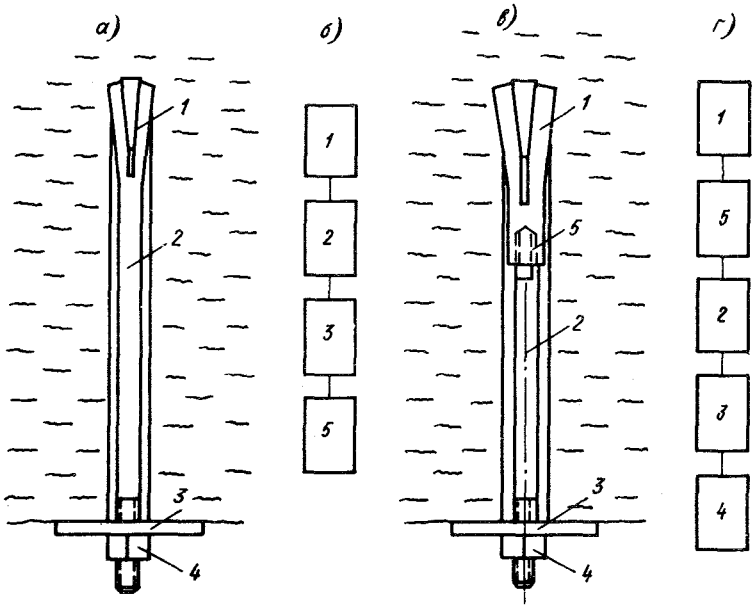
Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им.Г.В.Плеханова, т./XIУ, вып. 1, 1974 г.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ШТАНГОВОЙ КРЕПИ И НЕОБХОДИМОГО ЧИСЛА НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ЕЕ УСТАНОВЛЕНИЯ

В.М.Волжский

Уровень надежности крепи или ее детали определяется численным значением одного или нескольких критериев надежности, например, длительностью среднего времени безотказной работы, или вероятностью безотказной работы за определенный период времени.



Конструкции (а,в) и структурные схемы (б,г) комплектов штанговой крепи:
1 – клин, 2 – штанга, 3 – опорная плитка, 4 – натяжная гайка, 5 – винтовое соединение штанги с головкой замка

При разработке конструкции крепи с заданным уровнем надежности предлагается пользоваться следующей методикой.

1. Для выбранной конструкции крепи строится структурная схема (рисунок).

2. Назначается необходимый уровень надежности крепи.[1]

3. Исходя из общего уровня надежности конструкции крепи в целом и вида соединения элементов, назначается уровень надежности каждого элемента

[1] Методика определения необходимого уровня надежности крепи (или ее деталей) для конкретных горнотехнических условий в данной работе не рассматривается.

структурной схемы. Если в проектируемой конструкции крепи используются детали или узлы, для которых известны характеристики надежности, уровень надежности еще не испытанных элементов назначается с учетом известных характеристик.

4. При значительной зависимости надежности проектируемой крепи от технологии установки уровень надежности, который должен быть достигнут после установки крепи, задается отдельно для ее деталей и всей конструкции в целом.

5. Испытываются на надежность опытные партии деталей крепи. Если фактический уровень ее оказывается меньше заданного, устанавливают причины и устраняют их, например, изменением технологии изготовления или заменой материалов. Эта работа проводится в следующей последовательности:

а) изменяется структурная схема крепи в направлении повышения конструктивной надежности;

б) повышается надежность элементов крепи;

в) подбираются материалы и улучшается технология их изготовления в целях обеспечения принятой надежности деталей;

г) совершенствуется технология установки крепи в целях предотвращения снижения ее конструктивной надежности в процессе установки.

Если в конкретных горнотехнических условиях практически невозможно обеспечить заданный уровень надежности, то этот тип крепи не может быть рекомендован для широкого применения в данных условиях. Вместе с тем в других горнотехнических условиях эта крепь может оказаться достаточно надежной.

При благоприятных результатах испытания крепь может быть рекомендована для широкого применения в данных и аналогичных горнотехнических условиях.

