольцо фиксируется (защемляется) в бетоне опорного венца,

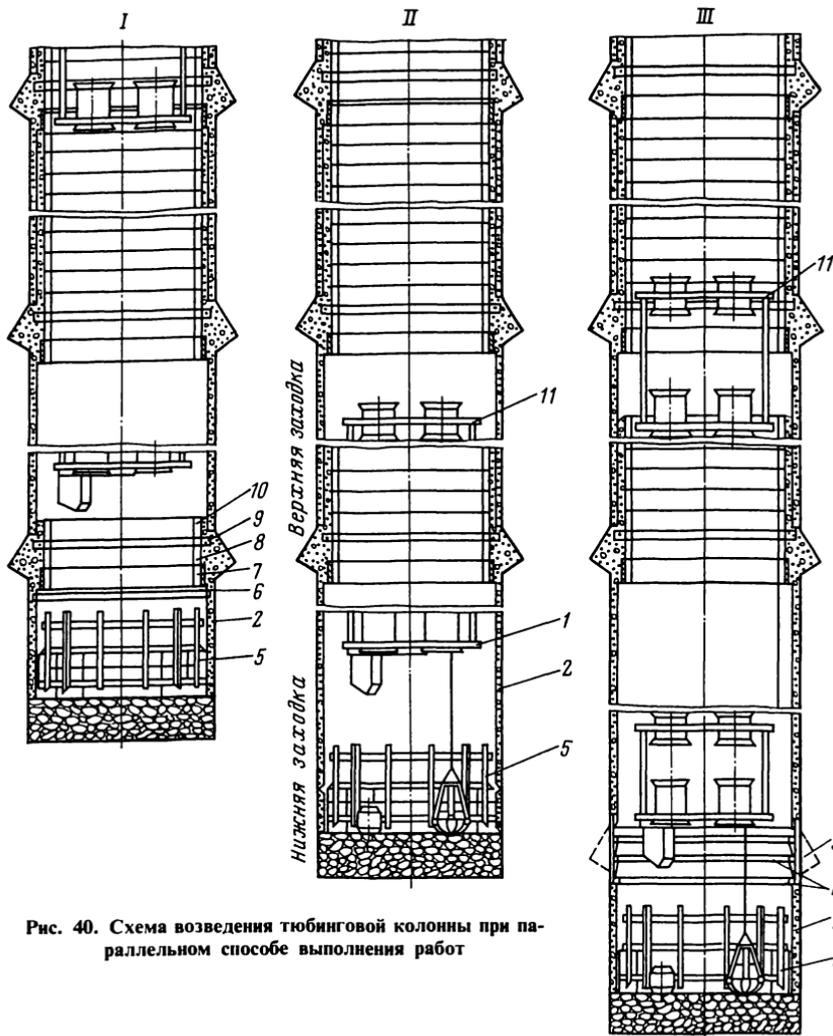
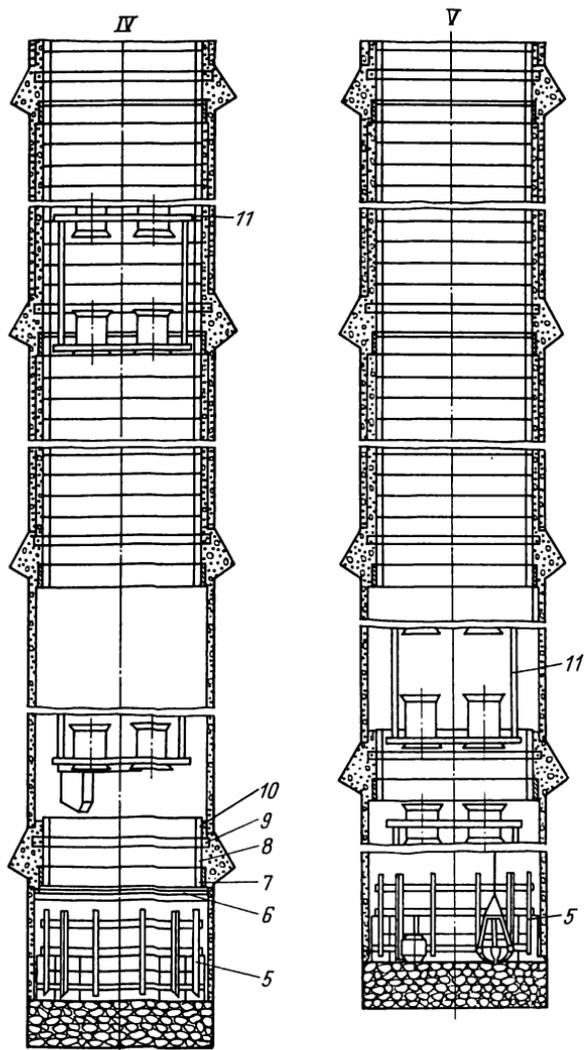


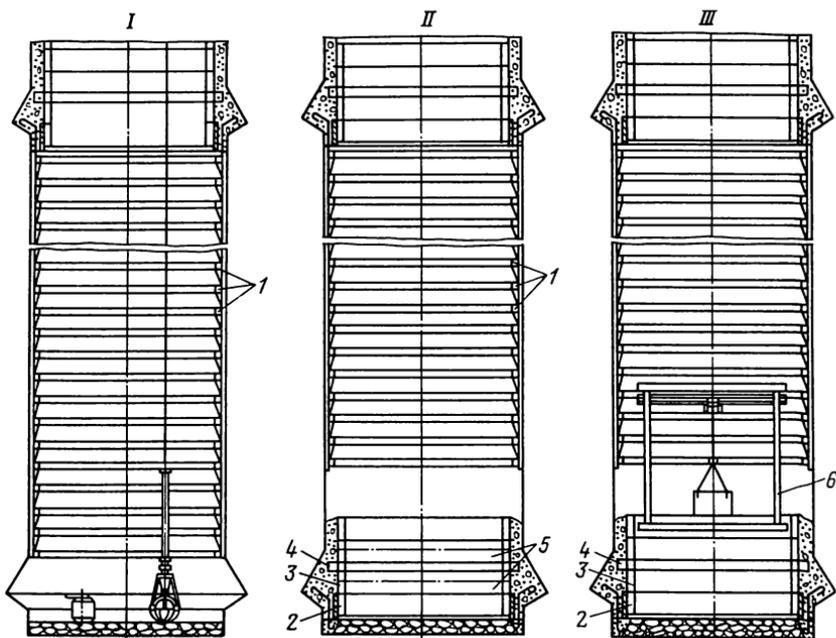
Рис. 40. Схема возведения тубинговой колонны при параллельном способе выполнения работ

например, анкерами или кручьями (фазы III и IV). В примере рассмотрено возведение первого (верхнего) опорного венца с чугунными тубингами, выше которого ствол крепится бетоном. Базовое кольцо собирается из тубингов, имеющих специальные отверстия для заполнения затубингового пространства (см. рис. 12, б и 13).

После возведения комплекса опорного венца разбирают временный полук и углубляют ствол на суммарную высоту одного тубингового и специального монтажного кольца. Затем на забое ствола собирается монтажное кольцо. На рис. 38 показаны последовательные фазы наращивания тубинговой крепи ниже опорного венца в средней части заходки. После уборки взорванной породы (фаза I) на горизонтальной плоскости монтаж-



ного кольца, установленного на специальных домкратах, из тубингов собирается очередное кольцо тубинговой крепи (фаза II). Установку тубингов в кольца производят при помощи траверсы монтажного прицепного устройства, закрепляемого на тросе тельфера подвесного полка, вспомогательной проходческой лебедки или породопогрузочной машины КС-2у/40. Для уменьшения скорости подъема траверсы до допустимой по условиям безопасности используют промежуточные блоки. Полное тубинговое кольцо вместе с монтажным домкратом поднимается и крепится к нижнему фланцу предыдущего кольца (фаза III). После подвески обычно 3-5 тубинговых колец пространство между ними и породной стенкой заполняется бетоном или специальным раствором.



При параллельной технологической схеме, наращивании тубинговой колонны снизу вверх и применении передовой бетонной крепи (рис. 40) работы по проходке и возведению постоянной крепи ведут одновременно в двух соседних заходках. В нижней заходке с помощью породопогрузочной машины КС-2у/40, установленной на нижнем этаже полка-каретки 1, ведут углубку ствола и возведение передовой бетонной крепи 2 (фаза II). Крепление ствола передовым бетоном прерывают у места начала конусной части вруба 3 под опорный венец (фаза III). Этот участок проходят без разработки вруба с применением металлической временной крепи 4. Ниже снова переходят на передовой бетон. На призабойной (створчатой) опалубке 5 сооружают временный полук, а затем рабочий полук 6 для сооружения комплекса опорного венца (фазы I и IV). В комплекс опорного венца обычно входят четыре тубинговых кольца (снизу вверх): монтажное 7, верхнее пикотажное 8, кольцо опорных тубингов 9 и кольцо 10 из нормальных тубингов (базовое). После сооружения опорного венца временный и рабочий полки разбираются (фаза IV). В нижней заходке при помощи полка-каретки приступают к дальнейшей проходке ствола с креплением передовой бетонной крепью, в верхней с подвесного полка 11 начинают возведение постоянной крепи в направлении снизу вверх (фаза V). Установка тубингов также ведется при помощи траверсы монтажного прицепного устройства. По мере возведения тубинговой колонны за каждое установленное кольцо укладывается бетон (пластбетон).

Работы по устройству полимерного гидроизоляционного экрана выполняются с подвесного полка одновременно с возведением постоянной крепи. Поверхность передовой бетонной крепи перед установкой экрана очи-

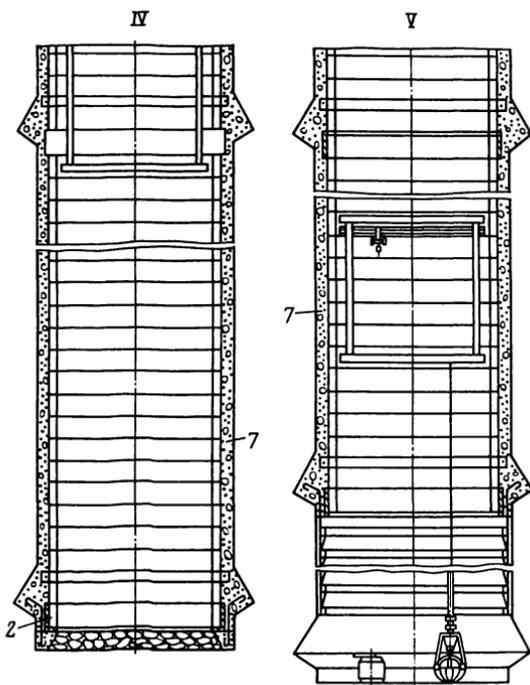


Рис. 41. Схема возведения тубинговой колонны при последовательном способе выполнения работ:

1 – кольца временной металлической крепи с деревянной затяжкой; 2 – базовое тубинговое кольцо; 3 – верхнее ликотажное тубинговое кольцо; 4 – кольцо опорных тубингов; 5 – рабочие полки; 6 – подвесной полок; 7 – бетон (раствор)

шают от инея, срубают наплывы бетона, острые углы кромок уступов. Пустоты в местах сопряжения двух смежных участков бетонирования (смежные установки створчатой опалубки) и раковины заливают бетоном того же состава, из которого выполнена передовая бетонная крепь. При этом щебень фракции крупнее 20 мм не применяется. Добавка хлористого кальция увеличивается до 20 кг из расчета на 1 м³ бетона, а добавка СДБ исключается. Первоначально производится монтажная сварка стыков. При применении полиэтиленового экрана ее выполняют электропаяльниками ПСН-100 с плоскими нагревательными элементами. Последующая основная сварка стыков производится специальным устройством РЭСУ-500, разработанным Донецким ПромстройНИИпроектом. После окончания сварки стыков экрана устанавливают и бетонируют очередное тубинговое кольцо. Нижний и верхний концы полимерного гидроизоляционного экрана или оставляют свободными, или вводят в соединительный шов между двумя соседними тубинговыми кольцами, что определяется проектом.

При последовательной технологической схеме и наращивании тубинговой колонны снизу вверх (рис. 41) проходку ствола ведут заходками от одного опорного венца до другого с применением металлической временной крепи с деревянной затяжкой (фаза I). Затем на забое ствола сооружают комплекс опорного венца. Для этого на тщательно выравненном забое укладывают специальное деревянное кружало, на котором собирают первое (базовое) кольцо тубингов (фаза II). Существуют два варианта установки первого кольца: с последующим демонтажем и без демонтажа. Если демонтаж кольца не предусмотрен проектом, то это кольцо устанавли-

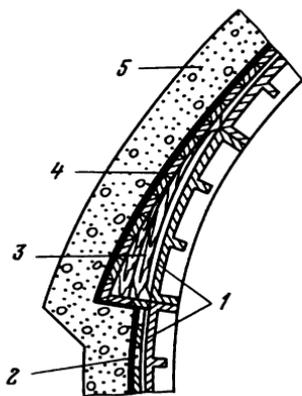


Рис. 42. Схема устройства ниши для демонтажа базового и монтажа нижнего пикотажного тубинговых колец:

1 – тубинги; 2 – деревянная опалубка; 3 – короб для образования ниши; 4 – гидроизоляция из толя; 5 – бетон

пикотажными кольцами образовался зазор в 30–50 мм. При демонтируемом базовом кольце за ним размещают деревянную опалубку и специальный короб, облегчающий установку в будущем последнего тубинга постоянного кольца (рис. 42). Пространство между опалубкой и породной стенкой бетонируют на 0,7–0,8 м высоты тубинга. На базовое кольцо устанавливается верхнее пикотажное кольцо тубингов, а на него кольцо из опорных тубингов (см. рис. 15) или опорная плита (см. рис. 16, 2). Затем в районе опорного венца устанавливают рабочие полки и с подвесного полка начинают наращивать тубинговую крепь (фаза III). Кольца временной крепи демонтируются на высоту, обеспечивающую устойчивость породной стенки. После установки каждого тубингового кольца за него укладывают бетон или раствор. При подходе к базовому кольцу предыдущей заходки его демонтируют и устанавливают вместо него верхнее пикотажное кольцо (фаза IV). Наращивание тубинговой колонны заканчивают установкой нижнего пикотажного кольца и пробивкой пикотажного шва (фаза V).

3.1.6. Контрольная гидроизоляция

После проходки ствола в зоне замороженных пород (иногда после окончания проходки всего ствола) наступает период оттаивания ледопородного ограждения, который считается одним из наиболее ответственных в строительстве шахтных стволов способом замораживания. В этот период происходит перераспределение напряжений в горном массиве, крепь ствола получает полную нагрузку, изменяется температура самой крепи. Существуют два способа оттаивания: естественное и искусственное. Естественное оттаивание происходит за счет тепла горных пород за пределами ледопородного ограждения и тепла воздуха в стволе. Процесс оттаивания протекает достаточно плавно, но из-за неодинаковой толщины ледопородного ограждения, различия теплофизических свойств горных пород равномерного оттаивания по высоте и окружности ствола получить не удастся. Это приводит к появлению односторонних или локальных нагрузок на крепь. Происходит отрыв бетона от тубинговой колонны, в промежутке между ними протекает вода, что вместе с изменениями геометрических

размеров элементов крепи приводит к разрушению крепи и появлению водопритоков [3].

Прорыв ледопородного ограждения подземными водами, как правило, сопровождается скачкообразным увеличением нагрузки на крепь. Поэтому перед началом оттаивания проводят комплекс работ по герметизации крепи, готовят крепь к приему нагрузки. Это облегчает дальнейшую борьбу с водопритоками. Искусственное оттаивание может производиться прокачкой подогретого раствора через замораживающие колонки или нагнетанием в ствол подогретого воздуха.

При искусственном оттаивании через замораживающие скважины избежать неравномерности нагрузок на крепь ствола также практически не удастся из-за неодинаковой и непостоянной температуры самих тубингов по высоте и окружности ствола. Возникающие при этом деформации тубинговой колонны могут привести даже к разрушению тубингов. При нагнетании подогретого воздуха в ствол появляется возможность управлять ходом процесса оттаивания, регулировать температуру тубинговой колонны.

В последнее время используют одновременно подачу подогретого рассола через замораживающие колонки и подогретого воздуха в ствол. Впервые такое комбинированное оттаивание было применено в стволе № 2 Первого Соликамского калийного рудника. Сначала ствол оттаивали естественным способом на протяжении 81 сут. За это время температура рассола (раствор хлористого кальция) в замораживающих колонках поднялась с -43 до -8°C . Затем в течение 52 сут через замораживающие колонки прокачивали подогретый рассол (конечная температура $+25^{\circ}\text{C}$). В этот период была замечена неравномерность оттаивания по высоте ствола. Для выравнивания подогрев рассола прекратили, а в нужные зоны ствола стали подавать подогретый до $+20^{\circ}\text{C}$ воздух, что позволило избежать деформаций тубинговой колонны.

После окончания процесса оттаивания ледопородного ограждения замораживающие скважины подлежат погашению, к которому приступают только после полного окончания всех работ по креплению ствола и гидроизоляции тубинговой крепи. Погашение замораживающих скважин производится с целью предотвращения смещения горных пород вокруг ствола и устранения связи отдельных водоносных горизонтов между собой. Порядок погашения скважин определяется инструктивными материалами и проектом проходки ствола. По вопросу о способе ликвидации скважин существуют различные мнения. Ранее считалось целесообразным извлекать замораживающие колонки, а скважины тампонировать. Однако извлечение замораживающих колонок трудоемкая операция, сопровождающаяся часто обрывом труб. Так, в стволе № 3 Первого Березниковского калийного рудника из 29 колонок было извлечено только 23. В последнее время замораживающие колонки не извлекают. Перед погашением на определенных пяти-семи уровнях производят прострел (торпедирование) стенок труб. Затем скважина заполняется тампонажным раствором, уровень которого некоторое время поддерживается. Когда естественный выход раствора из трубы прекращается, устье скважины оборудуется цементационной головкой, и после этого производят дополнительное нагнетание раствора под давлением 1–2,5 МПа.

Расход тампонажного раствора на погашение замораживающих скважин зависит от многих факторов: диаметра ствола, глубины и количества замораживающих скважин, трещиноватости горных пород, но обычно это 100–700 м³.

В стволах Солотвинского соляного рудника № 9 для погашения замораживающие скважины торпедировали на глубинах 45, 85 и 130 м. Затем в скважины был подан цементный раствор под давлением 0,5 МПа. Расход раствора составил в стволе «Главный» – 276 м³, а в стволе «Вентиляционный» – 214,7 м³.

При погашении замораживающих скважин у стволов № 3 и 4 Второго Соликамского калийного рудника было израсходовано соответственно 142,3 и 111 м³ цементного раствора. В условиях Третьего Березниковского калийного рудника расход раствора на погашение замораживающих скважин глубиной 370–380 м составил в стволе № 1 – 516 м³, а в стволе № 2 – 334,3 м³.

После оттаивания, чаще параллельно с ним, вновь проводят работы по герметизации тюбинговой крепи (подтяжка болтов, чеканка соединительных швов, дополнительное уплотнение пикотажных швов) и контрольный тампонаж.

Работы по контрольному тампонажу начинают, когда вокруг ствола образуется зона оттаявших пород шириной порядка 1 м и крепь еще находится под защитой ледопородного ограждения. Целью тампонажа является заполнение пустот, трещин и каверн в бетоне, уплотнение швов бетонирования, заполнение пустот между тюбинговой колонной и бетоном и трещин в породной стенке ствола. Проведение контрольного тампонажа после возведения крепи на обводненном участке ствола следует считать обязательной технологической операцией. Перекрытие путей возможного движения подземных вод – одно из условий обеспечения успешной эксплуатации ствола. До начала работ по тампонажу должен быть выполнен комплекс подготовительных работ. На поверхности сооружают узел приготовления тампонажного раствора, емкости для хранения материалов, прокладывают трубопроводы для транспортировки раствора к стволу, а иногда устанавливают оборудование для нагнетания. Часто для приготовления тампонажных растворов используют растворомешалки, разработанные ВНИИОМШСом, производительностью до 24 м³/ч раствора плотностью 1,5 т/см³. В стволе монтируется оборудование для подачи или приемки тампонажного раствора, бурения тампонажных скважин, оснащения их необходимой запорной и контрольной аппаратурой. Тампонирующие обычно ведут с подвесных полков или специальных люлек. В стволах, закрепленных чугунной тюбинговой крепью, расположение тампонажных скважин согласуется с распределением в крепи тюбингов, имеющих специальные тампонажные отверстия. Глубина скважин зависит от конструкции крепи, характеристики околоствольных пород, их трещиноватости и других геологических и гидрогеологических условий. Обычно она составляет 1–4 м, не считая толщины крепи ствола. Участок проведения тампонажных работ делят на несколько заходов, скважины в пределах заходки располагают ярусами. Число скважин в ярусе определяется принятой технологией и наличием тюбингов с тампонажными отверстиями.

Контрольный тампонаж, как правило, ведут снизу вверх, начиная

с нижней части тьюбинговой колонны. Однако если появляются водопритоки в соляной части разреза, то эти участки тампонируются в первую очередь. Иначе в соляных породах вокруг ствола начинают образовываться пустоты, объем которых быстро увеличивается. Так, при оттаивании пород вокруг ствола № 1 Первого Березниковского калийного рудника при незначительных водопроявлениях за февраль – август 1934 г. на участке тьюбинговых колец № 89–107 и № 109–110 образовались пустоты, на заполнение которых было позднее израсходовано 65 т магнезиального и шлакового цемента.

При проведении тампонажных работ из ствола применяют одну из трех следующих технологических схем (Е.П. Калмыков, 1979 г.): бурение тампонажных скважин в одном ярусе (тьюбинговом кольце) и нагнетание в них тампонажного раствора без бурения так называемых разгрузочных скважин; бурение тампонажных скважин в одном ярусе и несколько разгрузочных, расположенных выше в следующем ярусе; наличие разгрузочных скважин как в тампонируемом ярусе, так и выше его. В практике применяются все три технологические схемы. Однако применение первой схемы без разгрузочных скважин затрудняет контроль за распространением раствора по закрепному пространству и создает реальную угрозу деформирования крепи при внезапных повышениях давления, например, вследствие прекращения поглощения раствора.

Состав тампонажного раствора определяется инструктивными документами либо проектом проходки ствола. Качество приготовления раствора и изменение его свойств от приготовления до применения должны обеспечивать однородность, водостойкость, подвижность, достаточный срок схватывания, возможность образования в трещинах пород плотных водонепроницаемых тампонов, стойкость против воздействия агрессивных вод.

В практике проведения работ по контрольному тампонажу на калийных и соляных рудниках наибольшее применение нашли чистые цементные растворы (см. подраздел 2.2). Вместе с тем применяются растворы, специально разработанные для проведения тампонажных работ в специфических условиях калийных и соляных месторождений. Так, например, при выполнении тампонажных работ в стволе № 3 Третьего Березниковского калийного рудника по рекомендации ВНИИОМШСа были применены следующие составы активированных тампонажных растворов (расход материалов дан на приготовление 1 м³ раствора). Для пресноводной зоны: сульфатостойкий портландцемент – 880 кг; вода – 700 л; бентонит – 26 кг; кальцинированная сода – 18 кг. Для рассольной зоны: сульфатостойкий портландцемент – 1160 кг; рассол – 690 л; бентонит – 35 кг; кальцинированная сода – 23 кг.

Нагнетание раствора производилось насосным агрегатом комплекса БО-1М при давлении нагнетателя 2–4 МПа. В результате тампонажа водоприток был снижен до 1,3 м³/сут.

Нагнетание тампонажного раствора производят многократно, в строгом соответствии с принятой технологической схемой, при этом давление нагнетания не должно превышать расчетного для применяемых тьюбингов. В противном случае тьюбинговое кольцо может быть деформировано, а отдельные тьюбинги разрушены. Такое повреждение тьюбинговой крепи имело место в стволе № 1 Второго Березниковского калийного рудника.

Подача тампонажного раствора в ствол к месту ведения работ осуществляется по трубам или в бадьях. В последнем случае на рабочем полке раствор из опрокидной бадьи переливается в специальный бак. Для ведения тампонажных работ из ствола ВНИИОМШСом разработан специальный комплекс цементационного оборудования КЦ-2П. В состав комплекса входит насос НГР-250/50 с пневмодвигателем ПРШ-16М, емкости для раствора, запорная и контрольная арматура.

В процессе тампонирувания ведется контроль за поглощением скважинами тампонажного раствора, выходом раствора в разгрузочные скважины, давлением нагнетания и возможными деформациями крепи. Нагнетание производят до наиболее полного заполнения трещин и пор и прекращения фильтрации воды. При этом давление нагнетания регулируют изменением частоты вращения пневмодвигателя. Повышение давления от начального до предельного допустимого ведут плавно без скачков. По окончании нагнетания раствора на время его схватывания скважины перекрываются. Эффект тампонажа должен быть получен не за счет повышения давления нагнетания, а применения соответствующей технологии ведения работ, правильного выбора состава и обеспечения качества тампонажного раствора. Обычно величину максимального давления нагнетания ограничивают в зависимости от толщины стенки тубинга. Например, для чугунных тубингов серии К, изготовленных ДЗМО, предельное давление нагнетания составляет: при толщине стенки 30 мм—2 МПа, 40 мм—2,5 МПа, 50 мм—3 МПа, 60 мм—3,8 МПа, 70 мм—не более 4,5 МПа.

После окончания твердения раствора скважины открываются и с целью контроля качества тампонажа повторно разбуриваются. После этого их снова тампонируют. Число контрольных скважин определяется проектом проведения работ.

В зависимости от условий проходки стволов в пределах одного месторождения и даже одного рудника объемы тампонажного раствора, необходимые для подавления водопритоков при контрольном тампонаже, различны. При проведении этих работ на Втором Соликамском руднике было закачено за крепь ствола № 4—257,6 м³, № 3—142 м³. При контрольном тампонаже в стволе № 2 Третьего Березниковского рудника было израсходовано 364,6 м³ раствора, а в стволе № 1 этого же рудника, дважды затопленного в процессе проходки,—1233 м³. На этом стволе только в интервале тубинговых колец № 292—294 было израсходовано около 300 м³ раствора, так как пустоты, образовавшиеся в породах, достигали в поперечнике 2 м.

Некоторые данные по расходу тампонажного раствора при проведении контрольного тампонажа на других месторождениях приведены в табл. 13.

Одновременно с тампонажем проводятся и другие работы по гидроизоляции крепи ствола. Например, контрольная гидроизоляция крепи ствола № 3 Второго Березниковского калийного рудника включала следующие работы: проверку пикотажных соединительных швов с дополнительной пробивкой дубовыми клиньями; ревизию и подтяжку болтов с частичной заменой гидроизоляционных шайб; расчеканку соединительных швов между тубингами с добавлением свинца; тампонаж затубингового пространства с бурением скважин до породной стенки. Максимальное давление при нагнетании раствора составляло 3,5—4,0 МПа.

Таблица 13

Месторождение	Рудник	Ствол	Участок тампонирувания, м	Расход тампонажного раствора, м ³
Старобинское	Первый Солигорский	№ 1	3-413	800
		№ 3	3-411	452,7
Стебниковское	Стебниковский	«Западный»	1-110,3	246
		«Южный»	1-109	1756,3
		«Главный»	2,5-438,6	15 096
Артемовское	Ново-Стебниковский	№ 2	«Вентиляционный» 15-60	150
		№ 4	№ 2-бис «Скипоклетевой» 0-16	101
Солотвинское	№ 9	№ 4	№ 4 «Главный» 8-280	763
		№ 9	«Вентиляционный» 10-270	592

Проведение комплекса мероприятий по обеспечению герметичности крепи в период после оттаивания и до сдачи ствола в эксплуатацию, как правило, обеспечивает снижение водопритоков до допустимых размеров. В странах, разрабатывающих калийные и соляные месторождения подземным способом, установлены различные нормативы остаточных водопритоков. Обычно регламентируется водоприток на 100 м ствола в обводненных породах. Так, например, в ГДР и ФРГ эта норма составляет 7,2, в Великобритании 9,3-11,5, в Канаде 8,5-10,7 и в ПНР 4,3 м³/сут [25].

В нашей стране предельно допустимый остаточный водоприток определяется на весь ствол и согласно СНиП III-11-77 составляет 3,6 м³/сут. Фактические водопритоки при сдаче некоторых стволов в эксплуатацию приведены в табл. 14.

Таблица 14

Рудник	Ствол	Остаточный водоприток в ствол, м ³ /сут	Год сдачи в эксплуатацию	Рудник	Ствол	Остаточный водоприток в ствол, м ³ /сут	Год сдачи в эксплуатацию			
Второй Соликамский	№ 3	1,5	1971	Ново-Соликамский	№ 1	1,0	1980			
					№ 2	5,5	1980			
					№ 3	2,05	1979			
Второй Березниковский	№ 2	2,64	1969	Третий Березниковский	№ 1	2,88	1974			
					№ 2	1,5	1974			
					№ 3	3,08	1973			
Четвертый Березниковский	№ 1	2,7	1978	Второй Солигорский	№ 1	1,3	1965			
					№ 2	0,8	1967			
					№ 3	1,8	1979			
					№ 1	1,5	1967			
Третий Солигорский	№ 2	1,4	1969	№ 3	№ 2	2,0	1967			
								№ 2	1,4	1969
								№ 3	2,0	1967

Дальнейшее уменьшение остаточных водопритоков в реальных условиях – трудноразрешимая задача. Обычно водоприток измеряется по поступлению воды в зумпф ствола, что делает практически невозможным выделение доли водопритока через крепь от других источников, например, конденсационной воды. Однако в практике есть примеры сдачи стволов на калийных и соляных рудниках с нулевым водопритоком. Так, при полном отсутствии водопритока были сданы в эксплуатацию некоторые стволы Ново-Стебниковского и Калушского им. 50-летия Октября калийных рудников. Остаточные водопритоки $1,8\text{--}2,0 \text{ м}^3/\text{сут}$ в стволах «Главный» и «Вентиляционный» Солотвинского соляного рудника были ликвидированы лишь после нагнетания в закрепное пространство (после погашения замораживающих скважин и контрольного тампонажа цементным раствором) бентонитового раствора под давлением 5 МПа, расход которого соответственно составил 292 и 200 м^3 .

Применяющиеся конструкции крепей с чугунными тубингами обеспечить полной герметичности на длительные периоды практически не могут. Достижение нулевых водопритоков чаще всего является результатом тщательно выполненного тампонажа закрепного пространства, правильного подбора состава тампонажного раствора, когда вокруг крепи ствола на какое-то время создается водонепроницаемый породный слой, который со временем под действием деформации и агрессивных подземных вод нарушается.

3.2. КРЕПЬ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ В НЕОБВОДНЕННЫХ ПОРОДАХ

Крепь стволов в несоляных породах. Обводненность пород надсолевых толщ характерна для большинства калийных и соляных месторождений. Однако ряд месторождений (класс А, см. подраздел 1.4) или их отдельные участки отличаются практически безводными покровными породами, что создает весьма благоприятные условия для вскрытия месторождения или шахтного поля. В этих условиях проходку стволов ведут обычным способом, с применением взрывных работ заходками (звеньями) по 20–50 м. Каждое звено крепи опирается на опорный венец. Обычно применяют опорные венцы с треугольным или трапециевидным врубом, размеры которого определяют расчетом в зависимости от вида и размеров крепи, диаметра ствола и свойств горных пород. Применяют последовательную, параллельную или совмещенную технологические схемы.

Для предохранения породных стенок ствола от обрушения, выпадания отдельных кусков породы и создания безопасных условий труда шахтопроходчиков применяют временную крепь. Наибольшее распространение получила металлическая крепь (см. рис. 6).

В последний период в связи с широким внедрением параллельной технологической схемы проходки и крепления стволов все чаще применяется временная крепь из монолитного бетона, возводимая вслед за углубкой с помощью призабойных опалубок. Толщина крепи составляет 150–300 мм.

Постоянная крепь на участках несоляных и необводненных пород по классификации, предложенной в работе [8], относится к типу поддержи-

вающих (подпорных). Применяют деревянную, кирпичную, бетонную и комбинированные крепи.

Деревянная вендовая крепь использовалась в ранний период строительства стволов на соляных и калийных месторождениях. Так, деревом были закреплены стволы на Артемовском, Солотвинском и Соле-Илецком соляных месторождениях. Как правило, деревом крепили стволы прямоугольного сечения («Ляриш» — $4,8 \times 1,57$ м) или малых диаметров (вентиляционный ствол № 2-бис Артемовского соляного рудника № 2 имел до реконструкции диаметр 2,83 м).

Некоторое распространение имела кирпичная крепь. Например, на Артемовском соляном месторождении вентиляционный ствол № 3 диаметром в свету 4 м на всю глубину был закреплен кирпичом. Недостатки кирпичной крепи — невозможность механизации работ по ее возведению, наличие большого числа швов, снижающих ее монолитность. Однако высокая устойчивость кирпичной крепи против соляной агрессии послужила причиной использования ее в виде защитной оболочки при креплении стволов соляных и калийных рудников монолитным бетоном, например в стволах Первого Солигорского калийного рудника. Некоторое применение кирпичная крепь получила для крепления устьев стволов.

Наибольшее применение в необводненных породах получила монолитная бетонная крепь. Она применяется в стволах круглого сечения, имеющих длительный срок службы, и обладает рядом преимуществ, которые обусловили ее повсеместное распространение. Сплошной монолитный цилиндр бетонной крепи создает широкие возможности механизации и облегчения труда шахтостроителей за счет подачи в ствол и укладки бетона за опалубку по специальным трубопроводам и использования передвижных призабойных опалубок. Применение специальных составов бетона позволяет обеспечивать достаточную устойчивость крепи против коррозии.

При приготовлении бетонов для крепления стволов применяются исключительно гидравлические вяжущие, способные твердеть при затворении их водой, а после предварительного твердения на воздухе продолжать наращивать свою прочность и в воде.

Основным минеральным вяжущим веществом при приготовлении бетона для крепления стволов является цемент. Используют различные виды цементов: портландцемент, шлакопортландцемент, пуццолановый цемент, глиноземистый цемент, в отдельных случаях применяется магнезиальный цемент.

Портландцемент — наиболее распространенное вяжущее — получают при помеле цементного клинкера, в составе которого 37–60% трехкальциевого силиката $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 15–37% двухкальциевого силиката $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 7–15% трехкальциевого алюмината $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, 10–12% четырехкальциевого алюмоферрита $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Портландцемент, получаемый на разных заводах, отличается как по химическому составу, так и по своим свойствам. Требования стандарта на портландцемент не в полной мере отражают ряд весьма важных свойств цемента: стойкость к агрессивным средам, морозостойкость, способность к деформациям. Различают несколько разновидностей портландцементов: пластифицированный, гидрофобный, быстротвердеющий, сульфатостойкий и др.

При креплении стволов соляных и калийных рудников чаще применяют сульфатостойкий портландцемент, который отличается от обычного меньшим содержанием трехкальциевого алюмината (не более 5%). Промышленностью выпускается сульфатостойкий портландцемент марок 300, 400, 500, 600 и 700. Для крепления стволов используют цементы марок 400 и 500. Для установления марки цемента из цементного раствора состава 1 : 3 (цемент : песок) по массе при водоцементном отношении не менее 0,4 изготавливают балочки размером 40 × 40 × 160 мм. При этом применяется кварцевый песок крупностью от 0,5 до 0,85 мм, содержащий более 95% зерен кварца. Балочки в возрасте 28 дней испытываются на изгиб, а их половинки на сжатие. Установленный предел прочности и характеризует марку цемента.

Шлакопортландцемент получают при совместном помоле портландцементного клинкера и гранулированного доменного шлака (20–85%). Иногда добавляют некоторое количество гипса (до 5%). Выпускается шлакопортландцемент марок 200, 300, 400 и 500. По сравнению с портландцементом он обладает замедленным наращиванием прочности в начальный период твердения. При понижении температуры прирост прочности замедляется. Повышение температуры и влажности оказывают благоприятное влияние. Водостойкость бетонов на шлакопортландцементе выше, чем на портландцементе. Бетоны на этом цементе не рекомендуется применять в крепях, подвергающихся частому замораживанию и оттаиванию, увлажнению и высыханию. Отличительная черта этого вида цемента – достаточно высокая стойкость против воздействия природных рассолов и малая устойчивость против растворов $MgCl_2$ [39].

Пуццолановый цемент выпускается тех же марок, что и шлакопортландцемент. Его получают при помоле портландцементного клинкера с добавкой активных минеральных веществ, содержащих 20–50% кислотных окислов SiO_2 и Al_2O_3 , например, трепелы, туфы, опоки, пемза. Пуццолановый цемент обладает худшей, чем портландцементы, морозостойкостью, поэтому применение его, например, при креплении устьев воздухоподводящих стволов нежелательно.

Глиноземистый цемент получают путем тонкого помола клинкера, состоящего из обожженных до сплавления глинозема и известняка. Цемент выпускается трех марок 400, 500 и 600. Основным компонентом глиноземистого цемента является алюминат кальция, а не силикаты кальция, как в портландцементе. Благоприятными для твердения бетонов на глиноземистом цементе являются влажные условия при температуре 15–25°C. В течение 1–3 сут такой бетон выделяет в 1,5–2 раза больше тепла, чем бетон на портландцементе. Перегрев бетона может вызвать снижение уже достигнутой прочности, вызывает растрескивание, что ограничивает использование бетона на глиноземистом цементе для устройства массивных конструкций, например, опорных венцов. Бетоны на глиноземистом цементе обладают большей плотностью и примерно в 1,5 раза меньшей пористостью, чем приготовленные на портландцементе. Отличительной особенностью глиноземистого цемента является быстрое твердение и высокая устойчивость к действию сульфатных вод.

Приготовление бетонной смеси, как правило, производится на специальных установках, размещаемых на стройплощадке, или на бетонных

заводах, если при транспортировке до ствола возможно обеспечить выполнение требований к бетону, предъявляемых проектом строительства. Состав бетона задается отношениями Ц : П : Щ (цемент : песок : щебень) и В : Ц (вода : цемент). Различают тяжелые (с плотностью 1,8 т/м³ и выше) и легкие бетоны. Для ускорения твердения в их состав вводят специальные добавки (хлористый кальций, хлористый натрий и др.).

Подбор состава бетона является одной из ответственных операций, заключается в выборе цемента, мелкого и крупного заполнителей, определении соотношения между ними, установлении такого водоцементного отношения, при котором с минимальным расходом цемента получается бетонная смесь требуемых свойств. Существующие методы подбора состава бетона предусматривают уточнение состава по результатам пробных замесов и испытания контрольных образцов. Исходными данными для подбора состава бетона служат данные проекта, включающие марку бетона и подвижность (жесткость) бетонной смеси и характеристики материалов (цемента, мелкого и крупного заполнителей).

Цемент выбирается с учетом условий работы бетона в крепи, характеристики горных пород, в которых крепь возводится. Обычно для крепи стволов применяются цементы высоких марок, вид цемента указывается в проекте проходки ствола.

Вода для затворения бетонной смеси не должна содержать вредных примесей, которые препятствуют нормальному твердению бетона – кислот, сульфатов, жиров и т. п. Нельзя применять болотную и сточную воду. Водородный показатель должен быть не менее 4. Пригодность воды определяют химическим анализом и испытаниями прочности бетонных образцов, полученных при пробных замесах. Расход воды на приготовление 1 м³ бетонной смеси (водосодержание) должен обеспечивать необходимую подвижность (жесткость) бетонной смеси.

Для приготовления тяжелых бетонов применяют природные пески. По минералогическому составу различают пески кварцевые, полевошпатовые, известковые и доломитовые. Наибольшее применение имеют кварцевые пески. Качество бетона в значительной степени зависит от гранулометрического состава применяемого песка, содержания в нем пылевидных, илистых, глинистых и органических частиц. Глинистые и пылевидные частицы повышают водопотребность бетона, снижают его прочность. Поэтому при содержании их более 3% песок подлежит промывке.

Для получения бетона высокого качества большое значение имеет гранулометрический состав песка. Мелкие пески имеют большую суммарную поверхность зерен, что требует повышенного расхода цемента. Рекомендуется, чтобы песок состоял из зерен различного размера от 0,14 до 5 мм и имел модуль крупности 2–3,25 [9].

В качестве крупного заполнителя применяют гравий или щебень. По гранулометрическому составу гравий разделяют на следующие фракции: 5–10, 10–20, 20–40 и 40–70 мм. При подаче бетона в ствол по трубопроводу присутствие фракции более 40 мм не допускается. При подаче бетона в бадьях такого ограничения крупности не делают. Пригодность гравия для приготовления бетона оценивается по его минералогическому составу и прочности. Гладкая, окатанная поверхность зерен гравия ухудшает прочностные свойства бетона. Поэтому при приготовлении бетона для крепле-

ния шахтных стволов в основном используют щебень, который готовят дроблением гравия или плотных изверженных пород плотностью 2,5–3 т/м³ (гранит, известняк, кварцит и т. д.). Как и песок, гравий не должен содержать вредные примеси: глинистые, илестые и пылевидные частицы. Суммарное содержание их более 1% не допускается. При использовании очищенных заполнителей обеспечивается хорошее проникновение цементного теста во все неровности и шероховатости, что улучшает сцепление частиц заполнителя с вяжущим, а значит и прочность бетона.

Технологические свойства бетонной смеси оцениваются по показателям пластичности и подвижности. Пластичность отражает способность бетонной смеси формоваться, приобретать заданную опалубкой форму без разрывов и расслоений, характеризует внутреннюю связность смеси.

Подвижностью бетонной смеси называется ее способность растекаться под действием собственной массы. Подвижность бетонной смеси определяется по осадке стандартного конуса высотой 300 мм, отформованного по определенной методике. По осадке конуса различают следующие смеси: литые – осадка конуса более 15 см, подвижные – 4–15, малоподвижные – 1–3 и жесткие – 0. Подвижность бетонной смеси зависит от водоцементного отношения. Для химического взаимодействия цемента с водой необходимое количество воды составляет 10–20% массы цемента [11]. Однако такая смесь настолько жесткая, что ее практически невозможно укладывать за опалубку. Поэтому для получения более удобоукладываемой смеси водоцементное отношение бетонных смесей, применяемых для крепления стволов, обычно повышают до 0,3–0,4. Кроме того, применяют специальные пластифицирующие добавки, например, сульфидно-спиртовую барду, сульфитно-дрожжевую бражку.

Для получения плотного, равнопрочного бетона после укладки малоподвижных и жестких бетонных смесей за опалубку применяют различные способы уплотнения. При креплении шахтных стволов используют виброуплотнение бетонной смеси глубинными вибраторами, например, пневматическими С-697, С-698, С-699 и С-700 с диаметром вибратора соответственно 34, 50, 75 и 110 мм. Иногда применяют электрические вибраторы с гибким валом, например, С-623, с диаметром вибратора 76 мм.

Постоянную монолитную бетонную крепь шахтных стволов возводят с использованием призабойных металлических опалубок. Наибольшее применение имеют створчатые и секционные передвижные опалубки. При креплении стволов калийных рудников чаще применяются секционная опалубка типа ОС с принудительным отрывом и форкопфная с металлическим поддоном, которая выпускается для стволов диаметром в свету 4,5–8,5 м. Бетонная смесь за опалубку подается по трубопроводу с внутренним диаметром 150 мм и толщиной стенки 6–8 мм. При длине трубопровода более 60–100 м его оборудуют специальными гасителями скорости. Бетонная смесь распределяется по окружности равномерно слоями по 150–250 мм. Опалубку демонтируют при достижении бетоном прочности не менее 50% проектной [25].

Толщину монолитной бетонной крепи определяют из выражения

$$d = m_1 R_c \left[\sqrt{m^2 R_{np} / (m^2 R_{np} - 2P_{кр})} - 1 \right],$$

где m_1 – коэффициент условий работы крепи ($m_1 = 1,5$ при применении параллельной и последовательной технологических схем проходки и крепления ствола, $m_1 = 1,25$ при совмещенной технологической схеме); R_c – радиус ствола в свету; m_2 – коэффициент условий работы крепи (для монолитной бетонной крепи стволов $m_2 = 0,7 \div 0,9$, в устьях и на участках сопряжений $m_2 = 0,6 \div 0,8$); $R_{пр}$ – расчетное сопротивление материала крепи на сжатие; P_k – нагрузка на крепь; ρ – коэффициент концентрации напряжений ($\rho = 1$ на протяженных участках, $\rho = 2$ на сопряжениях).

Величина $R_{пр}$ определяется в зависимости от марки бетона [8].

Марка бетона	200	250	300	350	400	450	500
Сопротивление сжатию (призменная прочность) $R_{пр}$, МПа	9,0	11,0	13,5	15,5	17,5	19,5	21,5

Крепь стволов в соляных породах. В соляных и соледержащих породах применяются те же технологические схемы проходки и крепления стволов, что и в надсолевых необводненных породах. Широко известно, что выработки, пройденные в солях на незначительных глубинах (до 350–400 м), могут длительное время эксплуатироваться без крепи. Этим объясняется, что в ранний период отработки калийных и соляных месторождений на малых глубинах во многих случаях шахтные стволы или крепили деревом, или эксплуатировали без крепи. На некоторых месторождениях эта практика сохранилась до настоящего времени. Так, на Солотвинском соляном руднике № 8 эксплуатируются без крепи стволы, пройденные до глубины 290 м в каменной соли, есть подобные примеры и в зарубежной практике. Это объясняется тем, что соляные породы весьма вязки и до определенных нагрузок могут деформироваться без значительных нарушений сплошности.

По классификации [8] крепи стволов в крепких соляных породах (каменная соль, сильвиниты, хартзальцы) относятся к типу ограждающих, а в карналлитах и соленосных глинах и песках – к типу изолирующих от воздействия воздушной среды.

Проходку стволов ведут отдельными участками (заходками) по 40–60 м, применяя временную крепь. Наиболее распространенной является крепь из металлических колец с деревянной затяжкой (см. рис. 6). Есть примеры, когда временной крепью служила металлическая или синтетическая сетка, укрепленная на анкерах. В последние годы получила распространение временная крепь из монолитного бетона, возводимая с помощью призабойных опалубок. Металлическая временная крепь применялась при проходке стволов в соляных породах, например, Первого, Второго и Третьего Солигорских калийных рудников. В стволах Четвертого Солигорского рудника широко применялась временная крепь из монолитного бетона толщиной 300–350 мм.

В качестве постоянных получили распространение крепи (рис. 43): деревянная, монолитная бетонная, монолитная бетонная с защитным слоем из кирпича, кирпичная, из чугунных тьюбингов с заполнением затюбингового пространства бетоном или цементно-песчаным раствором.

Крепь из монолитного бетона наиболее распространена, её применяют практически во всех стволах калийных и соляных рудников, пройденных

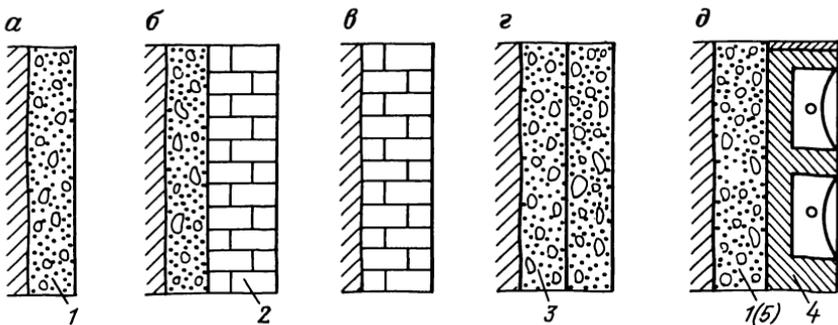


Рис. 43. Схемы наиболее распространенных конструкций постоянных крепей шахтных стволов в соляных породах:

а — однослойная крепь из монолитного бетона; б — двухслойная крепь из монолитного бетона и кирпича; в — однослойная крепь из кирпича; г — двухслойная крепь из монолитного бетона; д — двухслойная крепь из монолитного бетона или цементного раствора и чугунных тубингов; 1 — бетон; 2 — кирпич; 3 — передовая бетонная крепь; 4 — чугунный тубинг; 5 — цементный или цементно-песчаный раствор

в послевоенный период. Это стволы Второго и Третьего Березниковских, Второго и Третьего Солигорских калийных рудников, стволы Ново-Соликамского и Четвертого Березниковского рудников. Толщина крепи на глубинах до 500 м обычно 400–500 мм, на больших глубинах до 600–700 мм.

Примером применения кирпичной крепи могут служить стволы № 1 и 2 Первого Соликамского и № 1, 2 и 3 Первого Березниковского калийных рудников. Стволы № 1 и 2 Первого Соликамского и № 2 Первого Березниковского рудников с глубины соответственно 130,52 м, 134, 36 и 176,1 м закреплены красным кирпичом, а № 1 и 3 Первого Березниковского — силикатным. Толщина крепи в 2–2,5 кирпича.

В 1959–1963 гг. были пройдены три ствола Первого Солигорского калийного рудника, которые в соляных породах (начиная с глубины 418–422 м) закреплены монолитным бетоном толщиной 500–600 мм с защитой из ствола специальным кирпичом. Толщина кирпичной кладки 250 мм.

Крепление стволов в солосодержащих породах типа зубера (соленосная брекчиевидная глина) чугунными тубингами с бетонным или цементно-песчаным заполнением затубингового пространства характерно для рудников Стебниковского, Калушского калийных и Артемовского соляного месторождений.

Для возведения монолитных бетонных крепей ранее применялся бетон, разработанный институтом НИИ-200 (например, стволы Второго Солигорского калийного и Артемовского № 3 соляного рудников), позднее стали применять бетон по рецептуре института Теплопроект (например, стволы Ново-Соликамского и Четвертого Березниковского калийных рудников). Для приготовления бетона применяют сульфатостойкий портландцемент марки 400 или 500. Затворение смеси ведут на насыщенных соляных растворах, что снижает агрессивное воздействие соляного массива на бетон крепи. Известны случаи применения доменного цемента на стволе № 2

Первого Соликамского рудника, шлакопортландцемента и магнезиального цемента на стволах № 2 и 3 Первого Березниковского калийного рудника.