Ниже приводится пример подбора конструкции штанговой крепи для крепления кровли камеры. Уровень надежности комплектов крепи задан вероятностью ее безотказной работы в течение 720 ч; $P_к$ (720) $\geqslant$ 0,985.

На соседних рудниках широко применяется серийно изготавливаемая металлическая штанговая крепь с замками клинощелевого типа. Поэтому ставится вопрос о применении ее и в заданных условиях.

Комплект крепи, состоящий из штанг диаметром 25 мм с прорезью в замковой части шириной 3 мм, клина (толщина верхней части 24 мм), опорной плитки и натяжной гайки (рисунок,а) имеет структурную схему надежности, состоящую их четырех последовательно соединенных элементов (рисунок, б).

Для аналитического определения уровня надежности структурной схемы (рисунок, б) необходимо знать численные значения надежности всех элементов схемы. Широкому применению штанговой крепи на соседних рудниках предшествовали испытания ее на надежность. Отличие рассматриваемых горнотехнических условий от тех, в которых проводились испытания крепи, заключается в способе бурения скважин и технологии закрепления замка. На рудниках скважины бурят телескопными бурильными молотками. При помощи этих же молотков закрепляют замки штанг. В рассматриваемой камере кровля сложена такими же горными породами, но из-за отсутствия энергии сжатого воздуха скважины для штанговой крепи бурят колонковыми электросверлами СЭК-I двухперыми коронками. Замки штанг закрепляют гидравлическими стойками. Следовательно, в рассматриваемых условиях неизвестной величиной является только уровень надежности замка. Воспользуемся известными характеристиками надеж-

кости[1] второго, третьего и четвертого элементов структурной схемы и вычислим вероятность безотказной работы их в течение 720 ч

$$P_{2,3,4}(720) = P_2(720)\cdot P_3(720)\cdot P_4(720), \qquad (1)$$

где $P_2(720), P_3(720), P_4(720)$ – вероятность безотказной работы в течение 720 ч, соответственно, стержня штанги, $P_2(720) = 0{,}999$; опорной плитки $P_3(720) = 0{,}998$; винтовой пары: натяжная гайка – стержень штанги, $P_4(720) = 0{,}997$.

Таким образом,

$$P_{2,3,4}(720) = 0{,}999\cdot 0{,}998\cdot 0{,}997 = 0{,}994.$$

Теперь определим уровень надежности замка (элемента 1 структурной схемы), который нужно обеспечить, чтобы в данных условиях комплекты крепи обеспечивали заданную надежность

$$P_к(720) = P_1(720)\cdot P_2(720)\cdot P_3(720)\cdot P_4(720), \qquad (2)$$

откуда

$$P_1(720) \geqslant \frac{P_к(720)}{P_2(720)\cdot P_3(720)\cdot P_4(720)};$$

или

$$P_1(720) \geqslant 0{,}985 : 0{,}994 = 0{,}978.$$

Зная численное значение величины $P_1(720)$, испытываем замки на надежность и определяем фактическую (не заданную) величину вероятности безотказной работы замков. В результате получено $P_1(720) = 0{,}961$.

Существенно повысить фактическую надежность замков штанг за счет улучшения их изготовления и совершенствования технологии крепи не удалось. Уровень надежности всего комплекта в данных условиях фактически не превысил

$$P'_к(720) = P'_1(720)\cdot P_2(720)\cdot P_3(720)\cdot P_4(720) =$$

$$= 0{,}961 \cdot 0{,}999 \cdot 0{,}998 \cdot 0{,}997 = 0{,}954.$$

Поскольку он ниже заданного

$$P'_к(720) = 0{,}954 < P_к(720) = 0{,}985,$$

[1] Получены в результате испытаний на надежность этого типа штанговой крепи в аналогичных горно-технических условиях.

испытанная конструкция не может быть рекомендована для применения в рассматриваемых условиях.

После анализа причин недостаточной надежности крепи, испытывалась штанговая крепь со съемными замками клинощелевого типа диаметром 32 мм (рисунок, в). В ее структурной схеме имеется элемент 5 – винтовое соединение штанги с головкой замка (рисунок, г). При предварительном расчете его надежность принималась равной надежности винтовой пары: натяжная гайка – стержень штанги (элемент 4).