Начиная с глубин 400–600 м и более, интенсивность проявления горного давления возрастает и все в большей мере начинают проявляться деформации ползучести соляных пород, вследствие чего нагрузки на крепь увеличиваются и достигают весьма значительных величин.

В незакрепленных выработках часто деформации соляных пород превышают предельные, вокруг выработки образуется область нарушения сплошности в виде трещинообразования, отслоений, шелушения, вывалов. По наблюдениям [30], максимальное нарушение сплошности соляного массива распространяется до глубины 200–300 мм. Затем трещиноватость резко уменьшается и исчезает практически полностью на глубине около 1500 мм. Проявление ползучести соляного массива, характер деформирования стенок выработок в значительной мере определяются, кроме глубины и времени существования выработки, условиями залегания, структурой соляного пласта, физико-механическими свойствами и минералогическим составом пород. Наличие глинистых прослоек (например, в условиях Третьего Березниковского калийного рудника) повышает скорость деформирования, способствует появлению отслоений и вывалов.

На глубинах более 250–350 м распределение напряжений в соляном массиве близко к гидростатическому. Исследованиями Ленинградского горного [17] и Пермского политехнического [20] институтов установлено, что соли различных месторождений имеют близкие по значению физико-механические характеристики и параметры, характеризующие ползучесть. Этим объясняется идентичность проявления деформаций ползучести соляных пород в горных выработках, в том числе и вертикальных, на различных соляных месторождениях.

В закрепленных вертикальных и горизонтальных выработках при длительном нарастании деформаций соляного массива нарастают нагрузки на крепь и, если крепь имеет недостаточную несущую способность, появляются деформации, а затем и разрушение крепи. Примеров разрушения монолитной бетонной и кирпичной крепей стволов в соляных породах достаточно на всех калийных и соляных месторождениях. Наиболее характерные из них это разрушение монолитной бетонной крепи толщиной 500 мм на участке 435–470 м в стволе № 3 Третьего Березниковского калийного рудника на Верхнекамском месторождении (через 6 лет эксплуатации), разрушение монолитной бетонной крепи толщиной 600 мм на глубине 808–813 м ствола № 1 Четвертого Солигорского калийного рудника на Старобинском месторождении (через 5 лет эксплуатации). Раздавлена кирпичная крепь вентиляционного ствола № 3 рудника № 3 и монолитная бетонная крепь на глубине 160–230 м грузолодского ствола рудника им. Свердлова на Артемовском соляном месторождении. Через 7–8 лет после перекрепления была разрушена железобетонная крепь толщиной 400–500 мм в стволах соляного рудника № 9 Солотвинского месторождения.

Дело в том, что все наиболее распространенные конструкции крепей шахтных стволов в соляных породах являются жесткими (см. рис. 43). Несущая способность этих крепей при принимаемых размерах недостаточна. На этих же месторождениях, иногда в условиях одного рудника, крепь из

чугунных тубингов с бетонным или цементно-песчаным заполнением за-
тубингового пространства, имеющая значительно большую несущую спо-
собность, как правило, успешно эксплуатируется. Необходимое повышение
несущей способности монолитной бетонной или кирпичной крепи требует
такого увеличения толщины крепи, что применение ее становится нерацио-
нальным.

Таким образом, чтобы исключить опасные деформации и разрушение
крепи как в стволах, так и в горизонтальных горных выработках, необхо-
димо применять крепи с более высокой несущей способностью, способные
противостоять нагрузкам и развитию деформаций соляного массива, или
податливые крепи, отпор которых снизит скорость ползучести соляного
массива [30].

Смещения породной стенки и нагрузки на крепь в значительной мере
зависят от времени ввода крепи в работу (в контакт с породами) после
проходки участка ствола. Чем больше разрыв во времени между обнаже-
нием пород и вводом крепи в работу, тем меньше наружки испытывает
крепь. В настоящее время и при проходке стволов по соляным породам
стали применять передовую бетонную крепь из быстротвердеющего моно-
литного бетона, возводимую вслед за углубкой ствола. Такая крепь всту-
пает в работу уже через 2–3 сут после обнажения пород, т. е. воспринимает
практически полные деформации массива, что значительно увеличивает на-
грузки на крепь. В этих условиях рационально применять последователь-
ную или параллельную схему проходки и крепления ствола, заменив жест-
кую временную крепь из монолитного бетона на крепь, защищающую от
обрушения кусков породы, но не препятствующую смещению породной
стенки. Целесообразно применить, например, металлическую сетку на ан-
керах, а затем возводить постоянную крепь с радиальной податливостью.
Примером такой крепи может быть двухслойная крепь, в которой внутрен-
ний слой выполнен жестким из монолитного бетона, а наружный – подат-
ливым из материала, способного деформироваться на контакте с соляной
стенкой. Такое решение, кроме сохранения внутреннего бетонного слоя по-
стоянной крепи от разрушения вследствие деформаций соляного массива,
не создает затруднений и при устройстве жесткой армировки.

Податливый слой может выполняться монолитным или сборным из
элементов заводского изготовления. В 1972 г. ВНИМИ было предложено
несколько конструкций податливых крепей с использованием для создания
податливого слоя штучных пустотелых материалов и вязких или сыпучих
заполнителей (рис. 44). Методика расчета двухслойной крепи с подат-
ливым слоем изложена в работе [8].

ВНИИОМШСом разработаны конструкции крепей, в которых подат-
ливый слой выполняется из пустотелых бентонитов, шлакоблоков или гра-
нулированного шлака [38]. Податливая крепь ВНИИОМШСа с шлакобло-
ками в 1973–1974 г. была применена в стволе № 4 шахты «Комсомолец»
ПО «Артемуголь» и клетевом стволе шахты «Булавинская» ПО «Орджо-
никидзеуголь».

Из зарубежной практики известны случаи применения для создания
податливого слоя пустотелого кирпича, подобного выпускающемуся в на-
шей стране по ГОСТ 530–80. Возведение податливого слоя из штучных ма-
териалов заводского приготовления соответствует применению последова-

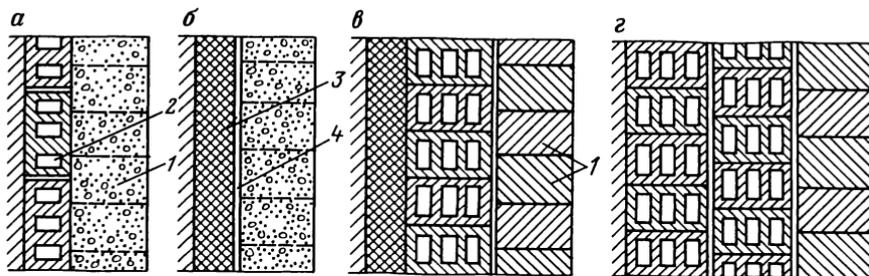


Рис. 44. Схемы крепей шахтных стволов с радиальной податливостью:

а – двухслойная крепь с податливым слоем из штучного материала; *б* – то же, из вязкого или сыпучего материала; *в* – трехслойная крепь с двумя податливыми слоями из штучного и вязкого или сыпучего материалов; *г* – то же, из штучного материала с различной пустотностью 1 – внутренняя оболочка (монолитный бетон или штучный материал); 2 – внешняя податливая оболочка из штучного материала; 3 – вязкий (сыпучий) наполнитель; 4 – оболочка для удержания вязкого (сыпучего) наполнителя

тельной технологической схемы проходки и крепления стволов, что значительно снижает скорости сооружения стволов.

При подборе материала для податливого слоя следует иметь в виду, что он должен обладать большой податливостью (30–50%) и прочность его должна на 20–30% быть ниже прочности основной крепи, модуль упругости значительно ниже модуля упругости материала внутренней жесткости оболочки крепи. При устройстве податливого слоя из монолитных материалов могут использоваться легкие бетоны: газобетон, пенобетон, керамзитобетон; различные пенопласты и ряд других материалов. Чтобы избежать расслоения, транспортировку этих бетонов в ствол целесообразно выполнять в бадах.

Легкие бетоны плотностью 0,5–1,8 т/м³ могут изготавливаться с использованием легких пористых заполнителей и ячеистыми, структура которых представлена искусственно созданными ячейками, заменяющими зерна заполнителей.

Плотность и прочность легкого бетона зависят главным образом от насыпной массы и зернового состава заполнителя, расхода вяжущего и воды, метода уплотнения смеси. В качестве заполнителей для легких бетонов применяют природные пористые материалы – пемзу, вулканические шлаки, туфы или искусственные заполнители – гранулированный шлак, шлаковую пемзу, керамзит. Для ускорения твердения вводят хлористый кальций в количестве 1–2% массы цемента. В качестве порообразователя для снижения плотности добавляют алюминиевый порошок, пергидроль, смоло-сапониновый порообразователь и др.

Из искусственных пористых заполнителей широко используется керамзит, который представляет собой искусственный гранулированный материал, получаемый путем вспучивания при обжиге силикатных пород (глина, трепел, сланцы). В соответствии с ГОСТ 9759–76 размер зерен равняется 5–40 мм. В изломе зерна керамзита имеют ячеистую структуру с равномерно распределенными мелкими порами. Предел прочности керамзита, определенный сдавливанием зерен в стандартном цилиндре, составляет 2,5–7,5 МПа. Для приготовления керамзитобетона (керамзитопе-

нобетона) используется керамзитовый гравий и песок кварцевый или керамзитовый. Керамзитовый песок получают дроблением керамзитового гравия с последующей классификацией; содержание зерен размером 5–10 мм допускается не более 5% общей массы. На приготовление 1 м³ керамзитобетона расходуют 220–230 кг цемента, 75 кг песка, 0,88 м³ керамзитового гравия, 115 л воды и 1 л воздухововлекающей добавки СНВ. Плотность керамзитобетона на керамзитовом песке 0,5–1,8 т/м³. При давлении 1,0–6,5 МПа в зависимости от гранулометрического состава керамзитового гравия и расхода цемента керамзитобетон может иметь податливость до 30–50% [17].

ДонУГИ для создания податливого слоя в двухслойной крепи предложены карбамидный пенопласт МБП-Б. Карбамидный пенопласт изготавливают в шахтных условиях путем вспенивания и механического перемешивания предварительно заготовленных растворов. Исходными материалами служат мочевиноформальдегидная смола (МФФМ или МФ-1), вспенивающе-отверждающий продукт АВО-1 или заменяющая его смесь из ортофосфорной кислоты и сульфанола и модифицирующие добавки — диэтиленгликоль или этиленгликоль и резорцин.

Карбамидный пенопласт деформируется, начиная с давления 100 Па, затем по мере уплотнения несущая способность слоя увеличивается до 0,4 МПа [11]. Время схватывания 5–60 с, время набора номинальной прочности 1–3 сут. Карбамидный пенопласт может укладываться за опалубку или наноситься на стенки выработки набрызгом.

3.3. КРЕПЬ УСТЬЕВ СТВОЛОВ

Устьем ствола называют его верхний участок от поверхности земли до коренных горных пород. Обычно это участок, где ствол пересекает слабые неустойчивые, часто сильнообводненные породы четвертичных отложений. Глубина залегания коренных горных пород до 10–20 м, в отдельных случаях до 30 м. Если коренные породы выходят на поверхность, глубину устья принимают не менее 10 м, при этом необходимо, чтобы нижняя отметка дна каналов, выходящих в ствол (калориферный, вентиляционный и др.), была выше опорного венца не менее чем на 1000 мм. Общую глубину устья определяют расчетом исходя из назначения ствола, способа проходки его и конкретных горно-геологических условий.

Устье ствола является опорой для проходческого оборудования, временной или постоянной крепей, подвешиваемых к устью. Через специальные проемы в устье в ствол подаются различные технологические трубопроводы, кабели. Примыкание кабельных каналов делают по глубине не менее 1000 мм от поверхности. К устью ствола примыкают калориферные каналы для подачи подогретого воздуха для отопления стволов, вентиляционные каналы главных вентиляционных установок, ходки лестничных отделений. В местах примыкания каналов к стволу предусматривают предохранительное ограждение. При проходке стволов способом замораживания в верхней части устья устраивается специальная галерея для размещения и технического обслуживания коллектора замораживающих скважин. Устья воздухоподающих стволов оборудуются легкозакрывающимися металлическими лядами.

На устье ствола опираются подкопровые рамы, колонны надшахтных зданий, иногда оно служит фундаментом для башенных копров. С целью ограждения ствола от поверхностных вод устье ствола возводят выше нулевой отметки на 200–500 мм. Согласно требованиям Правил безопасности устье ствола должно быть закреплено. Выбор типа крепи и расчет ее параметров производят на основе учета горно-геологических условий участка, способа проходки и условий будущей эксплуатации. Крезь устья обычно усилена по сравнению с крепью ствола в коренных горных породах. При определении нагрузок на крепь устьев обязательно учитываются дополнительные нагрузки от зданий и сооружений, располагаемых на поверхности вблизи ствола.

Конструктивное выполнение устья определяется назначением ствола, формой его поперечного сечения, характером нагрузок, воспринимаемых устьем, способом проходки устья и ствола, горно-геологическими условиями, физико-механическими характеристиками пересекаемых пород, видом и материалом крепи. По приведенной в работах [8, 11] классификации выделяют четыре вида конструкций устьев (рис. 45): ступенчатые (*а*), венцовые (*б*), ступенчато-венцовые (*в*) и специальные (*г*).

Условия применения различных видов устьев приведены в табл. 15. Устья ступенчатой конструкции выполнены, например, на стволе № 3

Таблица 15

Вид крепи устья (см. рис. 45)	Конструкция устья	Условия применения
1–3	Одно- или двухступенчатое с плоским или коническим основанием	Небольшие вертикальные нагрузки, плотные грунты, отсутствие каналов в устье, глубина до 5 м, диаметр в свету до 6 м
4–5	Трехступенчатое с плоскими или коническими основаниями	Средние и значительные вертикальные нагрузки, слабые грунты, отсутствие каналов в устье, глубина до 6 м, диаметр в свету до 6 м
6–7	Одно- или двухвенцовое с одно- или двухконическими венцами	Наличие в устье каналов, наличие слоев пород различной прочности
8–9	Одно- или двухвенцовое с одно- или двухконическими венцами	Опираие на устье горнотехнических сооружений, наличие в устье каналов, слабые породы
10–11	Устье увеличенного диаметра с галереями	Сооружение стволов специальными способами
12	Коническое (воронкообразное)	Опираие на устье башенного копра или надшахтного здания

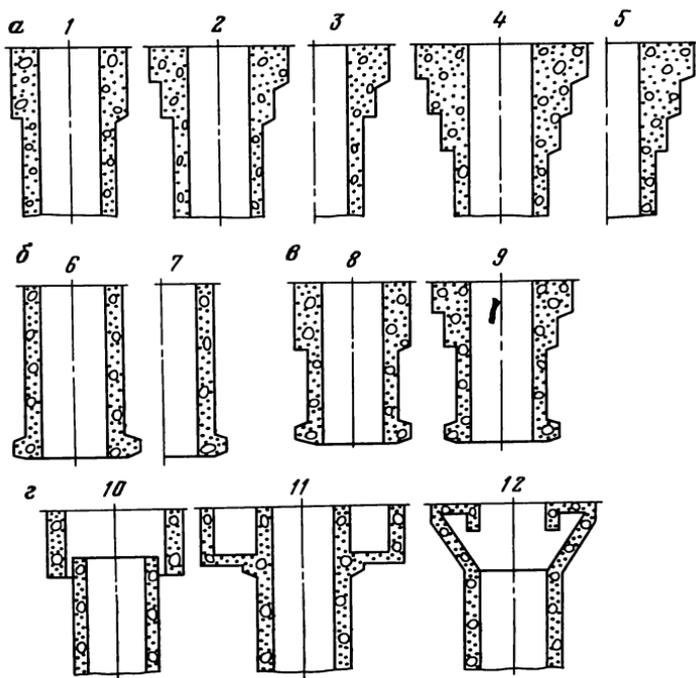


Рис. 45. Конструкции устьев шахтных стволов

Четвертого Березниковского калийного рудника, клетевом стволе рудника им. Володарского ПО «Артемсоль», стволе «Главный» Соль-Илецкого рудника № 2. Широкое распространение получили венцовые устья. Так, одновенцовые устья имеют: ствол № 2 Ново-Соликамского калийного рудника, ствол «Главный» калийного рудника Пийло на Калушском месторождении и ствол «Восточный» Ново-Стебниковского калийного рудника; двухвенцовые – стволы «Сильвин» и «Хотинь» на Калушском месторождении, скиповой ствол Солотвинского соляного рудника № 9. Наибольшее распространение на стволах калийных и соляных рудников получила ступенчато-венцовая форма устьев. Примером могут служить ствол № 2 Третьего Березниковского калийного рудника, скиповой ствол рудника им. Володарского и грузолудской рудника им. Свердлова ПО «Артемсоль», ствол «Главный» Ново-Стебниковского калийного рудника и «Вентиляционный» Индерского разведочного рудника. На многих стволах, особенно в случаях применения спецспособов проходки, выполнены устья сложной специальной конструкции. Устья увеличенного диаметра с галереями имеют вентиляционный ствол № 2-бис и клетевой ствол рудника им. Свердлова на Артемовском соляном месторождении, ствол «Западный» на Стебниковском калийном руднике.

Особенностью проходки и крепления устьев стволов являются более сложные горно-геологические условия, чем для остальной части ствола. Прежде всего это наличие слабых малоустойчивых часто водонасыщенных пород.

Распространено несколько технологических схем проходки устьев стволов. При проходке стволов обычным способом сразу сооружают устье постоянной конструкции. При применении замораживания горных пород сначала сооружается временное устье с галереей для коллектора замораживающих скважин, затем после проходки ствола выполняют работы по возведению постоянного устья. В том и другом случае выемку породы и возведение крепи ведут, используя или проходческий копер вместе с оборудованием для проходки самого ствола, или временные механизмы, например, с использованием кранового оборудования. Последнее чаще применяется при работах по реконструкции стволов, когда поверхность вокруг ствола застроена постоянными зданиями и сооружениями. При сооружении одновенцовых и ступенчатых устьев выемку породы ведут сразу на полную глубину, при двухвенцовых сначала проходят устье до верхнего опорного венца. Затем возводят опорный венец и постоянную крепь до верхней отметки устья. После этого приступают к углубке второго участка. Вслед за проходкой устья обычно делают так называемый технологический отход, т.е. проходят и крепят участок ствола (20–40 м) для размещения в нем необходимого проходческого оборудования (проходческий полук, натяжная рама и т.д.). При бескопровой схеме проходки верхней части стволов могут применяться различные комплексы специального проходческого оборудования: КПШ-2 при проходке устья и технологического отхода до глубины 50 м, проходческий агрегат ПАШ-100 треста «Шахтспецстрой», используемый при работах на глубине до 100 м, специальный проходческий кран ПК-1 Кривбасспроекта, применяющийся при работах на глубине до 30–40 м.

Проектом проходки ствола «Главный» Калушского рудника Пийло предусмотрена следующая организация работ сооружения устья. После окончания активного замораживания пород до глубины 16 м ведется углубка с помощью пневмоинструментов без применения взрывных работ. Временная крепь – металлические кольца с затяжкой в разбежку досками толщиной 50 мм. Порода грузится в бадью вместимостью 1 м³ пневмопогрузчиком КС-3, подвешенным к крану К-67. Подъем породы осуществляется краном ДЭК-161. Спуск и подъем материалов выполняется в бадье. На глубине 15,5 м сооружается железобетонный опорный венец. Далее временная крепь разбирается и возводится постоянная железобетонная крепь устья толщиной 600 мм до отм. – 3,5 м. С глубины 3,5 м до отм. + 0,5 м возводится кирпичная кладка в два кирпича временного воротника устья ствола. От породной стенки кирпичная кладка изолируется двумя слоями толи. После проходки ствола временный воротник устья подлежит разборке.

При проходке в слабых, обводненных породах применяют специальные способы проходки устьев. Так, проходка вентиляционного ствола «Западный» Стебниковского калийного рудника через водоносные породы четвертичных отложений (суглинок с галькой, пески) выполнялась с применением замораживания. Для этого вокруг устья была пробурена 31 замораживающая скважина глубиной 8,5–9 м. Активное и пассивное замораживание продолжалось в течение 34 сут при температуре хладоносителя (–18)–(–20)°С. Опорный венец устья был сооружен на глубине 15,42 м.

Устья стволов «Главный», № 4 и 5 Калушского калийного рудника им.

50-летия Октября через четвертичные отложения (пески, гравий, галечник и суглинки) до глубины 20–22 м также проходились способом замораживания. Расширение скипового ствола рудника им. Володарского ПО «Артем-соль» производилось с замораживанием до глубины 18,2 м. Проходку устьев, как правило, ведут с применением временной металлической крепи или передовой бетонной крепи, возводимой с помощью призабойной опалубки. Вследствие неустойчивости боковых пород при проходке часто происходят вывалы пород, что в значительной мере объясняется несовершенством технологии и низкой скоростью сооружения устьев стволов. Например, вывалы породы произошли при проходке устьев стволов № 1 и 2 Второго Березниковского калийного рудника, глубина вывалов достигала 2 м. Особенно много вывалов было при устройстве устьев стволов рудников Артемовского месторождения. При сооружении устья ствола № 3-бис произошло четыре вывала песка и суглинка общим объемом 262,6 м³, в грузолюдском стволе № 2 на заполнение вывала на участке 8,4–11,4 м израсходовано 33 м³ бетона.

Кирпичная крепь устьев стволов получила некоторое распространение на рудниках Калужского, Стебниковского и Артемовского месторождений. Чаще всего она применяется для крепления верхней части устьев, галерей и вентиляционных каналов при достаточно устойчивых необводненных породах. Применение кирпичной крепи в обводненных породах без дополнительной гидроизоляции устья ограничено. Швы кирпичной кладки под воздействием агрессивных вод разрушаются, начинают пропускать воду. С водой из закрепного пространства выносятся частицы пород, песок, и в результате за крепью образуются небезопасные пустоты.

Для крепления устьев стволов в основном применяют бетон (при расчетной толщине крепи до 500 мм) и железобетон (при расчетной толщине бетонной крепи более 500 мм). Иногда железобетонными выполняются только опорные венцы. В слабых неустойчивых породах толщина крепи обычно в 1,5–2 раза больше толщины крепи ствола в коренных породах.

При креплении устьев бетоном в качестве вяжущего главным образом используют сульфатостойкий портландцемент. К инертным наполнителям и бетону предъявляются те же требования, что и к бетону для крепления стволов. Особое внимание уделяется обеспечению плотности бетона, сокращению числа и повышению монолитности швов бетонирования, что должно обеспечивать высокую коррозионную устойчивость бетона. Как правило, применяются бетоны марок 150–250. Кроме нагрузок от боковых пород и вертикальных, крепь устьев подвергается разрушающему воздействию от колебаний температуры (воздухоподающие стволы) и соляной агрессии (стволы для выдачи полезного ископаемого). При изготовлении железобетонной крепи применяют те же бетоны, а для армирования – гибкую арматуру (рабочие и распределительные стержни) из стали периодического профиля. С целью защиты арматуры от соляной коррозии и повышения срока службы крепи толщину защитного слоя бетона принимают не менее 30–50 мм. На рис. 46 показана конструкция железобетонной крепи устья ступенчато-венцовой формы ствола «Вспомогательный» Ново-Стебниковского калийного рудника, разработанная ВНИПИСерой. Участок проходки устья до глубины 0,75 м представлен почвенно-растительным слоем. В интервале 0,75–3,5 м находятся четвертичные отложения,

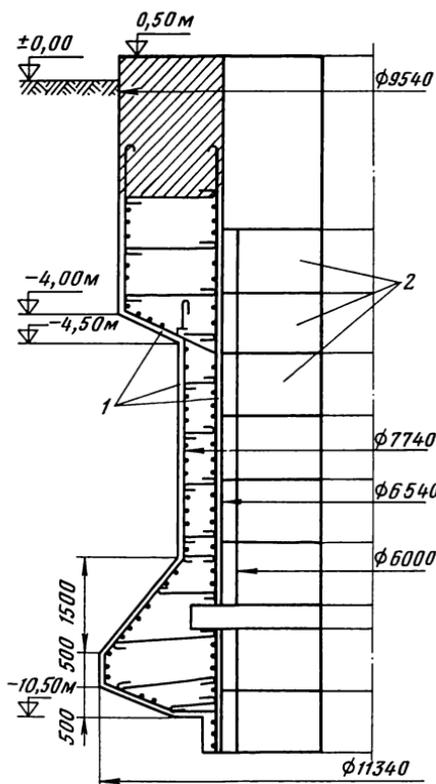
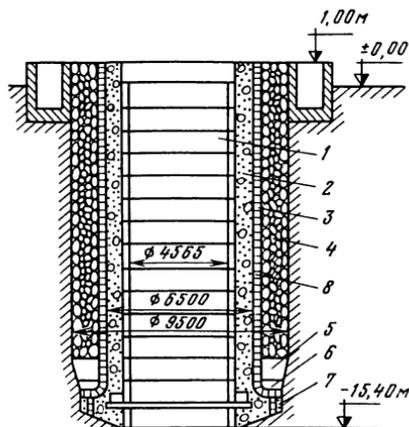


Рис. 46. Схема армирования железобетонного устья шахтного ствола:

1 – арматура А-II диаметром 16 мм с шагом 200 мм; 2 – тьюбинги

Рис. 47. Схема гидроизоляции устья ствола № 4 Калужского калийного рудника Гольль:

1 – кольца чугунной тьюбинговой крепи; 2 – бетон; 3 – гидроизол; 4 – забутовка; 5 – мятая глина; 6 – битум; 7 – пикотажное уплотнение; 8 – кирпич



ниже – глинисто-гипсовые. Четвертичные отложения (в основном глины с прослоями гипса и линзами глинистого песка) обводнены. Верхняя часть глинисто-гипсовых отложений в интервале 3,5–11,0 м представлена песчано-глинистыми породами, обводнена.

В отдельных случаях, когда стволы проходят в слабых неустойчивых, обводненных породах в конструкцию устья вносят дополнительные элементы усиления. Так, при расширении устья грузолоудского ствола рудника № 1 ПО «Артемсоль» пересекаемые породы были представлены до глубины 6 м выветрелым песком, с 6 до 9,2 м песчаником и далее красно-бурым аргиллитом. Основной опорный венец был заложен на глубине 15,9 м. Устье закреплено железобетоном толщиной 400 мм. На участке от 2 до 11,4 м с целью усиления выполнены еще пять железобетонных опорных венцов меньших размеров. Из ствола устье усилено тьюбингами.

Крепь устьев стволов калийных и соляных рудников должна обеспечивать защиту ствола от паводковых и грунтовых вод. С этой целью, помимо подъема воротника устья над нулевой площадкой, предусматривают специальную гидроизоляцию с внутренней или внешней стороны крепи. Чаще всего в устье ствола возводят тьюбинговую крепь. Иногда тьюбинговая колонна начинается прямо с нулевой отметки, например, ствол «Западный-бис» Ново-Стебниковского рудника (см. приложение).

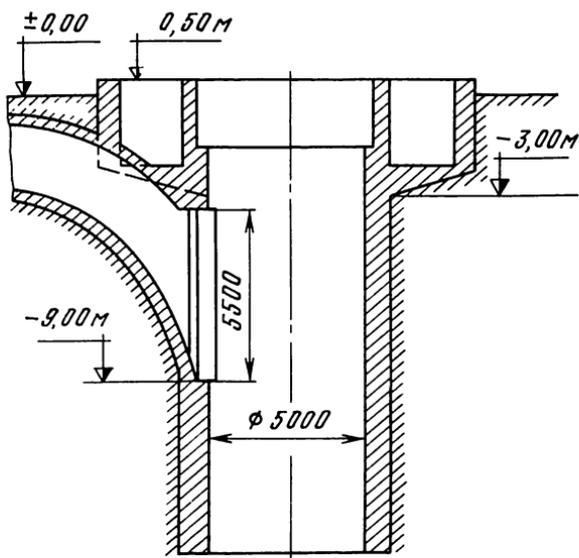


Рис. 48. Конструкция устья вентиляционного ствола

Для предотвращения проникновения воды через крепь устья, исключения проникновения поверхностных вод по закрепному пространству в нижележащие горизонты наружную поверхность крепи оклеивают гидроизоляционными покрытиями, например, толем, рубероидом на битумной мастике. С целью исключения перетока воды по закрепному пространству между породной стенкой и крепью устья возводят гидроизоляционные устройства (например, глиняный пояс на глубине 21,4 м в устье ствола № 4 Калужского рудника Голынь).

Своеобразно выполнена гидроизоляция устья ствола «Западный» Стебниковского калийного рудника. Под защитой замороженных пород до глубины 13 м устье было пройдено диаметром 9,5 м, с 13 до 16 м диаметр проходки уменьшили до 8,7 м. На глубине 15,4 м был уложен бетонный опорный венец, от которого до поверхности возвели бетонную крепь толщиной 1000 мм (рис. 47). При укладке бетона применялось виброуплотнение. С внутренней стороны устье усилено тубинговой колонной.

По бетонной поверхности опорного венца была сделана стяжка цементно-песчаным раствором. Затем на высоту 1,35 м произвели наклейку четырех слоев гидроизола с промазкой между слоями расплавленным битумом. Толщина слоя битума составила 1,5–2 мм. Поверхность гидроизола защитили кирпичной кладкой в один кирпич. Раствор для стяжки и кирпичной кладки готовили на пуццолановом сульфатостойком цементе марки 500. После этого произвели пикотаж деревянными клиньями кольцевого зазора между породной стенкой и опорным венцом. Выше пикотажа и горизонтальной части защитной кирпичной кладки был залит слой расплавленного нефтештукатурки марки IV. Высота битумного слоя равнялась 300 мм.

Наружную поверхность бетонной крепи устья покрыли слоем штука-

турки толщиной 20 мм, по которой наклеили четыре слоя рубероида. Стыки листов рубероида тщательно промазывались расплавленным битумом. Гидроизоляционное покрытие из рубероида защитили кирпичной стенкой толщиной в один кирпич.

Кольцевое пространство между кирпичной кладкой и породной стенкой слоями по 0,5–1,0 м забутовывали и заливали цементно-песчаным раствором.

Аналогично выполнена внешняя гидроизоляция устья ствола «Хотинь» калийного рудника Калуш.

Одновременно с проходкой и креплением устья сооружают вентиляционные и калориферные каналы, ходки из лестничных отделений, каналы для подводки к стволу кабелей и трубопроводов различного назначения. Сопряжения вентиляционных каналов выполняют под углом к оси ствола с плавным переходом, чтобы понизить сопротивление сопряжения воздушному потоку.

На рис. 48 показано устье с вентиляционным каналом, разработанное Гипрорудой для ствола № 3 Первого Березниковского калийного рудника. Примыкание вентиляционного канала к устью ствола выполнено под углом 25° и имеет плавный переход к горизонтальной части канала. Такое примыкание обеспечивает малое аэродинамическое сопротивление и широко применяется в практике.

Вентиляционные каналы, как правило, имеют прямоугольное сечение. В зависимости от производительности главной вентиляционной установки определяется площадь поперечного сечения канала. Глубина нижней кромки примыкания канала к устью достигает 12–15 м. Вследствие этого при проходке в слабых водоносных породах возникает необходимость гидроизоляции места примыкания к устью и самого вентиляционного канала.

В обводненных породах вентиляционные каналы крепят бетоном или железобетоном с наружной защитой из рулонных гидроизоляционных материалов или покрывают расплавленным битумом. При креплении устья ствола чугунными тьюбингами в месте примыкания вентиляционного канала тьюбинги в кольцах крепи устанавливают без перевязки, что обеспечивает образование проема (окна) в тьюбинговой колонне. Таким образом выполнено примыкание вентиляционных каналов на стволе № 3-бис и грузолодском стволе № 2 рудников ПО «Артемсоль», на стволе «Западный-бис» Новостебниковского калийного рудника.

В благоприятных условиях вентиляционный канал, как и устье ствола, крепят кирпичом (вентиляционный ствол рудника № 1 и ствол № 2-бис рудника № 2 Артемовского соляного месторождения).

Размеры калориферных каналов, как правило, значительно меньше, чем вентиляционных. Условиям рационального ввода струи подогретого воздуха в ствол соответствуют углы наклона канала к оси ствола 5–10°, вследствие чего калориферные каналы примыкают к устью на меньших глубинах, обычно 6–8 м, что значительно облегчает их устройство и герметизацию.

4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ КРЕПИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

4.1. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ НА СОСТОЯНИЕ КРЕПИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

Температурные условия эксплуатации крепи шахтных стволов являются одним из основных факторов, определяющих ее состояние и возможность длительной эксплуатации. Сезонные и суточные колебания температуры, их вредное воздействие на состояние крепей стволов явились темой многих исследований [35, 39, 44].

Примеры разрушения бетонной крепи шахтных стволов вследствие попеременного обмерзания и оттаивания довольно многочисленны и достаточно освещены в технической литературе [26, 35]. Обмерзание стволов опасно не только разрушением материала крепи, появлением водопритоков, но и образованием льда на крепи и армировке, что создает непосредственную угрозу для жизни людей, оборудования и кабельных линий, расположенных в шахтном стволе. Уменьшаются зазоры между движущимися подъемными сосудами и элементами крепи и армировки. Образующиеся наледи и сосульки иногда достигают значительных размеров. В литературе [44] описан случай образования в стволе на глубине 76 м ледяной сосульки длиной 25 м и диаметром 0,6 м. В практике эксплуатации шахтных стволов на калийных и соляных рудниках подобные примеры также неединичны. Температура воздуха, поступающего в воздухоподающий ствол, регламентированная требованиями Правил безопасности, рассматривается не как показатель гигиенических условий в стволе, а прежде всего как условие, предотвращающее обледенение. При этом нет никаких ограничений колебаний температуры в диапазоне выше $+2^{\circ}\text{C}$. Однако именно колебания температуры могут быть причиной появления водопритоков, развития коррозионных процессов. Особенно чувствительна к колебаниям температуры чугунная тюбинговая крепь [39, 44]. В практике шахтного строительства есть примеры, когда температуру воздуха в стволах поддерживают практически постоянной. Так, на одном из рудников в районе г. Эстергази (Канада) в шахтном стволе, закрепленном чугунными тюбингами, поддерживают не только постоянную температуру, но и влажность воздуха. На калийном предприятии Генрих Рау, близ г. Рослебен (ГДР), в воздухоподающем стволе «Георг» температура воздуха, омывающего колонну чугунных тюбингов, круглый год поддерживается равной $+14^{\circ}\text{C}$.

Как правило, такое регулирование условий эксплуатации стволов дает положительный эффект.

Основные факторы, определяющие температурные режимы шахтных стволов. Шахтный ствол, кроме функций транспорта полезного ископаемого, материалов, оборудования, спуска и подъема горнорабочих, как правило, несет определенную нагрузку в системе проветривания рудника. В зависимости от характера этой нагрузки все стволы можно разделить на три группы: воздухоподающие, по которым свежий воздух поступает в рудник,

вентиляционные, по которым воздух выдается из рудника, и нейтральные – стволы не связанные с проветриванием рудника.

Для шахтного ствола, который не используется в системе проветривания рудника, при скорости воздушного потока в стволе, равной нулю, температурный режим определяется температурой горных пород в закрепном пространстве. Со временем между воздухом в стволе и горными породами устанавливается температурное равновесие.

Температура горных пород изменяется с глубиной и определяется по следующей формуле:

$$t_{\text{пор}} = t_{\text{п.г}} + (H - H_0)/\Gamma,$$

где $t_{\text{п.г}} = t_{\text{ср}} + \Delta t$ – постоянная годовая температура горных пород на глубине H_0 ; H – глубина определения температуры горных пород; H_0 – глубина залегания зоны постоянных температур горных пород; Γ – геотермическая ступень; $t_{\text{ср}}$ – среднегодовая температура воздуха для данной местности; Δt – обычно не превышает $1-3^\circ\text{C}$.

Глубина залегания зоны постоянных температур горных пород обычно 30–40 м, поэтому можно считать, что нейтральный шахтный ствол ниже этой глубины имеет постоянный температурный режим, и всякое температурное воздействие на крепь ствола исключено.

Для шахтного ствола с исходящей струей воздуха температурные условия определяются в основном тремя факторами: температурой воздуха, поступающего из рудника t_p ; температурой горных пород в закрепном пространстве и изменением температуры воздуха при изменении высоты столба воздуха в стволе. Для рудников с большим объемом подземных выработок величина t_p в течение года практически не изменяется и равна температуре горных пород на глубине разработки. Исследованиями установлено, что в зависимости от направления движения воздуха по стволу (вниз или вверх) его температура изменяется по следующей зависимости:

$$t_b = t_0 \pm 0,01H_1,$$

где t_0 – начальная температура воздуха, в нашем случае $t_0 = t_p$; H_1 – высота (глубина) по стволу до сечения, в котором определяется t_b .

Многолетние наблюдения за температурой воздушного потока в вентиляционных стволах показали, что сезонные колебания практически отсутствуют. Так, в вентиляционном стволе № 4 Первого Березниковского калийного рудника температура воздуха равна $(+6) - (+8)^\circ\text{C}$, в стволе № 3 Первого Солигорского калийного рудника $(+11) - (+14)^\circ\text{C}$ (на глубине 200 м). Колебания в $2-3^\circ\text{C}$, естественно, не могут оказать какого-либо влияния на состояние крепи ствола. Однако в вентиляционных стволах возможно создание условий с резким и значительным изменением температуры воздушного потока, например, при реверсировании воздушной струи в зимнее время, когда ствол становится воздухоподающим. Степень влияния такого изменения температуры воздуха в стволе на состояние крепи будет определяться продолжительностью эксплуатации ствола как воздухоподающего.

Изучение факторов, определяющих температурный режим воздухоподающих стволов, возникло как часть проблемы регулирования температурного режима в глубоких шахтах и в связи с необходимостью принятия мер против обмерзания крепи стволов в зимнее время. Температура воздушного потока в воздухоподающем стволе определяется в результате совокупного проявления множества факторов. Наибольшее влияние оказывают температура поступающего в ствол воздуха, температура горных пород и теплообмен между воздушным потоком и окружающими ствол горными породами, сжатие воздуха при опускании по стволу и условия подачи в ствол подогретого в калориферах воздуха. Решающая роль принадлежит температуре поступающего в ствол и условиям подачи подогретого воздуха.

Воздухоподающие стволы должны оборудоваться установками для искусственного отопления в зимнее время с тем, чтобы температура воздуха в стволе была не ниже $+2^{\circ}\text{C}$. Однако в практике это правило выполняется не всегда. Так, в 1982 г. из семи воздухоподающих стволов рудников ПО «Артемсоль» были оборудованы калориферными установками лишь четыре.

Поддержание положительной температуры должно исключить обмерзание крепи и армировки. По способу подачи воздуха в ствол воздухоподающие стволы образуют две группы. В стволы первой группы подогретый в калориферах воздух подается через специальные калориферные каналы, а основная масса холодного воздуха поступает через устье. Число выходов калориферного канала в ствол — от одного до четырех. Примером стволов этой группы являются воздухоподающие стволы Соликамских, Березниковских и Солигорских калийных рудников. В стволы второй группы весь воздух поступает через устье. Подогретый в калориферах воздух подается в специальную камеру, где смешивается с холодным и затем поступает в надшахтное здание. Так, например, решено отопление ствола «Главный» Калущского калийного рудника им. 50-летия Октября.

Температурные режимы эксплуатации воздухоподающих шахтных стволов. Различие в способах подачи подогретого воздуха в воздухоподающие стволы сказывается на температурных условиях в стволе лишь в период работы установок искусственного отопления. Летом, когда температура воздуха в течение суток не опускается ниже $+2^{\circ}\text{C}$, необходимость в искусственном подогреве отпадает. Температура воздуха в стволах изменяется вслед за изменениями температуры наружного воздуха. Надшахтное здание, крепь ствола и окружающие ствол горные породы несколько сглаживают колебания температуры воздуха в стволе. Особенности летнего периода для всех воздухоподающих стволов являются, как правило, превышение температуры воздушного потока над температурой горных пород за крепью ствола и равенство температуры воздуха во всех точках одного поперечного сечения потока.

Сложнее формируется температурный режим воздухоподающего ствола в зимнее время при работе установки искусственного отопления. В этот период условия подачи в ствол подогретого воздуха имеют определяющее значение.

Эффективность мер по отоплению ствола зависит от количества и температуры подогретого и холодного воздуха, поступающего в ствол, и ха-

рактера смешения этих потоков. На практике чаще встречается подача подогретого воздуха через одно окно калориферного канала. Температура в струе подогретого воздуха после выхода ее из калориферного канала в ствол уменьшается по почти гиперболическому закону, что не способствует равномерному распределению тепла по сечению ствола. Условия рациональной подачи подогретого воздуха через один выход в ствол калориферного канала сформулированы Л. П. Севериным. Струя теплого воздуха должна входить в ствол с наименьшим углом, чтобы на возможно меньшем пути по глубине ствола достигать противоположной стенки. Для этого скорость выхода подогретого воздуха v_n должна быть несколько выше критической $v_{кр}$, но не превышать допустимой для данного ствола. При $v_n = v_{кр}$ струя подогретого воздуха встречается с противоположной стенкой ствола под прямым углом. Выполнение этого условия исключает возможность выброса подогретого воздуха в устье ствола. Критическая скорость определяется из выражения:

$$v_{кр} = -v_x \pm \sqrt{v_x^2 + 4A_T g D \operatorname{tg} \alpha / (2 \sin \alpha)},$$

где v_x – скорость входа холодного воздуха в устье ствола; $A_T = (T_n - T_x) / T_x$ – коэффициент подъемной силы; T_n и T_x – абсолютные температуры соответственно подогретого и холодного воздуха; g – ускорение свободного падения; D – диаметр ствола; α – угол наклона калориферного канала.

В системе координат для частицы теплого воздуха, вышедшей из центра окна калориферного канала, глубина точки встречи с противоположной стенкой ствола определяется следующим образом:

$$y = \frac{A_T g x^2}{2v_n^2 \cos^2 \alpha} - (v_x + v_n \sin \alpha) \frac{x}{v_n \cos \alpha}.$$

На рис. 49 показаны расчетные траектории оси струи подогретого воздуха для ствола диаметром 5 м, имеющего один калориферный канал. Угол примыкания канала к стволу $\alpha = 15^\circ$. Расчеты выполнены для следующих случаев:

$$\begin{aligned} v_n &= 15 \text{ м/с}, v_x = 7 \text{ м/с}, t_x = -30^\circ\text{С}, t_n = 100^\circ\text{С} \text{ (рис. 49, поз. 1);} \\ v_n &= 7,66 \text{ м/с}, v_x = 7,5 \text{ м/с}, t_x = -30^\circ\text{С}, t_n = 100^\circ\text{С} \text{ (рис. 49, поз. 2);} \\ v_n &= 3,83 \text{ м/с}, v_x = 8 \text{ м/с}, t_x = 0^\circ\text{С}, t_n = 60^\circ\text{С} \text{ (рис. 49, поз. 3),} \end{aligned}$$

где v_n и t_n – соответственно скорость и температура подогретого воздуха; v_x и t_x – соответственно скорость и температура холодного воздуха.

Однако в реальном стволе на пути движения струя подогретого воздуха встречает различные препятствия (армировка, подъемные сосуды и т. п.), влияние которых не учитывается. В стволе образуются два потока воздуха – теплый со стороны выхода калориферного канала и холодный, двигающийся по противоположной стенке ствола. Полное смешение этих потоков и выравнивание температур происходит лишь на глубине 200–250 м. Разность температур в диаметральных точках одного сечения достигает в верхней части ствола 50–70°С, и чем она меньше, тем равномернее подогретый воздух распределяется по стволу. В стволе создается осесимметричное температурное поле, при котором распределение температуры

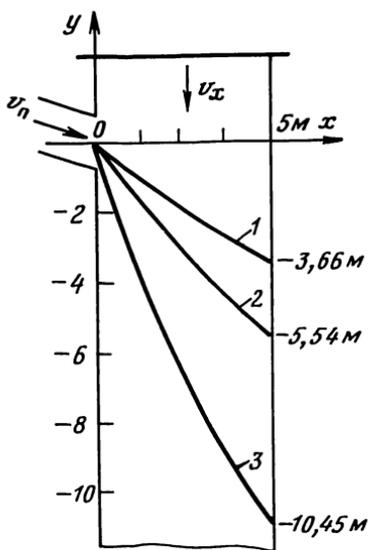


Рис. 49. Траектории распространения струи подогретого воздуха в шахтном стволе

воздуха по периметру ствола приобретает косинусоидальный характер:

$$t_{\text{в}} = T(H) \cos(k\varphi),$$

где $T(H)$ — амплитудное значение, определяющееся режимом работы калориферных установок (изменяется с глубиной); k — числовой коэффициент; φ — угол в поперечном сечении ствола, отсчитываемый от линии, проходящей через центр ствола и центр окна калориферного канала.

На рис. 50 приведены экспериментальные кривые распределения температуры воздуха по окружности ствола № 2 Первого Березниковского калийного рудника на глубинах 10 и 78 м. При таком распределении по стенке ствола, противоположной калориферному каналу, в ствол до глубины 150–200 м начинает проникать воздух с отрицательной температурой, т. е. часть крепи ствола омывается воздухом с температурой, ниже определенной Правилами безопасности. На рис. 51 показано положение изотерм $t_{\text{в}} = 0^{\circ}\text{C}$ на развертке крепи того же ствола. Как видно из рисунка, глубина проникновения холодного воздуха непостоянна, температурные режимы в стволе постоянно изменяются, создаются условия для обмерзания значительной части крепи ствола.

Увеличение подачи количества подогретого воздуха путем включения дополнительных калориферных агрегатов или температуры подогрева не всегда дает положительный эффект. В верхней части ствола образуется тепловая пробка, что приводит к нарушению в системе проветривания рудника, а по другим воздухоподающим стволам увеличивается поступление холодного воздуха. В отдельных случаях струя опрокидывается, и горячий воздух выбрасывается через устье ствола. Известны случаи полного опро-

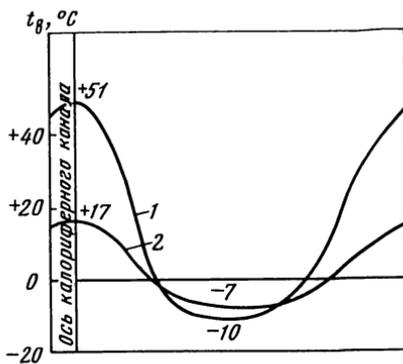


Рис. 50. Кривые изменения температуры воздуха по периметру воздухоподающего ствола № 2 Первого Березниковского калийного рудника:

1 — на глубине 10 м; 2 — на глубине 78 м

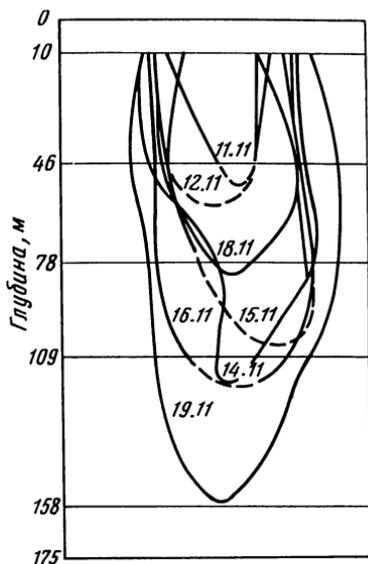


Рис. 51. Положение изотерм с нулевой температурой воздуха на развертке крепи ствола № 2 Первого Березниковского калийного рудника за период 11–19 ноября

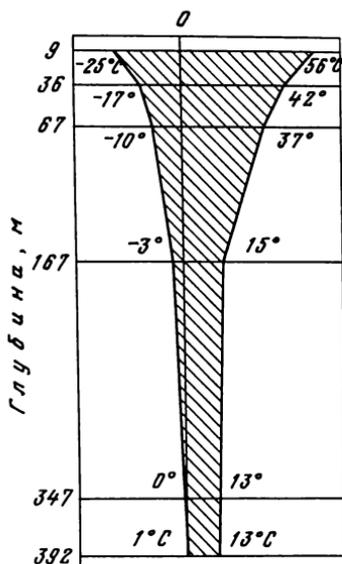


Рис. 52. Годовой диапазон колебания температуры воздуха в стволе № 2 Второго Березниковского калийного рудника на глубине 9–392 м

кидывания воздушного потока целого рудника. Так, в 1973 г. на Третьем Березниковском руднике вследствие образования тепловой пробки в воздухоподающем стволе № 2 произошло реверсирование вентиляционной струи, при этом в вентиляционном стволе № 3 на глубине 232 м была зафиксирована температура воздуха 0°C .

Из-за неудовлетворительного решения условий ввода подогретого воздуха и часто отсутствия систем автоматизированного контроля за работой калориферных установок и эффективностью отопления стволов температурный режим ствола становится неустойчивым со значительным диапазоном колебания температуры воздуха в стволе в течение холодного периода и всего года (рис. 52).

При подаче подогретого воздуха по окружности ствола через 2–4 выхода калориферного канала резко улучшается распределение тепла по сечению ствола. Создается почти равномерное, осесимметричное температурное поле воздушного потока. Случаи проникновения в ствол воздуха с отрицательной температурой становятся редкими и, как правило, связаны с нарушениями в работе калориферных установок. Годовой диапазон колебания температуры воздуха в стволе уменьшается.

Температура тюбинговой крепи. Чугунная тюбинговая крепь за время строительства и эксплуатации ствола многократно подвергается температурным воздействиям. В период проходки ствола, например, в летнее время, тюбинги с поверхности при температуре $(+10) - (+20)^{\circ}\text{C}$ опускаются в ствол. Здесь за время монтажа их температура понижается до

(− 10)–(− 15)°С. Затем во время твердения бетона, уложенного за тьюбинговое кольцо, температура тьюбингов повышается до (+ 10)–(+ 13)°С, после чего снова понижается до (− 10)–(− 15)°С. Следующее повышение температуры тьюбингов связано с оттаиванием ствола после окончания строительства.