Вероятность безотказной работы всех элементов структурной схемы, кроме замка, в течение 720 ч составит

$$P_{2,3,4,5}(720) = P_2(720) \cdot P_3(720) \cdot P_4(720) \cdot P_5(720) =$$

$$= 0{,}999 \cdot 0{,}998 \cdot 0{,}997 \cdot 0{,}997 = 0{,}990.$$

Вероятность безотказной работы замка, обеспечивающая заданный уровень надежности,

$$P_1(720) = \frac{P_к(720)}{P_{2,3,4,5}(720)} = \frac{0{,}985}{0{,}990} = 0{,}994 \quad .$$

После этого испытывались на надежность замки и определялось фактическое значение вероятности безотказной работы пятого элемента структурной схемы. В результате испытаний получены следующие значения искомых величин:

фактическая величина вероятности безотказной работы за 720 ч для замка $P_1(720) = 0{,}998$; для винтового соединения стержня штанги с головкой замка $P_5(720) = 0{,}998$; фактический уровень надежности комплекта крепи

$$P'_к(720) = P'_1(720) \cdot P_2(720) \cdot P_3(720) \cdot P_4(720) \cdot P'_5(720) =$$

$$= 0{,}998 \cdot 0{,}999 \cdot 0{,}998 \cdot 0{,}997 \cdot 0{,}998 = 0{,}991.$$

Так как он выше заданного

$$P'_к(720) = 0{,}991 > P_к(720) = 0{,}985,$$

то предложенную конструкцию можно рекомендовать для применения в рассматриваемых горнотехнических условиях.

Необходимое число наблюдений при испытаниях штанговой крепи на надежность при известных коэффициенте изменчивости $v\%$, показателе точности $P\%$ и показателе достоверности t определяют [3] по формуле

$$n = \frac{v^2 t^2}{P^2} \quad . \qquad (3)$$

Значение коэффициента изменчивости устанавливается на основе предыдущих исследований или определяется при выполнении первых экспериментов, а затем даются соответствующие поправки в ориентировочные расчеты. Для первоначальных расчетов можно воспользоваться данными табл. 1.

Таблица 1

Характеристика горных пород, в которых закреплена замковая часть штанги	Значения коэффициента изменчивости в зависимости от конструкции штанговой крепи								
	Металлические штанги						Железобетонные штанги		
	с клиношелевыми замками диаметром, мм			с распорными замками конструкции			обычной конструкции	с уширенной замковой частью	установленные методом ЛГИ
	25	28	32	ЛГИ	ДонУГИ	СКШ			
Аргиллиты, f = 3÷5									
сухие	26	18	14	11	12	17	25	4	–
обводненные трещиноватые, по трещинам просачивается нефть	32	21	16	11	15	19	26	4	–
	28	19	17	10	14	16	27	4	–
сухие монолитные	28	15	7	4	7	8	23	3	–
Туффиты, f = 4÷5									
трещиноватые, трещины заполнены кальцитом	31	17	7	4	6	11	23	3	–
Нефтеносный песчаник, f = 8÷10	29	15	4	–	–	–	36	5	–
Мергелистый сланец, f = 4									
сухой	17	4	3	7	–	9	17	4	–
обводненный	19	7	3	7	–	11	15	3	–
Известняк плотный, f = 4									
сухой	11	6	4	3	–	8	13	2	2
обводненный	17	11	5	3	–	11	9	3	2
Известняк битуминозный, f = 6						6			
сухой	9	6	3	–	–		11	2	1
обводненный	14	7	4	–	–	7	8	2	1
Сланец горючий, f = 2,5									
сухой	23	17	7	6	17	15	9	4	2
обводненный	27	23	9	8	21	19	10	3	2
Песчаник серый, f = 6÷8									
сухой	19	9	3	–	–	–	6	2	1
обводненный	21	11	3	–	–	–	5	1	1
Сланец углистый, f = 2÷3									
монолитный	26	18	11	–	17	15	21	–	4
с прослойками угля	39	21	16	–	21	19	20	–	3

Значения показателя достоверности t приведены в табл. 2.