В период эксплуатации шахтного ствола между движущимся по стволу воздухом и тьюбинговой колонной происходит процесс теплообмена, вследствие чего температура крепи t_k не остается постоянной, а совершает колебания с периодом, близким к периоду колебаний температуры омывающего воздуха. На температуру крепи оказывает влияние и температура горных пород. Между горными породами и воздушным потоком через крепь ствола также идет теплообмен. В основном температура тьюбинговой крепи определяется температурой воздушного потока и ее распределением по сечению ствола.

Как правило, температура крепи изменяется от температуры воздуха с некоторым запаздыванием, которое характеризуется постоянной времени нагрева $T_{н.к}$ тьюбинговой крепи. Экспериментально было установлено, что для тьюбинговой крепи диаметром в свету 5 м и высотой 170 м при толщине спинки тьюбингов 40 мм величину $T_{н.к}$ можно принять равной 2 ч. При скачкообразном повышении температуры воздуха нагрев тьюбинговой крепи определяется из выражения

$$t_k = t_{к.у} (1 - e^{-\tau/T_{н.к}}) + t_{к.н} e^{-\tau/T_{н.к}},$$

где $t_{к.у}$ – конечное установившееся значение температуры тьюбинговой крепи; τ – время нагрева; $T_{н.к}$ – постоянная времени нагрева крепи; $t_{к.н}$ – начальное значение температуры тьюбинговой крепи.

Для практических целей удобно пользоваться данными, приведенными ниже.

$\frac{\tau}{T_{н.к}}$ $ \Delta t $	1	2	3	4	6,91
	0,632	0,865	0,95	0,986	0,999

Пользуясь этими данными, можно определить, какую часть $|\Delta t|$ диапазона от $t_{к.н}$ до $t_{к.у}$ охватит при своем изменении температура крепи, т.е. определить температуру тьюбингов при τ , кратном $T_{н.к}$. Можно определить температуру, до которой охладится тьюбинговая колонна (например, при реверсировании потока в вентиляционном стволе за определенное время) или определить допустимое время остановки калориферных агрегатов в зимнее время, чтобы избежать размораживания крепи.

Пример 1. Воздухоподающий ствол диаметром в свету 5 м закреплен на участке 20–200 м чугунными тьюбингами серий К-30 и К-40. В результате аварии, перед которой температура тьюбинговой крепи на глубине 60 м была равна + 2°С, калориферная установка перестала работать. Известно, что на этом участке при охлаждении тьюбингов до (− 10)–(− 12)°С через соединительные швы в ствол начинает поступать вода, при замерзании которой на стенках ствола, расстрелах и проводниках быстро нарастает ледяная корка. Движение клетки по стволу становится невозможным. Требуется определить, через какое время после остановки калориферов появится течь, если температура наружного воздуха, поступающего в ствол через устье, равно (− 20)°С?

Приняв $T_{н.к} = 2$ ч и $t_{к.у} = -20^{\circ}\text{C}$, при решении уравнений находим: при $\tau = 1$ ч температура крепи снизится до $-6,6^{\circ}\text{C}$, при $\tau = 1,5$ ч — до $-9,6^{\circ}\text{C}$, при $\tau = 2$ ч — до $-11,9^{\circ}\text{C}$.

Следовательно, течь воды через тюбинговую крепь начнется через 1,5–2 ч после прекращения подачи в ствол подогретого воздуха.

Пример 2. Вентиляционный ствол, имеющий аналогичные размеры и конструкцию крепи (см. пример 1), при нормальном режиме имел температуру крепи $+8^{\circ}\text{C}$. Из практики эксплуатации ствола известно, что при охлаждении крепи до $(-12) - (-15)^{\circ}\text{C}$ появляется течь воды через соединительные швы между тюбингами. Требуется определить, через какое время при реверсировании вентиляционной струи рудника в этом стволе появится течь, если температура наружного воздуха $(-20)^{\circ}\text{C}$?

Возможный диапазон понижения температуры от $+8$ до -20°C составляет 28°C . Тогда, приняв $T_{н.к} = 2$ ч, находим: при $\tau = 2$ ч $= 1T_{н.к}$ температура крепи понизится на $28 \cdot 0,632 = 17,7^{\circ}\text{C}$, т.е. будет равна $-9,7^{\circ}\text{C}$; при $\tau = 4$ ч $= 2T_{н.к}$ — на $28 \cdot 0,865 = 24,8^{\circ}\text{C}$ и будет равна $-16,8^{\circ}\text{C}$.

Следовательно, течь в стволе появится ориентировочно через 3 ч после реверсирования воздушной струи.

В зимний период при асимметричном температурном поле воздушного потока распределение температуры тюбингов по окружности носит также косинусоидальный характер. На рис. 53 даны примеры распределения температуры тюбинговой крепи по окружности ствола № 2 Первого Березниковского калийного рудника на глубинах 14,5 и 78 м, полученные экспериментальным путем. Разность температур тюбингов в одном сечении меньше, чем в воздушном потоке. Так, в период исследований при максимальной разности значений температуры воздушного потока в верхней части ствола до 70°C была зафиксирована разность температур тюбингов одного кольца до 40°C .

Таким образом, следуя колебаниям температуры воздушного потока в воздухоподающих стволах, температура тюбинговой колонны не остается постоянной. В зоне смешения теплого и холодного воздушных потоков температура тюбингов в кольце неравная, можно выделить «теплую» и «холодную» часть каждого тюбингового кольца.

Температурное раскрытие соединительных швов тюбинговой крепи. Непостоянство температуры тюбинговой крепи, периодические повышения и понижения температуры тюбингов вызывают изменения геометрических размеров отдельных элементов крепи. Вследствие различия теплофизических и физико-механических свойств отдельные элементы крепи (тюбинговая колонна, бетонная рубашка и т. д.) по-разному реагируют на колебания температуры. Теплообмен между бетоном и воздушным потоком проис-

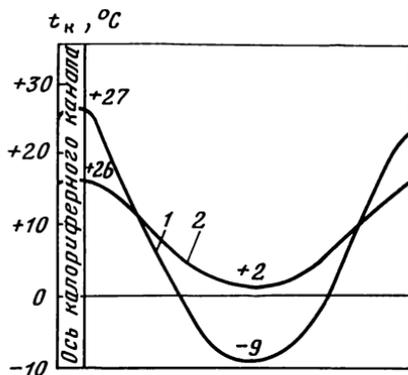


Рис. 53. Кривые изменения температуры тюбинговой крепи по периметру ствола № 2 Первого Березниковского калийного рудника:

1 — на глубине 14,5 м; 2 — на глубине 78 м

ходит через тьюбинговую колонну, обладающую значительно большим коэффициентом температуропроводности. Переход от одной температуры к другой у бетонной рубашки совершается значительно медленнее, чем у тьюбинговой колонны, что, в свою очередь, вызывает различие в температурных деформациях и со временем приводит к отрыву чугунной колонны от бетонной рубашки, нарушает их взаимосвязь. Однако в первый период эксплуатации ствола после проходки и проведения повторного тампонирувания закрепного пространства некоторое время такая взаимосвязь существует и оказывает влияние на характер температурных колебаний.

Снижение температуры крепи, равномерное по всему сечению, или понижение температуры части тьюбинговой колонны по отношению к некоторой нейтральной температуре крепи $t_{н.к}$, при которой крепь имеет наибольшую герметичность, а температурные напряжения в элементах крепи имеют наименьшие значения, приводит к раскрытию горизонтальных и вертикальных соединительных швов. За величину $t_{н.к}$ принимается температура крепи, при которой были произведены последняя ревизия (или ремонт) крепи, подтяжка болтовых соединений, чеканка швов.

В зависимости от характера взаимосвязи между бетонной рубашкой и тьюбингами рассмотрим два случая температурного раскрытия соединительных швов тьюбинговой крепи: при наличии и полном отсутствии связи между тьюбингами и бетоном.

При наличии хорошего сцепления между бетоном и чугуном каждый тьюбинг как бы зафиксирован на бетонной рубашке, поэтому при резком и равномерном по периметру понижении температуры происходит равномерное увеличение ширины соединительных швов между соседними тьюбингами. При этом натяжение болтовых соединений временно возрастает, что вызывает деформацию свинцовых гидроизоляционных шайб. При понижении температуры не по всему периметру крепи ствола раскрытие (прежде всего горизонтальных соединительных швов) происходит только в охлаждаемой части.

При отсутствии сцепления между бетоном и тьюбингами равномерное охлаждение крепи вызывает сокращение суммарной высоты тьюбингов между двумя опорными венцами. При этом между тьюбинговыми кольцами, расположенными ниже пикотажного шва, как правило, раскрытия швов не происходит, уменьшается общая высота этого участка тьюбинговой колонны (см. рис. 17). Тьюбинговые кольца, расположенные выше пикотажного шва, под действием собственного веса стремятся опуститься и как бы заполнить зазор, образовавшийся в пикотажном шве. Натяжение болтовых соединений увеличивается, гидроизоляционные шайбы деформируются, что и приводит к раскрытию соединительных швов этого участка тьюбинговой крепи.

Поэтому при понижении температуры крепи в первую очередь происходит нарушение герметичности соединительных швов именно в тьюбинговых кольцах, подвешенных под опорным кольцом выше пикотажного шва.

На практике, как правило, отсутствует хорошее сцепление между бетоном и тьюбингами. Исключение составляют случаи применения тьюбингов с ребрами жесткости на внешней спинке (см. рис. 13).

При охлаждении части периметра крепи раскрытие горизонтальных соединительных швов выше и ниже пикотажного шва происходит одинаково.

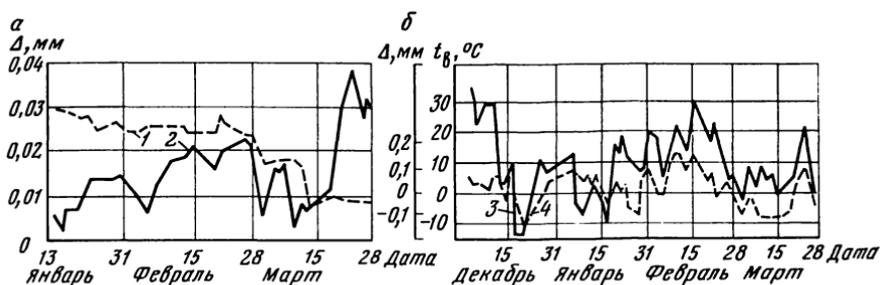


Рис. 54. Колебания ширины швов тюбинговой крепи:
 а-соединительного; б-пикотажного; 1-в «теплой»; 2-в «холодной» части ствола; 3-ширина пикотажного шва; 4-температура воздушного потока

Таким образом, при равномерном охлаждении наибольшую возможность к раскрытию имеют швы тюбинговых колец, расположенных выше пикотажного шва, и пикотажный шов. При несимметричных температурных режимах с охлаждением наибольшая возможность раскрытия швов возникает в «холодной» части крепи, максимальное раскрытие – в швах, расположенных выше пикотажного и пикотажном шве.

На процесс раскрытия шва, помимо температурных сил, действуют и другие силы, способствующие или препятствующие раскрытию. К таким силам прежде всего следует отнести собственный вес тюбинговых колец, динамические нагрузки от подъемных сосудов, воздействие элементов армировки ствола, сопротивление растяжению болтовых соединений, а также силы пригрузки бетонной рубашки и окружающих пород, возникающие при изменениях температуры последних. Проявление одной и той же силы может быть различно. Собственный вес тюбинговых колец, расположенных выше пикотажного шва, способствует раскрытию швов, а для колец ниже пикотажного шва препятствует этому. Если в результате проявления сил горного давления или каких-либо нарушений бетонной рубашки произойдет расклинивание (распор) одного кольца тюбингов, то в верхней части звена крепи (выше пикотажного шва) это будет препятствовать, а в нижней способствовать раскрытию швов. Отсутствие сцепления тюбинговой колонны с бетонной рубашкой для верхней части является способствующим фактором, а для нижней это позволяет колонне свободно сокращать свою высоту (при понижении температуры) и избегать раскрытия швов.

Одновременно для двух соседних тюбинговых колец может сложиться различное сочетание способствующих и препятствующих факторов, что повлечет различие в процессе раскрытия швов. Однако общая схема действия механизма раскрытия швов при различных температурных изменениях согласуется с местоположением рассматриваемого шва в звене крепи (выше или ниже пикотажного шва, в «теплой» или «холодной» части ствола).

На рис. 54, а приведены результаты натурных наблюдений за изменением ширины одного горизонтального соединительного шва в «холодной» и «теплой» частях ствола, расположенного ниже пикотажного шва. Изме-

нения ширины по датчику в «теплой» и «холодной» частях ствола имеют различный характер. Связь колебаний ширины пикотажного шва и температуры воздуха в стволе показаны на рис. 54, б.

Экспериментально были получены следующие результаты. Для пикотажных швов в «теплой» части ствола колебание ширины шва на 0,48 мм происходит при изменении контрольной температуры воздуха на 24°C (от -14 до +10°C), в «холодной» части - на 0,87 мм при изменении контрольной температуры воздуха на 31°C (от -17 до +14°C). Швы, расположенные выше пикотажных, имели раскрытие до 0,46 мм в «холодной» и до 0,35 мм в «теплой» частях ствола. Швы ниже пикотажных имели колебания до 0,21 мм (при $\Delta t = 26^\circ\text{C}$) в «теплой» и до 0,37 мм (при $\Delta t = 28^\circ\text{C}$) в «холодной» частях ствола.

Для характеристики водопроявления в тубинговой крепи подразделяют (по мере увеличения дебита) на просачивание, редкий капез, капез, течь, струйную течь. Если при появлении просачивания воды своевременно не предпринимают мер по ликвидации, то это, как правило, приводит в дальнейшем к появлению течи. Гидрогеологическая служба рудников периодически, но не реже одного раза в месяц производит тщательный осмотр состояния крепи, при этом любые водопроявления фиксируются в специальных журналах. Распределение мест появления течи по периметру и глубине ствола в целом согласуется с характером температурного раскрытия соединительных швов тубинговой крепи.

Для количественной оценки распределения мест нарушения герметичности крепи по высоте тубинговой колонны используется относительная частота наблюдения водопроявлений:

$$\omega = A/N,$$

где A - число мест нарушений герметичности крепи на данном элементе высоты при полном количестве наблюдений (осмотров), равном N .

Результаты анализа водопроявлений для воздухоподающих стволов № 1 (а) и 2 (б) Первого Березниковского калийного рудника приведены на рис. 55. Нарушения с наибольшей частотой от 0,333 до 0,500 имеют место по всей высоте ствола. Это свидетельствует о том, что причины, следствием которых являются нарушения герметичности крепи, имеют распространение по всей высоте тубинговой колонны. Однако частоты более 0,200 встречаются только на участках тубинговых колец, расположенных выше пикотажных швов. Следует отметить, что в звене 1 ствола № 1 места водопроявлений распределены более равномерно по сравнению с другими звеньями. Объясняется это тем, что звено закреплено тубингами с волнистой спинкой, т.е. каждое кольцо тубингов фиксировано по отношению к бетонной рубашке, поэтому раскрытие швов происходит как при наличии хорошего сцепления между бетоном и тубингами.

Метод оценки герметичности тубинговой колонны по относительной частоте водопроявлений удобен для выявления закономерностей проявления течи. Им целесообразно пользоваться при подготовке к проведению ремонтно-восстановительных работ крепи ствола. За единичный элемент контроля по высоте обычно принимают тубинговое кольцо или участок крепи между двумя соседними ярусами армировки.

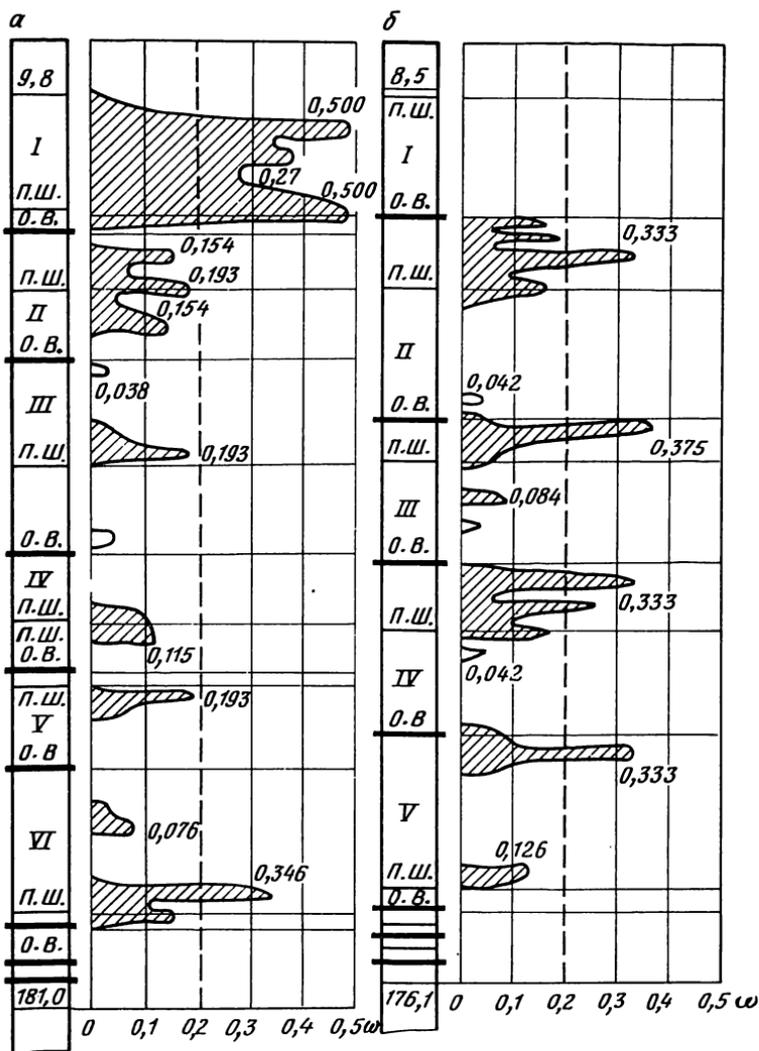


Рис. 55. Частота случаев водопроявлений в стволах № 1 и 2 Первого Березниковского калийного рудника:

I–VI – порядковые номера звеньев крепи; О. В. – опорный венец; П. Ш. – пикотажный шов

Связь между изменениями температуры воздуха и водоприток в ствол прослеживается как в летнее, так и в зимнее время. Наблюдения, проведенные в течение июля 1979 г. на стволе № 2 Второго Березниковского калийного рудника, показали связь между суточным водоприток в ствол и среднесуточной температурой наружного воздуха (рис. 56).

Уменьшение температурного влияния на герметичность тюбинговой крепи. Длительное обеспечение герметичности тюбинговой крепи невозможно без поддержания в шахтном стволе определенного температурного

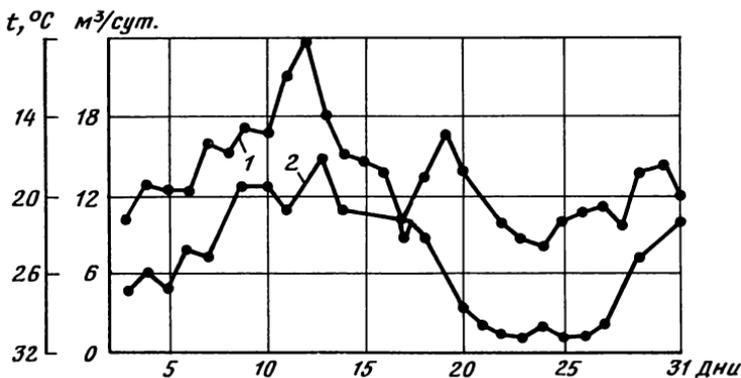


Рис. 56. Динамика изменения суточных водоприток в воздухоподающий ствол и среднесуточной температуры воздуха:

1 — среднесуточная температура воздуха; 2 — суточный водоприток в зумпф ствола

режима. Идеальным был бы режим, при котором температура всех элементов крепи постоянна в течение всего периода эксплуатации. Однако поддержание такого режима, особенно для воздухоподающих стволов, сопряжено с рядом технических трудностей. В реальных условиях эксплуатации стволов рациональный режим должен обеспечивать выполнение следующих условий:

- осесимметричность температурного поля воздушного потока в стволе и крепи ствола;

- минимальный диапазон колебаний температуры воздушного потока и крепи в течение года;

- отсутствие в стволе отрицательных температур воздушного потока и крепи;

- минимальный тепловой поток через крепь ствола.

Рациональный температурный режим, не снижая эффективности проветривания рудника, должен обеспечивать наилучшие условия эксплуатации крепи.

В зимнее время, когда ствол искусственно обогревается, может быть достигнут минимальный тепловой поток через крепь ствола. Если, например, до глубины H_0 обеспечено полное смешение холодного и подогретого в калориферах воздуха до температуры $+2^\circ\text{C}$, то дальнейшее изменение температуры воздуха и горных пород с глубиной не создаст большого теплотокота. В летний период для поддержания температуры воздуха в стволе $+2^\circ\text{C}$ на глубине H_0 необходимо охлаждать часть воздуха, поступающего в ствол, что ведет к дополнительным затратам. Поэтому в практике эксплуатации шахтных стволов, закрепленных чугунной трубной крепью, регулировку температурного режима ствола в летний период, как правило, не производят. В отдельных случаях, когда в стволе наблюдается течь, и при резких понижениях температуры воздуха, например в ночные часы, включают калориферные установки, что сокращает суточный диапазон колебаний температуры крепи.

Уменьшения отрицательного влияния колебаний температуры на со-

стояние тьюбинговой крепи достигают применением различных способов регулирования температуры воздушного потока, омывающего тьюбинговую крепь, либо изменением конструктивного оформления крепи, что позволяет снизить температурную чувствительность тьюбинговой крепи или изолировать ее от нежелательного температурного воздействия. Среди известных способов улучшения температурных условий воздухоподающих стволов следует отметить обеспечение полного смещения холодного и подогретого воздушных потоков, создание обособленного воздушного потока для обогрева крепи ствола, применение электрообогрева тьюбингов, сглаживание суточных колебаний температуры воздуха, теплоизоляцию тьюбинговой колонны [14].

Создание в стволе симметричного температурного поля является основным условием, обеспечивающим эффект от применения искусственного отопления воздухоподающих шахтных стволов. Для проектируемых и строящихся стволов могут быть рекомендованы различные решения, например, дробная подача подогретого воздуха в ствол через несколько окон калориферного канала, применение безвентиляторных схем отопления стволов, применение кондиционеров воздуха.

Анализ причин нарушения герметичности тьюбинговой крепи, характера раскрытия соединительных швов и особенностей водопроявления в стволах, закрепленных чугунными тьюбингами, позволяет наметить ряд конструктивных решений, существенно снижающих «чувствительность» тьюбинговой колонны к колебаниям температуры воздуха в стволе: применение более крупных по размеру тьюбингов, устройство пикотажного шва в верхней части звена, под опорным кольцом, использование вместо пикотажного шва (который не выполняет роли компенсатора температурных изменений высоты тьюбингов, а в первую очередь сам начинает пропускать воду) соединительных устройств по типу «сальника» [3].

Можно предусматривать между бетоном и тьюбинговой колонной «слой скольжения», например, из битума или асфальта. Наличие такого слоя будет способствовать и более равномерному распределению внешней нагрузки на кольца тьюбингов.

Однако все эти рекомендации в основном относятся к проектируемым и строящимся стволам. На действующих шахтных стволах применение некоторых из этих решений затруднено. Для этих стволов в каждом конкретном случае может быть рекомендовано одно из следующих решений: реконструкция воротника с целью устройства многосторонней подачи подогретого воздуха в ствол;

увеличение скорости выхода струи подогретого воздуха в ствол; перевод на безвентиляторную схему отопления.

Увеличение скорости выхода струи подогретого воздуха до допустимого предела достигается сменой вентиляторов калориферных установок, уменьшением сечения выходного окна калориферного канала или применением специальных вентиляторов-эжекторов, устанавливаемых в калориферном канале.

Разделение потока подогретого воздуха на несколько потоков может быть получено различными способами, например, установкой рассекателей потока в калориферных каналах, устройством обводных каналов, располагаемых внутри ствола или за крепью устья.

Влияние температурных изменений на состояние бетона крепи стволов. Прежде всего отрицательному воздействию изменений температуры подвержена бетонная крепь устьев воздухоподающих стволов. При поступлении части холодного воздуха через устье этот участок ствола имеет наибольший диапазон колебаний температуры. Практически температура воздуха в устье ствола выше окон калориферных каналов мало отличается от температуры наружного воздуха. Бетонная крепь устьев, проходимых, как правило, в слабых обводненных породах подвержена попеременному обмерзанию и оттаиванию, увлажнению и высыханию.

На участке крепления стволов чугунными тубингами изменения температуры тубинговой колонны передаются бетонной рубашке. Бетонная крепь имеет в 5–10 раз большую толщину и в 20–25 раз меньшее значение коэффициента теплопроводности. Вследствие этого бетонная крепь с большим запаздыванием, чем тубинговая колонна, следит за изменениями температуры воздушного потока в стволе. При резких и частых колебаниях бетон не успевает на всю толщину изменять свою температуру. В результате этого возникают дополнительные температурные напряжения, способствующие растрескиванию бетона.

Наибольшее значение имеют напряжения, возникающие в бетонной крепи при сезонных и суточных изменениях температуры воздушного потока и вызываемых этим изменениях величины t_k . Основными факторами, вызывающими термонапряженное состояние бетонной рубашки являются: большие перепады температур между температурой тубинговой колонны и нетронутым массивом горных пород, периодические колебания температуры крепи с годовой и суточной цикличностью и характер связи с окружающими породами. Связь между бетоном и горными породами зависит от соотношения их коэффициентов линейного расширения и агрессивного воздействия подземных вод на бетон. Следует рассматривать два случая: бетонная крепь работает отдельно и совместно с окружающими породами. Температурные напряжения в бетонной крепи шахтных стволов для осесимметричного температурного поля исследованы М. М. Вяльцевым (1967 г.) при допущении, что изменение температуры элементарного объема изотропного тела происходит без сдвигов, а температурное поле является двухмерным (плоским), т. е. не зависящим от глубины ствола.

В первом случае наибольшую опасность для бетонной крепи представляют растягивающие напряжения, возникающие на внутренней поверхности – при охлаждении и на внешней поверхности – при нагревании. При охлаждении бетонной крепи максимальными растягивающими являются горизонтальные напряжения на внутренней поверхности:

$$\sigma_{\text{фв}} = \frac{\alpha E_6 \Delta t_6}{2(1 - \mu)} \left[1 + \frac{R_H - R_B}{3(R_H + R_B)} \right],$$

а максимальными сжимающими – вертикальные напряжения на внешней поверхности:

$$\sigma_{\text{вн}} = - \frac{\alpha E_6}{1 - \mu} \Delta t_6 + \mu \sigma_{\text{фв}}$$

или

$$\sigma_{\text{нвн}} = \frac{\alpha E_6 \Delta t_6}{1 - \mu} \left\{ \mu \left[1 + \frac{R_{\text{н}} - R_{\text{в}}}{3(R_{\text{н}} + R_{\text{в}})} \right] - 1 \right\},$$

где α – коэффициент линейного расширения; E_6 – модуль упругости; Δt_6 – разность температур наружной и внутренней поверхностей бетонной крепи; μ – коэффициент Пуассона; $R_{\text{н}}$ и $R_{\text{в}}$ – соответственно наружный и внутренний радиусы бетонной крепи.

При нагревании бетонной крепи максимальные растягивающие напряжения возникают на внешней поверхности и равняются по величине $\sigma_{\text{нвн}}$, но обратные по знаку, а максимальные сжимающие напряжения на внутренней поверхности бетонной крепи равные по величине $\sigma_{\text{фв}}$.

В процессе охлаждения или нагревания крепи Δt_6 может достичь величины, при которой максимальные растягивающие напряжения будут больше допустимых напряжений на разрыв $\sigma_{\text{р}}$, в результате чего в бетоне появятся трещины. Таким образом, условие появления трещин при охлаждении крепи $\sigma_{\text{фв}} \geq \sigma_{\text{р}}$, а при нагревании – $\sigma_{\text{нвн}} \geq \sigma_{\text{р}}$.

Предельно допустимые разности температур для охлаждения крепи:

$$\Delta t_{6,\text{доп}} = \frac{2\sigma_{\text{р}}(1 - \mu)}{\alpha E_6 \left[1 + \frac{R_{\text{н}} - R_{\text{в}}}{3(R_{\text{н}} + R_{\text{в}})} \right]},$$

для нагревания

$$\Delta t_{6,\text{доп}} = \frac{2\sigma_{\text{р}}(1 - \mu)}{\alpha E_6 \left\{ 2 - \mu \left[1 + \frac{R_{\text{н}} - R_{\text{в}}}{3(R_{\text{н}} + R_{\text{в}})} \right] \right\}}.$$

Отсюда следует, что в случае, когда бетонная крепь работает без связи с окружающими горными породами, большую вероятность появления имеют горизонтальные трещины при нагревании крепи ствола.

Во втором случае – при продолжительности проветривания более года и отсутствии взаимодействия между бетоном и тубинговой колонной – опасной величины растягивающие напряжения достигают на внутренней поверхности бетонной крепи в тангенциальном направлении при охлаждении. Максимальное значение этих напряжений

$$\sigma_{\text{фв}} = \alpha E_6 (t_{\text{п}} - t_{6,\text{в}}),$$

где $(t_{\text{п}} - t_{6,\text{в}})$ – разность между температурой породного массива и минимальной температурой внутренней стенки бетонной крепи. Отсюда максимально допустимое понижение температуры бетона по отношению к температуре горных пород определится:

$$\Delta t_{6,\text{доп}} = \sigma_{\text{р}} / (\alpha E_6).$$

При охлаждении бетонная крепь и горные породы, находящиеся с ней в связи, будут сокращаться пропорционально коэффициентам температурного расширения, который у бетона примерно в 2 раза больше, чем у горных пород. Породы будут оказывать сопротивление свободному сокращению бетона, что будет создавать в бетоне растягивающие напряжения, способные вызвать появление горизонтальных трещин на внутренней поверхности крепи. Расстояние между возможными горизонтальными трещинами в бетоне при охлаждении крепи на величину $\Delta t^{\circ}\text{C}$ может быть определено по следующей формуле:

$$h = \frac{0,8\sigma_{\text{сж}}d(1 + \mu)}{(\alpha_6 - \alpha_{\text{п}})E_6\Delta t},$$

где $\sigma_{\text{сж}}$ – временное сопротивление бетона на сжатие; $\alpha_{\text{п}}$ и α_6 – коэффициенты линейного расширения соответственно окружающих горных пород и бетона; d – толщина бетонной крепи.

Чаще местом образования горизонтальных трещин являются швы бетонирования. Для условий стволов Первого Березниковского калийного рудника при $\sigma_{\text{сж}} = 30$ МПа, $\alpha_{\text{п}} = 0,5\alpha_6$, $\alpha_6 = 0,14 \cdot 10^{-4}$, $E_6 = 2,32 \cdot 10^{-6}$ МПа, $d = 30$ см и $\mu = 0,15$ величина h равняется 10 м при $\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$ и 3,4 м – при $\Delta t = 15^{\circ}\text{C}$.

При несимметричном температурном поле, когда часть кольца крепи будет нагреваться, а вторая охлаждаться, кроме напряжений, возникающих в бетоне при нагревании или охлаждении крепи, появятся еще напряжения изгиба, растягивающиеся в нагреваемой части и сжимающиеся в охлаждаемой части ($\pm \sigma_{\text{изг}}$). Наибольшую опасность $\sigma_{\text{изг}}$ представляют для наружной поверхности бетонной рубашки в нагреваемой части, где они могут суммироваться с напряжениями от нагрева бетона.

Одновременное нагревание и охлаждение противоположных сторон крепи создает дополнительные напряжения в ней вследствие изменения давления горных пород. Поочередное нагревание и охлаждение бетона и породных стенок создают дополнительное давление на крепь со стороны породного массива. Величина этого давления может достичь 0,2–0,4 МПа. Наиболее опасны отрицательные температуры, когда промерзает бетон и замерзает вода на контактах тьюбинг–бетон и бетон–порода. В таких случаях возможно разрушение крепи [44].

4.2. ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ОТ ПОДЪЕМНЫХ СОСУДОВ НА СОСТОЯНИЕ КРЕПИ СТВОЛОВ

Вопрос о необходимости исследования влияния динамических процессов, возникающих в армировке шахтных стволов при движении подъемных сосудов, на состояние чугунной тьюбинговой крепи возник сравнительно недавно. В стволах, пройденных до 60-х годов и оборудованных деревянной армировкой со скипами грузоподъемностью до 10–12 т при скорости движения до 8 м/с, какого-либо влияния динамических процессов на крепь не проявлялось. Незначительная интенсивность подъемов, малая жесткость

применявшейся деревянной армировки и нежесткое крепление элементов армировки к тьюбингам в достаточной степени демпфировали динамические нагрузки. С увеличением единичной мощности предприятий грузоподъемности и скорость движения скипов возросли, вместо деревянной стали применять металлическую армировку, имеющую жесткое присоединение к тьюбингам. Наибольшее распространение получили расстрелы и проводники коробчатого типа.

Так, в 1978 г. на Четвертом Солигорском калийном руднике пущена в эксплуатацию скиповая подъемная установка с массой скипа 96 т при проектной скорости движения 14,4 м/с. После 1960 г. только в калийной промышленности было построено более 20 подъемных установок со скипами 40–50 т и скоростью движения 8–10 м/с.

Исследования [13], проведенные в стволах калийных рудников, показали, что при жесткой металлической армировке непосредственно на тьюбинг передается значительная часть (до 20%) динамической силы, возникающей при взаимодействии скипов с армировкой. Хотя этой силы недостаточно для механического разрушения тьюбингов, многократное воздействие ее на эластичные элементы гидроизоляции тьюбинговой крепи способствует раскрытию соединительных швов.

Причины возникновения динамических процессов. Динамические процессы в системе «подъемный сосуд – армировка» достаточно исследованы. Установлено, что причинами возникновения горизонтальных колебаний подъемного сосуда и появления динамических нагрузок на армировку, а через нее на крепь, являются: изменение жесткости направляющих проводников; отклонение проводников от вертикали вследствие износа или смещения ярусов армировки; износ направляющих башмаков и роликов; возникновение крутящего момента подъемного каната; смещение центра тяжести подъемного сосуда при загрузке; аэродинамический эффект при движении подъемного сосуда по стволу и разного рода дефекты подъемного сосуда и армировки. Многие исследователи считают, что решающее значение имеют лишь три первых, на устранение которых и должны быть направлены усилия эксплуатационного персонала.

Изменение жесткости проводников имеет периодический характер и связано с шагом армировки. В стволах на участках, закрепленных чугунными тьюбингами, наиболее распространен шаг армировки, равный 3–4 м. В точках крепления проводников к расстрелам значения жесткости армировки максимальны, между ярусами – минимальны как в лобовом, так и в боковом направлениях проводника. Жесткость проводников одного ствола изменяется в довольно широких пределах и не остается постоянной, а со временем, как правило, уменьшается вследствие коррозионного износа элементов. Так, при обследовании армировки ствола № 1 Первого Солигорского калийного рудника было установлено, что у некоторых элементов армировки за 10–12 лет эксплуатации коррозионный износ достиг 2,4–3,5 и до 6,5 мм. Естественно, что жесткость этих элементов да и всей конструкции стала значительно ниже проектной. Аналогичный износ элементов армировки отмечается практически во всех стволах калийных и соляных рудников.

Деревянная армировка характеризуется большими колебаниями жесткости, однако меньшие по сравнению с металлической армировкой абсо-

лютные значения жесткости ес, эластичность материала снижают отрицательное влияние динамических нагрузок на тубинговую крепь.

Отклонения направляющих проводников от вертикали и износ рабочих поверхностей жестких направляющих подъемных сосудов регламентируются Правилами безопасности, однако они не предусматривают различия в требованиях к подъемам, имеющим разные параметры. Одни и те же отклонения проводников, равный износ рабочих поверхностей направляющих устройств с увеличением массы движущегося подъемного сосуда и его скорости движения вызывают рост величин динамических сил и числа ударов скипа по проводникам.

Наибольшее влияние на характеристики динамического процесса оказывает скорость движения скипа. Так, при наладке подъемной установки ствола № 3 Четвертого Солигорского калийного рудника были проведены измерения параметров динамики движения скипа со скоростями 4, 7, 11 и 14,4 м/с. Число зафиксированных ударов скипа по армировке за один цикл подъема соответственно составляло: 3, 20, 51 и 96. Еще значительнее увеличение величины горизонтальных ускорений скипа. Максимальная динамическая сила в системе «скип-армировка» составила 137 кН, т.е. около 15% массы движущегося подъемного сосуда.

Виброперемещения тубингов. На калийных и соляных рудниках стволы, предназначенные для подъема полезного ископаемого, как правило, являются и воздухоподающими. В этом случае тубинги, на которые действуют динамические нагрузки, одновременно находятся и в неблагоприятных температурных условиях. Таким образом, температурному раскрытию соединительных швов могут способствовать динамические силы и, наоборот, температурное ослабление болтовых соединений создает благоприятные условия для проявления динамических сил. Однако если температурному воздействию подвергается одновременно вся тубинговая колонна или большая ее часть, то динамическая нагрузка передается на один-два тубинга (в зависимости от способа крепления расстрелов к тубингам). Обычно расстрелы крепят к средней части тубинга (средней полке или горизонтальному фланцу) или к вертикальным фланцам двух соседних тубингов. Динамическая сила передается в точке крепления расстрела.

Можно рассмотреть три схемы действия динамических сил на тубинг: в боковом и лобовом направлениях горизонтальной плоскости и параллельно оси проводника в вертикальной плоскости. Механизм действия динамических нагрузок на тубинги показан на рис. 57. Например, при ударе подъемного сосуда по проводнику между ярусами армировки проводник прогибается и поворачивает расстрел на некоторый угол. Расстрел, в свою очередь, стремится повернуть тубинг (см. рис. 57, а). Виброперемещения тубингов в горизонтальной плоскости вызываются динамическими нагрузками на проводник в лобовом и боковом направлениях. При действии динамической нагрузки в лобовом направлении расстрел стремится сместить тубинг к центру ствола, создавая дополнительные нагрузки на свинцовые прокладки вертикальных соединительных швов (см. рис. 57, б). При боковой динамической силе, наоборот, происходит выталкивание тубинга из кольца крепи, при этом появляется дополнительная нагрузка на болтовые соединения (см. рис. 57, а). Действие единичной динамической силы кратковременно, поэтому связи тубинга с соседними

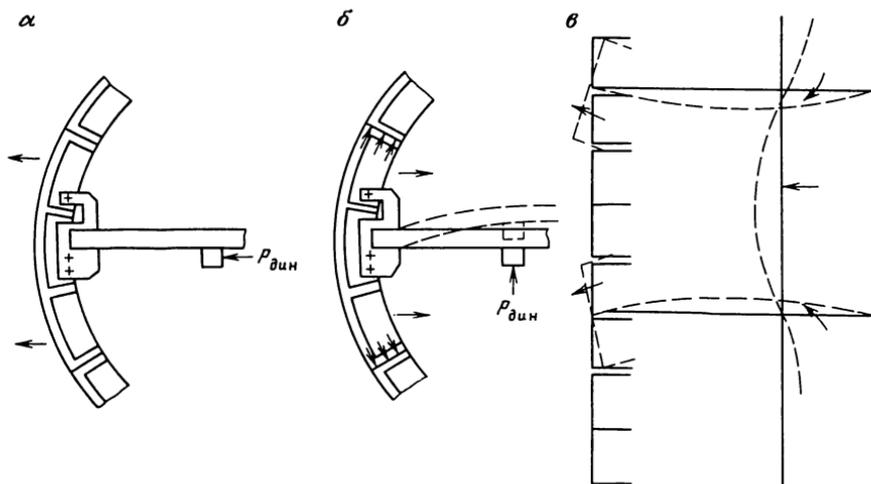


Рис. 57. Схемы виброперемещений тьюбингов при динамических нагрузках от подъемных сосудов

тьюбингами можно рассматривать как упругие, стремящиеся вернуть тьюбинг после «смещения» в первоначальное положение.

Прохождение подъемного сосуда вызывает не один удар. В каждый момент времени подъемный сосуд перекрывает несколько ярусов армировки, и, следовательно, может произойти несколько ударов, каждый из которых способен вызвать колебание тьюбинга. При этом каждое последующее колебание накладывается на предыдущее, если время колебания тьюбинга от одного удара больше времени между двумя соседними ударами, что зависит от скорости движения сосуда, шага армировки, расстояния между направляющими башмаками или роликоопорами. Экспериментально было установлено, что суммарное время колебания тьюбинга превышает время прохождения скипа мимо расстрела в 1,3–2,5 раза, т.е. тьюбинг начинает колебаться от динамических воздействий на армировку в соседних ярусах. Максимальная амплитуда колебаний тьюбингов составила 0,02 мм.

Хорошо известно на практике отрицательное воздействие динамических нагрузок и на состоянии бетонной крепи стволов. Особенно часто наблюдается разрушение гнезд заделки концов расстрелов в бетон.

Некоторые пути уменьшения динамических нагрузок и их влияния на крепь стволов. Исследования динамических процессов в системе «подъемный сосуд–армировка–тьюбинг» [13] выявили необходимость разработки средств и методов уменьшения величин динамических сил и их вредного влияния на чугунную тьюбинговую крепь. Наибольший эффект может быть получен от повышения точности установки направляющих проводников по вертикали, совершенствования конструкции упругих направляющих подъемных сосудов, конструкции и схем армировки. В ряде исследований показано, что величина динамических нагрузок обратно пропорциональна квадрату шага армировки, т.е. увеличением шага армировки (что дает снижение ее жесткости) можно снизить и динамические нагрузки на крепь. Такое решение принято для грузовых стволов № 3 и 4 Четвертого Солигор-

ского калийного рудника, где впервые в калийной промышленности шаг армировки равен 6 м.

Влияние периодического изменения жесткости проводников от яруса к ярусу может быть существенно уменьшено более рациональным расположением направляющих устройств на подъемном сосуде. Расстояние между верхними и нижними направляющими устройствами (башмаки, роликоопоры) должно быть кратно шагу армировки. С целью «сглаживания» изменения жесткости проводников могут быть установлены дополнительные направляющие башмаки (роликоопоры) на расстоянии полушага армировки от основных направляющих [13].

Полная изоляция тьюбинговой крепи от действия динамических сил системы «подъемный сосуд—армировка» может быть достигнута применением канатных направляющих, которые в шахтных стволах калийных и соляных рудников распространения пока не получили.

С целью уменьшения разрушения мест заделки расстрелов в бетонную крепь в последнее время стали отказываться от устройства лунок в бетоне. Крепление расстрелов производят с помощью анкеров, например типа УШС, закладываемых в бетонную крепь и окружающий массив горных пород.

4.3. КОРРОЗИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ КРЕПИ

В сложных горно-геологических условиях проходки и эксплуатации шахтных стволов калийных и соляных рудников особое внимание уделяется вопросам сохранения крепи в пригодном для эксплуатации состоянии на весь срок службы предприятия. И хотя контроль за состоянием тьюбинговой колонны, затьюбинговой части крепи регламентирован Правилами безопасности, принимаемые меры не всегда обеспечивают сохранность крепи стволов. Чаще всего причиной разрушения крепи является несоответствие качества материалов крепи конкретным условиям ее эксплуатации. Рассчитанная в основном на прочность крепь разрушается под воздействием различного сочетания химических и физико-механических факторов. Так, хорошо зарекомендовавший себя при креплении выработок, пройденных в карналлитовых породах, магнезиальный цемент непригоден, когда окружающие породы представлены каменной солью или сильвинитами. При воздействии растворов NaCl и KCl бетон, приготовленный на магнезиальном цементе, полностью разрушается через 2–3 года [39].

Наличие сложных по химическому составу высокоминерализованных рассолов (см. табл. 1) на всех калийных и соляных месторождениях — главная причина коррозионного разрушения бетона крепи стволов.

Очагами начала коррозии бетона служат всякого рода нарушения его сплошности: вкрапления кусков обвалившейся со стенок ствола породы, трещины, образовавшиеся при колебаниях температуры и других деформациях крепи. Около 85% коррозионных нарушений наблюдается на участках, прилегающих к технологическим швам бетонирования [23].

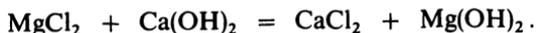
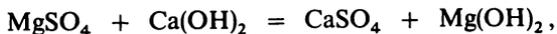
Свойства агрессивной среды, свойства и состав бетона весьма разнообразны. Поэтому для оценки характера коррозионного процесса разрушения бетона предложена классификация, определяющая по сумме ведущих признаков тот или иной вид коррозии.

К первому виду коррозии относятся процессы, при которых под действием жидких сред в бетоне происходит растворение и вынос компонентов цементного камня. Наиболее растворимым является гидрат окиси кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, который служит своеобразным регулятором в системе «цементный камень – вода». Под воздействием уголекислоты воздуха гидрат окиси кальция превращается в карбонат кальция CaCO_3 , который в виде белого налета можно наблюдать на поверхности крепи стволов. Когда из цементного камня удалится значительная часть гидрата окиси кальция, начинается гидролиз гидросиликатов и гидроалюминатов, затем начинается разрушение и других гидратов. В результате бетон теряет механическую прочность и разрушается. Особенно интенсивно эти процессы протекают при фильтрации воды через бетон или омывании цементного камня. С увеличением скорости движения воды процесс выщелачивания усиливается. Наличие в воде растворенной NaCl повышает растворимость $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и алюминатов кальция.

Повышение стойкости бетона против коррозии первого вида достигается применением более плотных бетонов, специальным уплотнением бетона при укладке, например с помощью вибраторов, сокращением числа швов бетонирования. Положительный эффект может дать использование пуццолановых и шлакопортландцементов [21]. Однако применение последних при креплении воздухоподающих шахтных стволов нежелательно из-за возможных попеременных замораживаний и оттаиваний части крепи при неудовлетворительной работе калориферных установок в зимнее время.

Ко второму виду коррозии относятся процессы химического взаимодействия веществ, содержащихся в воде, с компонентами цементного камня. Этот вид коррозии, как правило, возникает при воздействии на бетон растворов кислот и некоторых солей. Чем интенсивнее происходят обменные реакции, тем быстрее идет разрушение бетона.

Наибольшую опасность представляют соли магния, в основном сернокислый и хлористый магний (MgSO_4 и MgCl_2), присутствующие в природных рассолах почти всех калийных и соляных месторождений. Взаимодействие этих солей с гидратом окиси кальция может быть записано следующим образом:

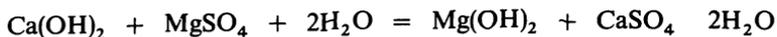


Образующийся при этом хлористый кальций CaCl_2 легко растворим и вымывается из бетона, а гидроксид магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$ выпадает в осадок и при незначительном поступлении воды может образовывать защитную пленку.

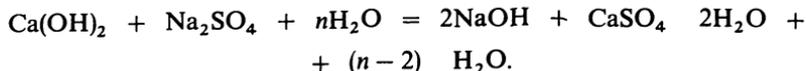
Если подземные воды одновременно с хлористым магнием содержат растворы хлористого натрия NaCl , хлористого калия KCl и сернокислого магния MgSO_4 , агрессивное воздействие MgCl_2 на бетон увеличивается. Такое сочетание характерно для подземных вод большинства калийных и соляных месторождений (см. табл. 1). Сульфат магния разрушает сили-

каты кальция и алюмосиликаты. При этом происходит образование сульфоалюмината магния или двойного силиката аммония. Из-за повышенного содержания кристаллизационной воды эти соединения вызывают вспучивание и растрескивание бетона.

При определенных условиях возможно образование гипса по реакции:



или



Образовавшийся гипс разбухает, увеличивается в объеме в 2-3 раза и тем самым также разрушает бетон.

В зависимости от состава подземных вод возможны и другие обменные реакции.

К третьему виду коррозии относятся процессы, связанные с накоплением и кристаллизацией солей в порах и капиллярах бетона. Соли являются или результатом обменных реакций (коррозия второго вида), или образуются вследствие испарения воды с внутренней поверхности крепи ствола. Выделение твердой фазы рассолов при испарении воды и рост кристаллов новообразований при химических взаимодействиях вызывают появление растягивающих усилий в стенках пор и капилляров, что и приводит к разрушению структуры бетона. В стволах калийных и соляных рудников наиболее распространенным является разрушение внутренней поверхности бетонной крепи при проникновении рассолов из закрепного пространства в ствол, чаще всего происходит кристаллизация каменной соли NaCl.

К этому же виду относится сульфатная коррозия. Прежде всего это образование гипса, трехсульфатного гидросульфоалюмината кальция $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 30\text{H}_2\text{O}$ и моносulfатного гидросульфоалюмината кальция $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Рост кристаллов этих солей, содержащих много кристаллизационной воды, вызывает значительное разрушение цементного камня и бетона.

Основным способом борьбы с этим видом коррозии служит применение плотных бетонов, сокращение швов бетонирования, нанесение защитных пленок на поверхность бетона и применение специальных сульфатостойких цементов.

В практике редко встречается коррозия того или иного вида обособленно от других. Обычно разрушение бетона идет под комплексным воздействием температурных изменений и различных видов коррозии одновременно. Однако всегда можно выделить преобладающее проявление какого-либо одного вида коррозии и проследить роль других. В соответствии с этим разрабатываются меры борьбы с коррозией, выбираются способы повышения долговечности крепи для данных конкретных условий, устанавливаются режимы эксплуатации.

Взаимодействие природных рассолов калийных и соляных месторождений с цементами в достаточной мере изучено и освещено в специальной

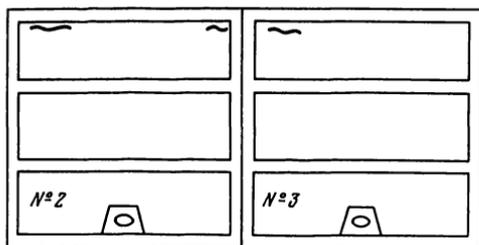
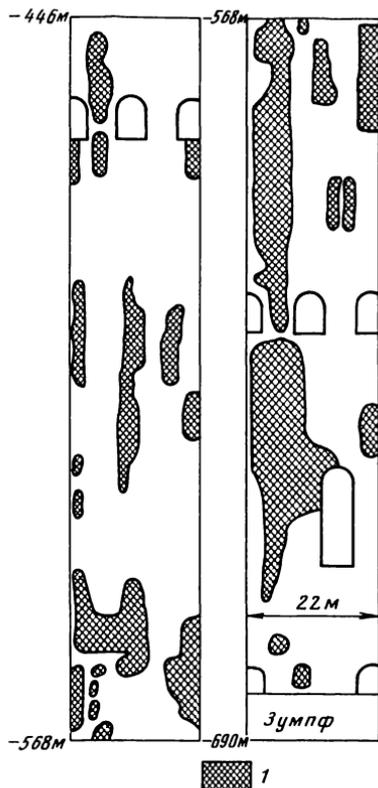


Рис. 58. Схема коррозионного разрушения тюбингов № 2 и 3 тюбингового кольца № 70 в стволе № 2 Первого Березниковского калийного рудника

Рис. 59. Схема коррозионного разрушения бетонной крепи ствола № 2 Второго Солигорского калийного рудника:

1—участки с глубиной разрушения бетона более 3 см



технической литературе [21, 39]. Отмечено, что наибольшему разрушению подвержен бетон в предконтактных зонах, где природные рассолы имеют максимальную минерализацию.

Коррозионное разрушение бетона крепи наблюдается практически во всех стволах. Бетон затюбинговой части крепи, контактирующий с подземными водами и высокоминерализованными рассолами, со временем приобретает «кашеобразную консистенцию». Подобное состояние бетона наблюдалось, например, в стволе № 1 Первого Березниковского калийного рудника при детальном обследовании крепи перед ремонтно-восстановительными работами.

При тампонаже зоны тюбинговых колец № 101–68 в стволе № 2 этого же рудника за тюбингами кольца № 70 был обнаружен разложившийся на контакте с породой бетон. Толщина сохранившейся части бетона со стороны тюбинговой колонны составляла в отдельных случаях всего 40–50 мм. Поводом для ремонта послужило появление течи через стенки тюбингов № 2 и 3 в тюбинговом кольце № 70. Характер повреждения тюбингов показан на рис. 58. За несколько лет места выхода рассолов приобрели форму горизонтальных трещин длиной до 170 и шириной до 4 мм. Была предпринята попытка произвести ремонт поврежденных тюбингов. Предусматривалось нагнетание цементного раствора через тюбинги соседних колец крепи с тем, чтобы остановить выход рассола, а затем заварить трещины в тюбингах. При бурении шпуров за соседними тюбинговыми кольцами № 67, 87, 93, 95, 99, 100 и 101 был обнаружен вязкий или совсем разложившийся бетон, в отдельных случаях отмечался выход пластичного

№ пробы	рН	Плотность, г/см ³	Солевой состав, г/л								
			KCl	NaCl	CaCl ₂	MgCl ₂	CaSO ₄	CaCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂	MgSO ₄	Mg(HCO ₃) ₂
1	8,2	1,128	0,663	176,49	—	3,928	10,927	—	—	2,89	0,19
2	8,56	1,109	1,058	140,69	4,245	1,837	1,661	0,03	0,057	—	—

битума и рассола. Характеристика проб рассолов, отобранных в стволе, приведена в табл. 16.

Нагнетание цементного раствора производилось под давлением до 2,3 МПа, а за тьюбинговыми кольцами в непосредственной близости от кольца № 70 давление нагнетания не превышало 1 МПа. Общий расход тампонажного раствора (тьюбинговые кольца № 99–67) составил около 28 м³, однако течь рассола ликвидирована не была. Вследствие этого заварить места разрушения стенок тьюбингов не удалось.

В 1976 г. при обследовании состояния бетона за тьюбингами ствола № 3 Третьего Березниковского калийного рудника в районе тьюбингового кольца № 280 (глубина 302 м) был обнаружен участок «мокрого слабого бетона». До этого ствол находился в эксплуатации всего около 5 лет.

Разрушение бетона кристаллизацией солей чаще возникает в стволе на внутренней стороне бетонной крепи. Условия для этого создаются, когда с воздухом в ствол попадают соляная пыль и влага. Образуется агрессивная среда, под воздействием которой и начинается процесс коррозии бетона и тьюбингов. Источником пыли служит просыпь из скипов (воздухоподающие стволы) и вынос из рудника тонкодисперсной пыли (вентиляционные стволы). Источниками влаги являются просачивание воды через крепь и конденсация влаги из воздуха, чему способствуют значительные колебания температуры воздушного потока и, следовательно, элементов крепи и армировки ствола. Характерным примером может служить разрушение бетонной крепи в стволах Солигорских калийных рудников, где глубина разрушенного слоя на внутренней поверхности достигает 10–15 см и со стороны породной стенки до 5 см, а площадь разрушенной коррозией крепи в одном стволе до 1000 м². Так, в стволе № 2 Второго Солигорского калийного рудника только за период с августа 1976 г. по август 1977 г. суммарная площадь пораженных участков возросла в 1,8 раза и достигла 600 м². Распределение участков коррозии на бетонной крепи этого ствола показано на рис. 59. Еще более интенсивно, несмотря на меньший срок эксплуатации, идет процесс разрушения бетона крепи ствола № 2 Третьего Солигорского калийного рудника.

Ствол «Новый» Стебниковского калийного рудника был закреплен до глубины 280 м железобетонными тьюбингами ВНИИОМШСа. В условиях влажного климата района в воздухоподающем стволе, оборудованном скиповым подъемом, создались благоприятные условия для развития процессов коррозии. Накопление пыли и влаги на фланцах тьюбингов способствовало интенсивному разрушению бетона. При обследовании крепи

ствола были установлены разрушение и отслоение защитного слоя бетона от арматурного каркаса тюбингов, трещины в бетоне, обнажение арматуры тюбингов. В результате ослабления произошли значительные деформации крепи ствола, в отдельных местах смещение стенок ствола достигло 100–110 мм. В 1970 г. железобетонные тюбинги были демонтированы, ствол закреплен чугунными тюбингами Метростроя.

Интенсивность коррозионного процесса разрушения бетона выше в воздухоподающих стволах, где температура воздушного потока изменяется в широком диапазоне (см. подраздел 4.1). Признаком начавшегося коррозионного разрушения крепи обычно служат появление очагов выкрашивания цементного камня, обнажения и осыпи инертных наполнителей бетона, иногда вспучивание поверхности крепи. При химических анализах проб бетона отмечается повышение содержания ионов Mg^{++} , Cl^- и SO_4^- .

Особую опасность для бетонной крепи в зимнее время представляют отрицательные температуры. Многократное замораживание и оттаивание, а также повторное насыщение бетона водой приводят к появлению остаточных деформаций, накопление которых является одной из главных причин разрушения бетонов при циклических действиях среды. Процесс разрушения бетона при замораживании подобен разрушению при кристаллизации солей и его условно можно разделить на две стадии. Первая стадия связана с образованием в структуре бетона микро- и макротрещин в результате возникновения давления в порах и капиллярах бетона при переходе воды в лед, перемещения воды при замораживании. Этому способствуют напряжения, возникающие в бетоне вследствие различия значений коэффициентов линейного расширения цементного камня и инертных заполнителей. Так, затвердевший портландцемент имеет коэффициент линейного расширения $(11,2-12,6) \cdot 10^{-6} K^{-1}$, а гранитный щебень, применявшийся при креплении стволов на Верхнекамском калийном месторождении, $-(7,9-8,1) \cdot 10^{-6} K^{-1}$.

Вторая стадия разрушения бетона связана с замерзанием и повышением давления воды в образовавшихся трещинах. Дальнейшая смена замораживания и оттаивания усугубляет разрушение и в конечном счете приводит к практически полной потере бетоном технических свойств (уменьшение модуля упругости, растрескивание, шелушение). Аналогичные разрушения происходят в бетоне и при изменениях его температуры в интервале отрицательных температур без перехода через $0^\circ C$.

С появлением трещин в бетоне в результате действия температурных напряжений вследствие увеличения площади контакта разрушающее воздействие на бетон природных рассолов возрастает.

С целью снижения коррозионного разрушения бетона, кроме использования для его приготовления насыщенных рассолов вместо воды и применения специальных стойких по отношению к коррозии марок цементов и инертных заполнителей, прибегают к защите поверхности бетонной крепи, исключаяющей прямой контакт бетона с подземными водами. Опыт применения защитных гидроизоляционных покрытий бетонной крепи в шахтном строительстве весьма незначителен и практически отсутствует в соляной и калийной промышленности [35]. Ведутся исследовательские работы по применению битумных, полимерных, битумно-латексных и рулонных покрытий. Применение защитных покрытий бетонной крепи со

стороны породного массива технологически трудно осуществимо. Нанесение покрытий на внутреннюю поверхность бетонной крепи делает ее достаточно стойкой по отношению к агрессивной среде и против физических воздействий (температурные колебания, повреждение кусками просыпающейся породы и т. д.).

Лучшие результаты достигаются при возведении многослойных крепей, когда гидроизоляционное покрытие возводится между двумя слоями бетона. Положительные результаты использования рулонных материалов в двухслойной бетонной крепи получены при креплении шахтных стволов калийных рудников.

Некоторые рекомендации по свойствам и технологии устройства защитных покрытий приведены в работах [16, 25, 26, 35].

Иногда с целью защиты внутренней поверхности бетонной крепи от коррозионного разрушения применяют облицовку специальным кирпичом. Такая защита бетона выполнена в стволах Первого Солигорского калийного рудника.

Восстановление разрушенной крепи в затюбинговом пространстве обычно производят нагнетанием тампонажного раствора, что вместе с восстановлением бетонной рубашки обеспечивает упрочнение горных пород вокруг ствола. За счет заполнения породных трещин создаются более благоприятные гидрогеологические условия эксплуатации восстановленной крепи ствола (см. подразделы 2.2 и 3.1.6). В практике проведения таких работ известны случаи, когда расход тампонажного раствора составлял несколько сотен кубометров, расход цемента достигал сотен тонн. Так, при ремонтно-восстановительных работах в стволе № 2 Первого Березниковского калийного рудника в 1948 г. расход цемента составил 83,4 т; с 1935 по 1948 гг. при периодических ремонтах крепи ствола № 2 Первого Соликамского калийного рудника было израсходовано 1100 т магнезиального цемента.

При восстановлении внутренней поверхности бетонной крепи стволов обычно сначала производят зачистку поверхности бетона на поврежденном участке отбойными молотками, промывают водой и затем наносят слой набрызгбетона.

Кирпичная крепь также подвержена коррозионному разрушению. Под действием агрессивных факторов среды происходит разрушение раствора в швах кладки, разрушение самого кирпича. В стволах № 1 и 2 Первого Соликамского и № 2 Первого Березниковского калийных рудников за 50 лет эксплуатации глубина каверн в кирпичной кладке достигла 10–15 см. Кирпичную крепь защищают так же, как и бетонную.

Чугун обладает высокой стойкостью против коррозии, поэтому защита чугунных тюбингов от коррозии, как правило, не применяется. Однако 50-летний опыт эксплуатации тюбинговой крепи в стволах калийных рудников показал необходимость проведения такой защиты, особенно на рудниках, расположенных в районах с влажным климатом. Так в шахтных стволах Солигорских калийных рудников за 10–15-летний период эксплуатации коррозия тюбингов достигла больших размеров, чем на калийных рудниках Урала. При обследовании шахтных стволов Первого Солигорского рудника установлено, что тюбинги (горизонтальные фланцы, приливы и т. п.) покрыты пластовой ржавчиной толщиной до 10 мм [27].

В этих же стволах скорость коррозии металлической армировки, защищенной перхлорвиниловыми составами, достигла 0,25 мм/год.

Необходимость защиты чугунных тубингов показана и в других областях применения их, например, при креплении тоннелей метрополитенов [24], где скорости коррозии составляют 0,3–0,5 мм/год. Аналогичное развитие коррозионных процессов наблюдается в стволах на Прикарпатских калийных рудниках.

Наиболее надежная защита тубингов от коррозии обеспечивается при покрытии их антикоррозийными составами после пескоструйной обработки. Такую защиту целесообразно проводить на поверхности до спуска тубингов в ствол. В условиях шахтного ствола эффективно могут быть применены покрытия на основе полимерных материалов с предварительной очисткой тубингов от ржавчины с использованием грунтов-преобразователей. Качество такого покрытия в значительной мере зависит от полноты очистки поверхности тубингов, от соледержащих продуктов коррозии.

Исследованиями, проведенными в Калушском филиале ВНИИГалургии в лабораторных, опытно-промышленных и натуральных условиях, показана возможность успешной защиты металлоконструкций в шахтных стволах покрытиями на основе невысыхающих красок (консистентных смазок) и оксидно-перхлорвиниловых эмалей.

Для защиты тубингов рекомендуется использовать грунтовки-преобразователи ржавчины ВА-013ЖТ (ТУ 32-ЦТВР-426-75) и ВА-0112 (ТУ 6-10-1234-72), изученные и опробованные при защите тубинговых обделок метрополитенов [24].

Аналогичные способы защиты могут применяться и в стволах соляных рудников.

4.4. ПРИМЕРЫ МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ КРЕПИ

Условия проходки и эксплуатации шахтных стволов отличаются широким разнообразием, что затрудняет создание строгой классификации причин разрушения крепи. Попытка классифицировать случаи повреждения тубинговой крепи была сделана Р. Бахштремом в 1962 г. Проанализировав повреждения крепи 49 шахтных стволов, он выделил следующие группы причин повреждения тубингов: сдвиг (срез) крепи, раздавливание тубингов при осевом сжатии, разрыв их при растяжении тубинговой колонны, разрушение при радиальном сжатии крепи, низкое качество изготовления тубингов. Взяв за основу характер действия сил, разрушивших крепь, все известные случаи повреждения тубинговой крепи в стволах соляных и калийных рудников нашей страны можно объединить в две группы. К первой группе относятся случаи, когда разрушающие силы действовали в осевом направлении (растяжение, сжатие колонны), ко второй, когда разрушение вызвано действием радиальных сил.

1. В слабых, неустойчивых и сильнообводненных породах надсолевых толщ уже при строительстве стволов нередки случаи разрушения крепи. Одной из причин является неравномерное замораживание (оттаивание) горных пород по высоте и окружности стволов. В отдельных случаях этому способствует аварийный выход из строя ряда замораживающих колонок, задержки с возведением постоянной крепи, пучение слабых глинистых пород. Увеличение объема замерзающих пород вызывает иногда подъем устья ствола, что создает в крепи растягивающие усилия. Так, при проходке ствола № 1 Первого Березниковского калийного рудника было зафиксировано поднятие устья по трем реперам на 10,4, 11,1 и 11,4 см [39]. Известен случай, когда пучение поверхности при проходке ствола способом замораживания составило 40,6 см. Возможны и другие причины появления растягивающих крепь усилий, например, оседание комплекса опорного венца.

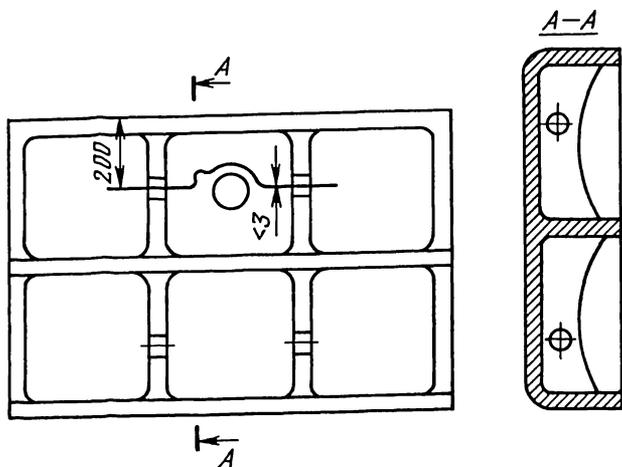


Рис. 60. Схема разрушения тьюбинга № 6 тьюбингового кольца № 155 в стволе № 1 Четвертого Солигорского калийного рудника

При осмотре состояния крепи стволов № 1 и 2 Первого Березниковского калийного рудника в 1933–1934 гг. было зафиксировано более 40 трещин, расположенных в основном на фланцах против болтовых отверстий. Главной причиной появления трещин послужили деформации тьюбинговой колонны при оттаивании ледопородного ограждения.

В ноябре 1973 г. в стволе № 1 Четвертого Солигорского калийного рудника в тьюбингах № 3–8 тьюбингового кольца № 155 (глубина 164 м) были обнаружены горизонтальные трещины в вертикальных ребрах жесткости и в спинке тьюбинга № 6 с раскрытием 3 мм (рис. 60).

В сентябре 1974 г. при осмотре крепи ствола № 3 этого же рудника в тьюбинговых кольцах № 140–144 (глубина 148,5–152,5 м) были обнаружены горизонтальные разрывы спинок, ребер и фланцев тьюбингов с раскрытием до 12 мм (рис. 61). Позднее на этом участке были обнаружены горизонтальные трещины и в бетонной рубашке. Пикотажный шов, расположенный ниже места разрыва крепи на глубине 154,8 м, оказался деформированным и имел разную высоту (от 10 до 36 мм), меньший размер находился со стороны разрыва тьюбингов. Появление разрывов предшествовал аварийный выход из строя 19 замораживающих колонок. Ход работ по возведению крепи в стволе показан на рис. 7.

В обоих случаях поврежденные кольца крепи были заменены.

2. Применение высоких давлений при нагнетании тампонажного раствора в закрепное пространство, недостаточный контроль за поглощением тампонажного материала иногда приводят к появлению деформаций и разрывов крепи вследствие возникновения неравномерного давления на крепь по окружности ствола. Такой случай имел место при проведении тампонажных работ на стволе № 2 Второго Солигорского калийного рудника в 1965 г. Деформация тьюбинговых колец произошла на глубине 45–118 м. Изменение радиусов крепи составило от –106 до +60 мм. Трещин в тьюбингах обнаружено не было.

В феврале 1970 г. в стволе № 1 Второго Березниковского калийного рудника производилось нагнетание тампонажного раствора под давлением до 2 МПа через тьюбинг № 8 (серия К-50) кольца № 119. Через 3,5 ч после окончания работ были обнаружены горизонтальные трещины в нижней части тьюбинга № 10, которые еще через 3 ч достигли раскрытия на вертикальных ребрах в 50–60 мм. Нижняя часть спинки тьюбинга сместилась внутрь ствола, при этом появились сквозные трещины на вертикальных флангах в местах болтовых соединений тьюбингов № 10 и 11. Общий сдвиг тьюбингов № 10 и 11 в ствол достиг 60 мм. Причиной поломки тьюбингов было кратковременное превышение давления нагнетания против допустимого вследствие недостаточного контроля.

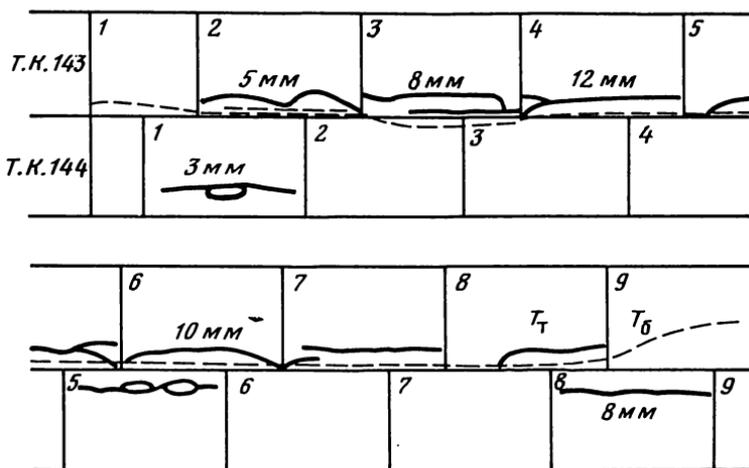


Рис. 61. Схема разрушения тубинговых колец № 143 и 144 в стволе № 3 Четвертого Солигорского калийного рудника:

T_T и T_6 – трещины соответственно в тубингах и в бетоне; 1–9 – номера тубингов в кольце

Особую группу составляют случаи, когда основной причиной разрушения являлось низкое качество тубингов, хотя действовавшие силы не превышали допустимых. При производстве тампонажных работ в марте 1974 г. в стволе № 1 Четвертого Солигорского калийного рудника произошло разрушение спинки тубинга № 2 кольца № 151. В кессонной части тубинга образовалось отверстие размером 43×39 см. Давление нагнетания не превышало 2,4 МПа. Одновременно были обнаружены трещины в тубингах колец крепи № 141–144 и 149–151. Позднее была разрушена спинка тубинга № 11 кольца № 150. Непосредственной причиной разрушения тубинга № 2 в кольце № 151 была малая (до 19 мм) толщина спинки вместо проектной 30 ± 3 мм. Характер разрушения тубингов показан на рис. 62.

В практике строительства шахтных стволов на калийных и соляных рудниках есть примеры, когда несоблюдение требований к качеству изготовления тубингов было причиной возникновения аварий во время проходки и эксплуатации стволов, что еще раз подтверждает необходимость ведения тщательного контроля за качеством тубингов как при приемке их на заводе-изготовителе, так и непосредственно перед установкой в ствол.

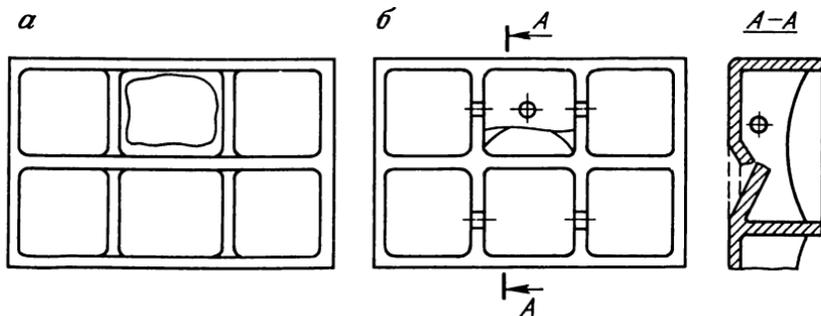


Рис. 62. Схема разрушения крепи в стволе № 1 Четвертого Солигорского калийного рудника: а – тубинга № 2 тубингового кольца № 151; б – тубинга № 11 тубингового кольца № 150

№ тюбингово-го кольца	Толщина спинки тюбинга (мм) при номере тюбинга в кольце														Число тюбингов с толщиной спинки менее допустимой
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
109	24	25	26	29	21	30	22	25	31	28	25	25	27	24	9
129	27	26	27	23	30	20	24	25	26	27	26	26	23	26	10
130	27	24	27	24	26	26	24	25	31	25	26	26	24	26	11
133	26	27	23	25	26	24	23	23	26	25	25	27	27	23	11
140	25	27	28	27	24	29	27	25	24	27	26	26	29	26	7
147	27	27	25	28	24	26	28	24	25	26	27	24	26	27	8
149	27	23	24	28	24	30	25	27	25	26	26	24	26	23	9

При расследовании причин появления трещин в тюбингах тюбинговых колец № 141–144, 149–151 и 155 (см. рис. 60) ствола № 1, тюбинговых колец № 140–144 (см. рис. 61) ствола № 3 и разрушения тюбинга № 2 кольца № 151 (см. рис. 62, а) ствола № 1 Четвертого Солигорского калийного рудника в 1973–1974 гг. партия тюбингов была подвергнута испытаниям на механическую прочность и химический состав чугуна. Толщина спинок тюбингов определялась ультразвуковым дефектоскопом. При проверке более 2600 тюбингов с проектной толщиной спинки $30 \pm \pm 3$ мм в 877 случаях фактическая толщина была в пределах от 20 до 26 мм. Часть результатов приведена в табл. 17.

На химический анализ были взяты пробы из 24 тюбингов. Фактическое содержание компонентов (в %) составило: углерода – 3,35–2,65; серы – 0,12–0,06; фосфора – 0,15–0,06; кремния – 2,74–1,20; марганца – 0,93–0,31; хрома – 0,12–0,03; никеля – 0,09–0,02.

Испытания на растяжение показали, что временное сопротивление разрыву составляет 69–210 МПа.

Таким образом, низкое качество изготовления тюбингов и отсутствие контроля при приемке тюбингов на заводе и строительной площадке привели к аварийному разрушению крепи в стволах. При ликвидации создавшегося аварийного положения эти участки были перекреплены, что значительно увеличило сроки строительства стволов и предприятия в целом.

Подобные случаи неединичны. В технической литературе описаны примеры разрушения крепи шахтных стволов из-за низкого качества изготовления тюбингов. Так, на калийной шахте «Бутлер» в двух соседних кольцах тюбинговой колонны на глубине 345 м были разрушены несколько тюбингов. В образовавшийся пролом хлынул поток воды с дебитом около 200 м³ [3]. При расследовании обстоятельств и причин аварии установлено наличие литейного брака – раковины, пористость.

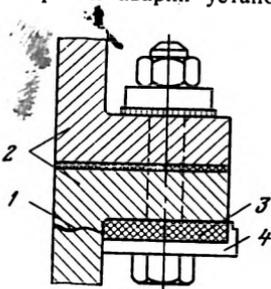


Рис. 63. Схема герметизации трещины в тюбинге:
1 – трещина; 2 – чугунные тюбинги; 3 – резиновая (каучуковая) прокладка; 4 – прижимная накладка

Кроме того, было отмечено отклонение от допустимых норм при механической обработке вертикальных фланцев.

В одном из 43 обследованных Р. Бахштремом стволов также было отмечено разрушение крепи из-за низкого качества изготовления тубингов.

Разрушенные тубинги, как правило, демонтируют. Однако проведение работ по демонтажу разрушенных и установке на их место новых тубингов возможно лишь в том случае, если подготовительными мероприятиями обеспечена защита ствола на момент замены тубингов от прорыва подземных вод или деформирования крепи. При невозможности имеющимися техническими средствами обеспечить такую защиту разрушенные тубинги не демонтируют. Поврежденный участок крепи защищают, либо возводя вторую (внутреннюю) тубинговую колонну, либо металлическую обечайку, что приводит к уменьшению сечения ствола.

В некоторых случаях производят зачеканку трещин свинцом, заваривают или заполняют специальными замазками на основе эпоксидных смол. Мелкие трещины герметизируют резиновыми накладками (рис. 63).

Отдельную группу составляют случаи разрушения бетонной или кирпичной крепи стволов ниже тубинговой колонны. Чаще всего это происходит вследствие возникновения односторонних нагрузок. Причиной появления таких нагрузок на крепь ствола может быть пересечение стволом пластов негоризонтального залегания, пучение отдельных пластов, например глины, деформации ползучести соляных или солосодержащих пород, изменение характера работы крепи на сопряжениях с околоствольными выработками и камерами. Например, бетонная крепь ствола «Главный» Калушского рудника им. 50-летия Октября за 10 лет эксплуатации вследствие пластической деформации соленосной глины (зубера) на сопряжении с гор. + 140 м (глубина 175 м) была деформирована и разрушена. Смещение стенок крепи ствола достигло 200 мм, что сделало невозможным дальнейшую эксплуатацию клетового подъема, в результате чего ствол был остановлен для перекрепления этого участка.

По аналогичной причине произошла деформация крепи ствола № 2 Второго Березниковского калийного рудника в каменной соли на участке сопряжения с камерой дозатора на глубине 440 м. В месте сопряжения крепи ствола с крепью камеры произошло растрескивание бетона с выкалыванием кусков бетона внутрь ствола.

Через 6 лет после окончания проходки ствола № 3 Третьего Березниковского рудника бетонная крепь в соляных породах на участке с 435 до 470 м была раздвлена настолько, что перемещение людей по стволу стало небезопасным. Разрушение крепи произошло вследствие «текучести» соляного массива и смещения центра опалубки, допущенного при бетонировании. Последнее привело к тому, что при проектной толщине бетонной крепи 500 мм на отдельных участках в диаметральных точках толщина крепи составляла порядка 200 и 800 мм, это ухудшило условия работы крепи и ускорило ее разрушение. Характер разрушения бетона показан на рис. 64. При обследовании и проведении ремонта крепи было установлено, что за северо-восточной, восточной и юго-восточной стенками крепи между бетоном и породой образовались пустоты, гнезда заделки расстрелов в бетон разрушились. В отдельных случаях в радиальном направлении ширина пустот достигла 500–700 мм. Причиной образования пустот послужили неучтенные ранее водопритоки.

Через 5 лет эксплуатации произошло разрушение бетонной крепи толщиной 600 мм в интервале глубин 808–815 м на стволе № 1 Четвертого Солигорского калийного рудника. Причиной разрушения явилась недостаточная прочность крепи в условиях интенсивного проявления деформаций ползучести соляного массива. Характер разрушения и способ восстановления поврежденного участка крепи показаны на рис. 65. Участок разрушенного бетона был тщательно очищен от обломков бетона и пыли, после чего по сетке размером 0,5 × 0,5 м были установлены анкеры длиной 1,8 м, увязанные между собой проволокой диаметром 4 мм. На анкеры был укреплен металлический лист $\delta = 6$ мм, служивший опалубкой. Перед бетонированием поверхность старого бетона была повторно очищена и увлажнена.

В последний период в других горнорудных отраслях все большее применение находит восстановление бетонных крепей шахтных стволов набрызгбетоном [8, 26, 35]. В стволах калийных и соляных рудников этот способ пока не получил применения.

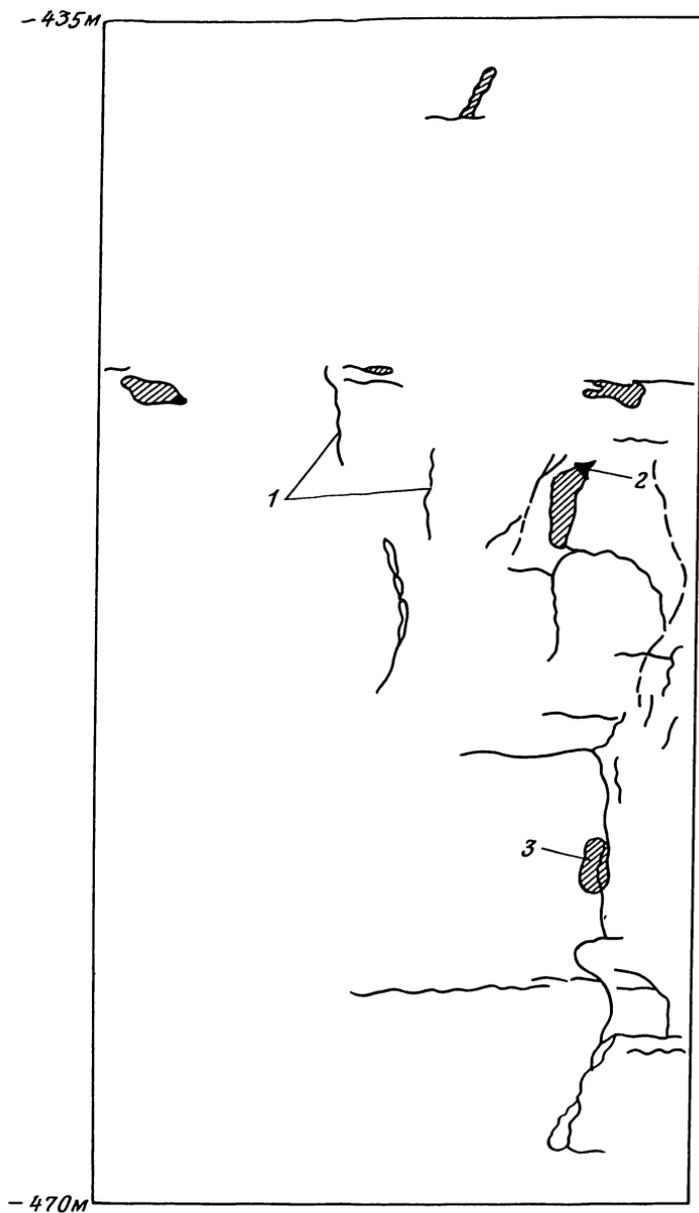


Рис. 64. Схема разрушения бетонной крепи в стволе № 3 Третьего Березниковского калийного рудника:
1 — трещины; 2 — сквозные вывалы; 3 — отслоение бетона (заколы)

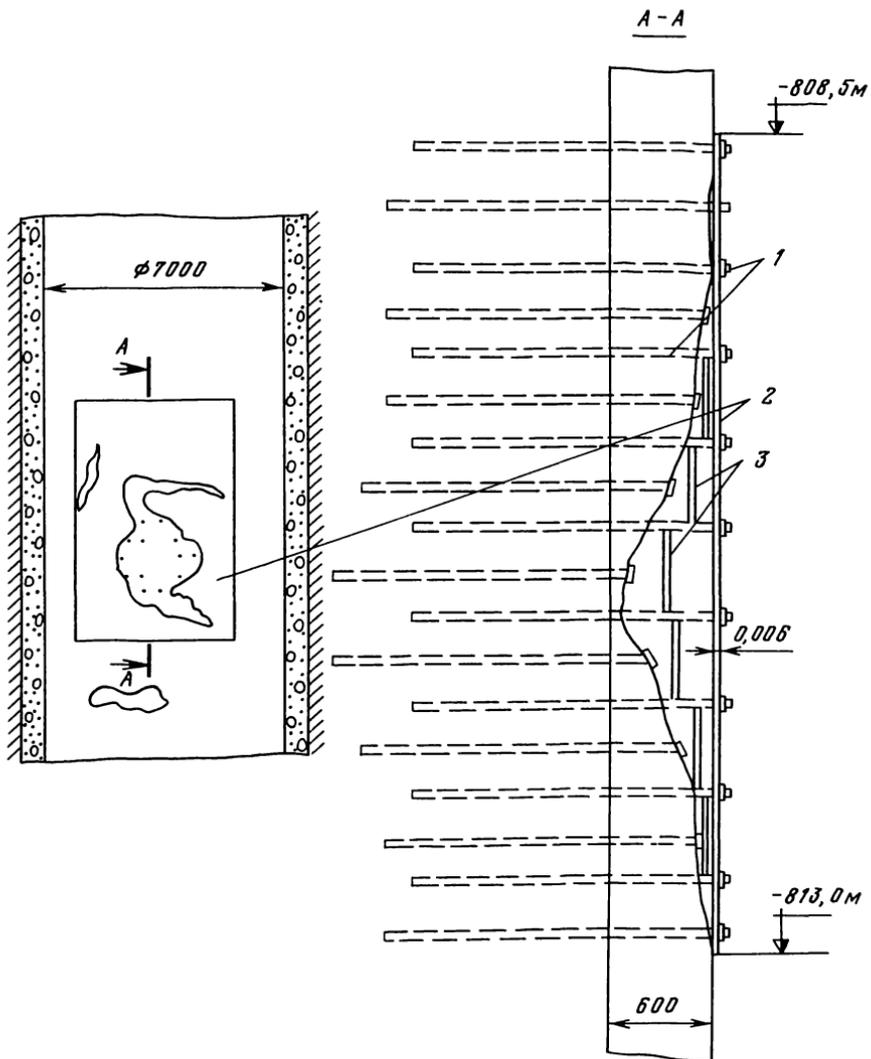


Рис. 65. Схема разрушения и способ восстановления бетонной крепи в стволе № 1 Четвертого Солигорского калийного рудника:

1 – анкеры; 2 – опалубка; 3 – проволока диаметром более 4 мм по сетке размером 0,3 м × 0,3 м

4.5. ПРИМЕРЫ НАРУШЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ КРЕПИ

Эксплуатационный период для водонепроницаемой крепи на участке проходки ствола через обводненные породы начинается значительно раньше окончания проходки, до сдачи готового ствола в эксплуатацию. После возведения гидроизоляционных устройств (кейлькранцев, диафрагм и т.п.) и перевода замораживающей

установки на режим пассивного поддержания или оттаивания ледопородного ограждения крепь начинает все больше испытывать воздействие гидростатических нагрузок. Нередки случаи, когда из-за недостаточной промороженности околоствольных пород водопритоки через крепь или по закрепному пространству появляются еще до окончания возведения водонепроницаемой крепи. В таких случаях, кроме мер по улучшению работы замораживающей станции, прибегают к устройству всякого рода гидроизоляционных устройств временного действия с целью перехвата воды и создания условий без водопритока закончить возведение водопроницаемой крепи.

При креплении ствола № 3 Второго Березниковского калийного рудника остановить приток воды по закрепному пространству на время возведения кейлькранцев удалось лишь после того, как за тубинговыми кольцами № 268 и 274 (глубина 292 и 298 м) был сделан битумный пояс высотой 0,35–0,50 м. Для уменьшения объема битума зазор между породной стенкой и тубингами был уменьшен с 0,5 до 0,25–0,30 м. Однако остановить водоприток удается не всегда. Так, в стволе № 1 Четвертого Солигорского рудника с целью герметизации закрепного пространства был устроен замок из бентонитовой глины (глубина 242,5 м). Водоприток через швы тубинговой колонны, несмотря на предпринимаемые меры (тампонаж, чеканка швов, подтяжка болтовых соединений), ликвидировать не удалось. Возведение кейлькранцев производилось при общем водопритоке в ствол до 6 м³/ч.

При строительстве стволов Первого Солигорского калийного рудника через 8–9 мес после прекращения процесса пассивного замораживания началось интенсивное поступление воды через тубинговую крепь. Водопритоки достигали 130 м³/сут. При этом через соединительные швы поступало 40–50% воды, через пикотажные швы – 25–30%, через болтовые соединения – 35–20%. Проходку стволов пришлось приостановить. С целью ликвидации водопритоков были вынуждены произвести чеканку швов, подтяжку болтовых соединений и нагнетание цементного раствора состава цемент : вода (1 : 1) с добавлением 3% жидкого стекла. Расход раствора по стволу № 3 составил 600 м³.

Несмотря на незначительные остаточные водопритоки при сдаче законченных строительством стволов (см. табл. 14), с началом эксплуатации во многих случаях отмечается появление водопритоков, достигающих иногда 30–40 м³/сут. Появление их является следствием окончательного оттаивания пород, некоторого перераспределения напряжений в околоствольном массиве, характеризующего переходный период от строительства к эксплуатационному режиму ствола. Со временем вследствие проведения работ по водоподавлению и частично естественной кольматации водопроводящих каналов достигают снижения водопритоков до допустимого уровня. Характерно в этом плане изменение водопритоков в первые два года эксплуатации ствола № 2 Второго Березниковского калийного рудника (табл. 18).

Изменение режима эксплуатации ствола (перевод из вентиляционного в воздухоподающий) может также привести к появлению водопритоков. Так, ствол № 3 Первого Березниковского рудника, построенный в 1936 г., 29 лет эксплуатировался как вентиляционный. Крепь оставалась герметичной, необходимости проведения каких-либо работ по водоподавлению не возникало. После перевода ствола в декабре 1965 г. в воздухоподающий состояние крепи резко изменилось. Уже в июне 1966 г. на глубине 140–150 м появилась течь с дебитом 5 л/мин. В мае 1967 г. на глубине

Таблица 18

Водоприток в ствол (Q), м ³ /сут	Число дней в году с водопритоком Q, м ³ /сут	
	первый год эксплуатации	второй год эксплуатации
4,8–10	248	77
10–15	149	14
15–20	97	3
20–30	42	0
> 30	15	0

139 м появилась сильная течь с дебитом более 20 м³/сут. Ствол был остановлен для ремонта крепи, во время которого в закрепное пространство тюбинговых колец № 82–99 (глубина 140–165 м) было закачено 24 м³ тампонажного раствора.

При эксплуатации стволов нередки появления водопритоков через тюбинговую колонну, что разрушающе действует на крепь: за крепью образуются размывы и пустоты, опасные для устойчивости крепи ствола. Размеры пустот быстро увеличиваются при наличии агрессивных подземных вод, что особенно опасно для стволов калийных и соляных рудников, проходимых в легкорастворимых и размываемых горных породах.

В тех случаях, когда средствами уплотнения тюбинговой крепи (чеканка швов, подтяжка болтов и т. п.) ликвидировать течь не удастся, производят тампонаж за тюбингового пространства. В основном применяют цементные и цементно-песчаные тампонажные растворы. В отдельных случаях вместо цементных растворов производят нагнетание бентонитов или битумов. Так, битумные завесы были выполнены в стволе «Восточный» (см. приложение) на отметках 47 и 75 м, на Втором Березниковском калийном руднике в стволе № 1 за тюбинговым кольцом № 280, в стволе № 2 за тюбинговыми кольцами № 266, 267, 297, в стволе № 3 Третьего Березниковского калийного рудника за тюбинговыми кольцами № 339, 341, 364, 366, 371 и 373. На некоторых стволах для подавления водопритоков проводилась так называемая битумизация, целью которой является создание из битума своеобразных экранов (рубашек) вокруг бетонной крепи ствола. Впервые битумизация как средство борьбы с водопритокотом на калийном месторождении была применена в 1947–1949 гг. на стволе «Сильвин» Калушского рудника. Водоприток в ствол с 75 м³/сут был снижен до 1,5 м³/сут и за 30 лет последующей эксплуатации увеличился всего до 2,3–2,8 м³/сут. Подобные работы успешно были проведены на стволах № 1 и 2 Первого Березниковского калийного рудника в 1952–1954 гг.

Процесс битумизации состоит в следующем. Через крепь ствола в зону обводненных трещиноватых пород бурят специальные скважины. После промывки и очистки их от штыба и илстых частиц в скважины под определенным давлением нагнетают смесь битума и технического парафина (15–30% массы смеси), разогретую до (+ 180)–(+ 190)°С. Смесь готовят на поверхности и затем в специальных бадьях-термосах подают к месту проведения работ, затем ее перегружают в термос с электроподогревом, откуда насосным агрегатом подают в скважины. Так как при затвердевании происходит уменьшение объема смеси, нагнетание ведут в несколько приемов или циклов. Перед каждым последующим нагнетанием скважины прогревают специальными электронагревателями. Для проведения работ используют подземный комплекс битумизационного оборудования БО-1 (БО-1М), состоящий из насосного агрегата, нагнетателей с электронагревательными элементами, бадьи-термоса, термоса с электроподогревом и вспомогательного оборудования. Весь комплекс размещается на подземном или рабочем полке.

Вследствие недостаточной адгезии битумных материалов к соляным породам эффект битумизации со временем снижается. Под давлением подземных вод происходит постепенное выдавливание битума из трещин, а затем через неплотности крепи в ствол. Так, при осмотре затюбинговой крепи ствола № 1 Первого Березниковского рудника в 1964 и 1967 гг. отмечались случаи свободного выхода битума через тампонажные пробки тюбингов и даже через соединительные швы между тюбингами. Аналогичное явление наблюдалось в стволе «Главный» Индерского рудника. Известны случаи выдавливания битума из породных трещин при давлениях всего 0,3 МПа [39].

Ствол № 2 Первого Соликамского калийного рудника диаметром в свету 5 м был сдан в эксплуатацию в 1930 г. При глубине 260 м ствол до 131,51 м закреплен чугунными тюбингами. Первое появление течи было отмечено в 1930 г., когда после неудачно проведенного оттаивания ледопородного ограждения через соединительные швы нижних тюбинговых колец и через кирпичную крепь в интервале 131,51–134 м появился капеж. Дебит притока достигал 1 л/ч. Были проведены работы по чеканке швов тюбинговой колонны, подтяжке болтовых соединений, частично тампонаж закрепного пространства. Капеж прекратился. В 1935 г. на том же участке кирпичной крепи вновь появился водоприток. Для ликвидации его часть кирпичной кладки была разобрана и было установлено, что вода поступает из карнального слоя. В нижней части тюбинговой колонны были установлены дополнительно один кейлькрапец и два тюбинговых кольца. Зону проявления течи до глубины

152 м протампониروвали, общий расход цемента составил 232 т. В последующие годы на этом участке ствола периодически отмечалось появление водопритока, за кирпичной крепью постепенно появлялись пустоты. Борьба с водопроявлениями велась цементацией закрепного пространства. В 1940 г. расход цементного раствора составил 500 м³, при ликвидации водопритока в 1943 г. было израсходовано 20 т цемента. Отмечались водопритоки в 1947 и 1948 гг. Всего за 20 лет эксплуатации ствола тампонажные работы проводились 6 раз, при этом было израсходовано около 1100 т цемента, общая продолжительность простой ствола на ремонт составила около двух лет. Наконец, в 1951–1952 гг. была произведена битумизация закрепного пространства через замораживающие скважины. Для этого 22 из 28 скважин были разбурены с поверхности и перфорированы на глубине 101 м (зона контакта) и у забоя скважин. Нагнетание нефтбитума, разогретого до (+175)–(+195)°С производили через 16 скважин. При общем расходе нефтбитума 40,8 т водоприток с 30 м³/сут был снижен до нуля.

Ствол «Главный» Ново-Стебниковского калийного рудника диаметром в свету 6 м, глубиной 438,6 м закреплен чугунными тубингами и до 75,5 м проходиллся способом замораживания.

В 1964 г. на глубине 84 м (на 14 м выше верхнего глиняного замка) через швы тубинговой крепи появилась течь. Через пять суток, обойдя по контакту между крепью и породой два глиняных замка общей высотой 8 м, вода появилась в сопряжении ствола с околоствольным двором на глубине 132 м. Приток быстро достиг 100 м³/сут. При расследовании причин были пробурены шпурь до контакта крепи с породой на участке 65–108 м, при этом в шпурах выше 84 м воды не обнаружено. Наибольший приток наблюдался из шпура на глубине 99 м. Было установлено, что к крепи на глубине 84 м рассол поступал из контактной зоны по рассолопроводящим пластам соленосной толщ. Водоподавление проводилось тампонажом закрепного пространства раствором, приготовленным на природном рассоле. Первоначально нагнетание вели за тубинговое кольцо № 99 при открытых тампонажных пробках в соседних тубингах. После прекращения течи в тубинговом кольце № 109 нагнетание прекратили. Затем был проведен тампонаж закрепного пространства в восходящем порядке, начиная с кольца № 122. Всего было закачено около 700 м³ раствора.

Ствол «Восточный» Ново-Стебниковского калийного рудника диаметром в свету 4,5 м до глубины 50 м проходиллся способом замораживания, а ниже в соленосной толще до глубины 186,5 м обычным способом. До глубины 179,8 м ствол закреплен тубингами Метростроя.

Водопритоки в ствол появились еще во время проходки. Так, в январе 1962 г. при отметке забоя 63 м через стенку ствола появилась течь. По составу рассола и характеру водопритока это были рассолы, скопившиеся в карстовых пустотах, которые начали формироваться в соляной толще и зоне соляного зеркала. С 6 по 13 января дебит водопритока увеличился до 360 м³/сут. Несмотря на устройство кейлькранцев на отметках 75,56 м и 110,01 м, битумной диафрагмы на отметке 84,7 м, воду удалось перекрыть лишь на глубине 115,02 м, где был выполнен кейлькранц, усиленный битумной подушкой (см. рис. 37, б). По окончании проходки ствола были произведены тампонаж закрепного пространства и чеканка соединительных швов. Остаточный водоприток в интервале 45–109 м составлял 2 м³/сут. Во время эксплуатации периодически в стволе производились работы по гидроизоляции крепи: устройство битумных завес на отметках 47 и 75 м, нагнетание бентонитового раствора в интервале 81–108 м (расход составил 8152 м³). Однако водоприток появлялся то в одном, то в другом месте. Так, в январе 1969 г. приток составлял 5,7 м³/сут, в мае 1970 г. основная течь наблюдалась из соединительных швов на участке 110–120 м и составляла 35 м³/сут, а в июне 1970 г. только из соединительного шва на отм. 110 м приток достигал 10 м³/сут. В 1969 г. было зафиксировано увеличение водопритока в ствол в период паводка и ливневых дождей. Особенностью водопритоков в ствол было высокое содержание солей – от 403 (январь 1971 г.) до 434 г/л (август 1971 г.), что свидетельствовало об образовании вокруг ствола обширных карстовых пустот. Это, в свою очередь, вызывало деформации околоствольного массива и, как следствие, подвижки крепи, достаточные для нарушения герметичности тубинговой колонны, чему способствовало применение в крепи ствола тубингов Метростроя с шнуровой свинцовой изоляцией стыков, плохо сохраняющей герметичность соединения.

В 1980 г. произошло обрушение свода карста, образованного в околоствольных породах. При этом рядом со стволом на дневной поверхности образовалась воронка размером 8 × 10 м.

Основными причинами водопроявлений в стволе «Восточный» следует считать: неудачное решение по выбору места заложения ствола, применение тубингов Метростроя с шнуровой изоляцией стыковых соединений и отсутствие эффективных мер по предотвращению карстообразования.

Для герметизации ствола было принято решение внутри тубинговой колонны возвести стальную обечайку. Пространство между тубинговой колонной и стальной обечайкой заполняли бетоном.

Ствол № 3 Третьего Березниковского каллийного рудника диаметром в свету 7 м, проектной глубиной 498,25 м до глубины 375 м проходили способом замораживания, до глубины 400,8 м ствол был закреплен чугунными тубингами. Суммарный ожидаемый водоприток составлял 450–500 м³/ч при давлении до 3,5 МПа. Первое появление водопритока произошло еще при проходке. К августу 1970 г. ствол был пройден до глубины 403 м. В интервале 379–386 м было установлено четыре кейлькранца. По истечении 40 сут после прекращения работы замораживающей установки в интервале 300–350 м через швы тубинговой крепи в ствол стала поступать вода. Общий приток составил 16 м³/ч. Через несколько часов появились признаки течи в районе кейлькранцев. Было решено провести тампонажные работы с целью перехвата воды выше кейлькранцев. При бурении шпура через тубинг № 10 кольца № 318 на глубине 341 м был получен водоприток с дебитом 15 м³/ч. При этом водоприток на участке 330–350 резко уменьшился. Совмещение шпура тубингового кольца № 318 с погоризонтальным планом расположения замораживающих скважин показало, что шпуром через тубинг № 10 могли быть вскрыты скважины № 27 или 29/1Т. В шпур начали закачивать тампонажный раствор. После подачи 20 м³ раствора давление нагнетания быстро поднялось до 4 МПа, а затем резко упало до нуля. При этом течь через тубинговую крепь прекратилась, но появилась течь с поверхности забоя с дебитом 20–25 м³/ч. Это подтвердило предположение, что вода к забоям ствола поступает по скважине № 29/1Т, глубина бурения которой точно не была известна. Все попытки ликвидировать течь успеха не имели, ствол был затоплен до глубины 90 м. После повторного замораживания, ремонта кейлькранцев № 1 и 2 (сверху вниз) были проведены тампонажные работы на всем участке тубинговой крепи.

В сентябре 1971 г. из пробки тубинга № 10 кольца № 359 вновь появился водоприток. Анализ химического состава воды показал высокое содержание хлористого кальция, что подтвердило связь со скважиной № 29/1Т, которая была повреждена на гор. 190 м и имела утечку охлаждающего раствора. При попытке перехватить воду тампонажем через тубинги кольца № 348 (10 м выше кейлькранцев) было установлено, что верхний кейлькранец был вторично промыт. Вновь были проведены работы по тампонажу и восстановлению кейлькранцев.

В 1973 г ствол был сдан в эксплуатацию с остаточным водопритоком 3,08 м³/сут. Со временем водоприток в ствол стал увеличиваться, некоторые данные по величине притока в январе–феврале 1974 г. приведены ниже.

Дата	5/1	9/1	15/1	21/1	22/1	20/II	25/II	26/II	27/II
Водоприток, м ³ /сут	10	9	7,11	7,94	9,71	16,7	24,1	19,3	18,1

В апреле–мае 1974 г. были проведены дополнительные работы по гидроизоляции тубинговой крепи. При тампонаже в интервале тубинговых колец № 84–291 было закачено 44 м³ раствора при давлении нагнетания 2–4 МПа. Водоприток снизился до 1,3 м³/сут.

Вероятной причиной затопления ствола послужило проникновение слабоминерализованных подземных вод верхних горизонтов в соляную толщу по замораживающей скважине № 29/1Т.

Стволы соляных рудников Артемовского месторождения. Большая часть стволов месторождения начата проходкой без применения специальных способов еще в конце XIX и начале XX столетия. При диаметре в свету 3–4 м стволы крепились кирпичной, бетонной и деревянной венцовой крепью. Во время проходки водопритки достигали 30–250 м³/ч, вследствие чего некоторые стволы были затоплены. Посту-

пленение пресных вод в соляной пласт приводило к образованию пустот, размеры которых достигали 85 м в плане и 2 м по высоте [39]. Неоднократные затопления стволов, недостаточный контроль за состоянием гидроизоляции крепи стволов привели со временем к деформациям крепи, образованию за крепью карстовых пустот, значительным водопритоком.

С середины 60-х годов были начаты работы по реконструкции стволов, которыми предусматривалось увеличение диаметра до 4,5–5,5 м с углубкой для вскрытия Брянцевского пласта соли. Верхняя наиболее обводненная часть пород (37–97 м) проходила с применением искусственного замораживания. При разборке старой крепи в соляных породах было вскрыто множество пустот (промоин), образовавшихся вследствие размыва соляных пород. О масштабах пустот можно судить по данным табл. 19. Все пустоты были заполнены тощим бетоном или цементно-песчаным раствором.

Нарушения герметичности кейлькранцев. Появление водопритока через водонепроницаемую крепь, когда это не следствие механического разрушения ее, не всегда приводит к затоплению ствола или рудника. Чаще всего признаки потери крепью водонепроницаемости проявляются раньше, что позволяет эксплуатационному персоналу принять меры по ликвидации причин нарушения или провести комплекс необходимых профилактических мероприятий. Значительно большую опасность представляет нарушение герметичности гидроизоляционных устройств. Дело в том, что практически отсутствуют предупредительные признаки нарушения герметичности, например, кейлькранцев, а появление водопритока за пределами защищаемого участка (ниже или выше кейлькранца) служит свидетельством уже свершившегося прорыва воды через или в обход пикотажного уплотнения. Создается реальная опасность затопления, так как начавшееся движение воды за кейлькранцем ведет к быстрому увеличению дебита. Остановить водоприток можно только нагнетанием цементного или иного специального раствора. Для начала выполнения таких работ обычно нужно некоторое время на проведение необходимых подготовительных, организационных мероприятий. Более того, выполнение подобных мероприятий, как правило, позволяет лишь временно приостановить развитие аварии, не всегда ликвидирует первопричину появления воды и, следовательно, не исключает необходимости проведения работ по ремонту (восстановлению) гидроизоляционного устройства, что связано обычно с вскрытием этого участка крепи. Проведение такого ремонта возможно лишь при создании хотя бы временной защиты участка от поступления подземных вод. Чаще всего это достигается созданием специальных цементационных или битумных завес или повторным замораживанием пород.

Поэтому в практике отечественной соляной и калийной промышленности крайне редко защиту производят одиночными гидроизоляционными устройствами, обычно их возводят по 2–3 и более. Это особенно целесообразно при устройстве, например, кейлькранцев в соляных или солесодержащих породах, где после начала движения воды за пикотажным уплотнением возможно расширение водопродвижающих каналов за счет растворения.

Рассмотрим несколько примеров по Верхнекамскому калийному месторождению, где имело место наибольшее число случаев нарушения кейлькранцев.

В июне 1964 г. после естественного оттаивания горных пород вокруг вентиляционного ствола № 4 Первого Березниковского рудника появился капез воды через тубинговую крепь. В августе водоприток уже составлял 15–24 м³/сут. Сначала течь наблюдалась выше первого кейлькранца, установленного на глубине 161,1 м, остальные кейлькранцы установлены на отметках 165,3; 167,7; 185,1 и 198,4 м. Течь ниже пятого кейлькранца появилась 24 сентября, приток составил 8 м³/ч. Создалось аварийное положение и реальная угроза затопления ствола и рудника. Мероприятиями по ликвидации аварии предусматривались устройство гидроизоляционной перемычки в вентиляционном штреке и засыпка нижней части ствола гравийно-щебеночной смесью для последующего создания в стволе бетонной подушки.

В стволе № 3 Второго Соликамского рудника гидроизоляция тубинговой колонны была выполнена двумя сдвоенными кейлькранцами, установленными на глубинах 134,9 и 141,3 м. В ноябре 1973 г. из болтового соединения вертикального шва тубингов № 13 и 14 и из-под тампонажной пробки тубинга № 2 второго кейлькранца появилась течь с незначительным дебитом. Ствол был остановлен на ремонт.

В обоих случаях подавление водопритоков было выполнено нагнетанием там-

Таблица 19

ПО «Артемсоль»	Ствол	Глубина распространения промоин, м	Распространение промоин от оси ствола, м	Объем промоин, м ³	Материал заполнения промоин
№ 1	«Грузолюдской»	108,5–137,9	3,85	605	Бетон
	«Вентиляционный»	105,1–118	< 6	–	То же
	То же	127	< 5	–	»
№ 2	«Грузолюдской»	110,8–120,9	4,16	240,4	Цементно-песчаный раствор
	То же	152–160,5	6,85	149,4	Бетон
	»	162–167	6,3	200	То же
	»	176,5–178	6,6		
	«Вентиляционный» № 2 бис	144,5–145,35	19,4	495	Цементно-песчаный раствор
№ 3	«Скипоклетовой» № 3	85–250,2	< 7,8	105,8 951,5	Бетон Цементно-песчаный раствор
им. Свердлова	Грузолюдской	161–168,2	7,6	357,7	Бетон
	То же	168,2–181	8,4	545,6	То же
	Клетевой	166,9–183,7	> 10	1050	»
им. Володарского	Клетевой	119,5–155,8	5,5	–	

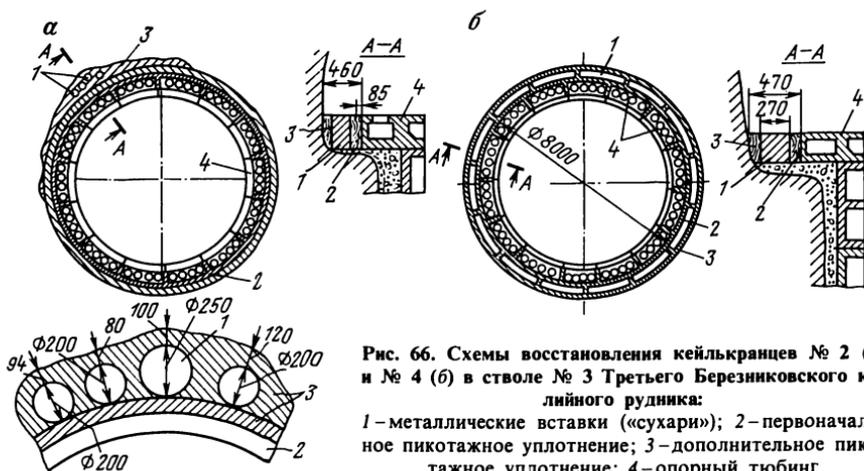


Рис. 66. Схемы восстановления кейлькранцев № 2 (а) и № 4 (б) в стволе № 3 Третьего Березниковского калийного рудника:

1 – металлические вставки («сухари»); 2 – первоначальное пикотажное уплотнение; 3 – дополнительное пикотажное уплотнение; 4 – опорный тубинг

понажного раствора, в стволе № 4 Первого Березниковского рудника была дополнительно проведена битумизация зоны кейлькранцев. Принятие экстренных мер по ликвидации водопритокков и обеспечение в последующем тщательного контроля за состоянием кейлькранцев позволили приостановить развитие аварии и создали возможность дальнейшей эксплуатации этих стволов.

Наиболее сложными были нарушения герметичности кейлькранцев в стволе № 3 Третьего Березниковского рудника, сопровождавшиеся прорывом подземных вод (рассолов) в ствол. При первом прорыве воды (1970 г.) ствол был закреплен чугунной тубинговой крепью до глубины 400,8 м, глубина забоя ствола – 403 м. В интервале глубин 379–386 м тубинговая колонна была гидроизолирована четырьмя кейлькранцами. После появления водопритока на участке 300–350 м, затем в зоне кейлькранцев и в забое произошло затопление ствола. Поскольку все кейлькранцы оказались промытыми, было принято решение произвести повторное замораживание горных пород, после чего был разобран аварийный участок крепи. В кейлькранцах № 1 и 2 обнаружены промоины между породной стенкой и пикотажным уплотнением шириной до 350 мм. Место установки кейлькранца № 1 было перенесено, а кейлькранец № 2 дополнительно пропикотирован, причем для заполнения промоин были применены круглые металлические вставки (рис. 66, а). Кейлькранцы № 3 и 4 были протампонированы цементным раствором без вскрытия. В сентябре 1971 г. в стволе вновь появилась течь под кейлькранцем № 1. В связи с этим было принято решение разобрать и отремонтировать нижний кейлькранец № 4. При вскрытии его также были обнаружены промоины шириной более 450 мм. После расчистки ниши кейлькранец был восстановлен с установкой в пикотажное уплотнение металлических вставок (см. рис. 66, б). При осмотре соляных стенок кейлькранцев комиссией было высказано следующее предположение о причинах аварии. Поступившая на верхнюю поверхность пикотажного уплотнения вода под давлением около 3,5 МПа через «ослабленные места» в контакте соль – деревянное уплотнение стала поступать в полость под уплотнение и расходиться практически по всему кольцу. Такими «ослабленными местами» могли быть участки соляной стенки, получившие повреждения в процессе пробивки уплотнения. Исследования, выполненные позднее на лабораторных и полупромышленных моделях, показали, что причиной нарушения послужило раздавливание поверхности соляной стенки и появление микротрещин на глубину до 3–6 см в местах, где нагрузки от пикотажного уплотнения превышали допустимые для соляной стенки (см. подраздел 3.1.4). Раскрытие трещин, полученное в исследованиях на полупромышленных моделях кейлькранцев, достигало 100–150 мк. Появление таких микротрещин позволяет подземным водам в обход уплотнения проникать под пикотажное уплотнение кейлькранца. При движении воды трещины в соляных породах быстро увеличиваются и со временем появляются промоины, что и наблюдалось в стволе № 3.

4.6. КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ КРЕПИ ШАХТНЫХ СТВолов

Шахтный ствол любого горнодобывающего предприятия является важным технологическим звеном, от исправного состояния которого зависит работа всего предприятия. Крепь шахтного ствола калийного или соляного рудника должна на протяжении полного срока службы не только сохранять свои прочностные характеристики, но обеспечивать защиту рудника от возможного прорыва подземных вод. Поэтому состоянию крепи ствол, контролю за ее герметичностью, своевременному восстановлению первоначальных свойств на калийных и соляных рудниках уделяется особое внимание. От надежности крепи, от своевременности принятия необходимых мер восстановления и ремонта зависит не только безопасность работы рудника, но порою и судьба целого месторождения.

Шахтный ствол и его крепь как объекты контроля обладают рядом особенностей. Во-первых, это ограниченность доступа в ствол для осмотра или контроля его состояния. Как правило, большую часть суток (20–22 ч) ствол используется для выполнения своих основных технологических функций – выдачи полезного ископаемого, спуска-подъема людей и грузов. Во-вторых, многоэлементность конструкции крепи, что практически исключает возможность оценки состояния каждого из них в отдельности. Значительная часть крепи и ее конструктивных элементов (например, бетон за тубинговой колонной и гидроизоляционные устройства) вообще недоступны для осмотра. Поэтому надзор за шахтными стволами регламентируется Правилами безопасности. На каждом горнодобывающем предприятии создаются специальные службы надзора за шахтными стволами, ремонта и поддержания в пригодном для эксплуатации состояния крепи ствола и его армировки. Методы контроля постоянно совершенствуются, все большее распространение получает инструментальный контроль, исключаящий субъективность оценки, повышающий оперативность и надежность получаемой информации.

Существующие способы контроля. Надзор за состоянием крепи и армировки ствол, определяется Правилами безопасности, инструкциями и осуществляется специальной технической службой. Полный комплекс мероприятий по контролю за состоянием ствола калийного или соляного рудника предусматривает проведение следующих видов осмотров:

- ежесуточный – за состоянием крепи и армировки ствола;
- ежемесячный – за состоянием герметичности тубинговой колонны, бетонной или другой крепи ствола и сопряжений его с горными выработками;
- ежеквартальный – за состоянием болтовых соединений и пикотажных швов тубинговой крепи;
- профилактический – за состоянием крепи и армировки ствола, который проводится один раз в два года специальной комиссией.

Кроме того, при появлении водопритоков, деформациях или нарушениях крепи производят внеплановые обследования ствол, . Результаты всех осмотров оформляются актами или фиксируются в специальных журналах.

При ежесуточном осмотре ствола особое внимание должно

Диаметр ствола, м	Продолжительность осмотра (ч-мин) при глубине ствола, м		
	< 300	300-600	> 600
< 5	1-00	1-30	2-00
> 5	1-30	2-00	2-30

быть обращено на исправность направляющих проводников, их износ, крепление и смазку; исправность и натяжение тормозных канатов; исправность элементов армировки; наличие течи через крепь; образование льда и опасных размеров соляных наростов (натеков) на крепи и элементах армировки, препятствующих свободному прохождению подъемных сосудов и склонных к самообрушению. Время на проведение осмотра предусматривается графиком работы стволового комплекса. Продолжительность осмотра обычно определяют исходя из диаметра и глубины ствола (табл. 20).

Осмотр состояния герметичности тубинговой колонны и бетонной (кирпичной) крепи ствола производится визуально с подъемных сосудов. При этом должен обеспечиваться свободный обзор всей крепи. Фиксируются все случаи нарушения герметичности крепи (проникновение воды или рассола из закрепного пространства в ствол), трещины, вывалы или отслоения с точным указанием места и характера нарушения. Проникновение воды (рассолов) через крепь подразделяют на следующие виды: просачивание (образование влажных пятен), капез, течь и струйную течь.

В случае течи и струйной течи обязательно производят определение дебита и отбирают пробы воды (рассола) для определения химического состава и удельного веса. Если течь продолжается более 10 сут, а дебит более 0,5 м³/сут, то дальнейшее наблюдение и борьба с водопроявлением должны проводиться в соответствии с требованиями Правил безопасности. Всякое водопроявление должно фиксироваться в специальном «Журнале для записи случаев появления рассолов в выработках на калийных и соляных рудниках».

При ежеквартальной проверке болтовых соединений и пикотажных швов тубинговой крепи производят осмотр болтовых соединений и, в случае необходимости, подтяжку болтов, замену или установку дополнительных гидроизоляционных шайб. При выдавливании материала пикотажного шва в ствол в месте образования «губы» проводят дополнительный пикотаж.

Двухгодичные осмотры состояния ствола производятся комиссией, назначаемой специальным приказом.

В обязанности комиссии входит: осмотр воротника ствола и подкопровой рамы; осмотр тубинговой колонны; проверка состояния материалов крепи в затубинговом пространстве; осмотр бетонной (кирпичной) части крепи ствола; осмотр сопряжений ствола с околоствольными выработками; проверка состояния узлов крепления и элементов армировки ствола; осмотр зумпфа ствола.

Дополнительные задачи осмотра уточняются в приказе об образовании комиссии.

Для исследования состояния крепи за тюбинговой колонной вскрывают тампонажные пробки и бурят шпурсы до контакта «бетон – порода» через специальные устройства (превенторы). По штыбу или керну определяется состояние бетонной рубашки и наличие напорных подземных вод между тюбингами и бетоном, бетоном и горными породами. Результаты работы комиссия, как правило, излагает в виде акта, который утверждается лицом, назначившим комиссию. К акту прилагаются результаты последней профилировки стенок ствола и направляющих проводников.

Всякого рода ремонты крепи ствола и армировки, кроме частичной замены проводников, подчеканки швов, подтяжки болтов, замены гидроизоляционных шайб и дополнительного пикотажа соединительных (пикотажных) швов должны производиться по специальным проектам.

Проект должен отражать: необходимость проведения работ; объем работ; порядок и методы выполнения работ; вопросы техники безопасности при выполнении работ.

После окончания ремонтных работ составляется исполнительная документация, которая после утверждения подшивается к проекту работ. Все материалы, связанные с ремонтом стволов, подлежат хранению.

Принципы построения автоматизированной системы оперативного контроля герметичности тюбинговой крепи. Рассмотренные выше методы контроля основаны на визуальной, субъективной оценке состояния крепи ствола лицами технического надзора. Недостатком такого контроля является невозможность наблюдения и оценки состояния объекта контроля при работающих подъемных установках, так как присутствие лиц технического надзора в это время в стволе исключено. Наблюдения, выполненные при движении подъемных сосудов «в режиме ревизии» при скоростях не более 0,3 м/с, не позволяют техническому персоналу получить представление о действительном состоянии объекта. Не менее отрицательны дискретность получения информации (осмотр производится один раз в сутки) и невозможность своевременного получения сигнала о возникновении предаварийной ситуации в промежутке между осмотрами. В практике эксплуатации шахтных стволов калийных и соляных рудников достаточно примеров, когда за одни сутки между двумя осмотрами состояние крепи изменялось настолько, что возникла необходимость аварийной остановки для проведения работ по подчеканке швов, подтяжке болтовых соединений с целью ликвидации появившихся водопритоков.

Устранение этих недостатков существующих методов контроля возможно лишь с применением инструментальных методов и автоматизированных систем контроля за состоянием крепи и армировки стволов.

Состояние крепи ствола определяется суммарным воздействием группы факторов. Основные из них – температурное воздействие, динамические нагрузки от движущихся подъемных сосудов и проявление сил горного давления. Как правило, воздействие горного давления проявляется не внезапно. Обычно процесс развивается на протяжении некоторого времени, в течение которого технический надзор обнаруживает какие-то сопутствующие ему признаки. После этого устанавливается периодическое наблюдение за развитием процесса и разрабатываются меры противодействия.

Воздействие изменений температуры и динамических процессов может проявиться очень быстро, на протяжении всего нескольких часов (изменение температуры крепи) или мгновенно (динамические нагрузки). Точный учет влияния каждого из этих факторов практически невозможен. Создание такого контроля потребовало бы устанавливать в стволе огромное число датчиков температуры и деформации крепи, так как высота тубинговой колонны в некоторых шахтных стволах достигает 400 м и более.

Однако знание механизма воздействия каждого фактора на состояние объекта контроля позволяет существенно сократить необходимый объем информации. Так, о влиянии температурных изменений можно судить по температуре воздушного потока в стволе, о качестве смешения холодного и подогретого потоков — по температуре, например, опорного кольца какого-нибудь одного звена крепи и колебаниям ширины пикотажного шва этого звена. Для каждого ствола, звена крепи могут быть установлены допустимые пределы колебания контролируемых параметров, за пределами которых должен выдаваться предупреждающий сигнал, или вводиться сигнал в систему автоматического регулирования. Такое сокращение числа точек контроля значительно облегчает создание автоматизированных систем контроля состояния крепи стволов.

При создании экспериментальной автоматизированной системы контроля за температурным воздействием на крепь было предложено использовать два способа контроля: позвенный и косвенный [2].

При позвенном способе контроля в устье ствола устанавливается датчик 1 температуры поступающего в ствол воздуха, в калориферном канале — датчик 2 температуры подогретого воздуха (рис. 67, а). Каждое звено оснащается датчиком 3 деформации крепи, устанавливаемым на пикотажном шве, и датчиком 4 температуры тубинговой крепи. Позвенный способ предусматривает измерение возмущающих воздействий (датчики 1 и 2) и реакции крепи (датчики 3 и 4). Датчики 1, 3, 4 устанавливаются по стенке ствола, противоположной выходу калориферного канала. Этот способ целесообразно применять для стволов, особенности проявления температурных изменений состояния крепи которых недостаточно изучены.

Для каждого конкретного ствола может быть выбрано звено крепи, наиболее чувствительное к температурным воздействиям. Чаще всего им является звено, расположенное в верхней части тубинговой колонны воздухоподающего ствола или имеющее наибольшее число тубинговых колец над пикотажным швом (подвешенных под опорным кольцом). Выбор «слабого» звена позволяет существенно упростить систему контроля. Контроль по «слабому» звену применим на стволах, поведение крепи которых под воздействием температурных факторов хорошо изучено.

Способ косвенного контроля отличается от предыдущего тем, что измеряется только температура воздуха, для чего в диаметральных точках сечения ствола устанавливаются датчики, которые отражают качество смешения холодного и подогретого воздушных потоков. О реакции крепи судят по показаниям температурных датчиков, устанавливаемых на тубингах контрольного кольца.

Может быть предложена простая в исполнении схема косвенного способа контроля за состоянием крепи без измерения температуры тубингов-

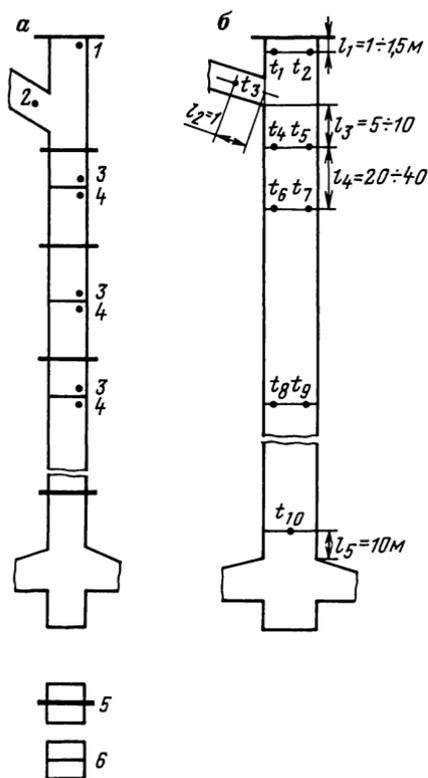


Рис. 67. Схемы позвонного (а) и косвенного (б) контроля за состоянием тубинговой крепи:

1-4-датчики температуры и деформаций крепи; 5-опорный венец; 6-пикотажный шов

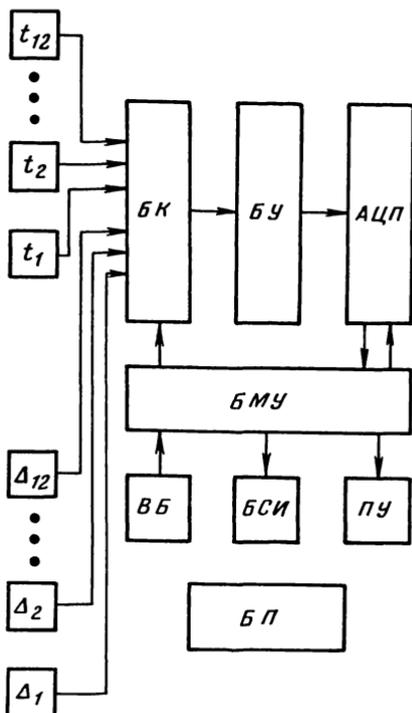


Рис. 68. Блок-схема системы автоматизированного контроля за герметичностью тубинговой крепи стволов (АКГС)

Применительно к воздухоподающему стволу с односторонней подачи подогретого воздуха может быть предложена расстановка датчиков температуры воздуха в стволе, показанная на рис. 67, б. Датчики t_1 и t_2 характеризуют температуру воздуха, поступающего через устье ствола. Датчики t_4, t_5 и t_6, t_7 дают характеристику интенсивности смешения холодного и подогретого потоков воздуха. Качество смешения этих потоков на участке тубинговой крепи определяют по показаниям датчиков t_8 и t_9 . Разность температур по этим датчикам должна быть минимальной и устанавливается для каждого ствола в зависимости от состояния крепи. Появление отрицательной температуры на датчике t_9 свидетельствует о плохом смешении потоков либо недостатке тепла, подаваемого в ствол. В таких случаях необходимо срочное вмешательство технического надзора, иначе через 3-4 ч в стволе возможно появление водопритоков через швы тубинговой колонны.

Этот способ более прост, но не дает прямой информации об изменении зазоров в соединительных швах тьюбинговой колонны:

Опыт создания и эксплуатации системы автоматизированного контроля герметичности стволов. Результаты исследования влияния температурных условий эксплуатации на состояние тьюбинговой крепи калийных рудников были использованы при создании системы автоматизированного контроля за герметичностью крепи стволов (АКГС). Система АКГС разработана Киевским институтом автоматики совместно с Уральским филиалом ВНИИГалургии. Система состоит из двух частей: подземной и наземной. Подземная часть включает датчики температуры воздуха и крепи, датчики изменения ширины соединительных швов и линии связи. Наземная часть включает блоки нормирующих преобразователей, машину централизованного контроля (Сокол-1М) и блоки сигнализации. Блок-схема показана на рис. 68. В комплект аппаратуры входит 12 датчиков температуры и 12 датчиков ширины соединительных швов. Температурные датчики имеют следующие пределы измерения: воздух в устье ствола — 40 до + 30°С, воздух в калориферном канале от + 50 до + 100°С, воздух в зоне околоствольного двора от — 10 до + 30°С и температура тьюбингов от — 20 до + 25°С. Допустимая скорость изменения температуры не более 0,1°С в минуту.

Датчики изменения ширины соединительных швов допускают изменение размера в пределах 1 мм.

Система имеет три режима работы:

автоматический — непрерывный опрос всех датчиков с регистрацией всех показаний, без регистрации или с регистрацией только значений, отклонившихся от заданной нормы;

циклический — разовый опрос всех датчиков с регистрацией отклонений от нормы;

оперативный — адресное обращение к любому датчику, по запросу оператора.

Сигнал от датчика через блок-коммутатор БК поступает на блок-усилитель БУ, затем в аналого-цифровой преобразователь АЦП, где преобразуется в цифровой код, который регистрируется печатающим устройством ПУ. Блок местного управления БМУ осуществляет управление подключением датчиков, печатающим устройством и аналого-цифровым преобразователем. Частота циклов опроса задается времязадающим блоком ВБ. С БМУ на блок сигнализации и индикации БСИ предупредительные и аварийные сигналы передаются в виде десятичных чисел для индикации. В составе БМУ имеется устройство для задания и сравнения контролируемых параметров и их отклонений от нормы.

Опытный экземпляр системы АКГС был использован для контроля за состоянием крепи воздухоподающих стволов № 1 и 2 Второго Березниковского калийного рудника. Выбор этих стволов был определен тем, то рудник характеризуется неустойчивостью вентиляционной сети, в стволах часто наблюдаются опрокидывание струи, образование в устье стволов «тепловых пробок». С помощью АКГС было проведено дополнительное исследование системы отопления стволов, уточнены характеристики самой системы контроля.

Рис. 69. Схема расстановки датчиков системы АКГС в стволах № 1 (а) и № 2 (б) Второго Березниковского калийного рудника:

1-3 - датчики температуры воздуха;
4-6 - датчики температуры тубинговой крепи;
7 и 8 - датчики деформаций пикотажных швов

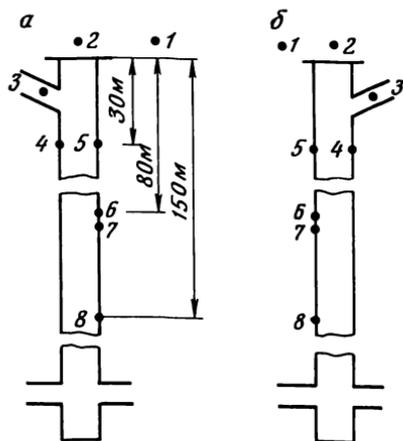
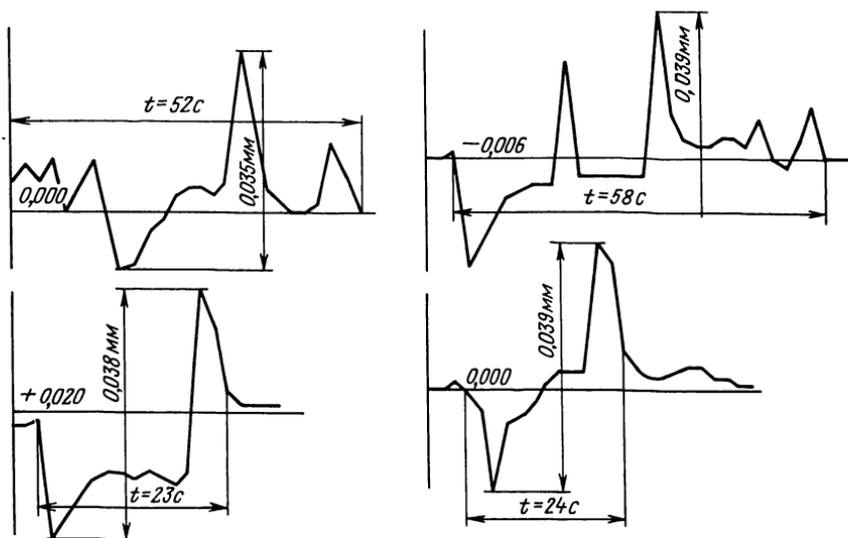


Рис. 70. Колебания ширины пикотажных швов при действии динамических нагрузок от подъемных сосудов по осциллограммам



На каждом из стволов было установлено по три датчика температуры воздуха (около надшахтного здания, в надшахтном здании над устьем ствола и в калориферном канале), три датчика температуры тубинговой крепи (на глубине 30 м на «теплой» и «холодной» стороне и глубине 80 м на «холодной» стороне ствола) и по два датчика изменения ширины пикотажных швов (на глубине 80 и 150 м на «холодной» стенке ствола). Схема расположения датчиков показана на рис. 69.

Анализ результатов наблюдений, полученных с помощью системы АКГС, позволил получить более точные данные о взаимозависимости температурных условий в двух параллельно работающих воздухоподающих стволах. При одинаковом и неизменном числе работающих калориферных агрегатов, например за одни сутки, температура воздуха над устьем ствола

Таблица 21

Время производства замеров в течение суток, ч	Температура воздуха под устьем ствола, °С		Время производства замеров в течение суток, ч	Температура воздуха над устьем стволов, °С	
	№ 1	№ 2		№ 1	№ 2
0	- 33,1	+ 14,3	11	- 39,5	- 5,3
1	- 34,4	+ 16	12	- 38,2	- 10
2	- 35,1	+ 5,8	13	- 36,8	- 12,2
3	- 35,4	+ 9,2	14	+ 17,6	- 30,1
4	- 35,8	+ 11,9	15	+ 26,4	- 32,9
5	- 36,9	+ 1,8	16	+ 17,2	- 33,4
6	- 36,6	+ 2,3	18	- 26,2	- 17,6
7	- 37,9	+ 1,3	19	- 32,1	+ 13,9
8	- 38,6	- 3,8	20	- 31,6	+ 5,2
9	- 37,9	+ 18,4	21	- 31,7	+ 1,2
10	- 39,3	+ 2,4	21	- 32,1	- 1,2
11	- 39,6	- 6,6	23	- 31,4	- 10,5

№ 1 изменялась от + 26,4 до - 39,6°С, в это же время над устьем ствола № 2 от + 18,4 до - 33,4°С (табл. 21).

Было показано, что при постоянной работе калориферной установки температурные условия в стволе определяются температурой воздуха, поступающего в устье. Причем температура тубинговой крепи как «холодной», так и «теплой» стенок изменяются вслед за температурой воздуха. По аналогичному закону изменяется и ширина пикотажных швов. За время испытаний пикотажный шов на глубине 80 м от устья деформировался на 0,5 мм, на глубине 150 м, где колебания температуры уже меньше, на 0,2 мм.

С помощью датчиков были зафиксированы колебания ширины пикотажных швов при действии динамических нагрузок от подъемных сосудов. Продолжительность колебаний до одной минуты, диапазон до 0,04 мм (рис. 70).

В результате пробной эксплуатации системы АКГС было доказано, что информация о состоянии верхнего звена крепи в достаточной степени отражает состояние всей тубинговой колонны, а также правомерность однозвенного контроля по «слабому» звену.

5. КРЕПЬ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Шахтные поля калийных и соляных рудников чаще всего вскрываются центрально-расположенными шахтными стволами. На соляных рудниках обычно отработку запасов ведут прямым порядком (от шахтных стволов к границам). На калийных рудниках, имеющих большую производительность, площади шахтных полей достигают 60–70 км², вследствие чего очистные работы в основном ведут обратным порядком (от границ шахтного поля). Наибольшее применение получила камерная система разработки. На калийных рудниках отработку запасов ведут панелями, длина которых достигает 3–5 км. Поэтому подготовка запасов к добыче на калийных рудниках сопровождается проходкой значительного числа протяженных капитальных выработок, к которым относятся выработки главных направлений (вентиляционные, транспортные, конвейерные и т.д.) и панельные капитальные выработки. Выработки главных направлений обычно проходят по наиболее крепким, устойчивым породам, например, по подстилающей каменной соли. Панельные выработки часто выполняются пластовыми, так как они имеют меньший срок службы, чем выработки главных направлений. При панельной отработке запасов от границ шахтного поля часть капитальных горных выработок попадает в зоны влияния очистных работ.

Склонность соляных пород к деформациям ползучести значительно усложняет поддержание и эксплуатацию капитальных выработок, рассчитанных на длительный срок службы. В результате исследований установлено, что смещение контуров выработок, пройденных по соляным породам, с течением времени не прекращается. Переход рудников на более глубокие горизонты влечет за собой интенсификацию проявления ползучести соляных пород. На характер деформирования выработок, кроме глубины и времени эксплуатации, существенное влияние оказывают условия залегания соляных пород, их физико-механические свойства, минералогический состав и структура. Наибольшей устойчивостью отличаются каменная соль, хартзалц, кизерит, сильвинит. Эти породы даже на глубине 600 м склонны к пластическим деформациям без нарушения сплошности. А такие породы как карналлит, пластичные на глубине до 300 м, с увеличением глубины становятся хрупкими. Весьма неустойчивы соленосные глины и пески. Наиболее интенсивно смещения контура выработок проявляются со стороны кровли и почвы, особенно при наличии глинистых прослоев.

Для сохранения капитальных выработок в пригодном для эксплуатации состоянии применяют различные меры охраны, позволяющие в какой-то степени снизить напряжения в породном массиве в пределах контура выработки и тем самым уменьшить величины смещения контура выработки. Меры, направленные на сохранение горной выработки, сводятся либо к упрочнению ее контура или породного массива вокруг выработки, либо

к разгрузке ее от разрушающих напряжений. Упрочнение достигается за счет увеличения жесткости отдельных элементов контура, изменения формы, соотношения размеров сечения или размещения выработки в более прочных породах.

Выбор конкретного способа охраны зависит от многих факторов или условий, в которых будет эксплуатироваться горная выработка. На калийных рудниках широко применяются размещение капитальных горных выработок в пластах каменной соли, проходка протяженных капитальных выработок горными комбайнами, что обеспечивает сводчатую достаточно устойчивую форму поперечного сечения. На Старобинском месторождении калийных солей широкое применение получил метод защиты с проходкой специальной разгружающей горной выработки.

Распространенным способом упрочнения контура выработки является возведение постоянной крепи. Выбор рационального типа крепи в тех или иных условиях зависит от размеров выработки, предполагаемого срока ее эксплуатации и горно-геологических условий. Иногда этот выбор обосновывается экономически. Применяются деревянная, каменная, монолитная бетонная и железобетонная крепи. В зависимости от назначения горной выработки возводят крепи прямоугольной формы или арочной с вертикальными стенками, незамкнутые и замкнутые. На больших глубинах получили распространение замкнутые крепи с обратным сводом.

С переходом на более глубокие горизонты все в большей мере проявляется неэффективность применения жестких конструкций крепей, не способных противостоять деформациям ползучести соляных пород. В последние годы Ленинградским горным и Пермским политехническим институтами проведен ряд исследований устойчивости выработок, пройденных в соляных породах [17, 20]. Применение жестких крепей может обеспечить сохранность выработок лишь на глубинах до 300–350 м. При больших глубинах применение жестких крепей нерационально. Для выработок, пройденных в соляных породах, стали применять новые конструкции крепей: двухслойную податливую, податливую из спецпрофиля, анкерную, комбинированные крепи.

Деревянная крепь в настоящее время в капитальных горных выработках калийных и соляных рудников имеет ограниченное применение. Древесина как крепежный материал обладает рядом преимуществ перед другими материалами. Она имеет достаточно высокую прочность, легко поддается обработке, обладает упругостью и сравнительно малой стоимостью. Основными недостатками древесины являются неогнестойкость, невыдержанность прочностных свойств и подверженность гниению. Для предохранения древесины от загнивания применяют пропитку ее специальными растворами – антисептиками. Хорошие результаты дает пропитка 3–7%-ным раствором фтористого натрия или хлористого цинка. Пропитка огнезащитными растворами и окраска огнезащитной пастой лишь снижают возгораемость древесины. Особенностью использования древесины в соляных и калийных рудниках является естественное повышение ее огнестойкости и стойкости против загнивания под воздействием соляной среды. Для деревянной крепи горных выработок применяют в основном хвойные породы деревьев: сосну, ель, пихту и лиственницу; значительно реже лиственные: дуб, бук, березу.

Физико-механические свойства древесины в значительной мере зависят от ее влажности. Влажная древесина менее прочна. Поэтому для крепи горных выработок применяют только сухой материал. Чаще всего используются круглые лесоматериалы: бревна (толщина верхнего торца не менее 12 см), подтоварник и рудничные стойки. Расчетные сопротивления для сосны и ели с учетом неоднородности материала принимают при изгибе и сжатии 15–20 МПа.

К недостаткам деревянной крепи следует отнести высокую материалоемкость и трудоемкость возведения и поддержания, трудность механизации работ по установке. Особенно остро эти недостатки деревянной крепи проявлялись с внедрением комбайнов для проведения протяженных капитальных горных выработок.

Каменная крепь сооружается из штучного материала – естественного камня, кирпича, бетонитов, литых шлаковых и бетонных блоков. Наиболее распространенная форма выработок, закрепленных каменной крепью, – арочная с вертикальными стенками. Чаще всего каменную крепь применяют для крепления капитальных горных выработок вне зоны влияния очистных работ. Из всех видов каменных материалов на калийных и соляных рудниках нашей страны некоторое распространение получил кирпич. Большая трудоемкость возведения, сложность возведения крепи выработок большого сечения ограничивают применение кирпича. Поэтому он используется обычно для возведения всякого рода перегорода, перемычек и для укрепления вертикальных стенок в капитальных выработках околоствольных дворов, камер для размещения технологического оборудования.

Монолитная бетонная и железобетонная крепь представляют собой сплошные конструкции, закрывающие кровлю, стенки, а иногда и почву горной выработки. Монолитные крепи имеют в основном сводчатые формы и применяются для крепления капитальных выработок с продолжительным сроком эксплуатации. Чаще всего это выработки общерудничного назначения, расположенные вне зоны влияния очистных работ. При возведении монолитной бетонной и железобетонной крепей в калийных и соляных рудниках для приготовления бетона используют те же материалы, что и при креплении шахтных стволов в соляных породах (см. подраздел 3.2). Основными недостатками монолитных крепей являются необходимость устройств опалубки, трудоемкость возведения, особенно в выработках сложной конфигурации, высокая жесткость крепи. Возведение деревянной опалубки, как правило, связано с сооружением громоздких конструкций и значительным расходом лесоматериала. Применение металлических опалубок ограничивается многообразием форм и сечений капитальных выработок. При возведении железобетонной крепи используют гибкую арматуру круглого или периодического профиля, а в отдельных случаях из металлопроката (уголок, швеллер, двутавровые балки).

Монолитные крепи возводят в следующей последовательности. После проходки выработки первоначально сооружают опалубку для вертикальных стенок. Укладку бетона ведут слоями по 10–20 см с уплотнением каждого слоя вибраторами. После окончания бетонирования стен устанавливают кружала и сооружают опалубку сводовой части. Бетонирование свода обычно ведут небольшими по оси выработки участками, что позволяет лучше уплотнять бетон в замке свода. При сооружении замкнутых

крепей вначале укладывают бетон в нижний свод (обратный свод), затем бетонизируют стены и верхний свод. Аналогично ведут работы при возведении железобетонной крепи, однако здесь добавляются операции по установке или сборке арматурного каркаса. Для железобетонных крепей применяют пластичные бетонные смеси.

Укладку бетона за опалубку ведут вручную или специальными машинами (бетоноукладчиками). При ручной укладке применяют жесткие бетоны, при машинной — пластифицированные с водоцементным отношением 0,5–0,7. Для механизации укладки бетонной смеси применяют пневмобетоноукладчики ПБУ, производительностью 5–16 м³/ч с дальностью транспортирования бетонной смеси по горизонтали до 100–300 м, по вертикали — до 30–40 м.

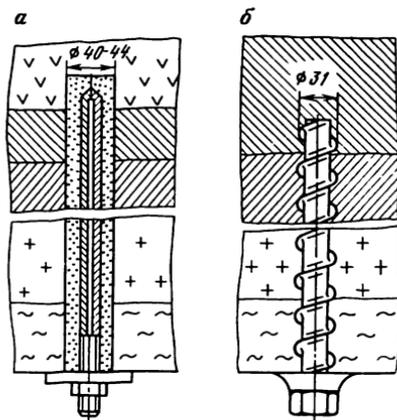
Анкерная крепь представляет собой систему стержней, расположенных в определенном порядке по периметру выработки, вставляемых в специально пробуренные скважины. Анкерная крепь используется как временная — при проходке выработок и как постоянная. Постоянная крепь с использованием анкеров может быть двух типов — когда породные стенки и кровля выработок закреплены только анкерной крепью (собственно анкерная крепь) и когда анкера являются одним из элементов постоянной крепи, состоящей, кроме анкеров, из бетона, набрызгбетона, различного рода сеток, щитов и балок. Наибольшее распространение имеют самостоятельная анкерная крепь и сочетание анкерной крепи с набрызгбетоном.

Крепление капитальных горных выработок (околоствольные дворы, специальные камеры больших поперечных сечений) анкерной крепью особенно эффективно при наличии над непосредственной кровлей, состоящей из неустойчивых породных слоев, основной кровли, например пласта каменной соли, к которому можно надежно прикрепить непосредственную кровлю. Хорошие результаты дает применение анкерной крепи как средства упрочнения породных стенок и уменьшения проявления деформаций ползучести соляных пород.

Для выполнения своей функции анкер в скважине закрепляется. По способу закрепления анкеров в скважинах их можно разделить на две группы. К первой относятся конструкции анкеров, которые закрепляются в скважине за счет специального устройства — замка. Ко второй группе относятся анкера, которые не имеют замка, а закрепляются в скважине по всей длине или значительной ее части. К анкерам второй группы, получившим наибольшее распространение на калийных и соляных рудниках, относятся железобетонные и винтовые.

Железобетонный анкер состоит из стержня (сталь круглого или периодического профиля), пространство между которым и стенкой скважины заполнено цементно-песчаным или цементным раствором (рис. 71, а). Прочность закрепления железобетонного анкера зависит от марки цемента, состава цементного раствора, характера горных пород, размеров и состояния поверхности металлического стержня. Удельное сцепление стержней из арматуры периодического профиля в 1,5–1,6 раза выше по сравнению с круглыми металлическими стержнями при необработанной поверхности. Кроме того, при подборе состава цементного раствора должно быть обеспечено хорошее сцепление цементного камня с горными породами. С целью ускорения схватывания раствора применяют специальные

Рис. 71. Схемы установки железобетонного (а) и винтового (б) анкеров



добавки, например, хлористый кальций. При приготовлении раствора используют сульфатостойкий портландцемент и насыщенный соляной раствор или природный рассол. Цементный раствор подают в скважину до установки металлического стержня (забивной анкер) или после установки металлического стержня. В последнем случае хвостовая часть анкера должна иметь устройство для удержания его в скважине. Подачу раствора

в скважину ведут с помощью ручных или пневматических шприцев. Для удержания раствора в скважине устье ее перекрывается специальной шайбой или уплотнительным кольцом.

ИГД им. А. А. Скочинского и НИИОГРом разработана конструкция железобетонного анкера, для установки которого быстротвердеющий цементный раствор подается в виде патрона, вводимого в скважину раньше металлического анкера. Патрон состоит из двух отделений. Одно отделение содержит жидкое стекло, другое — сухую цементную смесь. Для лучшего перемешивания составных частей патрона при подаче в скважину анкер вращают. Натяжение анкера при растворе из портландцементов производят через 2–3 сут, из глиноземного или быстротвердеющего цемента — через 10–12 ч. Для натяжения могут использоваться специальные гайковерты, например СГЭ-2. В выработках, подверженных влиянию очистных работ, железобетонные анкеры применяют крайне редко.

Некоторое распространение получили армополимерные анкеры, конструкции которых аналогичны железобетонным. Армирующие стержни этих анкеров изготавливаются из различных материалов: металла разного профиля, стекловолокна, дерева, проволоки-катанки диаметром 5–6 мм и т. д. Закрепление анкеров производится полимерными материалами, основной составной частью которых является смола (ПН-1, ЭД-5, ФРА, ФФ-1Ф). Обычно состав подается в скважину в виде патронов (ампул), приготовленных в заводских условиях. Оболочку патронов изготавливают из полиэтиленовой пленки или бумаги. Ампулы с отвердителем обычно стеклянные. Быстрое отверждение смолы позволяет нагружать анкер уже через 1–2 ч после установки.

Винтовой анкер представляет собой металлическую штангу с резьбой специального профиля (см. рис. 71, б). Винтовой анкер конструкции ИГД им. А. А. Скочинского имеет наружный диаметр 31 мм и внутренний 18 мм. Анкер ввертывается в скважину, диаметр которой на 4–6 мм меньше его наружного диаметра. Винтовая поверхность врезается в породную стенку, что обеспечивает прочное закрепление анкера в породах, препятствует расслоению скрепленных анкером породных слоев. Винтовые ан-

керы широко применяются на калийных рудниках Верхнекамского и Старобинского калийных месторождений. Анкеры устанавливаются с помощью специальных приспособлений. На Верхнекамских рудниках для этого используется агрегат АК-1, выпускаемый Пермским заводом горношахтного машиностроения. В выработках высотой 2,2–3 м для установки винтовых анкеров могут применяться самоходные установки СУАВ-1 и СУАВ-2.

Незначительное применение находят и замковые анкеры конструкции ПО «Эстонсланец». Величина предварительного натяжения анкеров 40–50 кН, что во всех случаях должно быть больше веса заанкерованных пород.

Особенно эффективно применение анкерной крепи при слоистой структуре кровли, когда отдельные слои как бы «подшиваются» анкерами к основной несущей кровле или «сшиваются» друг с другом, образуя монолитную плиту, способную воспринимать нагрузки от вышележащих пород. Во всех случаях длина анкеров и сетка (шаг) установки крепи определяются или расчетом, или на основе анализа опыта применения в аналогичных условиях. Отставание анкерной крепи от забоя обычно 10–15 м.

Так, типовым проектом «Сечения и сопряжения горных выработок калийных месторождений» (ВНИИГалургии, 1982 г.) для крепления горно-капитальных выработок вне зоны влияния очистных работ рекомендовано в условиях Старобинского месторождения применение железобетонных анкеров длиной 2 м, винтовых длиной 1,8–2 м при расстоянии между анкерами в ряду и между соседними рядами 1 м. Для аналогичных условий на Верхнекамском месторождении рекомендуются винтовые анкеры длиной 1,5–1,7 м, а на сопряжениях 2 м. Сетка установки та же.

Однако следует учитывать, что наибольшие деформации массива за счет ползучести соляных пород распространяются на глубину 0,3–0,5 от поперечного размера выработки. Поэтому для повышения эффекта укрепления породных стенок часто применяют анкеры большой длины – до 2–3 м.

Часто совместно с анкерной крепью применяются деревянные или металлические подхваты. Иногда между породой и подхватами делают затяжку. Недостатком деревянных подхватов являются значительная толщина (до 10–20 см) и релаксация напряжений на контакте дерева с опорной шайбой анкера, что снижает натяжение стержня. Эти же недостатки относятся к деревянной затяжке. Металлические подхваты из различных профилей металла (уголки, швеллеры, двутавровые балки) обладают высокой несущей способностью и не имеют недостатков подхватов из дерева.

Набрызгбетонная крепь представляет собой разновидность бетонной крепи, которая в отличие от монолитной крепи возводится без применения опалубки. Бетонная смесь наносится на предварительно увлажненную поверхность породных стенок выработки с происхождением сжатого воздуха слоями по 50–70 мм. При нанесении первого слоя происходит заполнение трещин, разрывов и неровностей поверхности стенок выработки, а за счет скорости струи и трамбующего воздействия крупного заполнителя упрочнение этого слоя и породной стенки. После твердения бетона крепь образует с окружающим породным массивом единую конструкцию, способную воспринимать значительные нагрузки. При разрушении, как правило, разрыв происходит по соляной породе, а не по контакту порода–бетон.

Высокая механическая прочность набрызгбетона позволяет в 2–3 раза уменьшить толщину и при меньших размерах по сравнению с монолитным бетоном создать равнопрочную крепь. Кроме того, набрызгбетон защищает породы от доступа воздуха, что исключает набухание глинистых пород под действием атмосферной влаги, сохраняет первоначальную устойчивость породных стенок. В зависимости от условий и назначения крепи и выработки определяется полная толщина небрызгбетонной крепи, обычно это 50–200 мм.

Для приготовления набрызгбетона применяются те же материалы, что и для монолитной бетонной крепи: цемент, крупный и мелкий заполнители, добавки-ускорители схватывания и вода для затворения. Выбор цемента для приготовления набрызгбетона обуславливается следующими требованиями. После нанесения на поверхность стенки выработки бетонная смесь должна быстро схватываться, чтобы сохранить необходимую форму и размеры крепи; быстро набирать прочность, чтобы быть способной в раннем возрасте воспринимать прочность, чтобы быть способной в раннем возрасте воспринимать нагрузки и иметь высокую адгезионную способность. В зависимости от конкретных условий, например состава пород, к бетонной смеси могут предъявляться специальные требования (устойчивость против определенного вида агрессии, водонепроницаемость и т. п.).

Из выпускающихся промышленностью цементов наиболее пригодны быстротвердеющие и глиноземистые цементы. Наибольшее распространение получили портландцементы и шлакопортландцементы [8, 33]. Для крепления выработок в соляных и соледержащих породах применяется сульфатостойкий портландцемент. Используются цементы высоких марок, не ниже 300, обычно 400, 500. ВНИИОМШСом и ВНИИЦементом разработаны специальные быстрохватывающиеся цементы для приготовления набрызгбетона [11]. ВНИИЦементом и ЦНИИПодземмашем разработан специальный быстрохватывающийся безусадочный цемент (БВЦ). Применение этого цемента обеспечивает быстрое схватывание бетона (до 10 мин) и прочность на сжатие в двухчасовом возрасте до 2–5 МПа [8].

В качестве мелкого заполнителя применяют чистый, не содержащий глинистых и пылевидных частиц песок крупностью до 5 мм; обычно используется отсев – остаточный продукт дробления щебня [8]. Иногда используют смесь песка с гравием крупностью до 10 мм [33]. Предельные размеры крупного заполнителя (гравий, щебень) определяются конструктивными возможностями бетономашин и размерами крепи. Наибольшая крупность заполнителя не должна превышать 0,25 от минимального размера толщины крепи [22]. Это обстоятельство в сочетании с возможностями применяющейся техники для нанесения набрызгбетона ограничивает применение заполнителей более 25–30 мм. Кроме того, применение крупного заполнителя увеличивает потери материала в результате отскока с 20–25 до 70%. Исследованиями установлено, что прочность крупнозернистого бетона выше, чем у мелкозернистого, модуль упругости выше на 20–30% [22]. Увеличение прочности набрызгбетона с увеличением содержания крупного заполнителя при равном расходе цемента особенно сильно проявляется в тощих составах, содержащих относительно малое количество цемента. Наибольшая прочность характерна для набрызгбетонов, содержащих около 33% крупного заполнителя [8].

Водоцементное отношение выдерживают в пределах 0,35–0,45. Затворенные смеси ведут на насыщенных соляных растворах или природных рассолах.

Добавки – ускорители твердения применяют трех видов: жидкие, пасты и сухие (порошки). Предпочтение отдают жидким и пастообразным добавкам, которые вводятся в воду (рассол) и смешиваются с сухой смесью на выходе из сопла. Порошкообразные добавки вводят в сухую смесь, где при перемешивании может происходить комкование цемента, неравномерное распределение добавки по объему и, как результат, преждевременное схватывание смеси в шлангах и трубопроводах.

Наибольшее применение получили следующие добавки:

жидкое стекло (силикат натрия) $\text{Na}_2\text{O} \cdot n \cdot \text{SiO}_2$ в количестве 3–10% массы цемента;

хлористый кальций CaCl_2 в количестве 3–5% массы цемента;

фтористый натрий NaF до 3% массы цемента;

спек ОЭС $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{Na}_2\text{O} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$ до 2–4% массы цемента.

На приготовление 1 м³ бетонной смеси расходуют 350–400 кг цемента. Соотношение компонентов (цемент:песок:гравий) выдерживают около 1:2:1. Подробно методика подбора составов набрызгбетона изложена в работе [1].

Основными достоинствами набрызгбетонной крепи являются: практически полная механизация работ по возведению, быстрое схватывание, интенсивное нарастание прочности в начальный период и отсутствие работ по устройству опалубки.

Для нанесения набрызгбетона на поверхность стенок выработок применяются специальные бетономашины, которые по принципу подачи бетонной смеси разделяются на три типа: камерные, роторные и шнековые. В отечественной практике получили распространение камерные машины производительностью 4–8 м³/ч: С-630А, БМ-60, БМ-68, БМ-70, БМС-3М, БМС-5. При незначительных объемах крепления и малой толщине набрызгбетонной крепи применяют малые машины цемент-пушки (СБ-117, СБ-13).

Техническая характеристика пневмобетономашин БМ-70

Производительность по сухой смеси, м ³ /ч	6
Дальность подачи смеси, м	250
Высота подачи смеси, м	50
Предельная крупность заполнителя, мм	30
Внутренний диаметр резинового рукава, мм	65
Рабочее давление воздуха, МПа	0,5
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	10
Мощность двигателя, кВт	15
Габаритные размеры, мм:	
высота	2300
ширина	1080
длина	3400
Масса машины, кг	4500

Основным недостатком набрызгбетонной крепи является большая потеря материала из-за отскока.

Комбинированные крепи – анкерная в сочетании с металлической сеткой, анкерная с металлической сеткой и набрызгбетоном – получили достаточно

широкое распространение. Для создания комбинированной крепи применяют металлическую сетку по ГОСТ 5336-80. Металлическая рулонная сетка с размером ячейки 60-100 мм прижимается к породной стенке шайбами анкерной крепи. В отдельных случаях для усиления на рулонную сетку накладывают арматурную сталь диаметром 14-16 мм, которую приваривают к шайбам анкеров. Образуется дополнительная сетка с ячейкой, равной шагу установки анкеров. Затем наносят набрызгбетон, обычно в 2-4 приема. Возведенная таким образом крепь при малых размерах обладает высокой несущей способностью.

Арочная податливая крепь из специального желобчатого профиля применяется для крепления выработок на больших глубинах или подверженных влиянию очистных работ. Выпускается шесть типоразмеров этой крепи: СВП-14, СВП-17, СВП-19, СВП-22, СВП-27 и СВП-33. Тип крепи выбирается с учетом необходимых размеров выработки или площади сечения ее в свету. С целью уменьшения плотности крепи иногда в выработках меньшего сечения применяют более тяжелые профили. При определении шага установки арок крепи в горизонтальных выработках рекомендуется [11] принимать следующие величины несущей способности (сопротивления) одной арки при работе в податливом режиме.

Тип крепи	СВП-17	СВП-19	СВП-22	СВП-27	СВП-33
Несущая способность крепи, кПа	140-150	160-170	180-190	200-220	200-220

При работе в жестком режиме несущая способность арок увеличивается на 60-80%.

Стойки и верхняки соседних арок соединяются между собой стяжками (распорками), после чего производят затяжку кровли и боков выработки и тщательное забушивание закрепного пространства кусками породы.

Возможно применение и других видов металлических крепей, выпускаемых промышленностью, например, арочных податливых типов АП-3 и АП-5, МПК-А3, МПК-А4, а в отдельных случаях жесткой арочной крепи АЖ.

5.2. КРЕПЬ СОПРЯЖЕНИЙ СТВОЛОВ

Горные выработки, соединяющие шахтные стволы с горизонтальными выработками и околоствольными камерами, называют сопряжениями. Сопряжения стволов отличаются сложной конфигурацией, а в месте их сооружения в наибольшей мере проявляется действие горного давления. Поэтому участок ствола выше и ниже сопряжения на 20 м и сопряжения на расстоянии около 10 м от ствола обычно крепят усиленной крепью, чтобы уменьшить взаимовлияние ствола и его сопряжений. В зависимости от категории устойчивости пород, конфигурации сопряжений и назначения выработок, примыкающих к сопряжению, протяженность участков применения усиленной крепи может изменяться.

На калийных и соляных рудниках сопряжения стволов проходят в соляных (каменная соль, сильвиниты) или солесодержащих породах (зубер, соленосные пески). Исключение составляют сопряжения вентиляционных ство-

лов с выработками вентиляционных горизонтов. Склонность соляных пород к длительной ползучести в основном определяет требования к выбору конструкции и материала крепи как сопряжений, так и других выработок, сооружаемых в солях.

В практике известны случаи, когда на соляных и калийных рудниках десятилетиями успешно эксплуатируются выработки, в том числе и сопряжения, вообще без крепи. На Солотвинском соляном руднике № 8 без крепи на глубине 376 м длительное время эксплуатируются сопряжения шириной 9 и высотой 4 м, а на соседнем руднике № 9—сопряжения шириной 5,2 и высотой 5 м. С другой стороны, достаточно примеров, когда крепь, рассчитанная на восприятие больших нагрузок, выполненная из железобетона, металлобетона, разрушается в течение 3–5 лет эксплуатации. Так, двустороннее сопряжение ствола № 2 Первого Березниковского калийного рудника с гор. — 273 м было пройдено по каменной соли без применения взрывных работ в 1937 г. и без крепи до сих пор успешно эксплуатируется, а сопряжения, закрепленные железобетоном толщиной 400–600 мм на соседних Втором и Третьем Березниковских рудниках были разрушены через 4–7 лет после сооружения. Много лет без крепи успешно эксплуатируются сопряжения стволов на руднике № 2 ПО «Артемсоль», а на стволе № 3 соседнего рудника монолитная бетонная крепь сопряжений разрушена настолько, что ствол временно выведен из эксплуатации. Разрушена крепь сопряжений стволов на Калушском им. 50-летия Октября и Ново-Стебниковском калийных рудниках.

Известно, что на устойчивость выработок, пройденных в солях, значительное влияние оказывают соседние выработки. Особенно это проявляется у стволов, где в соляном целике располагается множество выработок околоствольного двора. Еще в большей мере этому влиянию подвержены сопряжения стволов.

Одновременно с сооружением стволов обычно проходят небольшой участок сопряжения лишь на 5–10 м от ствола. Остальная часть работ выполняется после окончания проходки ствола при проходке выработок околоствольного двора.

Выделяют три типа сопряжений стволов с горизонтальными выработками (рис. 72). В сопряжениях первого типа (рис. 72, а) пролет горизонтальной выработки соответствует диаметру ствола, а иногда и меньше его. При сопряжении второго типа (рис. 72, б) он больше диаметра ствола, при этом ствол располагается эксцентрично, примыкая к одной из стенок горизонтальной выработки. На этом участке крепь ствола и сопряжения совпадают. Крепь противоположной стороны ствола образует вертикальную стенку, отделяющую обходной путь от ствола. При сопряжениях третьего типа (рис. 72, в) пролет горизонтальной выработки значительно превышает диаметр ствола. Верхняя и нижняя части ствола соединяются колоннами или вертикальными стенками, тогда образуются обходные пути по обе стороны ствола.

Сопряжения первого типа получили распространение на вентиляционных стволах. В зависимости от условий эксплуатации эти сопряжения могут быть односторонними и двусторонними. Односторонние сопряжения этого типа выполнены на стволах № 2-бис Первого Соликамского, № 4 Первого Березниковского, № 5 Калушского им. 50-летия Октября ка-

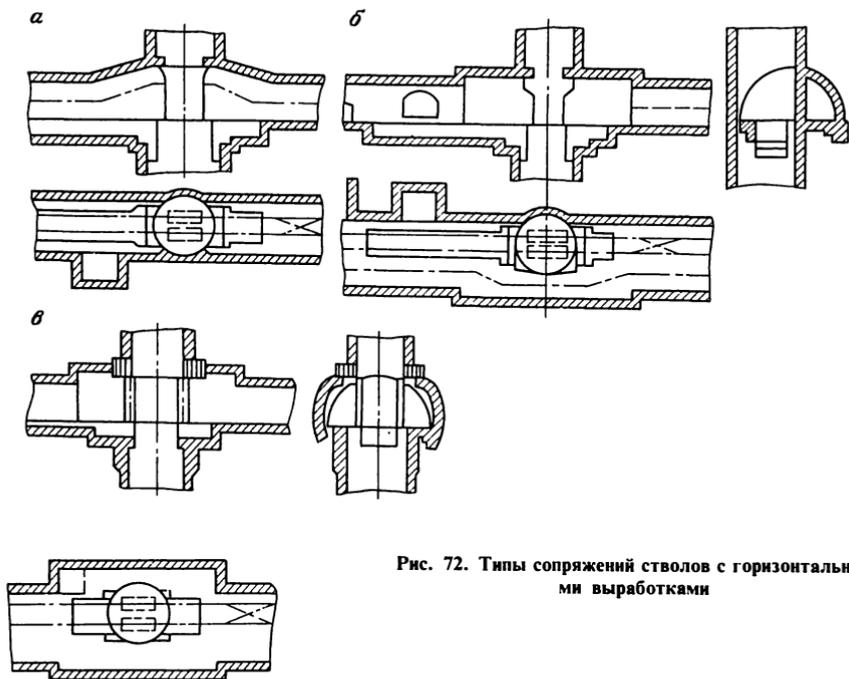


Рис. 72. Типы сопряжений стволов с горизонтальными выработками

лийных рудников. Одностороннее сопряжение характерно для стволов, расположенных на флангах шахтных полей. Такие стволы обычно оборудуют только клетевыми подъемами, не приспособленными для выдачи грузов в вагонетках.

Двусторонними сопряжениями снабжены стволы, клетевые подъемы которых используются для подъема и спуска грузов в шахтных вагонетках, на специальных транспортных тележках. В таких случаях оба сопряжения располагаются по одной оси, как например, на стволе «Главный» Калужского рудника им. 50-летия Октября. В основном это воздухоподающие стволы. Иногда два сопряжения со стволом проходят не по одной оси, а под некоторым углом друг к другу. Так, например, сопряжения с вентиляционным стволом № 2-бис Артемовского соляного рудника № 2 на гор. — 58,5 м выполнены под углом 104° , что было обусловлено расположением существовавших ранее выработок.

Сопряжения второго и третьего типов сооружают у стволов с развитым околоствольным двором на рудниках с рельсовым транспортом или у стволов, оборудованных специальными подъемами для спуска большегабаритных грузов (горные комбайны, самоходные вагоны, автотранспортные средства). Сопряжения второго типа сооружены у ствола № 1 Первого Солигорского калийного рудника и скипоклетевого ствола № 3 рудника № 3 ПО «Артёмсоль», стволов Соликамских и Березниковских калийных рудников. Характерной особенностью сопряжений второго типа является наличие стенки, соединяющей верхнюю и нижнюю части крепи ствола и отделяющей от ствола обходную выработку. На рис. 73 показаны

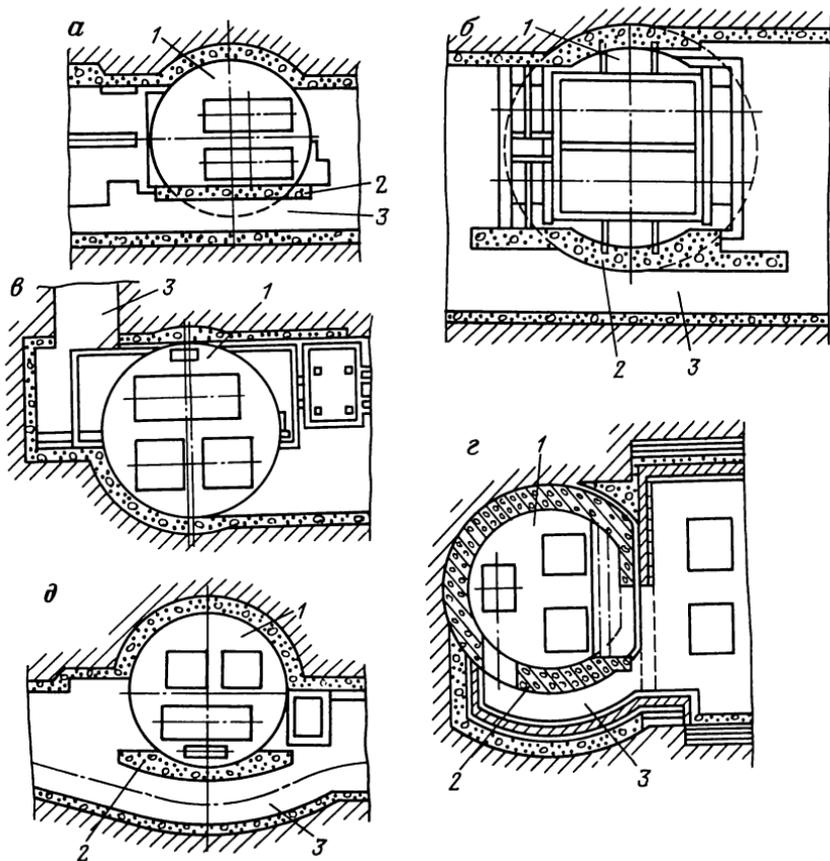


Рис. 73. Схемы сопряжений стволов второго типа с горизонтальными выработками:
 а – сопряжение ствола № 3 Первого Солигорского рудника с гор. 430 м; б – сопряжение ствола «Вспомогательный» Ново-Стебниковского рудника с гор. 311,3 м; в – сопряжение ствола № 4 четвертого Артемовского соляного рудника с гор. 176 м; г – сопряжение ствола «Главный» рудника Пийло с гор. 566,5 м; д – сопряжение ствола № 1 Первого Солигорского рудника с гор. 430 м; 1 – ствол; 2 – подпорная стенка; 3 – обходная выработка

примеры схем сопряжений стволов второго типа с обходными выработками и вертикальной соединительной стенкой.

В практике встречаются сопряжения всех типов, как закрепленные жесткой монолитной (бетонной или железобетонной) крепью, так и длительное время эксплуатирующиеся без крепи. Последнее характерно для рудников, где сопряжения стволов пройдены в устойчивых монолитных породах, например, в подстилающей каменной соли на рудниках Верхнекамского калийного месторождения. Лучшую устойчивость имеют сопряжения, пройденные без применения взрывных работ. Если сопряжения проходят в пластах, имеющих слоистую структуру или с применением взрывных работ, то обязательно применяется крепь.

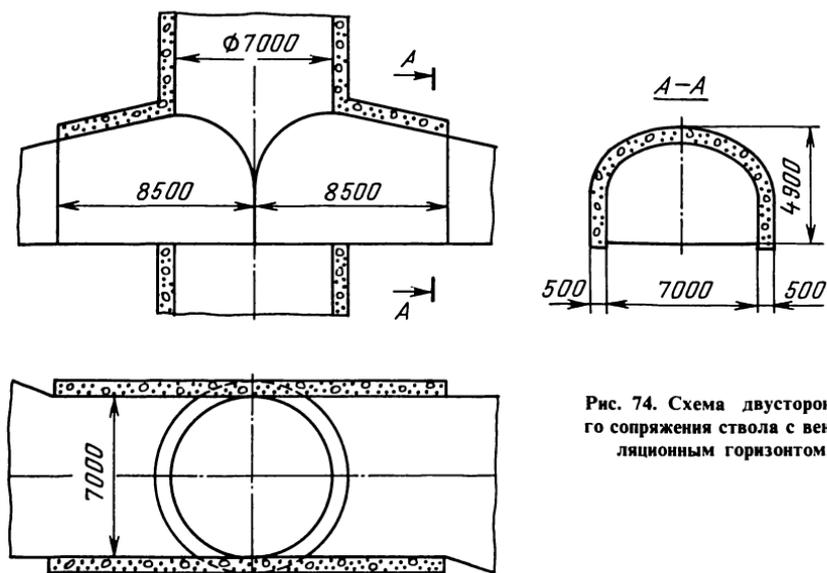


Рис. 74. Схема двустороннего сопряжения ствола с вентиляционным горизонтом

Сплошная крепь из монолитного бетона используется при глубинах до 300–350 м. На больших глубинах применяют железобетон, иногда с усилением отдельных узлов металлопрокатом. При применении монолитной бетонной крепи сопряжения проходят арочной формы с вертикальными стенками. Возводят крепи незамкнутой формы толщиной 300–500 м. Высота и ширина сопряжения определяются назначением ствола и горизонтальной выработки, к которой примыкает сопряжение. Обычно у ствола высота сопряжения значительно больше. Примером может служить двустороннее сопряжение ствола № 2-бис Первого, ствола № 4 Второго Соликамских рудников с вентиляционным горизонтом (рис. 74).

На глубинах более 350–400 м и при проходке сопряжений в слоистых и слабоустойчивых породах применяют арочную крепь с вертикальными стенками, выполненную из железобетона, незамкнутой или замкнутой формы. Почву выработок крепят бетоном или солебетоном. Так, сопряжение ствола «Главный» Калужского калийного рудника Гольнь арочной формы с вертикальными стенками высотой 3,65–5,65 м и шириной 4,97–6,45 м в свету закреплено железобетоном толщиной 400 мм в вертикальных стенках и 350 мм в своде. В почве сопряжения уложен бетон толщиной 190 мм (рис. 75, а).

В большинстве случаев сопряжения проходят без применения временных крепей, но в неустойчивых породах применяют деревянную или анкерную крепь. В отдельных случаях находит применение металлическая арочная крепь из желобчатого спецпрофиля. Штанговая, а иногда и металлическая крепи перед возведением постоянной крепи не демонтируются, что служит усилением постоянной крепи. Так, на Калужском руднике Пийло при креплении сопряжений стволов «Главный» и «Вспомогательный» предложено металлическую арочную крепь из спецпрофиля СВП-27 не де-

монтировать перед укладкой бетона постоянной крепи, а оставить для придания железобетонной крепи большей устойчивости.

При больших глубинах применяется сплошная арочная крепь замкнутой формы с обратным сводом. Сопряжения стволов Четвертого Солигорского калийного рудника, пройденные на глубинах 600–800 м, закреплены железобетонной крепью с обратным сводом. Толщина крепи в вертикальных стенках 350–450 мм, в сводовой части 300 мм. Обратный свод с толщиной бетонной крепи 400–500 мм, как правило, заполняли солебетоном (см. рис. 75, б).

При проходке сопряжений применяют различные технологические схемы. На вновь строящихся рудниках, когда высокая часть сопряжения проходит одновременно с проходкой ствола, выемку породы ведут буровзрывным способом сплошным забоем или уступами. Зачистку стенок выработок производят отбойными молотками. На рис. 76 показаны три последовательных этапа проходки верхнего уступа и возведения опалубки для крепления сводовой части сопряжения ствола № 4 Второго Соликамского калийного рудника на глубине 230 м. Ствол закреплен временной металлической крепью, примыкание сопряжения к стволу — швеллерами на анкерах и деревянной затяжкой.

В слоистых слабоустойчивых породах нередко до возведения постоянной крепи происходят обрушения стенок выработок, вывалы. Характерным примером может служить проходка сопряжений ствола № 2 Четвертого Солигорского калийного рудника. Двусторонние сопряжения на глубинах 835 и 842,7 м проходились в слабоустойчивых слоистых соляных пластах. Вывалы породы наблюдались из кровли и боков выработок. На отдельных участках глубина вывалов достигала 1–1,5 м.

Иногда при сооружении сопряжений в соляных породах встречаются полости, образовавшиеся вследствие растворения соли водой. Так, при сооружении сопряжения клетового ствола соляного рудника им. Свердлова Артемовского месторождения на глубине 172,9 м радиус размыва соли от оси ствола достигал 10 м, на стволе № 2-бис рудника № 2 этого же месторождения в сопряжении с гор. — 58,5 м размывы распространились до 11 м. Заполнение пустот, вывалов производят бутовым камнем, деревом, чаще солебетоном или тощим бетоном низких марок (рис. 77). Для приготовления солебета марки 100 на одну объемную единицу сульфатостойкого портландцемента марки 300 расходуют 10 частей соляной породы (5 частей соляного штыба крупностью до 10 мм, 5 частей крупностью 20–50 мм) и 1,2 части пресной воды. Если породы достаточно устойчивы, то крепь возводят участками по 5–10 м и более. Бетон к месту укладки подается по трубам с поверхности как для крепления ствола. В слабоустойчивых породах опалубку сооружают сразу вслед за проходкой, крепь возводят малыми участками по 2–3 м.

При сооружении сопряжений к бетону и его составляющим предъявляются те же требования, что и при креплении стволов в соляных породах.

На действующих рудниках иногда сопряжения проходят комбайнами заранее, до подхода забоя ствола к отметке сопряжения. Выработки, пройденные комбайнами «Урал-10КС», «Урал-20КС» и ПК-8, отличаются хорошей устойчивостью и иногда эксплуатируются без крепления.

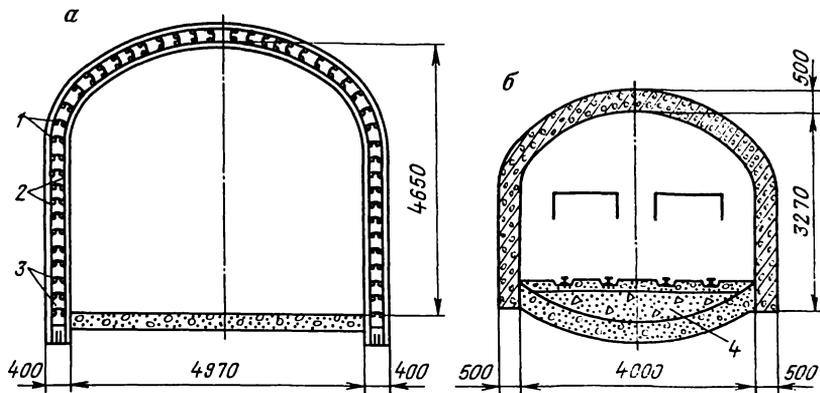


Рис. 75. Железобетонная арочная креп с вертикальными стенками (а) и с обратным сволом (б):
 1 – распределительная арматура диаметром 8 мм; 2 – рабочая арматура диаметром 14 мм;
 3 – хомуты из круглой стали диаметром 6 мм; 4 – солебетон

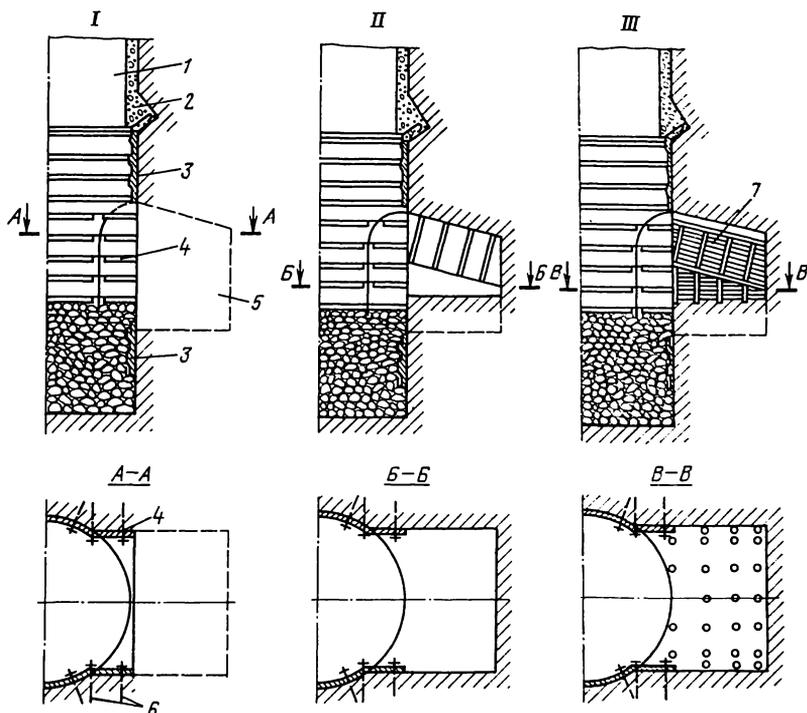


Рис. 76. Схемы проходки и крепления одностороннего сопряжения ствола с горизонтальной выработкой (взорванная порода условно не показана):
 I–III – последовательность выполнения работ; 1 – ствол; 2 – опорный венец; 3 – кольца временной металлической крепи; 4 – временная крепь из швеллеров; 5 – сопряжение; 6 – анкерная крепь; 7 – деревянная опалубка

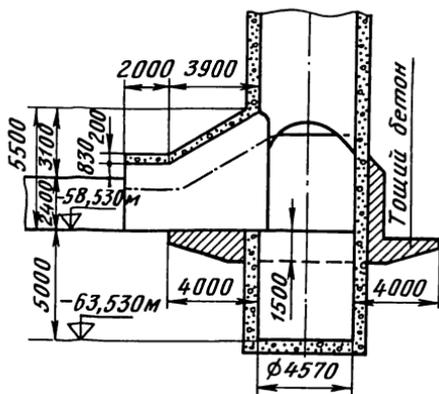


Рис. 77. Схема заполнения пустот вокруг крепи одностороннего сопряжения ствола № 2-бис Артемовского соляного рудника № 2

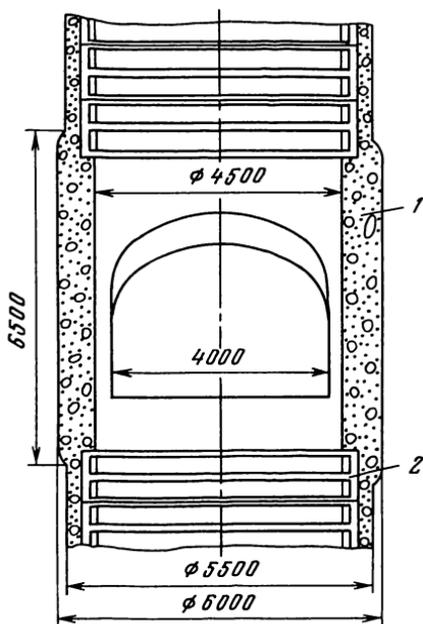
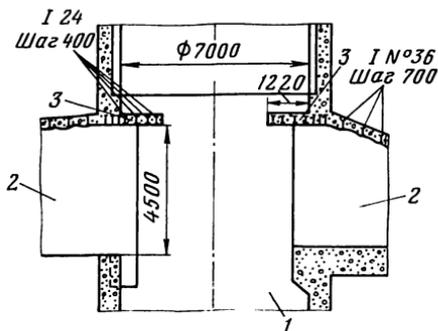


Рис. 78. Схема крепи ствола, закрепленного чугунными тубингами, на участке двустороннего сопряжения:

- 1 — участок усиленной бетонной крепи;
2 — тубинговая колонна

Рис. 79. Схема усиления кровли сопряжения и защитного козырька:

- 1 — ствол; 2 — сопряжения; 3 — защитные козырьки



В практике применяется несколько способов повышения устойчивости крепи сопряжений. Прежде всего это усиление крепи ствола выше и ниже сопряжения за счет увеличения толщины, устройства дополнительных опорных венцов около сопряжения, усиление бетона в узлах примыкания крепи сопряжения к крепи ствола металлическими балками, применение податливых двухслойных крепей. Иногда крепь ствола в районе сопряжений усиливается за счет применения крепи из чугунных тубингов. При этом для односторонних сопряжений тубинги монтируются без перевязки, что позволяет образовать проем в тубинговой колонне для примыкания крепи сопряжения. При двусторонних сопряжениях в тубинговой колонне

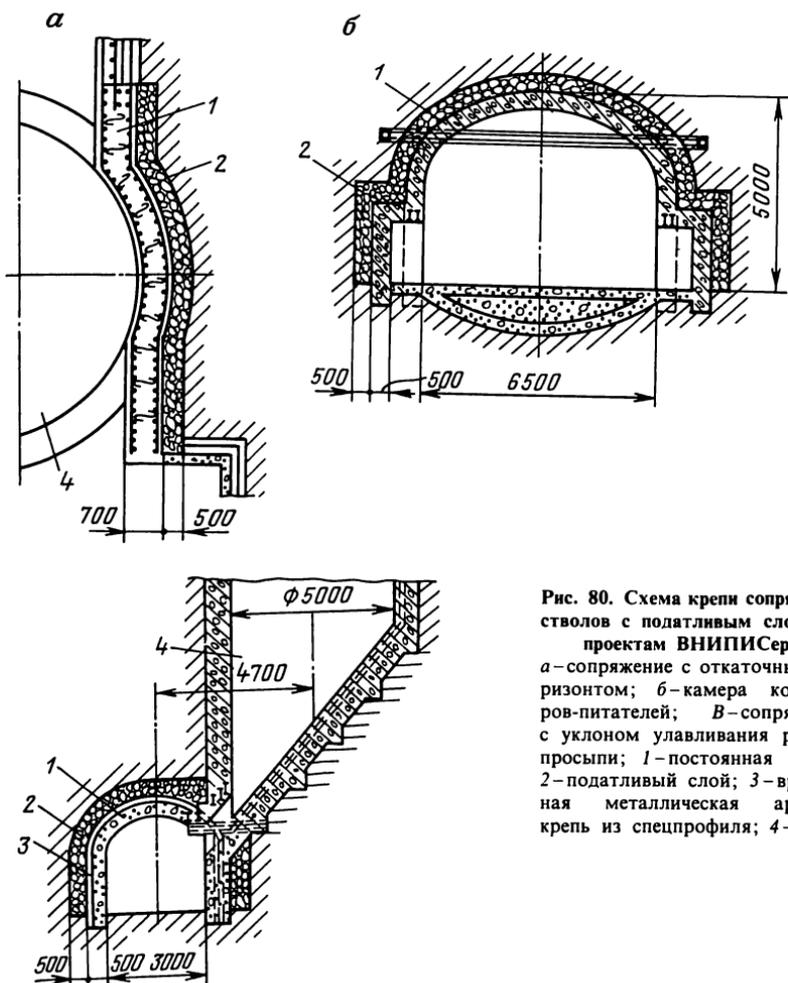


Рис. 80. Схема крепи сопряжений стволов с податливым слоем по проектам ВНИПСера:

а – сопряжение с откаточным горизонтом; *б* – камера конвейеров-питателей; *В* – сопряжение с уклоном улавливания рудной просыпи; 1 – постоянная крепь; 2 – податливый слой; 3 – временная металлическая арочная крепь из спецпрофиля; 4 – ствол

делают разрыв, а толщину бетонной крепи увеличивают (рис. 78). Применяются и другие решения, например, для ствола «Главный» Ново-Стебниковского калийного рудника бетонную крепь в районе сопряжений на глубине 402–417 м было предложено усилить металлическими поясами из швеллера № 16 на анкерах диаметром 22 мм и длиной 3 м. По бетону под швеллер укладывалась металлическая сетка. Расстояние между кольцами швеллеров 900 мм. На стволе «Главный» Калушского рудника им. 50-летия Октября сопряжение на глубине 175 м и усиление кровли сопряжения и защитного козырька над сопряжением выполнено двутавровыми балками с шагом соответственно 700 и 400 мм (рис. 79).

Рядом проектных организаций разработаны новые конструкции крепей и способы защиты крепи сопряжений от деформаций ползучести соляного массива. Так, ВНИПСера при проектировании сопряжений стволов Ка-

лушского рудника Пийло предложил между бетонной (железобетонной) крепью сопряжений и соляной стенкой выполнить защитный слой из деревянных стоек диаметром 160–180 мм, общая толщина слоя 500 мм. Варианты такой защиты различных участков сопряжений показаны на рис. 80. Уральским филиалом ВНИИГалургии на стволе № 5 Второго Соликамского калийного рудника предложено сопряжения крепить металлической сеткой на анкерах длиной 3 м.

5.3. КРЕПЬ ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК И КАМЕР СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

На всех горизонтах, с которыми соединяется ствол, проходят специальные горные выработки для размещения различного технологического оборудования. Вид оборудования, а следовательно, форма и размеры выработок определяются назначением шахтного ствола. Комплекс камер и других горных выработок, сооружаемых в непосредственной близости от ствола в околоствольном целике, принято называть околоствольным двором. Срок службы этих выработок равен сроку службы ствола, всего рудника или времени отработки одного горизонта. В связи с этим выработки околоствольных дворов относят к капитальным горным выработкам.

Околоствольные выработки, как правило, отличаются большими размерами, сложной конфигурацией и разнообразием форм сечений, имеют множество пересечений и сопряжений между собой. Большой суммарный объем околоствольных выработок приводит к значительному ослаблению околоствольного целика, способствует развитию деформаций соляного массива. Поэтому строительство околоствольных дворов в соляных или солесодержащих породах предъявляет ряд дополнительных требований к технологии проходки околоствольных выработок, их форме и размерам, к конструкции и материалу крепи. Этим и объясняется ограниченное использование при проходке и креплении выработок околоствольных дворов типовых конструкций временных крепей, инвентарных и передвижных опалубок.

Для крепления околоствольных дворов применяют бетон, а на глубинах более 350–400 м, как правило, железобетон. К бетону и его составляющим предъявляют те же требования, что и при креплении стволов в соляных породах. Используются плотные бетоны марки 150–250, в отдельных случаях марки 400. Наибольшее распространение получили бетоны на сульфатостойком портландцементе, приготовленные на насыщенных соляных растворах или природных рассолах.

Околоствольные дворы стволов, не предназначенных для подъема руды, отличаются простотой, имеют меньшее число выработок и меньший объем. Обслуживание клетевых подъемов, использующихся только для спуска и подъема людей и материалов, не требует размещения у ствола сложных механизмов, для которых необходимы выработки значительных объемов. При рельсовом транспорте и применении в руднике самоходного колесного транспорта в районе ствола проходят грузовую и порожняковую (объездную) транспортные ветки, камеры ожидания и электрических подстанций, насосные, компрессорные, камеры разворота для самоходного колесного транспорта.

Большим числом выработок различного назначения, большими объемами и сложной конфигурацией выработок отличаются околоствольные дворы стволов, оборудованных только скиповыми подъемами, особенно, когда загрузочные устройства располагаются по разные стороны ствола. Двустороннее размещение выработок грузовых околоствольных дворов встречается, когда с одного горизонта подъем руды производится, например, двумя двухскиповыми подъемными установками. Так оборудованы стволы № 1 Первого Березниковского и № 4 Второго Соликамского, стволы № 3 и 4 Четвертого Солигорского калийных рудников. В таких случаях суммарный объем выработок околоствольных дворов достигает 4–7 тыс. м³. Несколько меньшими объемами характеризуются околоствольные дворы скипоклетевых стволов, оборудованных скиповым и клетевыми подъемами. Такое оснащение стволов широко распространено на калийных и соляных рудниках.

Выработки околоствольных дворов, предназначенных для подъема руды, обычно размещаются по вертикали на участке 50–60 м. В каждом конкретном случае это зависит от типа подъемных сосудов (скипы или клетки), грузоподъемности подъемных сосудов, наличия и вместимости околоствольного бункера. При равных условиях, равной производительности большее распространение по вертикали имеют околоствольные дворы скиповых стволов в сравнении с клетевыми и стволы рудников с рельсовым транспортом в сравнении с конвейерным.

При рельсовом транспорте и скиповом подъеме ряд технологических камер включает камеру опрокидывателя, камеру грохочения и дробления руды, общешахтный бункер, камеры дозатора и загрузочного устройства. На рис. 81,а показана схема выработок околоствольного двора второго горизонта ствола «Главный» Ново-Стебниковского калийного рудника, оснащенного рельсовым транспортом. Вместимость бункера составляет 300 м³, грузоподъемность скипов 10 т. Транспортные выработки для грузовой и порожняковой ветвей обычно проходят раздельно, габариты их определяются типом подвижного состава. Проходку ведут тупиковым забоем с применением взрывных работ. После взрывных работ производят зачистку стенок выработок отбойными молотками. В слабоустойчивых породах (соленосные глины и пески) применяют временную крепь, чаще деревянную или металлическую из спецпрофиля. При проходке в слоистых неустойчивых породах кровлю вслед за проходкой крепят анкерами. В основном применяют железобетонную и винтовую анкерную крепи. Постоянная крепь выполняется из бетона марки 100–150, обычно арочной формы. Толщина бетона 250–300 мм. Применяют деревянную опалубку, укладку бетона ведут вручную. Изредка используются инвентарные металлические опалубки и бетоноукладчики. При проходке в устойчивых соляных породах и с применением горных комбайнов иногда транспортные выработки эксплуатируются без крепи. В отдельных случаях кровлю усиливают анкерами. На некоторых рудниках, где транспортный горизонт околоствольного двора расположен в плотной каменной соли, ширина грузовой ветви с опрокидывателями может достигать 12–16 м. Так, более 30 лет эксплуатируется околоствольный двор ствола № 2 Первого Березниковского калийного рудника. При ширине грузовой ветви 16 м стенки выработки не закреплены, кровля в наиболее широкой части усилена анкера-

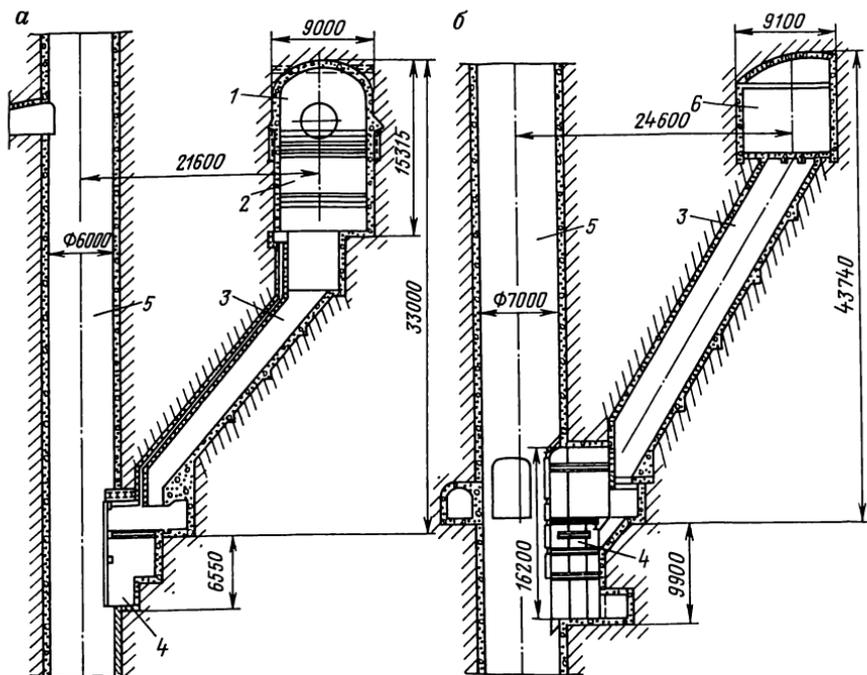


Рис. 81. Схемы выработок околоствольных дворов с рельсовым (а) и конвейерным (б) транспортом:

1 – камера опрокидывателя; 2 – камера грохочения и дробления; 3 – бункер; 4 – камера дозатора и загрузочного устройства; 5 – ствол; 6 – камера приводных станций конвейеров

ми. Выработки околоствольного двора размещены в пласте плотной каменной соли, что обеспечило длительную их устойчивость.

При недостаточной устойчивости соляных пород или глубине более 350–400 м грузовые ветви околоствольных дворов ограничивают по ширине.

Опрокидыватели, число которых определяется производительностью подъемов, устанавливают в специальных камерах по одному или два. Камеры опрокидывателей проходят с применением взрывных работ и временной крепи. Обычно они имеют сводчатую форму и крепятся монолитной бетонной крепью толщиной 300–500 мм. Под камерами опрокидывателей располагают камеры грохочения и дробления. Суммарная высота двух этих камер достигает 15 м, крепь их обычно составляет единую конструкцию. Промежуточные перекрытия для установки оборудования выполняют на металлических балках, чаще двутаврового профиля, концы которых жестко закрепляются в бетонной крепи стенок камер.

При применении конвейерного транспорта отсутствие камер опрокидывателей, грохочения и дробления руды значительно упрощает конструктивное выполнение выработок околоствольного двора. Объем выработок, их распространение по вертикали определяются вместимостью бункера

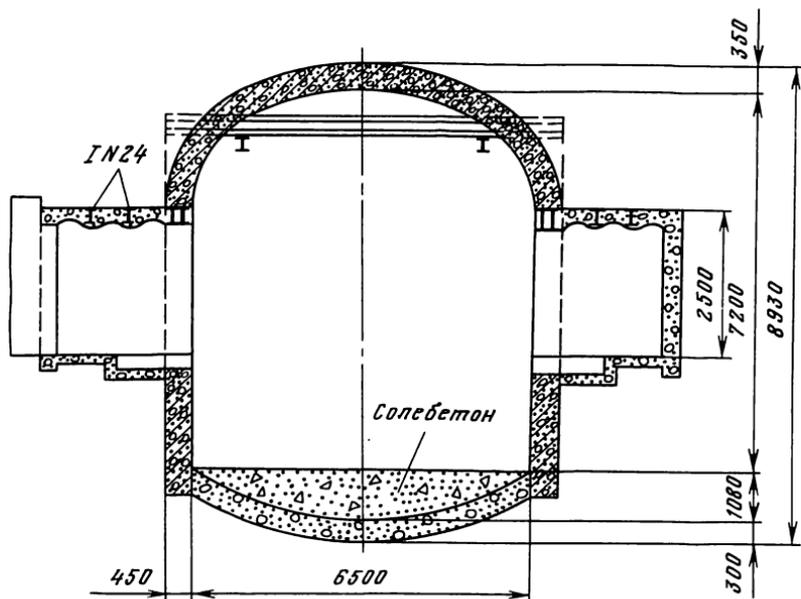


Рис. 82. Схема арочной крепи с обратным сводом камеры привода конвейера-накопителя

и производительностью подъема. Выработки для установки конвейеров проходят и крепят так же, как и транспортные выработки при рельсовом транспорте.

На рис. 81, б показана схема выработок околоствольного двора ствола № 1 Третьего Березниковского калийного рудника, оснащенного конвейерным транспортом. Бункер имеет вместимость 800 м³ при грузоподъемности скипов 22 т.

В последние годы при строительстве новых рудников все чаще выработки для конвейеров проходят комбайнами ПК-8, ПК-8М, «Урал-2ОКС». В пределах околоствольных дворов крепят только камеры установки приводных станций (разгрузочные камеры), где руда с конвейеров пересыпается прямо в общешахтный бункер. Например, разгрузочная камера (см. рис. 81) на глубине 450 м, пройденная в монолитной каменной соли при высоте в свету 9 м, ширине 8 м и длине 26,5 м, закреплена железобетонной крепью с вертикальными стенками толщиной 500 мм. Для крепления стен и свода камеры применен бетон марки 200, для пола марки 50.

На глубинах более 350–400 м и в слабоустойчивых породах применяют сплошные замкнутые арочные крепи из железобетона, иногда с обратным сводом. Так, у стволов № 3 и 4 Четвертого Солигорского калийного рудника (глубина более 600 м) камеры питателей и конвейеров-накопителей закреплены железобетонной сплошной крепью арочной формы с обратным сводом. Схема арочной крепи с обратным сводом камеры привода конвейера-накопителя у ствола № 3 этого рудника показана на рис. 82.

Околоствольные бункера (см. рис. 81) имеют размеры поперечного сечения соответственно $2,5 \times 6$ и 4×6 , наклонную длину 23 и 34 м. Как правило, бункера проходят снизу вверх после проходки камеры дозатора и загрузочного устройства с выпуском породы в отвал. Отбойку породы производят буровзрывным способом, временной крепи не применяют. Выработка под бункер имеет обычно прямоугольную форму, размеры поперечного сечения и длина ее определяются необходимой вместимостью бункера. Крепят бункера железобетоном толщиной 250–300 мм. Выпускной проем в днище бункера имеет меньшее сечение и делится на две течи для подачи руды к левому и правому дозаторам. Внутри бункеров стенки футеруются листовой сталью толщиной 12 мм для верхней и боковых стенок и 20 мм – для днища и выпускных течек. Наклон оси бункеров составляет $60-65^\circ$.

С целью уменьшения взаимовлияния выработок околоствольного двора и шахтного ствола иногда бункер и комплекс выработок над ним относят от ствола на расстояние до 40–50 м, а между бункером и загрузочным устройством устанавливают специальные двухскоростные конвейеры-накопители. Такое исполнение околоствольных дворов имеют грузовые стволы № 3 и 4 Четвертого Солигорского калийного рудника, построенные по проекту ВНИИГалургии. Расстояние от стенки ствола № 3 до выпускной течи бункера равно 25,2 м, а в околоствольных дворах, показанных на рис. 81, – 2,5 и 4 м. Именно такое рассредоточение выработок по горизонтали позволило оборудовать стволы № 3 и 4 двусторонним околоствольным двором на одном горизонте.

Камеры дозаторов и загрузочных устройств располагаются рядом со стволом и в большинстве случаев проходятся одновременно с ним. Отбойку породы производят буровзрывным способом. Ширина камер до 6 м, длина (от ствола) до 7 м и высота до 10–16 м. В месте примыкания дозаторной камеры к стволу в его стенке делается проем на всю высоту дозаторной. Так, в стволе № 1 Третьего Березниковского рудника (см. рис. 81, б) высота проема в стенке ствола составляла 16,2 м. Между стволом и дозаторной на всю высоту проема возводят металлическую перемычку, которая крепится к балкам межэтажных перекрытий дозаторной камеры и к элементам армировки ствола (рис. 83). Камеры крепят бетоном, железобетоном. Крепь дозаторной и крепь ствола часто выполняются как единая конструкция. Отдельные узлы и перекрытия усиливаются металлическими балками.

Сложная конфигурация, большие объемы и высота дозаторных камер, пройденных в соляном массиве, способствуют развитию деформаций ползучести соли. В результате этого на большинстве стволов калийных рудников крепь дозаторных камер и крепь стволов на этих участках деформированы, во многих случаях в сводовой части образовались трещины с надвигом одной части разрыва на другую. Крепь стволов в месте сопряжения дозаторных камер со стволом разрушается, как правило, вертикальными трещинами на полную высоту дозаторных камер. Образуются отдельные бетонные блоки, не связанные с остальной крепью (рис. 84). Иногда отслоившиеся блоки обрушаются в стволы. Первоначально начинают деформироваться балки, установленные в перегородке между дозаторной и стволом, изгиб которых приводит к деформациям расстрелов

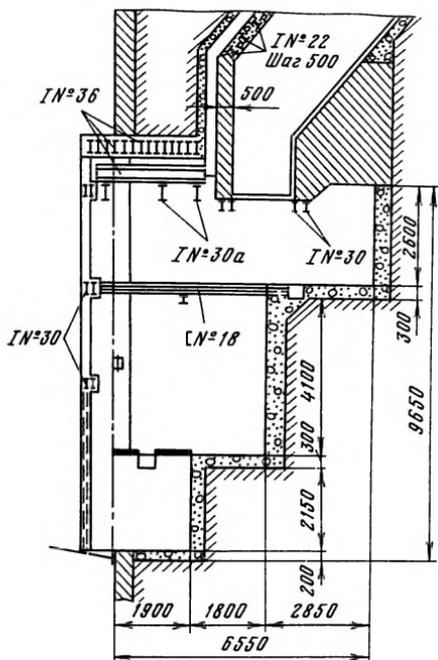


Рис. 83. Схема крепи камеры дозатора и загрузочного устройства

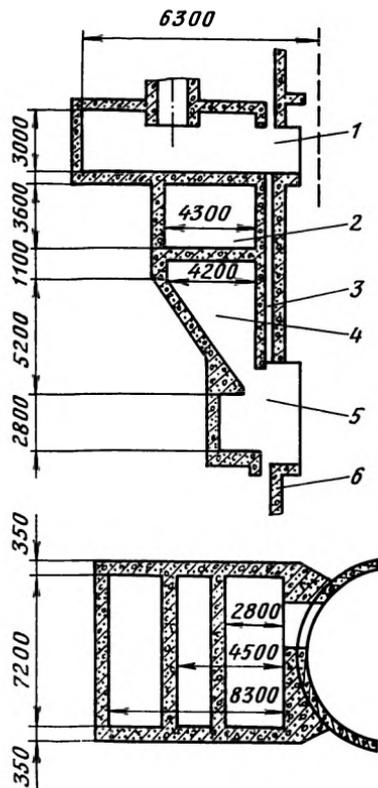


Рис. 85. Схема сопряжения ствола с камерой дозаторов:

1 – камера питателей; 2 – камера дозаторов; 3 – деформационный шов; 4 – бункер; 5 – камера загрузочного устройства; 6 – крепь ствола

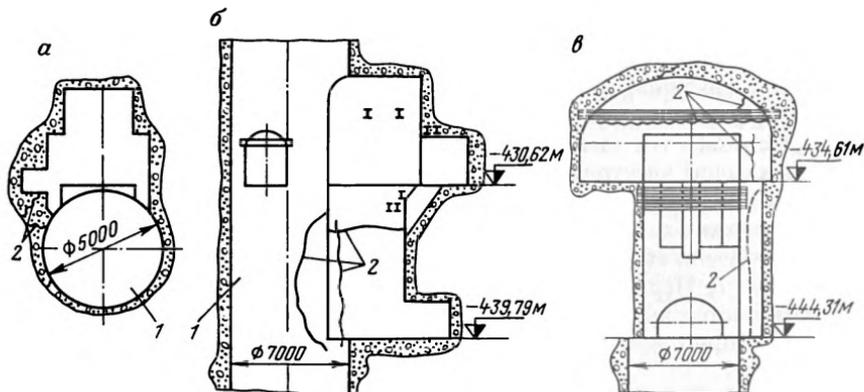


Рис. 84. Схемы разрушения крепи камер дозаторов и загрузочных устройств: ствола № 2 Первого Соликамского калийного рудника; б – ствола № 2 и в – ствола № 1 Второго Березниковского калийного рудника; 1 – ствол; 2 – трещины в крепи

и проводников в стволе. Очень быстро деформации достигают размеров, при которых подъемные сосуды в проводниках начинают «зависать». Подобные деформации наблюдались, например, на стволах Второго и Третьего Березниковских калийных рудников. Затем деформируются балки межэтажных перекрытий и происходит разрушение крепи в своде. Известны случаи, когда двутавровые балки № 36 в перекрытии шириной 6–9 м при продольном сжатии теряли устойчивость, стрела прогиба достигала 300–400 мм.

Предложено несколько способов борьбы с деформациями выработок околоствольных дворов (об одном из них упоминалось выше). К ним относятся рассредоточение камер, применение конвейеров-накопителей, что позволяет значительно растянуть выработки по горизонтали и тем самым уменьшить их влияние на ствол. Другой способ предложен Южгипрошахтом. Суть его состоит в том, что крепь дозаторной камеры и ствола выполняются раздельно, а между ними создается непрерывный деформационный шов, заполненный, например деревянным брусом (рис. 85). Такое разделение применено ВНИИГалургии в проекте крепления дозаторных камер стволов Четвертого Солигорского рудника. Своеобразное решение предложено ВНИПИСерой для защиты крепи дозаторной камеры III и IV горизонтов ствола у «Главный» Ново-Стебниковского рудника. Между соляной и вертикальной бетонной стенками крепи камеры предусмотрено создание деформационного (податливого) слоя из круглых деревянных стоек толщиной 250 мм.

Горные выработки и камеры, предназначенные для размещения в них какого-либо технологического оборудования, срок службы которых соизмерим со сроком существования рудника, отработки горизонта или равен ему, относятся к капитальным, независимо от расположения их относительно шахтных стволов. Такими камерами специального назначения являются подземные насосные и компрессорные, камеры электрических подстанций и подземных складов ВМ, выработки размещения подземных механических мастерских, электровозных депо, гаражей и ряд других технологических камер.

Обычно на каменносоляных рудниках, где добыча соли ведется камерной системой (ширина камер до 15–20 и высота до 30–40 м), и на калийных рудниках с глубиной разработки 200–300 м для размещения технологического оборудования используются старые отработанные камеры. В большинстве случаев эти камеры эксплуатируются без крепи. Примером могут служить камеры электрических подстанций, гаражей и ремонтных мастерских в соляных рудниках Артемовского месторождения. Основная часть технологических и специальных камер на Соликамских и Березниковских калийных рудниках длительное время (по 25–40 лет) эксплуатируются без крепи. Так, на Первом Березниковском руднике камеры подземных механических мастерских, пройденные в подстилающей каменной соли на глубине 270 м при ширине пролета 16 м, успешно эксплуатируются без крепи более 30 лет.

Для удобства обслуживания технологического оборудования почву камер покрывают искусственным полом, для изготовления которого используют дерево, бетон или солебетон невысоких марок (100, 150 и 200). Для приготовления солебетона марки 200 на одну объемную часть сульфато-

стойкого портландцемента марки 500 расходуют 5 частей соляного штыба (крупность частиц не более 15–20 мм) и 0,8 части пресной воды.

В некоторых случаях с целью повышения безопасности работающего персонала кровлю усиливают анкерной крепью. При большой высоте камер для осуществления контроля за состоянием кровли возводят подвесные полки или перекрывают камеры на необходимой по технологическим соображениям высоте.

С переходом на большие глубины разработки калийных меторождений – южная часть Верхнекамского (Второй и Третий Березниковские рудники), Старобинское и нижние горизонты на Стебниковских рудниках – кровлю стали закреплять практически во всех капитальных выработках и их сопряжениях. При решении вопроса о необходимости крепления выработок исходят из условий обеспечения безопасности работающего персонала, сохранности дорогостоящего оборудования (мощные конвейеры, современное станочное оборудование подземных механических мастерских и др.).

На каждом месторождении или руднике накоплен определенный опыт эксплуатации капитальных горных выработок, что позволяет достаточно правильно решать вопрос о необходимости крепления кровли и стенок в зависимости от конкретных условий расположения, назначения и габаритов выработок. Кроме того, обычно производят расчет предельно допустимого пролета выработки. Для пластичных пород [41] по условиям устойчивости кровли предельно допустимый пролет выработки равен

$$l_{\text{пр}} = \left[\sqrt{\left(\frac{\sigma_0 h}{3,5\sigma_p} \right)^2 + \frac{2h}{\gamma} (\sigma_0 - 2\lambda\gamma H)} - \frac{\sigma_0 h}{3,5\sigma_p} \right] / n_3,$$

где σ_0 – кубиковый предел прочности пород кровли при сжатии; h – мощность слоя непосредственной кровли; σ_p – предел прочности пород кровли при растяжении; γ – плотность пород кровли в массиве; λ – коэффициент бокового распора; H – глубина выработки от земной поверхности; n_3 – коэффициент запаса (1,2–1,6).

В тех случаях, когда $l_{\text{пр}}$ меньше необходимого размера, крепление кровли обязательно. Для усиления кровли может быть применена анкерная крепь, тогда величина h должна соответствовать сумме слоев кровли, закрепленных анкерной крепью.

Пример. В условиях Третьего Березниковского калийного рудника необходимо проверить устойчивость кровли камеры компрессоров. Ширина камеры 15 м, глубина выработки от земной поверхности 450 м. Непосредственной кровлей камеры служит пласт каменной соли мощностью 0,45 м, имеющий: $\sigma_0 = 32 \text{ МПа} = 3200 \text{ т/м}^2$, $\sigma_p = 0,8 \text{ МПа} = 80 \text{ т/м}^2$ и $\gamma = 2,1 \text{ т/м}^3$. Приняв $\lambda = 0,95$ и $n_3 = 1,5$ определяем предельно допустимый пролет выработки

$$l_{\text{пр}} = \left[\sqrt{\left(\frac{3200 \cdot 0,45}{3,5 \cdot 80} \right)^2 + \frac{2 \cdot 0,45}{2,1} (3200 - 2 \cdot 0,95 \cdot 2,1 \cdot 450)} - \frac{3200 \cdot 0,45}{3,5 \cdot 80} \right] / 1,5 =$$

$$= 13,28 \text{ м} < 15 \text{ м}.$$

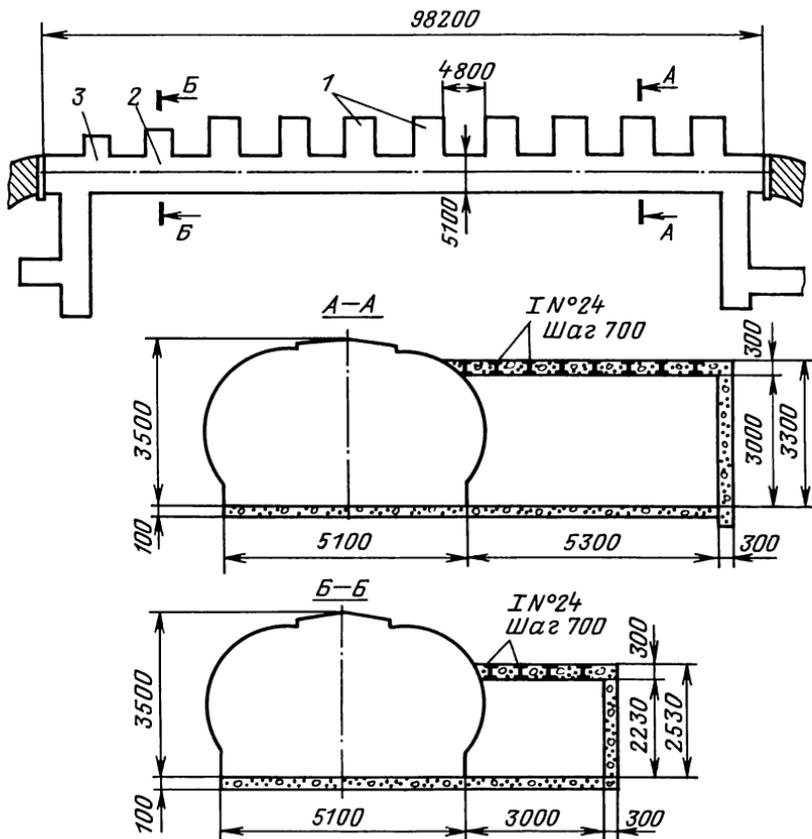


Рис. 86. Схема крепи подземного склада ВМ на Первом Соликамском калийном руднике

С целью усиления кровли принимается крепление ее анкерной крепью при длине анкера 1 м, тогда

$$l_{\text{пр}} = \left[\sqrt{\left(\frac{3200 \cdot 1}{3,5 \cdot 80} \right)^2 + \frac{2 \cdot 1}{2,1} \left(3200 - 2 \cdot 0,95 \cdot 2,1 \cdot 450 \right)} - \frac{3200 \cdot 1}{3,5 \cdot 80} \right] / 1,5 = 17,93 \text{ м} > 15 \text{ м}.$$

Для крепления специальных камер, располагаемых вне околоствольных целиков и не подверженных влиянию очистных работ, наибольшее распространение получили следующие виды крепи: анкерная, набрызгбетонная и комбинированные.

Рассмотрим несколько примеров применения постоянной крепи камер специального назначения на калийных и соляных рудниках.

Подземный склад взрывчатых материалов (ВМ) Первого Соликамского калийного рудника (проект ВНИИГалургии) пройден на глубине 280 м (рис. 86.) Склад ВМ вместимостью 16 т имеет 8 камер для хранения ВВ, одну камеру для хранения

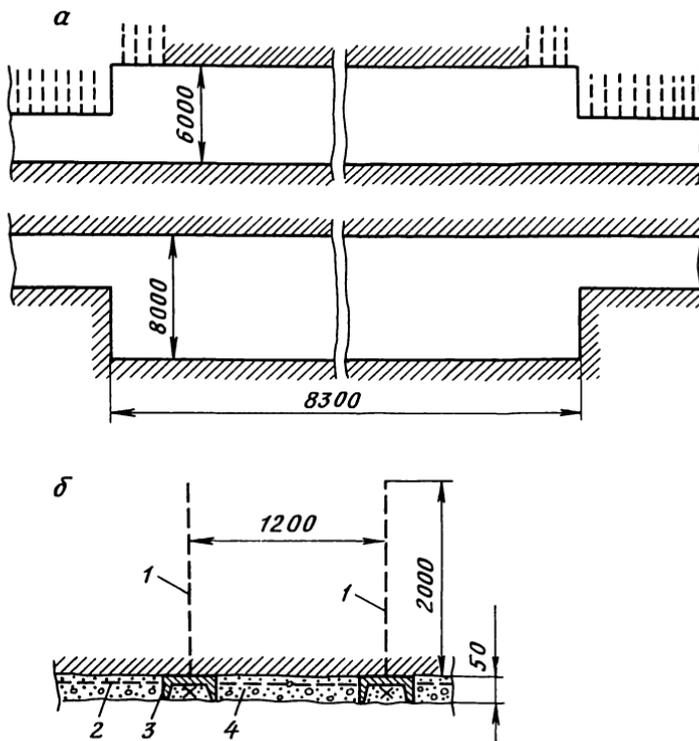


Рис. 87. Схема крепи камеры подземной механической мастерской (а) и элемента крепления кровли (б) на Первом Солигорском калийном руднике: 1 – железобетонный анкер; 2 – металлическая сетка; 3 – швеллер; 4 – набрызгбетон

30 тыс. шт электродетонаторов, одну камеру для проверки электродетонаторов и ряд вспомогательных камер. Основные выработки пройдены комбайном «Урал-20КС» площадью сечения в проходке 17,9 м². Камеры для хранения ВВ размером в плане 5,3 × 4,1 м и высотой 3 м прямоугольного сечения закреплены монолитной сплошной бетонной крепью толщиной 300 мм. Плоское перекрытие камер усилено двутавровыми балками № 24, шаг установки балок 700 мм. Аналогично закреплены камеры СВ и проверки электродетонаторов. Для крепи применен бетон марки 200 на сульфатостойком портландцементе. Во всех выработках выполнен бетонный пол толщиной 100 мм.

Камера подземной механической мастерской (рис. 87) на Первом Солигорском калийном руднике (проект Госгорхимпроекта) длиной 83 м, шириной 8 м и высотой 6 м пройдена на глубине 418 м. Подводящая и вентиляционная выработки пройдены комбайном ЩБМ, первая затем расширена до 3,2 × 4,0 м, кровля закреплена железобетонными анкерами длиной 2 м. Вентиляционная выработка эксплуатируется без крепи.

Кровля основной камеры закреплена комбинированной крепью. Металлическая сетка крепится подхватами из швеллера, расположенными поперек выработки. Шаг установки подхватов и расстояние между рядами анкеров по оси камеры равны по 1,2 м. Длина железобетонных анкеров равна 2 м. В каждом ряду по 8 анкеров с шагом 1 м, крайние анкера установлены на 0,5 м от вертикальной стенки. На металлическую сетку нанесен слой набрызгбетона толщиной 50 мм. Вертикальные стенки закреплены набрызгбетоном толщиной 50 мм без усиления сеткой и анкерами. Пол камеры толщиной 150 мм выполнен из бетона марки 100.

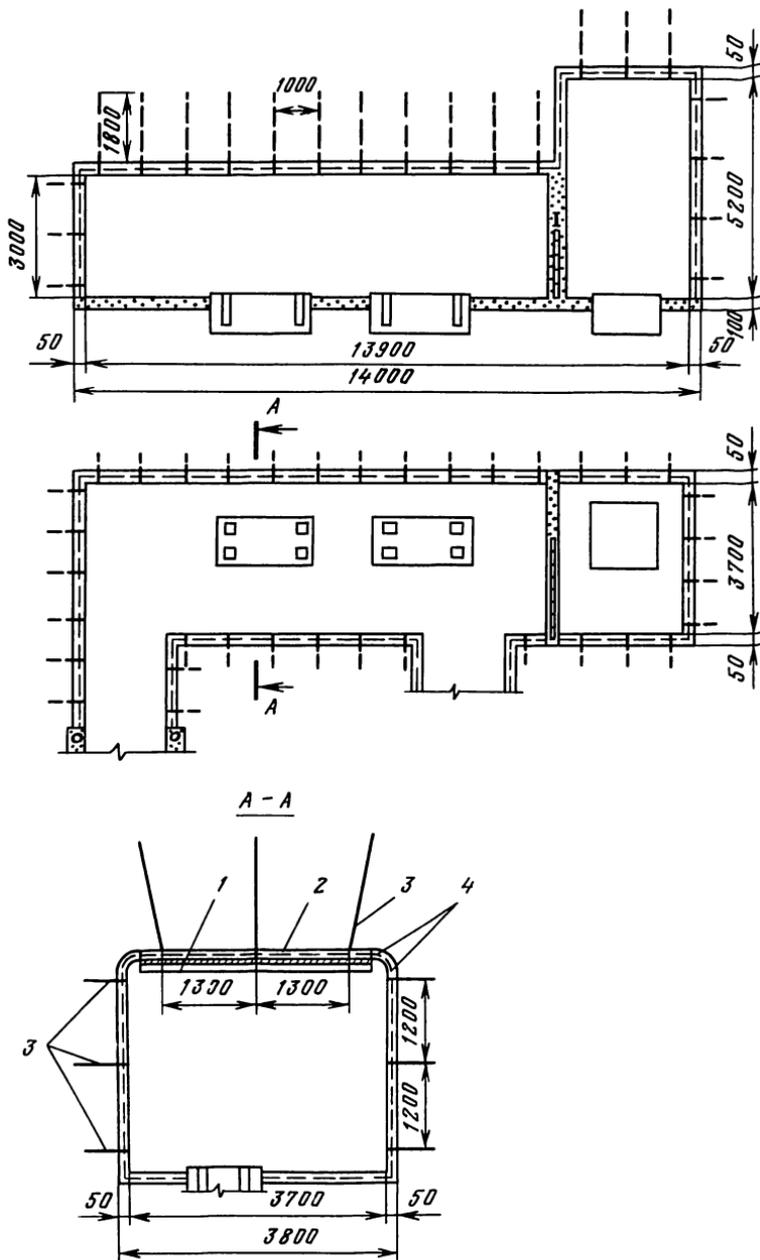


Рис. 88. Схема крепи камеры компрессоров на Артемовском соляном руднике № 4:
 1 – швеллер; 2 – набрызгбетон; 3 – железобетонный анкер; 4 – металлическая сетка

Аналогично на этом же руднике выполнена крепь камеры склада горючесмазочных материалов. Размеры камеры склада 32 × 9 м, высота 4,9 м.

Камера компрессоров (рис. 88) на Артемовском соляном руднике № 4 (проект ВНИИГалургии) длиной 14 м, шириной 3,8 м и высотой 3 м и 5,2 м в месте установки рессивера пройдена буровзрывным способом. Плоская кровля и стенки выработки укреплены комбинированной крепью: набрызгбетоном по металлической сетке. На боковых стенках сетка крепится металлической полосой размерами 150 × 5 мм и железобетонными анкерами длиной 0,5 м. В кровле сетка уложена на подвесах из швеллера № 14, длина железобетонных анкеров равна 1,85 м. Шаг установки подхватов 1 м, расстояние между анкерами в ряду 1,3 м по кровле и 1,2 м по боковым стенкам. Толщина слоя набрызгбетона 50 мм. Пол выработки выполнен из бетона. Для изготовления анкеров использована арматурная сталь. Между камерой компрессоров и рессивера возведена бетонная перемычка толщиной 200 мм.

5.4. КРЕПЬ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КАПИТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Особую группу капитальных выработок на калийных и соляных рудниках составляют протяженные транспортные, конвейерные и вентиляционные квершлагы, штреки, продолжительность эксплуатации которых равна сроку отработки всего шахтного поля или его части, одной или группы панелей. Проходку этих выработок выполняют буровзрывным способом, или проходческими комбайнами. Наибольший объем выработок, проводимых буровзрывным способом, приходится на соляные рудники. В калийных рудниках этот способ распространен на Калушском и Стебниковском месторождениях. Так, в условиях Стебниковских рудников большинство протяженных капитальных выработок проходит по вмещающим породам — соленосным глинистым брекчиям и каинито-лангбейнитовым породам с прослойками каменной соли, песчаников и аргиллитов [37].

При буровзрывном способе уборку взорванной породы ведут скреперными лебедками и породопогрузочными машинами, а транспортировку рельсовым, реже конвейерным или самоходным транспортом. Выбор вида транспорта определяется протяженностью выработок, а при проходке одиночных выработок возможностями их проветривания. После зачистки забоя контур выработки доводят до проектного и затем возводят временную или постоянную крепь. Чаще всего кровля выработок подкрепляется анкерами. Однако там, где капитальные выработки проходят в некрепких соляных или вмещающих породах, используют деревянную и металлическую арочную крепи. Деревянная крепь, например, широко применяется в калийных рудниках на Стебниковском и Калушском месторождениях. Основной конструкцией деревянной крепи является трапециевидная и прямоугольная неполная рама (рис. 89, а). Рамы устанавливаются перпендикулярно к продольной оси выработки вразбежку через 0,5–1 м или вплотную одна к другой. При больших сечениях иногда деревянную раму усиливают средней стойкой и прогонами (рис. 89, б). Для выработок с площадью поперечного сечения в свету 5,2–10,8 м² Центрогипрошахтом разработаны типовые сечения выработок с деревянной крепью при использовании рельсового транспорта с вагонетками вместимостью 1–4 м³ [11]. Комбайновый способ проведения протяженных капитальных горных выработок отличается простотой организации работ и практически полной механизацией работ. Применение проходческих комбайнов дает возможность прохо-

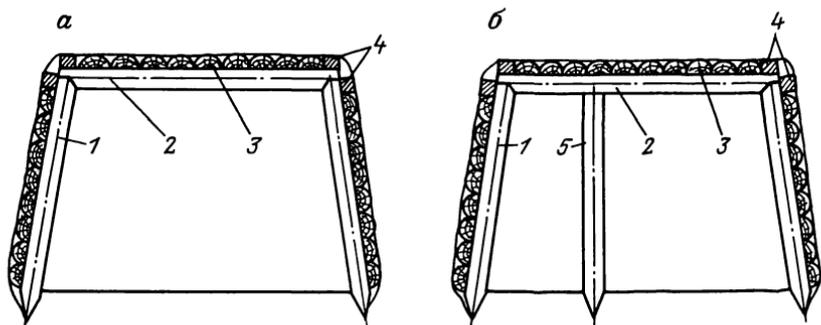


Рис. 89. Схема деревянной крепи трапециевидной формы:

а и б – неполные рамы соответственно без усиления и с усилением; 1 – стойка; 2 – верхняк; 3 – затяжка; 4 – клинья; 5 – средняя стойка

дить выработки с высокой скоростью и с меньшими трудозатратами. На калийных и соляных рудниках для этих целей наибольшее распространение получили комбайны ПК-8, ПК-8М, «Урал-10КС», «Урал-10КСА», «Урал-20КС» и «Урал-20КСА», которые образуют выработку устойчивой сводаобразной формы площадью сечения от 8 до 20 м². Проходку протяженных капитальных выработок обычно ведут комбайновыми комплексами, в состав которых входят: проходческий комбайн, бункер-перегрузатель и самоходный вагон с электроприводом.

Бункера-перегрузатели (БП-2, БП-3) служат для приема от комбайна и бункеризации отбитой руды на время отсутствия самоходного вагона. От бункера-перегрузателя руда самоходными вагонами транспортируется и перегружается на ленточные конвейеры. Применение нашли электрические самоходные вагоны 5ВС-15РВ с вместимостью 10 м³ и вместимостью кабельного барабана 200 м. С целью обеспечения проветривания, как правило, ведут одновременно проходку двух-трех параллельных выработок, одна из которых является воздухоподающей.

Использование горных комбайнов на проходческих и очистных работах привело к широкому внедрению, особенно на калийных рудниках, непрерывного конвейерного транспорта. В связи с этим возникла необходимость проходки и поддержания дополнительных капитальных выработок для движения самоходного транспорта, обособленных вентиляционных капитальных выработок. Чаще стала применяться отработка запасов полезного ископаемого от флангов к центру шахтного поля, что, в свою очередь, привело к увеличению числа и суммарной протяженности капитальных горных выработок в пределах одного рудника.

Отличительной особенностью выработок, пройденных комбайнами, является их устойчивость. В связи с этим в протяженных капитальных выработках, проходимых по соляным породам, практически прекратилось применение других видов постоянной крепи, кроме анкерной.

ВНИИГалургии на основании изучения и обобщения многолетней практики крепления и эксплуатации протяженных капитальных горных выработок различного назначения, их сопряжений и пересечений разработаны типовые сечения и сопряжения горных выработок для основных калийных

месторождений страны, имеющих значительные различия в горно-геологических условиях. Эти типовые решения, с некоторой корректировкой на конкретные условия, могут быть использованы и на других калийных и соляных месторождениях.

Выработки, пройденные комбайнами ПК-8 или ПК-8М, в зависимости от модификации комбайна имеют площадь поперечного сечения 8–8,9 м². Для укрепления кровли выработки применяется анкерная крепь. При тонкослоистой кровле, характерной для условий Солигорских рудников, в каждом ряду устанавливают по три винтовых анкера длиной 1,8–2 м или железобетонных длиной 2 м. Расстояние между рядами 1 м. В зоне влияния очистных работ применяются только винтовые анкеры, при этом допускается увеличение расстояния между рядами до 1,5 м. При кровле, представленной монолитной соляной породой или соляными пластами мощностью 0,5 м и более, как например на Верхнекамском месторождении, применяют винтовые анкеры длиной 1,5–1,7 м. Расстояние между рядами 1 м. В зоне влияния очистных работ допускается уменьшение длины анкеров до 1 м при расстоянии между рядами 1 м или увеличение расстояния между рядами до 1,5 м при длине анкеров 1,5–1,7 м.

Такие выработки используются как вентиляционные, для движения самоходных транспортных средств или для установки магистральных конвейеров 1ЛУ-100К, 1ЛУ-120, 2ЛУ-120В. На рис. 90 показана схема усиления анкерной крепью кровли выработки, пройденной комбайнами ПК-8 или ПК-8М, и варианты ее использования. При необходимости размещения или передвижения оборудования больших габаритов комбайном ПК-8 или ПК-8М проходят выработки с последующим расширением на часть сечения режущего органа комбайна. На рис. 91 показаны схемы крепления анкерами кровли выработки площадью сечения в свету 11,9 м². Такие выработки используются для установки мощных магистральных конвейеров, например 2ЛУ-160, для движения гусеничных тракторов и других самоходных транспортных средств.

В тех случаях, когда капитальная выработка попадает в зону влияния очистных работ или зону деформаций, вызванных другими причинами, и поддержание ее анкерной крепью не может быть обеспечено на необходимый срок, применяют металлическую крепь из спецпрофиля (рис. 92). Шаг установки рам обычно равняется 0,4–0,6 м.

Кроме протяженных выработок комбайнами этих типов проходят и капитальные выработки больших объемов, например, камеры перегрузок с конвейера на конвейер, камеры разворота для самоходных транспортных средств. На рис. 93 показана камера перегрузки с конвейера КЛЗ-600 на магистральный конвейер, пройденная комбайном ПК-8М. Кровля выработки закреплена винтовыми анкерами длиной 1,5 м при расстоянии между анкерами в ряду и между рядами по 1,2 м. При такой крепи кровли допускается устройство подобных камер и в зоне влияния очистных работ, если выработка пройдена в монолитной соли.

На рис. 94 показана схема использования винтовой анкерной крепи длиной 1,8–2 м или железобетонных анкеров длиной 2 м с металлическими подхватами для укрепления кровли камеры разворота самоходного транспорта, выполненная для условий Солигорских калийных рудников. Расстояние между анкерами в ряду и между рядами по 1 м. При устройстве

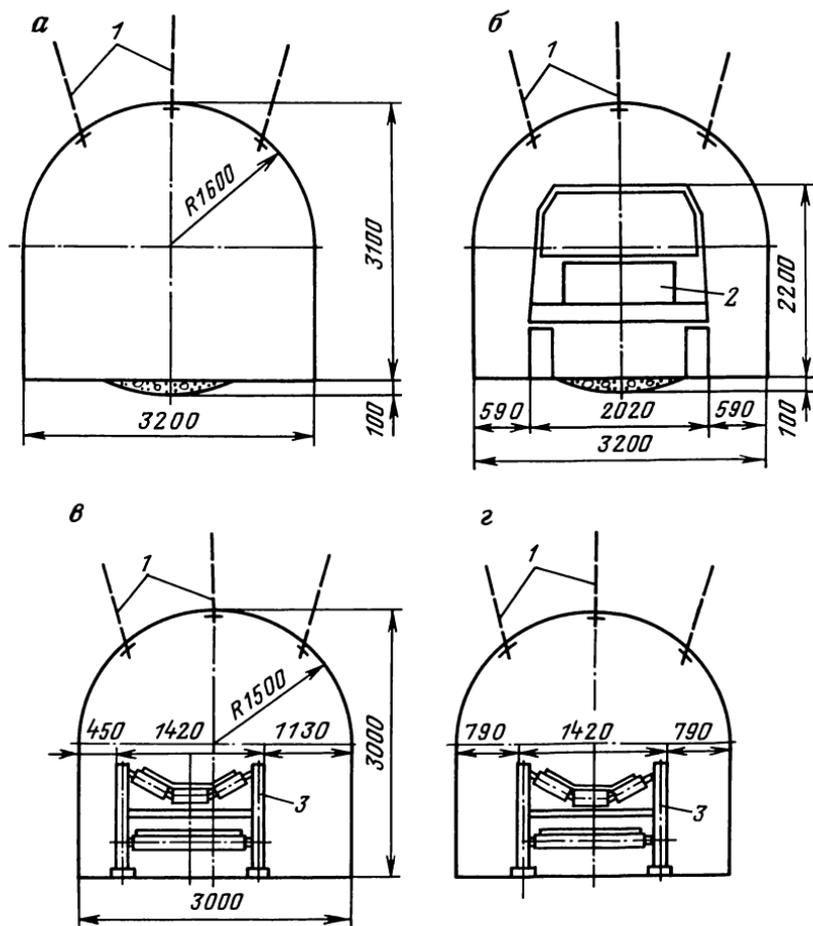


Рис. 90. Схема анкерной крепи в кровле выработки, пройденной комбайнами ПК-8 или ПК-8М: а – вентиляционная выработка; б – транспортная выработка для проезда самоходных нерельсовых транспортных средств; в и г – выработки для установки ленточного конвейера соответственно при одностороннем и двустороннем обслуживании; 1 – анкеры; 2 – транспортные средства; 3 – конвейер 1ЛУ-100К

такой камеры в зоне влияния очистных работ это расстояние может быть увеличено до 1,5 м.

Выработки площадью сечения 9–20 м² проходятся комбайнами «Урал-10КС» или «Урал-20КС» (рис. 95). Кровлю таких выработок крепят, как правило, винтовыми анкерами длиной 1,5–2 м с расстояния в ряду между анкерами и между рядами по 1–1,5 м. Большая длина анкеров соответствует тонкослоистой кровле. Выработки таких сечений используются для установки мощных магистральных конвейеров большей единичной длины, когда по условиям эксплуатации конвейера вдоль него предусматривается движение самоходных транспортных средств (рис. 97). Иногда

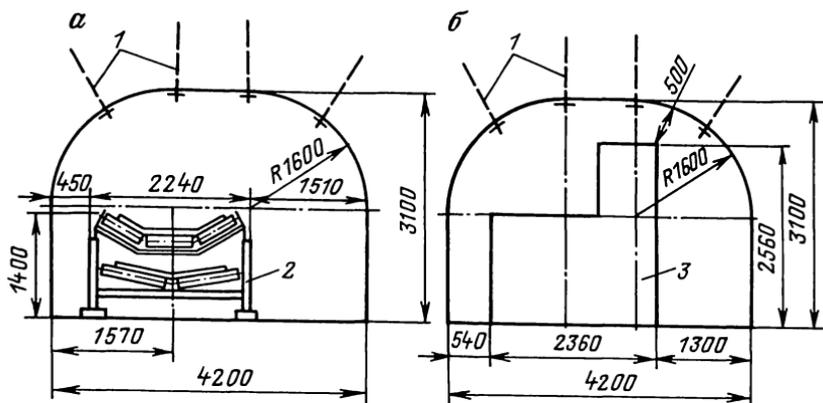


Рис. 91. Схемы анкерной крепи в выработках, пройденных сопряженными ходами комбайном ПК-8:

a – выработка для установки конвейера; *б* – транспортная выработка для проезда гусеничного трактора; 1 – анкеры; 2 – ленточный конвейер 2ЛУ-160; 3 – трактор

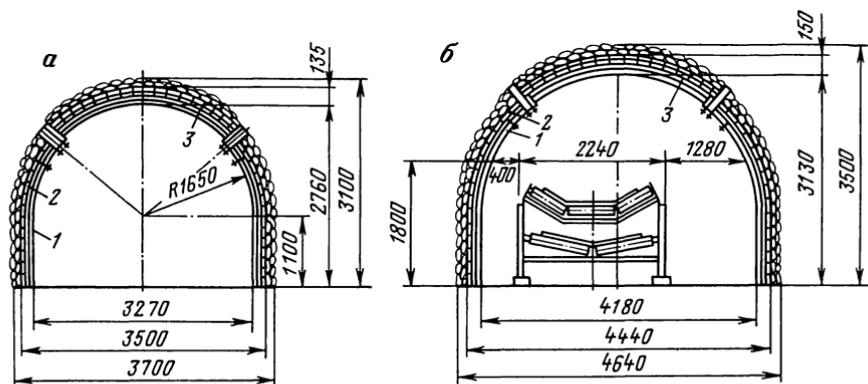


Рис. 92. Схемы металлической арочной крепи из спецпрофиля в выработках, пройденных комбайнами ПК-8 или ПК-8М:

a – из СВП-17; *б* – из СВП-22; 1 – металлическая арочная крепь; 2 – затяжка; 3 – бутовый камень

выработки больших сечений проходят сопряженными ходами одноптипных или разнотипных комбайнов. Для примера на рис. 96 показана выработка, пройденная сначала комбайном ПК-8М и расширенная после этого комбайном «Урал-20КС». Кровля выработки закреплена рядами винтовых анкеров длиной 1,5–1,7 м для анкеров, расположенных у стенок выработки и 1 м для внутренних анкеров. Расстояние между рядами 1–1,5 м.

Разветвленные сети капитальных выработок характеризуются большим числом всякого рода сопряжений и пересечений, которые отличаются многообразием форм и конфигурацией в зависимости от назначения и размеров сопрягающихся (пересекающихся) выработок. Пересечения и сопряжения имеют большие обнажения кровли, ширина которых часто превышает

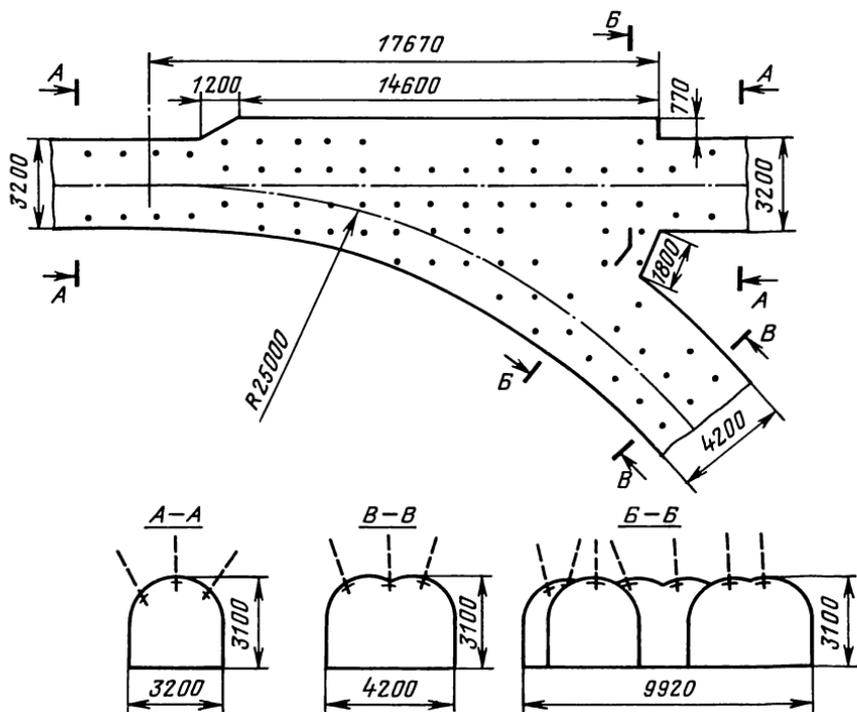


Рис. 93. Схема установки анкерной крепи в кровле перегрузочной камеры

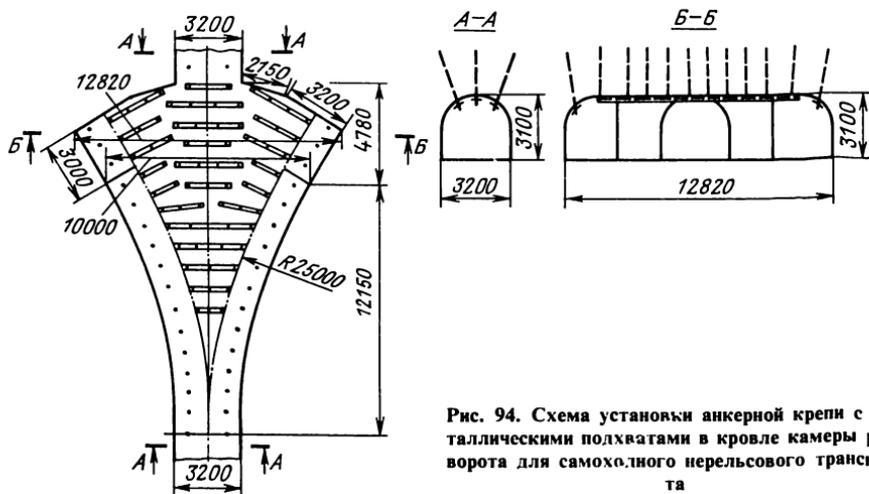


Рис. 94. Схема установки анкерной крепи с металлическими подхватами в кровле камеры разворота для самоходного нерельсового транспорта

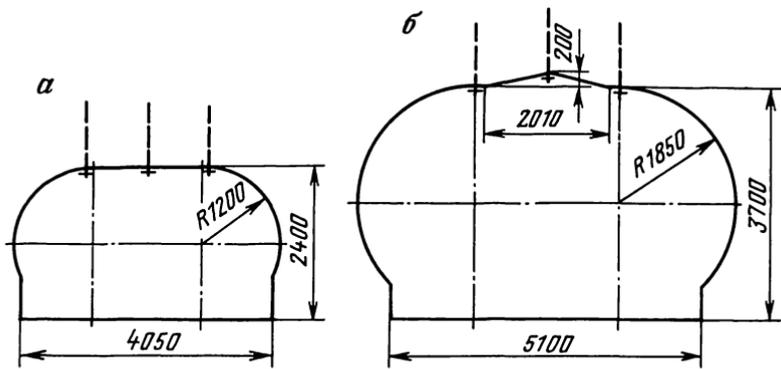


Рис. 95. Схема установки анкерной крепи в кровле выработок: а – пройденной комбайном «Урал-10КС» ($S = 9,4 \text{ м}^2$); б – пройденной комбайном «Урал-20КС» ($S = 20,2 \text{ м}^2$)

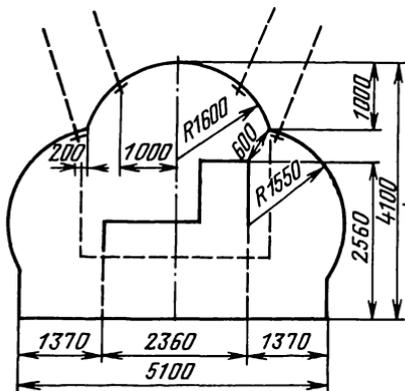


Рис. 96. Схема установки анкерной крепи в кровле транспортной выработки, пройденной комбайнами ПК-8М или «Урал-20КС»

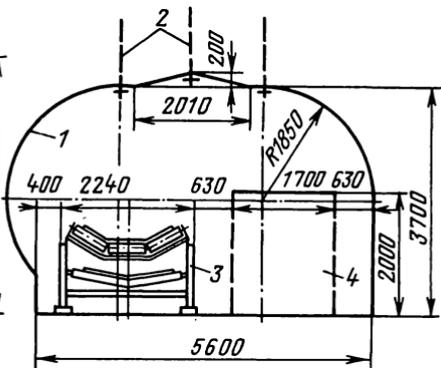


Рис. 97. Схема установки анкерной крепи и технологического оборудования в выработке, пройденной комбайном «Урал-20КС»: 1 – контур выработки; 2 – анкеры; 3 – ленточный конвейер 2ЛУ-160; 4 – самоходная тележка 1В0М

шает величину предельно допустимого пролета (см. подраздел 5.3). Поэтому кровлю на таких участках капитальных выработок крепят чаще всего анкерной крепью. Типовым проектом ВНИИГалургии предусматривается применение винтовых анкеров длиной 1,5–2 м по сетке от $1 \times 1 \text{ м}$ до $1,5 \times 1,5 \text{ м}$ в зависимости от состояния пород кровли выработки и ожидаемых деформаций.

На рис. 98 показаны схемы усиления кровли для одностороннего и симметричного сопряжений двух капитальных горных выработок, пройденных комбайном «Урал-20КС».

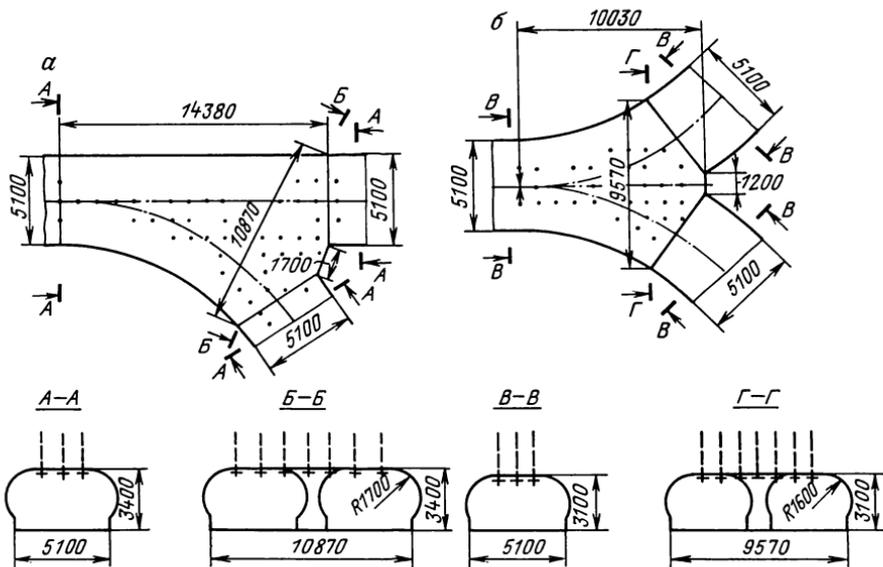


Рис. 98. Схемы установки анкерной крепи в кровле одностороннего (а) и симметричного (б) сопряжений выработок, пройденных комбайнами «Урал-20КС»

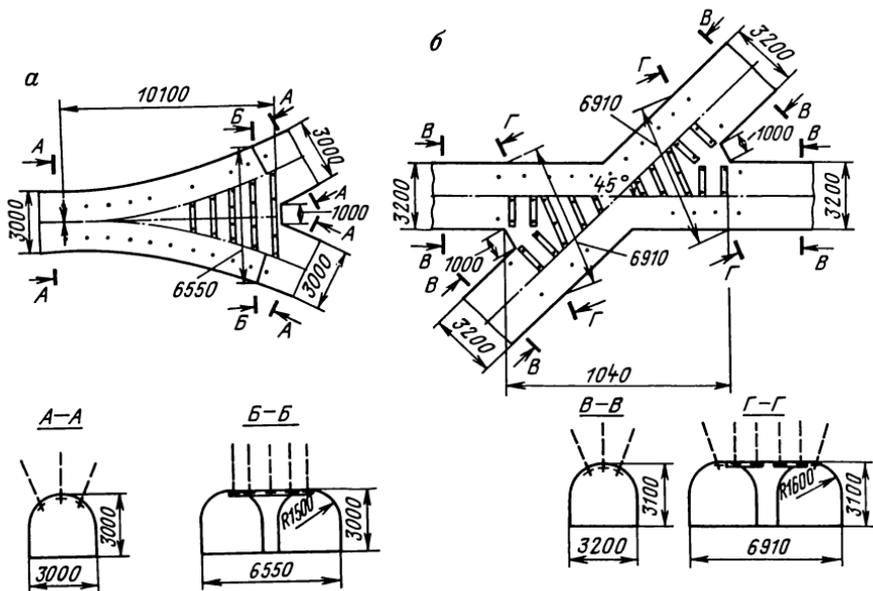


Рис. 99. Схемы установки анкерной крепи и анкерной крепи с металлическими подхватями: а – в кровле симметричного сопряжения; б – в кровле пересечения двух выработок, пройденных комбайном ПК-8М

В тех случаях, когда кровля представлена тонкими слоями или слабоустойчивыми породами, применяют анкеры длиной не менее 1,8–2 м. На участках, не подверженных влиянию очистных работ, допускается применение железобетонных анкеров длиной 2 м с металлическими подхватами (рис. 99).

В практике встречаются сопряжения и пересечения капитальных и подготовительных выработок различных форм и размеров. В каждом конкретном случае вид крепи и паспорт крепления определяются проектом в зависимости от свойств и структуры вмещающих пород, назначения выработок и других горнотехнических и производственных факторов.

Одним из резервов повышения технико-экономической эффективности крепления сопряжений является более широкое и научно обоснованное применение анкерной крепи и ее использование для усиления обычных видов крепи. При этом совершенствование анкерной крепи должно идти не только по пути увеличения производительности труда проходчиков и снижения стоимости крепи, но и совершенствования существующих конструкций анкеров и схем крепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамсон Х. И., Коган В. Г., Цай Т. Н.* Возведение и восстановление крепи вертикальных стволов методом безопалубочного бетонирования. М., ЦБТИ Минтяжстроя СССР, 1972, с. 40.
2. *Автоматизация* контроля крепи шахтных стволов/Л. А. Шойхет, Ю. И. Сидоренко, Ю. П. Ольховиков, В. И. Гоменюк.—Тр. ГИГХС. 1973, вып. 24. Шахтное строительство в горнохимической промышленности, с. 48–51.
3. *Андреичев А. Н.* Тюбинговое крепление вертикальных шахт. М., Углетехиздат, 1950.
4. *Андреичев А. Н.* Гидрогеологические и горнотехнические условия и методы вскрытия калийных месторождений.—Тр. ВНИИГ, 1973, вып. 65, с. 3–86.
5. *Антипова А. С.* Месторождения каменной соли и рассолов Бахмутской котловины.—Тр. УкрНИИСоль, 1962, вып. 4 (12), с. 70–85.
6. *Антипова А. С.* Гидрохимическая зональность надсолевых вод Илецкого месторождения каменной соли.—Тр. ВНИИСоль, 1970, вып. 16 (24), ч. II, с. 22–32.
7. *Богданова А. П., Здуновская Е. А., Крупенина А. П.* Калийная промышленность капиталистических стран. Обзор. информ./ВНИИГ, Л., 1972 (Сер. «Развитие калийной промышленности»).
8. *Булычев Н. С., Абрамсон Х. И.* Крепь вертикальных стволов шахт. М., Недра, 1978.
9. *Воробьев В. А., Комар А. Г.* Строительные материалы. М., Стройиздат, 1976.
10. *Гей Б. А.* Исследование материалов и средств для герметизации закрепного пространства стволов шахт.—Тр. ВНИИОМШС, 1974, вып. 23, с. 176–184.
11. *Гелескул М. Н., Каретников В. Н.* Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок. М., Недра, 1982.
12. *Гидрогеологические условия вскрытия калийных месторождений/А. А. Варламов, С. С. Козлов, В. К. Липницкий, С. М. Роткин, Т. К. Шлендова.* Обзор. информ./НИИТЭХИМ, М., 1975, (Сер. «Развитие калийной промышленности»).
13. *Гоменюк В. И.* Исследование проявления динамических нагрузок в шахтных стволах, закрепленных чугуновой тюбинговой крепью. Автореф. канд. дис. Пермь, ППИ, 1974.
14. *Горбаткин Б. И.* Гидроизоляция чугуновой тюбинговой крепи. М., Недра, 1970.
15. *Гулей И. М.* Замораживание пород на большие глубины при проходке стволов шахт в ПНР.—Шахтное строительство, 1979, № 3, с. 29–30.
16. *Защита* подземных бетонных сооружений от воздействия агрессивных сред полимерным материалом/Э. Л. Миндели, Т. Г. Читаитвили, Т. Т. Собчинский, М. Г. Хитаришвили.—Шахтное строительство, 1980, № 1, с. 13–15.
17. *Исследование* взаимодействия крепи стволов с соляным массивом на глубине более 700 м.—Тр. ЛГИ, 1978.
18. *Калийная промышленность* Франции/Е. А. Здуновская, А. В. Соколов, В. В. Вязовов, Р. С. Пермяков. Обзор. информ. ВНИИГ, Л., 1971. (Сер. «Развитие калийной промышленности»).
19. *Калмыков Е. П.* Тампонирование горных пород при сооружении вертикальных стволов. М., Недра, 1979.
20. *Константинова С. А., Спирков В. Л., Карташов Ю. М.* Ползучесть образцов каменной соли в условиях одноосного сжатия.—Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1979, № 5, с. 43–46.
21. *Коррозия* бетона и железобетона, методы их защиты/В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузев, М., Стройиздат, 1980.
22. *Кравченко Г. И.* Облегченные крепи вертикальных выработок. М., Недра, 1974.
23. *Куликов Ю. И., Шилин А. А.* Влияние технологических швов на водонепроницаемость монолитной бетонной крепи стволов шахт.—Тр. МГИ, Строительство подземных сооружений и шахт. 1979, с. 37–42.
24. *Лавров А. П., Першикова З. Ф., Фиш Л. Г.* Защита от коррозии чугуновой тюбинговой обделки.—Шахтное строительство, 1979, № 3, с. 13–15.

25. Литвин А.З., Поляков Н.М. Проходка стволов шахт специальными способами. М., Недра, 1974.
26. Манец И.Г. Снегирев Ю.Д., Паршинцев В.П. Техническое обслуживание и ремонт шахтных стволов. М., Недра, 1979.
27. Марусяк Р.А., Матишак А.Ф., Шемердяк Б.М. Способы предотвращения коррозии металлоконструкций стволов калийных рудников.-Шахтное строительство, 1978, № 10, с. 5-8.
28. Месторождения калийных солей СССР. Под ред. В.И. Раевского и М.П. Фивега. Л., Недра, 1973.
29. Морозов М.Н. Совершенствование искусственного замораживания при проходке шахтных стволов М., Недра, 1973.
30. Обручев Ю.С., Николайчук Н.А. Проявление горного давления в выработках, пройденных в соляных массивах.-Шахтное строительство, 1980, № 1, с. 25-26.
31. Пермяков Р.С., Парфенов А.П. О выборе схем вскрытия и методов проходки стволов на зарубежных калийных месторождениях.-Шахтное строительство, 1978, № 9, с. 24-27.
32. Першиков А.М. Водоупорные венцы из компаундов на основе эпоксидных смол.-Шахтное строительство, 1975, № 3, с. 18-19.
33. Покровский Н.М. Технология строительства подземных сооружений и шахт. Ч. I. Технология сооружения горизонтальных выработок и тоннелей. М.,
34. Проскураков Н.М., Пермяков Р.С., Черников А.К. Физико-механические свойства соляных пород. Л., Недра, 1973.
35. Снегирев Ю.Д., Вяльцев М.М. Долговечность крепи вертикальных стволов шахт. М., Недра, 1973.
36. Тащи В.М. Гидрогеологические условия Солотвинского месторождения каменной соли и некоторые рекомендации по вопросу дальнейшей его эксплуатации.-Тр. ВНИИСоль, 1970, вып. 10 (18), с. 21-34.
37. Технология подземной разработки калийных руд/В.Г. Зильбершмидт, К.Г. Синопальников, Г.Д. Полянина, и др. М., Недра, 1977.
38. Техничко-экономические особенности мероприятий по защите крепи и армировки стволов, подверженных влиянию очистных работ/К.М. Тюрин, В.А. Прагер, В.Я. Зинченко и др.-Тр. ВНИИОМШС, 1973, вып. 22, с. 58-71.
39. Трунак Н.Г. Способы борьбы с водой на калийных и соляных рудниках при проходке стволов. М., Госгортехиздат, 1961.
40. Федюкин В.А. Проходка стволов шахт способом замораживания. М., Недра, 1968.
41. Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. М., Недра, 1976.
42. Опасность деформации крепи с образованием радиальных вмятин при креплении шахтных стволов чугунными тубинговыми кольцами/Ф. Хертрих, Пер. ВИНТИ, № 60029/6. М., 1967.
43. Drager G. Ausbildung der Frostwand eines Gefrierschachtes und der Einflub des Teufvorganges auf die Bewegung innerhalb der Frostwand.-Bergbauwissenschaften, 1963, Bd. 10, № 22, S. 511-523.
44. Lindermaier D.G. Isolierung und Korrosionsschutz der Tübbinge einzichender Salzschathe durch Beschichtung.-Kali und Steinsalz, 1972, Bd. 6, Heft 2, S. 58-71.
45. Majchrowicz R. Probleme der Wasserundurchlässigkeit des Betonausbaus in Schachten.-Neue Bergbautechnik, 1973, Bd. 3, N. 4, S. 303-306.
46. Spackeler G. Lehrbuch des Kali- und Steinsalzbauwesens.-2 Aufl.-Halle: W. Knapp, 1957.

Конструкции крепи шахтных

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
Верхнекамское					
<i>Первый Соликам.</i>					
№ 1	5	307,1	99,7	130,5 (цем.)	0-12,3 12,3-77,5. 77,5-108,77 108,77-112,12 112,12-115,16 115,16-130,52 130,52-307,1
№ 2	5	288,98	101,5	115 (зам.)	0-3,21 3,21-33,8 33,8-39,06 39,06-57,02 57,02-72,51 72,51-126,46 126,46-129,86 129,86-134,36 134,36-250 250-288,98
№ 2-бис	7	395,9	220,57	217,5 (зам.)	0-12,8 12,8-266,1 266,1-395,9
<i>Второй Соликам</i>					
№ 3	7	354,15	127,1	127,1 (зам.)	0-9,65 9,65-37,5 37,5-129,1 129,1-166,6 166,6-349,15 349,15-354,15

стволов калийных и соляных рудников

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидро-изоляционных устройств, м	Интервал применения тубингов, м	Тип тубингов	Год окончания строительства
месторождение				
<i>ский рудник</i>				
ж. б., устье	112,12 (к. к.)	12,3-130,52	Серии N	1930
п. б.(300) + б.(200) + ч. т.	128,50 (к. к.)			
ц. п. р.(300) + ч. т.				
б.(300) + ч. т.				
ц. п. р.(300) + ч. т.				
б.(300) + ч. т.				
кр.(500)				
б., устье	35,64 (к. к.)	3,21-134,36	Серии N	1961
ц. п. р.(200) + ч. т.	72,51 (к. к.)			
б.(200) + ч. т.	130,15 (к. к.)			
ц. п. р.(200) + ч. т.	132,90 (к. к.)			
б.(200) + ч. т.				
ц. п. р.(200) + ч. т.				
б.(300) + ч. т.				
ц. п. р.(200) + ч. т.				
кр.(500-600)				
б.(~ 400)				
ж. б., устье	221,39 -к. к.)	12,8-266,1	Серии K	1975
б. (500) + ч. т.	224,80 (к. к.)			
б.(500)	231,22 (к. к.)			
<i>ский рудник</i>				
ж. б., устье	134,47 (к. к.)	3-166,6	Серии K	1971
б.(500) + ч. т.	134,87 (к. к.)	349,15-354,15	Серии K	
б.(600-700) + ч. т.	141,29 (к. к.)			
б.(200-250) + ч. т.	141,69 (к. к.)			
б.(500)				
б.(200-250) + ч. т.				

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
№ 4	7	352,65	122,7	123 (зам.)	0–12
					12–66,6
					66,6–125,6
					125,6–148,1
					148,1–164,5
					164,5–352,65
<i>Ново-Соли</i>					
№ 1	7	472,5	233,1	253 (зам.)	0–16,3
					16,3–58
					58–178
					278–301,8
					301,8–468
					468–472,5
№ 2	7	391	232,6	252 (зам.)	0–15
					15–62
					62–258
					258–295,68
					295,68–386,5
					386,5–391
№ 3	7	384,48	225,3	229 (зам.)	0–15,14
					15,14–275,3
					275,3–380
					380–384,50
<i>Первый Березни</i>					
№ 1	5	328	141,4	158 (зам.)	0–9,8
					9,8–32,2

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидро-изоляционных устройств, м	Интервал применения тубингов, м	Тип тубингов	Год окончания строительства
ж. б., устье	130,00 (к. к.)	0,6–164,5	Серии К	1971
б.(500) + ч. т.	130,40 (к. к.)			
б.(500–600) + ч. т.	135,90 (к. к.)			
б.(200–250) + ч. т.	136,30 (к. к.)			
б.(300) + ч. т.	141,70 (к. к.)			
б.(500)				
<i>камский рудник</i>				
ж. б., устье	268,78 (к. к.)	16,3–42,3	Серии К	1980
п. б.(400) + б.(400) + ч. т.	290,79 (к. к.)	42,3–301,8	Завода «Дозамет»	
п. б.(400) + п. э. + б.(400) + ч. т.	295,31 (к. к.)	468–472,5	То же	
п. б.(400) + б.(400) + ч. т.				
б.(500)				
б.(500) + ч. т.				
ж. б., устье	287,16 (к. к.)	15–41,2	Серии К	1980
п. б.(400) + б.(400) + ч. т.	290,67 (к. к.)	41,2–295,68	Завода «Дозамет»	
п. б.(400) + пл. б.(250) + ч. т.	292,67 (к. к.)	386,5–391	То же	
п. б.(400) + б.(400) + ч. т.				
б.(500)				
б.(500) + ч. т.				
ж. б., устье	263,30 (к. к.)	15,14–41,3	Серии К	1979
п. б.(400) + б.(400) + ч. т.	265,80 (к. к.)	41,3–275,3	Завода «Дозамет»	
б.(500)				
б.(500) + ч. т.		380–384,50	То же	
<i>ковский рудник</i>				
б., устье	166,38 (к. к.)	9,8–11,3	Серии N	1934
ц. п. р.(300) + ч. т.	172,50 (к. к.)	11,3–61,95	Серии N с волнистой спинкой	

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
					32,2–35,63
					35,63–46,2
					46,2–60,07
					60,07–79,15
					79,15–96,06
					96,06–109,1
					109,1–117,47
					117,47–118,97
					118,97–135,89
					135,89–164,9
					164,9–169,4
					164,9–170,9
					170,9–176,1
					176,1–180,65
					180,65–328
№ 2	5	327,48	140,4	152 (зам.)	0–8,6
					8,6–11,6
					11,6–32,5
					32,5–46
					46–70,43
					70,43–78
					78–97,8
					97,8–109,9
					109,9–132,9
					132,9–159,4
					159,4–166,74
					166,74–171,2
					171,2–173,1
					173,1–176,1
					176,1–327,48
№ 3	5	385,6	153	153 (зам.)	0–14,8
					14,8–17,8
					17,8–43,34
					43,34–44,84
					44,84–75,3
					75,3–76,8
					76,8–107,2
					107,2–108,7
					108,7–116,7
					116,7–118,2

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидроизоляционных устройств, м	Интервал применения тюбингов, м	Тип тюбингов	Год окончания строительства
б.(300) + ч. т.	176,15 (к. к.)			
ц. п. р.(300) + ч. т.		61,95–180,65	Серии N	
б.(300) + ч. т.				
ц. п. р.(300) + ч. т.				
б.(300) + ч. т.				
ц. п. р.(300) + ч. т.				
б.(300) + ч. т.				
ц. п. р.(300) + ч. т.				
б.(300) + ч. т.				
ц. п. р.(300) + ч. т.				
б.(300) + ч. т.				
ц. п. р.(300) + ч. т.				
кр.(~ 500)				
б.,устье	163,33 (к. к.)	8,6–23,6	Серии N	1934
ц. п. р.(300) + ч. т.	166,74 (к. к.)	23,6–33,98	Серии N с волнистой спинкой	
б. (300) + ч. т.	173,10 (к. к.)	33,98–163,33	Серии N	
ц. п. р.(300) + ч. т.		163,33–176,1	УЗТМ	
б.(300) + ч. т.				
ц. п. р.(300) + ч. т.				
б.(300) + ч. т.				
ц. п. р.(300) + ч. т.				
б.(300) + ч. т.				
ц. п. р.(300) + ч. т.				
б.(300) + ч. т.				
ц. п. р.(300) + ч. т.				
кр.(~ 500)				
б.,устье	159,44 (к. к.)	14,8–134,62	Серии N	1936
ц. п. р.(300) + ч. т.		134,62–136,12	УЗТМ	
б.(300) + ч. т.		136,12–138	Серии N	
ц. п. р.(300) + ч. т.		138–144	УЗТМ	
б. (300–400) + ч. т.		144–168,32	Серии N	
ц. п. р.(300) + ч. т.				
б.(300–400) + ч. т.				
ц. п. р.(300) + ч. т.				
б.(400–450) + ч. т.				
ц. п. р.(300–350) + ч. т.				

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
					118,2–134,6 134,6–135,1 135,1–141 141–156,1 156,1–159,44 159,44–162,4 162,4–166,83 166,83–168,32 168,32–293,6 293,6–385,6
№ 4	7	284	154,5	157 (зам.)	0–18,15 18,15–157 157–180 180–201,5 201,5–276,8 276,8–284 <i>Второй Березни</i>
№ 1	7	472,1	315,1	308 (зам.)	0–12 12–36 36–159 159–341,1 341,1–472,1
№ 2	7	474	312,4	320 (зам.)	0–12 12–324 324–336 336–349,3 349,3–474
№ 3	7	401,15	310,8	315 (зам.)	0–19 19–83

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидро-изоляционных устройств, м	Интервал применения тубингов, м	Тип тубингов	Год окончания строительства
б.(400-450) + ч. т. ц. п. р.(400-450) + ч. т. б.(400-450) + ч. т. ц. п. р.(400) + ч. т. б.(300) + ч. т. ц. п. р.(300) + ч. т. б.(300) + ч. т. ц. п. р.(300) + ч. т. кр.(250) б.(300-400)				
ж. б.,устье	161,90 (к. к.)	18,15-201,5	Серии К	1964
б.(500) + ч. т.	165,40 (к. к.)			
б.(300) + ч. т.	168,10 (к. к.)			
б.(500) + ч. т.	186,15 (к. к.)			
б.(550)	198,55 (к. к.)			
б.(1000-1200) ковский рудник				
ж. б.,устье	313,00 (бит. п.)	12-341,1	Серии К	1970
б.(500) + ч. т.	322,70 (к. к.)			
пл. б.(200-250) + ч. т.	326,74 (к. к.)			
б.(500) + ч. т.	327,14 (к. к.)			
б.(500)	332,50 (к. к.)			
ж. б.,устье	329,1 (к. к.)	12-349,3	Серии К	1969
б.(500) + ч. т.	329,5 (к. к.)			
б.(300) + ч. т.	334,5 (к. к.)			
б.(500) + ч. т.	334,9 (к. к.)			
б.(500)				
ж. б.,устье	323,54 (к. к.)	19-351,65	Серии К	1967
б.(400) + ч. т.	326,94 (к. к.)			

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
					83–320
					320–334,2
					334,2–351,65
					351,65–401,15
					<i>Третий Березни</i>
№ 1	7	525	370,8	373	0–12
				(зам.)	12–142,9
					142,9–263
					263–305
					305–345,6
					345,6–373,9
					373,9–399,9
					399,9–525
№ 2	7	524,25	372,1	374	0–12
				(зам.)	12–66
					66–360,25
					360,25–371,4
					371,4–399,8
					399,8–524,25
№ 3	7	498,25	370,0	375	0–18
				(зам.)	18–202
					202–264
					264–308
					308–375
					375–384
					384–400,8
					400,8–498,25
					<i>Четвертый Березни</i>
№ 1	7	444	257,0	261	0–13,25
				(зам.)	

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидро-изоляционных устройств, м	Интервал применения тюбингов, м	Тип тюбингов	Год окончания строительства
б.(500) + ч. т.	327,34 (к. к.)			
б.(300-400) + ч. т.	328,4 (к. к.)			
б.(500) + ч. т. б.(500)				
<i>ковский рудник</i>				
ж. б., устье	384,66 (к. к.)	12-399,9	Серии К	1974
б.(450-500) + ч. т.	387,07 (к. к.)			
п. б.(400) + б.(400) + ч. т.	389,48 (к. к.)			
п. б.(400) + б.(550) + ч. т.				
п. б.(400) + б.(600) + ч. т.				
б.(600) + ч. т.				
б.(200) + ч. т.				
б.(500-600)				
ж. б., устье	383,8 (к. к.)	12-399,8	Серии К	1973
б.(500) + ч. т.	387,6 (к. к.)			
п. б.(400) + пл. б.(200) + ч. т.	388,0 (к. к.)			
п. б.(400) + ч. т. + пл. б.(200) + ч. т.	391,44 (к. к.)			
б.(500) + ч. т. б.(600-600)				
ж. б., устье	381,18 (к. к.)	18-400,8	Серии К	1973
б.(600) + ч. т.	383,58 (к. к.)			
б.(700) + ч. т.	383,98 (к. к.)			
п. б.(400) + б.(200) + ч. т.	386,40 (к. к.)			
б.(600) + ч. т.				
б.(300) + ч. т.				
б.(500) + ч. т.				
б.(500)				
<i>ковский рудник</i>				
ж. б., устье	279,25 (к. к.)	13,25-304,35	Серии К	1978

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
					13,25–304,35
					304,35–437
					437–444
№ 2	7	444	257,3	261 (зам.)	0–14,65
					14,65–305,35
					305,35–441
					441–444
№ 3	7	428	257,77	259 (зам.)	0–18
					18–300,5
					300,5–425
					425–428
					Старобинское <i>Первый Соли</i>
№ 1	7	683,5	358,9	160 (зам.)	0–5,2
					5,2–48,3
					48,3–169,5
					169,5–413,68
					413,68–422,7
					422,7–551,2
					551,2–579,5
					579,5–590,5
					590,5–670,5
					670,5–683,5
№ 2	7	503	358,9	160 (зам.)	0–7
					7–47,46
					47,46–172,7
					172,7–413,5
					413,5–421,6
					421,6–495
					495–503

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидро-изоляционных устройств, м	Интервал применения тубингов, м	Тип тубингов	Год окончания строительства
п. б.(400) + п. э. + б.(400) + ч. т.	283,67 (к. к.)	437-444	Серии К	
б.(500)	290,08 (к. к.)			
б.(500) + ч. т.				
ж. б., устье	280,80 (к. к.)	14,65-50,15	Серии К	1979
п. б.(400) + пл. б.(250) + ч. т.	290,32 (к. к.)	50,15-305,35	Завода «Дозамет»	
б.(500)	293,82 (к. к.)	441-444	То же	
б.(500) + ч. т.				
ж. б., устье	268,47 (к. к.)	18-89,08	Метростроя	1979
п. б.(400) + п. э. + б.(400) + ч. т.	271,99 (к. к.)	89,08-226,5	Серии К	
б.(500)	277,01 (к. к.)	226,5-300,5	Завода «Дозамет»	
б.(500) + ч. т.		425-428	Серии К	
месторождение				
<i>горский рудник</i>				
ж. б., устье	217,55 (к. к.)	3-413,68	Серии Ш	1962
б.(700) + ч. т.	360,11 (к. к.)	670,5-683,5	Серии Ш	
б.(530) + ч. т.	371,84 (к. к.)			
б.(300) + ч. т.				
б.(700)				
б.(500) + кр.(250)				
б.(600) + кр.(250)				
б.(750)				
б.(600) + кр.(250)				
б.(600) + ч. т.				
ж. б., устье	190,80 (к. к.)	3,38-413,5	Серии Ш	1963
б.(730) + ч. т.	360,85 (к. к.)	495-503	Серии Ш	
б.(620) + ч. т.	363,10 (к. к.)			
б.(300) + ч. т.				
б.(700)				
б.(600) + кр.(250)				
б.(470) + ч. т.				

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
№ 3	7	600	358,9	160 (зам.)	0-21
					21-42,3
					42,3-162,0
					162,0-411,6
					411,6-418,0
418,0-570,0					
					570,0-581,9
					581,9-594
					594-600
№ 4	7	661	361,4	165 (зам.)	0-11,5
					11,5-39,5
					39,5-112,37
					112,37-166,1
					166,1-281,5
					281,5-295,1
					295,1-661
<i>Второй Соли</i>					
№ 1	7	529	417,65	210 (зам.)	0-15,5
					15,5-130
					130-334,27
					334,27-529
№ 2	7	690,6	419	210 (зам.)	0-18
					18-92,6
					92,6-102,3
					102,3-121,9
					121,9-326
					326-355
					355-690,6
№ 3	7	636,2	414,45	210 (зам.)	0-21,45
					21,45-60,3
					60,3-211,75
					211,75-327
					327-334,1
					334,1-636,2

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидро-изоляционных устройств, м	Интервал применения тубингов, м	Тип тубингов	Год окончания строительства
ж. б., устье	202,87 (к. к.)	3-411,6	Серии Ш	1961
б.(730) + ч. т.	360,05 (к. к.)	566,7-581,9	То же	
б.(530) + ч. т.	368,42 (к. к.)	594-600	»	
б.(300) + ч. т. б.(700) б.(500) + кр.(250) б.(400) + ч. т. б.(700) б.(400) + ч. т.				
ж. б., устье	278,12 (к. к.)	3,4-281,5	Серии К	1980
б.(530) + ч. т. п. б.(400) + п. э. + б.(220) + ч. т. п. б.(600) + п. э. + б.(200) + ч. т. п. б.(400) + п. э. + б.(200) + ч. т. п. б.(400) + б.(500) б.(600)				
<i>горский рудник</i>				
ж. б., устье	314,03 (к. к.)	15,5-334,27	Серии К	1965
б.(730) + ч. т.	324,45 (к. к.)			
б.(530) + ч. т. б.(500)				
ж. б., устье	287,60 (к. к.)	18-355	Серии К	1967
пл. б.(230) + ч. т. б.(500) + ч. т.	310,86 (к. к.) 352,60 (к. к.)			
б.(730) + ч. т. б.(500) + ч. т. б.(200) + ч. т. б.(500)				
ж. б., устье	278,48 (к. к.)	21,45-334,1	Серии К	1964
в. м. к. + б.(530) + ч. т. б.(530) + ч. т. б.(500) + ч. т. б.(200) + ч. т. б.(500)	326,92 (к. к.)			

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
<i>Третий Соли</i>					
№ 1	7	623,8	422,2	190 (зам.)	0–12,6
					12,6–193,02
					193,02–322,54
					322,54–623,8
№ 2	7	822,8	431,17	190 (зам.)	0–12,6
					12,6–193
					193–242,6
					242,6–325,09
№ 3	7	792,9	431,5	190 (зам.)	325,09–813,64
					813,64–822,8
					0–19
					19–193,55
№ 1	7	834,7	589,8	207 (зам.)	193,55–324,33
					324,33–350,44
					350,44–354,8
					354,8–785,8
№ 2	7	842,7	599,9	207 (зам.)	785,8–792,9
					0–7,2
					7,2–34
					34–199,7
<i>Четвертый Соли</i>					
№ 1	7	834,7	589,8	207 (зам.)	199,7–217
					217–226,8
					226,8–297,3
					297,3–834,7
№ 2	7	842,7	599,9	207 (зам.)	0–7,2

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидро-изоляционных устройств, м	Интервал применения тьюбингов, м	Тип тьюбингов	Год окончания строительства
<i>горский рудник</i>				
ж. б., устье	204,09 (к. к.)	12,6–322,54	Серии К	1967
б.(530) + ч. т.	244,43 (к. к.)			
б.(380) + ч. т.	304,38 (к. к.)			
б.(450)	316,74 (к. к.)			
ж. б., устье	211,55 (к. к.)	12,6–325,09	Серии К	1969
б.(530) + ч. т.	232,37 (к. к.)	813,64–822,8	То же	
б.(380) + ч. т.	287,7 (к. к.)			
б.(300) + ч. т.	317,67 (к. к.)			
б.(450)				
б.(500) + ч. т.				
ж. б., устье	233,50 (к. к.)	19–324,33	Серии К	1967
б.(530) + ч. т.	263,73 (к. к.)	350,44–354,8	То же	
б.(380) + ч. т.	286,61 (к. к.)	785,8–792,9		
б.(450)	315,91 (к. к.)			
б.(380) + ч. т.				
б.(450)				
б.(400) + ч. т.				
<i>горский рудник</i>				
ж. б., устье	266,97 (к. к.)	7,2–297,3	Серии К	1976
б.(930)				
п. б.(350) + б.(480) + ч. т.	275,40 (к. к.)			
б.(500) + ч. т.	283,80 (к. к.)			
в. м. к. + б.(500) + ч. т.				
б.(500) + ч. т.				
п. б.(300) + б.(300)				
ж. б., устье	269,50 (к. к.)	7,2–297,4	Серии К	1977

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
					7,2–20,7 20,7–135,4 135,4–172,5 172,5–206,2 206,2–297,4 297,4–842,7
№ 3	7	668,5	592,6	207 (зам.)	0–7,0 7,0–41 41–166,5 166,5–300,6 300,6–668,5
№ 4	7	897,9	592,9	207 (зам.)	0–7,2 7,2–19,9 19,9–143,5 143,5–205,6 205,6–266,8 266,8–297,4 297,4–897,9
					Стебниковское <i>Стебников</i>
«Новый»	5,6	353,8	46,2	—	0–13,4 13,4–158,5 158,5–169,3 169,3–220,4 220,4–230,3 230,3–279,5 279,5–289,9 289,9–321,9 321,9–332,4 332,4–340,0 340,0–353,8

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидро-изоляционных устройств, м	Интервал применения тюбингов, м	Тип тюбингов	Год окончания строительства
б.(800) + ч. т.	275,90 (к. к.)			
п. б.(400) + п. э. + б.(460) + ч. т. в. м. к. + п. б.(550) + п. э. + + б.(500) + ч. т. п. б.(350) + п. э. + б.(400) + ч. т. п. б.(350) + б.(400) + ч. т. п. б.(300) + б.(300)				
ж. б., устье	266,30 (к. к.)	7,2–300,6	Серии К	1976
б.(800) + ч. т.	275,73 (к. к.)			
п. б.(350) + п. э. + б.(400) + ч. т.	277,10 (к. к.)			
б.(400) + ч. т. п. б.(300) + б.(300)				
ж. б., устье	265,10 (к. к.)	7,2–297,4	Серии К	1979
б.(700) + ч. т.	266,50 (к. к.)			
п. б.(350) + пл. б.(250) + ч. т.	276,90 (к. к.)			
в. м. к. + п. б.(450) + пл. б. (250) + ч. т. п. б.(450) + пл. б.(250) + ч. т. б.(350) + ч. т. п. б.(300) + б.(300)				
месторождение				
<i>ский рудник</i>				
ж. б., устье + ч. т.	61,0 (комб.)	3,7–158,5	Метростроя	1958
б.(350) + ч. т.	117,5 (к. к.)	169,3–220,4	То же	
б.(1000)		230,3–279,5	»	
б.(350) + ч. т.		289,9–321,9	»	
б.(900)		332,4–340,7	»	
б.(350) + ч. т.				
б.(450)				
б.(350) + ч. т.				
б.(600)				
б.(350) + ч. т.				
б.(600)				

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
«Запад- ный»	4,56	119,3	43,4	9 (зам.)	0–15,4
					15,4–110,3
					110,3–119,3
«Южный»	4,56	119,4	85,0	90 (зам.)	0–13,3
					13,3–92,7
					92,7–108,91
					108,91–119,4
<i>Ново-Стебни</i>					
«Главный»	6	438,6	70,8	75,5 (зам.)	0–10,5
					10,5–71
					71–222,5
					222,5–241,7
					241,7–282,5
					282,5–301,7
					301,7–342,7
					342,7–361,7
					361,7–402,7
					402,7–414
414–438,6					
«Вспомога- тельный»	6	437,3	56	76 (зам.)	0–10,5
					10,5–75
					75–118,8
					118,8–123,8
					123,8–133
					133–184,1
					184,1–194
					194–243,8
					243,8–252,9
					252,9–304,5
304,5–312					
312–364,1					

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидро-изолирующих устройств, м	Интервал применения тубингов, м	Тип тубингов	Год окончания строительства
б.,устье + ч. т.	14,75			
б.(250) + ч. т.	(комб.) 31,46			
б.(500)	(к. к.) 52,3	1-110,3		
	(комб.) 55,63			
	(к. к.) 58,63			Метростроя 1960
б.,устье + ч. т.	(к. к.) 95,87	0,96-108,91		Метростроя 1967
б.(500) + ч. т.	(гл. п.) 97,18			
б.(300) + ч. т.	(к. к.) 101,29			
б.(500)	(гл. п.) 102,59			
	(к. к.)			
<i>ковский рудник</i>				
б.,устье	97,8	2,5-438,6		Метростроя 1965
б.(500) + ч. т.	(гл. п.) 119,9			
	(гл. п.)			
ц. п. р.(150) + ч. т.				
б.(500)				
ц. п. р.(150) + ч. т.				
б.(500)				
ц. п. р.(150) + ч. т.				
б.(500)				
ц. п. р.(150) + ч. т.				
в. м. к. + б.(500) + ч. т.				
б.(500) + ч. т.				
ж. б.,устье + ч. т.	102,4	2-124,8		Метростроя 1964
	(к. к.)			
б.(500) + ч. т.	108,8	133-184,1		То же
	(к. к.)			
б.(250) + ч. т.		194-243,8		
ц. п. р.(150) + ч. т.		252,9-304,5		
б.(700)		312-364,1		
ц. п. р.(150) + ч. т.		372,9-425,8		
б.(700)		433,3-437,3		
ц. п. р.(150) + ч. т.				
б.(700)				
ц. п. р.(150) + ч. т.				
б.(600-700)				
ц. п. р.(150) + ч. т.				

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
					364,1–372,9 372,9–425,8 425,8–433,3 433,3–437,3
«Восточ- ный»	4,56	186,5	47	50 (зам.)	0–10,43 10,43–54 54–85,6 85,6–131,4 131,4–136,4 136,4–179,8 179,8–186,5
«Западный»	4,56	196,3	93	97 (зам.)	0–10,5 10,5–97,3 97,3–132 132–136,5 136,5–189,4 189,4–196,3
					Калушское Рудник
«Сильвин»	5 × 2	277,0	107	—	0–40 40–277
II	3,5	219	146	—	0–174 174–219
VI	3 × 2	76	—	—	0–40 40–76
«Хотинь»	3	169,0	1,4	11 (зам.)	0–18 18–120,4 120,4–169,0
					Рудник
«Главный»	4,7	202,0	—	—	0–202,0
№ 1	3	64	—	—	0–64
№ 2	3,5	75,05	—	—	0–75,05

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидро-изоляционных устройств, м	Интервал применения тубингов, м	Тип тубингов	Год окончания строительства
б.(600-700) ц. п. р.(150) + ч. т. б.(600-700) ц. п. р.(150) + ч. т.				
б.,устье + ч. т.	75,56 (к. к.)	0-131,4	Метростроя	1963
б.(500) + ч. т.	84,7 (д. бит)	136,4-179,8	То же	
б.(250) + ч. т.	110,01 (к. к.)			
ц. п. р.(150) + ч. т.	115,02 (комб.)			
б.(500) ц. п. р.(150) + ч. т. б.(500)	125,04 (д. бит)			
б.,устье	106,95 (комб.)	0-132	Метростроя	1962
б.(500) + ч. т.	113,3 (к. к.)	136,5-189,4	То же	
ц. п. р.(150) + ч. т. б.(750) ц. п. р.(150) + ч. т. б.(750)				
месторождение				
<i>Калуш</i>				
кр.(600) д.	—	—	—	1907- 1922
кр.(500) б.(550)	—	—	—	1940- 1956
б.(400-600) д.	—	—	—	
б.,устье	14,1 (комб.)	5-120,4	Метростроя	1960
б.(500) + ч. т.	28,07 (к. к.)			
б.(500)	115,12 (к. к.)			
<i>Голынь</i>				
б.(~ 500)	—	—	—	1930
кр.(350-500)	—	—	—	1930
кр.(350-500)	—	—	—	1937

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
<i>Рудник им.</i>					
«Главный»	7,0	338,3	—	22 (зам.)	0–2,5 2,5–22,5 22,5–70 70–338,3
№ 3	4	76,6	—	—	0–4,6 4,6–76,6
№ 4	4,56	80,4	—	20 (зам.)	0–2 2–25,94 25,94–69,32
№ 5	4,56	269,5	—	20 (зам.)	69,32–80,4 0–2 2–4,99 4,99–25,4 25,4–105 105–114 114–161,8 161,8–169,5 169,5–211,9 211,9–219,2 219,2–260 260–269,5
<i>Артемовское Рудник № 1</i>					
«Грузо- людской»	4,56	153	87,1	—	0–1,2 1,2–13,2 13,2–58,9 58,9–108,5 108,5–139,1 139,1–153

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидро-изоляционных устройств, м	Интервал применения тубингов, м	Тип тубингов	Год окончания строительства
50-летия Октября				
б.,устье	25,9 (бит. п.)	2,5-70	Серии Ш	1963
б.(400) + ч. т.	69,0 (к. к.)			
б.(250) + ч. т. б.(400-500)				
б.,устье кр.(500)	—	—	—	1938
ж. б.,устье	21,40 (гл. п.)	2-69,32	Метростроя	1964
б.(600) + ч. т.	29,80 (комб.)			
б.(230) + ч. т.	64,67 (комб.)			
б.(500)	67,53 (к. к.)			
кр.(770),устье	30,95 (бит. п.)	4,99-105,22	Метростроя	1971
б.(700)	32,8 (к. к.)	114,50-161,8	То же	
б.(500) + ч. т.	71,1 (бит. п.)	169,05-211,9		
б.(250-300) + ч. т.	74,03 (к. к.)	219,2-260		
б.(700)				
б.(250-300) + ч. т.				
б.(700)				
б.(400) + ч. т.				
б.(700)				
б.(400) + ч. т.				
б.(500-700)				
месторождение				
кр.(650),устье	49,2 (к. к.)	1,2-139,1	Метростроя	После реконструкции 1971
ж. б.(400) + ч. т.,(устье)	55,6 (к. к.)			
б.(300-400) + ч. т.				
ц. п. р.(150-200) + ч. т.				
б.(до 1300) + ч. т.				
б.(500)				

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
«Вентиляци- онный»	4,56	135,5	88,2	37 (зам.)	0-3
					3-7,03
					7,03-42,77
					42,77-93,7 93,7-135,5
«Грузо- людской»	5,5	181	114,5	—	0-1,1
					1,1-13,9
					13,9-18
					18-24
					24-82,2
					82,2-104,9
					104,9-110,7
					110,7-120,9
120,9-140,3					
140,3-181					
«Вентилья- ционный» № 2-бис	4,56	160,5	91,3	50 (зам.)	0-2,7
					2,7-6
					6-8
					8-15,3
					15,3-65
					65-124,8
124,8-160,5					
«Скипкле- товой» № 3	5,5 × 4,3 (до 10,85м) 5,6	260,6	90,85	—	0-10,85
					10,85-16
					16-18,35
					18,35-62,1
					62,1-85,1
					85,1-118,5

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидро-изоляционных устройств, м	Интервал применения тубингов, м	Тип тубингов	Год окончания строительства
б.(400) + кр.(600),устье	42,77 (к. к.)	7,03–135,5	Метростроя	После реконструкции 1965
б.(650)	49,11 (к. к.)			
б.(500) + ч. т.	84,49 (к. к.)			
б.(250) + ч. т.				
б.(500) + ч. т.				
<i>Рудник № 2</i>				
б.(~ 1000) + кр. (250),устье	93,0 (к. к.)	0,8–140,3	Метростроя	После реконструкции 1974
в. м. к. + б.(500) + ч. т.,устье	97,5– (к. к.)			
б.(500) + ч. т.,устье				
ц. р.(500) + ч. т.				
ц. р.(150) + ч. т.				
б.(350) + ч. т.				
ц. р.(150) + ч. т.				
ц. п. р.(до 1400) + ч. т.				
ц. р.(150) + ч. т.				
б.(500)				
кр.(650),устье	67,6 (к. к.)	6–124,8	Метростроя	После реконструкции 1970
ж. б.(1250),устье	69 (к. к.)			
ж. б.(~ 1000) + ч. т.,устье				
ж. б.(600) + ч. т.,устье				
б.(500–600) + ч. т.				
б.(250) + ч. т.				
б.(300)				
<i>Рудник № 3</i>				
б.(500)устье	65,45 (к. к.)	16–260,6	Метростроя	После реконструкции 1968
ж. б.(500)	70,8 (к. к.)			
б.(500) + ч. т.				
ц. п. р.(150) + ч. т.				
б.(150) + ч. т.				
ц. п. р.(100) + ч. т.				

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
					118,5–139,6 139,6–260,6
«Вентиляци- онный» № 3-бис	6,5	295,8	125,4	85 (зам.)	0–5 5–20 20–103,1 103,1–122 122–135,9 135,9–143,8 143,8–150,8 150,8–260,6 260,2–265,7 265,7–291,5 291,5–295,8
«Скипокле- тевой» № 4	5,5	258,8	139,7	70 (зам.)	0–4,5 4,5–6,5 6,5–15,5 15,5–80,6 80,6–101 101–258,8
«Грузо- людской»	4,56	268,5	155,1	97 (зам.)	0–3 3–9,2 9,2–68,3 68,3–69,4 69,4–75,6 75,6–80 80–122,6 122,6–137,3 137,3–156 156–185,7 185,7–187,8 187,8–190,7 190,7–197,1 197,1–209,8

Рудник

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидро-изоляционных устройств, м	Интервал применения тубингов, м	Тип тубингов	Год окончания строительства
б.(150) + ч. т. ц. п. р.(150) + ч. т.				
б.(500),устье	91,6 (к. к.)	5-265,7	Метростроя	1979
20м. к. + ж. б. (500-2000) + ч. т.,устье	101,1 (к. к.)			
б.(350) + ч. т. ц. п. р.(150) + ч. т. б.(350-600) + ч. т. ц. п. р.(150) + ч. т. б.(до 700) + ч. т. ц. п. р.(150) + ч. т. б.(200) + ч. т. ж. б.(400) б.(400)				
<i>Рудник № 4</i>				
кр.(700),устье	95,3 (к. к.)	6,5-101	Метростроя	1972
ж. б.(700),устье	96,6 (к. к.)			
ж. б.(700) + ч. т.,устье б.(400-500) + ч. т. б.(250) + ч. т. б.(400-500)				
<i>им. Свердлова</i>				
б.(1200),устье	100,2 (гл. п)	3-137,3	Метростроя	После реконструкции 1974
б.(350) + ч. т.,устье	133 (к. к.)			
б.(350-500) + ч. т.	134,3 (к. к.)			
б.(до 1200) + ч. т. б.(400) + ч. т. б.(до 800) + ч. т. б.(350-500) + ч. т. б.(250) + ч. т. б.(400) б.(до 4300) в. м. к. + б.(400) б.(400) в. м. к. + б.(400) б.(400)				

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
«Клетевой»	4,56	267,2	153,5	95 (зам.)	209,8–219,8
					219,8–268,5
					0–2,1
					2,1–5,6
					5,6–21,95
					21,95–23,95
					23,95–87,3
					87,3–157
					157–166,9
					166,9–181,9
181,9–183,7					
183,7–267,2					
«Клетевой»	4,56	248,7	114	—	0–6
					6–11,3
					11,3–26
					26–29
					29–33
					33–41
					41–45
					45–52,6
					52,6–86,6
					86,6–119,5
119,5–146					
146–155,8					
155,8–161					
161–200,3					
200,3–248,7					
«Скиповой»	4,56	248,8	113	18 (зам.)	0–6
					6–11,5
					11,5–18,5
					18,5–101,6

Рудник

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидро-изоляционных устройств, м	Интервал применения тубингов, м	Тип тубингов	Год окончания строительства
б.(до 1400) + л.(100) + б.(400) б.(400)				
кр.(600),устье	132 (к. к.)	5,6-157	Метростроя	После реконструкции 1967
ж. б.(800),устье	144,6 (к. к.)			
ж. б.(800) + ч. т.,устье	148,9 (к. к.)			
б.(700) + ч. т. б.(500) + ч. т. б.(250) + ч. т. б.(400) б.(до 7000) б.(650) б.(400)				
<i>им. Володарского</i>				
б.(~ 1000),устье	108,28 (к. к.)	5-146	Метростроя	После реконструкции 1962
б.(300) + ч. т.	110,63 (к. к.)	155,8-200,3	То же	
в. м. к. + б.(300) + ч. т.	166,39 (к. к.)			
б.(300) + ч. т.	183,97 (к. к.)			
в. м. к. + б.(300) + ч. т. б.(300) + ч. т. в. м. к. + б.(300) + ч. т. б.(300) + ч. т. в. м. к. + б.(300) + ч. т. б.(300) + ч. т. б.(до 1000) + ч. т. б.(до 1200) в. м. к. + б.(300) + ч. т. б.(300) + ч. т. б.(500)				
б.(до 2000),устье	110,25 (к. к.)	5-144,98	Метростроя	После реконструкции 1964
в. м. к. + б.(300) + ч. т.	112,6 (к. к.)	152-182,1	То же	
б.(300) + ч. т.	162,73 (к. к.)			
в. м. к. + б.(300) + ч. т.	180,08 (к. к.)			

Ствол	Диаметр ствола в свету, м	Глубина, м			Интервал крепления, м
		ствола	до контакта с солями (до соляного зеркала)	проходки (спецспособ)	
					101,6–144,98 144,98–152 152–155,4 155,4–173 173–182,1 182,1–248,8
					Индерское <i>Разведочный</i>
«Главный»	4,56	303,7	47	29–47 (цем.)	0–29,1 29,1–52 52–181,6 181,6–192,67 192,67–291,5 291,5–303,7
«Вентиля- ционный»	4,56	303	45,3	29–76,5 (цем.)	0–15 15–28,1 28,1–56,6 56,6–97 97–291,2 291,2–303

Условные обозначения:

цем. – цементация
 зам. – замораживание
 б. – бетон
 в. м. к. – временная металлическая крепь
 д. – дерево
 ж. б. – железобетон
 кр. – кирпич
 п. б. – передовой бетон (временная крепь)
 пл. б. – пластбетон
 п. э. – полимерный гидроизоляционный экран

Продолжение приложения

Конструкция крепи по интервалам (толщина крепи, мм)	Глубина возведения гидро-изоляционных устройств, м	Интервал применения тубингов, м	Тип тубингов	Год окончания строительства
---	--	---------------------------------	--------------	-----------------------------

б.(300) + ч. т.

б.(300)

б.(750) + ч. т.

в. м. к. + б.(300) + ч. т.

б.(300) + ч. т.

б.(400)

месторождение

рудник

б.(500),устье 64,1 29,1–181,6 Метростроя 1965

(к. к.)

б.(400) + ч. т. 73,4 192–67–291,5 То же

(к. к.)

ц. с. р.(150) + ч. т.

б.(500)

ц. с. р.(150) + ч. т.

б.(500)

б.(600),устье 70,2 28,1–291,2 Метростроя 1963

(к. к.)

б.(600) 73,7

(к. к.)

б.(400) + ч. т.

б.(200) + ч. т.

ц. с. р.(150) + ч. т.

б.(500)

ц. р.–цементный раствор

ц. п. р.–цементно-песчаный раствор

ц. с. р.–цементно-суглинистый раствор

ч. т.–чугунные тубинги

бит. п.–битумный пояс

гл. п.–глиняный пояс

д. бит.–диаграмма из битума

к. к.–кейлькранц обычной конструкции

комб.–кейлькранц, усиленный битумом (глиной и т.п.)

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Краткая характеристика основных калийных и соляных месторождений СССР	5
1.1. Месторождения калийной соли	5
1.2. Месторождения каменной соли	10
1.3. Основные зарубежные месторождения калийной и каменной солей	13
1.4. Классификация месторождений по условиям вскрытия	16
1.5. Характеристика соляных пород	17
2. Проходка шахтных стволов	20
2.1. Выбор места заложения стволов	20
2.2. Способы проходки стволов	22
2.3. Технологические схемы проходки стволов	34
3. Крепь вертикальных выработок	37
3.1. Крепь шахтных стволов в обводненных породах	37
3.1.1. Чугунная тюбинговая крепь	42
3.1.2. Схемы крепей стволов с чугунными тюбингами	53
3.1.3. Обеспечение герметичности чугунной тюбинговой крепи	64
3.1.4. Гидроизоляционные устройства тюбинговой крепи	73
3.1.5. Основные элементы организации работ при креплении стволов чугунной тюбинговой крепью	87
3.1.6. Контрольная гидроизоляция	94
3.2. Крепь шахтных стволов в необводненных породах	100
3.3. Крепь устьев стволов	110
4. Эксплуатация крепи шахтных стволов	118
4.1. Влияние температурного режима эксплуатации на состояние крепи шахтных стволов	118
4.2. Влияние динамических нагрузок от подъемных сосудов на состояние крепи стволов	134
4.3. Коррозионное разрушение крепи	138
4.4. Примеры механического разрушения крепи	145
4.5. Примеры нарушения герметичности крепи	151
4.6. Контроль за состоянием крепи шахтных стволов	159
5. Крепь горизонтальных выработок	167
5.1. Общие сведения	167
5.2. Крепь сопряжений стволов	175
5.3. Крепь околоствольных выработок и камер специального назначения	184
5.4. Крепь горизонтальных капитальных выработок	195
Список литературы	204
Приложение	206

Юрий Петрович Ольховиков

**КРЕПЬ КАПИТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК КАЛИЙНЫХ
И СОЛЯНЫХ РУДНИКОВ**

Редактор издательства **Е. И. Волков**
Переплет художника **В. Б. Строганова**
Технический редактор **Н. В. Жидкова**
Корректоры **И. А. Розанова, Т. Ю. Шамонова**
ИБ № 5630

Сдано в набор 14.11.83. Подписано в печать 24.05.84. Т-09400.
Формат 60 × 90^{1/16}. Бумага офсетная № 1. Гарнитура «Таймс».
Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,0. Усл. кр.-отт. 15,0. Уч.-изд. л. 16,9.
Тираж 2000 экз. Заказ 1676/9388-9. Цена 1 р. 20 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,
103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Отпечатано с пленок Можайского полиграфкомбината
в Московской типографии № 6 Союзполиграфпрома при
Государственном комитете СССР по делам издательств
полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул. 24.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НЕДРА»
ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ
НОВЫЕ КНИГИ

**ЗАСЛАВСКИЙ Ю. З., ЛОПУХИН Е. А., ДРУЖКО Е. Б.,
КАЧАН И. В.**

Инъекционное упрочнение горных пород
1984.— 16 л.— 85 к.

Рассмотрен механизм взаимодействия системы «крепь — массив» в различных горно-геологических условиях, дан анализ технологических факторов, влияющих на устойчивость горных выработок, рассмотрены различные способы упрочнения массивов. Приведены методика расчета параметров упрочнения, расчетные зависимости и таблицы для подбора составов тампонажных растворов. Рассмотрены технологические схемы и механизация работ по упрочнению, вопросы организации труда и техники безопасности, технико-экономические показатели эффективности проведения и поддержания выработок с упрочнением.

Для инженерно-технических работников горных предприятий, проектных и шахтостроительных организаций.

ШАФРАНОВ Н. К.

Технология армирования вертикальных стволов шахт.
1984.— 19 л.— 1 р. 40 к.

Дан анализ принципиальных схем армирования, получивших широкое распространение в отечественной и зарубежной практике строительства и реконструкции шахт. Рассмотрены конструктивные элементы армировки, устройства для фиксации подъемных сосудов при их остановке. Изложены методика расчета жесткой и канатной армировки, технические схемы армирования. Рассмотрены вопросы ремонта и восстановления армировки, дальнейшего совершенствования конструкций, повышения степени надежности и эффективности работы армировки.

Для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией шахт.

*Интересующие Вас книги Вы можете приобрести
в местных книжных магазинах, распространяющих
научно-техническую литературу, или заказать через
отдел «Книга — почтой» магазинов:*

№ 17—199178, Ленинград, В. О., Средний проспект, 61;
№ 59—127412, Москва, Коровинское шоссе, 20.