Таблица 2

Вероятность результата $P_в$	Показатель t	Вероятность результата $P_в$	Показатель t	Вероятность результата $P_в$	Показатель t
0,683	1,00	0,950	1,96	0,995	2,80
0,700	1,04	0,955	2,00	0,997	3,00
0,750	1,15	0,960	2,05	0,999	3,29
0,800	1,28	0,970	2,17	0,9995	3,50
0,850	1,44	0,980	2,33	0,9999	4,00
0,900	1,64	0,990	2,58	0	

Чем меньше значение показателя точности, тем надежнее результаты эксперимента. Достаточная надежность эксперимента в процессе промышленного применения штанговой крепи будет обеспечена, если показатель точности не превысит 5%.

Вероятность результата оценивается числом случаев, подтверждающих правильность вывода. В практике экспериментальных работ обычно ограничиваются тремя градациями вероятности:

1) $P_в = 0,95$ – правильность вывода не подтверждается пятью случаями из ста. Такое статистическое доказательство принимается как вывод, лежащий на грани достоверности, и, обычно, считается достаточным при оценке результатов не очень ответственных предварительных испытаний;

2) $P_в = 0,99$ – правильности вывода противоречит один случай из ста. Статистический вывод при такой вероятности является широко распространенным критерием надежности;

3) $P_в = 0,999$ – правильности вывода противоречит один случай из тысячи. Этот вывод практически можно считать критерием максимальной строгости. Такая вероятность применима при оценке достоверности наиболее ответственных испытаний.

Рассмотрим несколько примеров.

ПРИМЕР 1. Найти необходимое число наблюдений при определении несущей способности металлических клиношелевых замков диаметром 25 мм. Результат необходимо получить при показателе точности $p = 4\%$ и вероятности 0,95.

Предыдущими экспериментами установлено, что коэффициент изменчивости несущей способности клиношелевых замков диаметром 25 мм в аналогичных горнотехнических условиях равен 16%. Из табл. 2 находим показатель достоверности $t = 1,96$, соответствующий вероятности 0,95.

Подставив эти значения в формулу (3), получим

$$n = \frac{16^2 \cdot 1,96^2}{4^2} = \frac{256 \cdot 3,84}{16} = 62 \quad .$$

Иными словами, чтобы выполнить заданные условия, необходимо испытывать не менее 62 замков.

ПРИМЕР 2. В условиях сланцевых шахт проверяется надежность железобе-

тонной штанговой крепи. Требуется определить с точностью 5% при вероятности 0,99 число экспериментов, которые нужно выполнить для измерения фактической несущей способности железобетонной штанговой крепи.

В этих условиях испытания железобетонной штанговой крепи проводятся впервые, данных о значении коэффициента изменчивости несущей способности нет. Поэтому при первых же экспериментах его необходимо установить

$$v = \pm \frac{100\sigma}{M}, \tag{4}$$

где σ – среднее квадратическое отклонение,

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}}, \tag{5}$$

$\sum x^2$ – сумма квадратов отклонений всех вариаций от среднего арифметического;
M – среднее арифметическое значение наблюдаемой величины

$$M = \frac{\sum v}{n}, \tag{6}$$

$\sum v$ – сумма всех вариаций.

Для определения коэффициента изменчивости поставим 10 опытов (число выбирается произвольно). Результаты опытов сведены в табл. 3.

Таблица 3

Номер опыта	v, кг	x, кг	x^2, кг
1	9600	-610	372100
2	9900	-310	96100
3	10200	-10	100
4	10400	+190	36100
5	11200	+990	980100
6	11000	+790	624100
7	10800	+590	348100
8	10000	-210	44100
9	9800	-410	168100
10	9200	-1010	1020100
		-2560	
	$\sum v$ = 102100	+2560	$\sum x^2$ = 4014000

По формуле (6) находим

$$M = \frac{102100}{10} = 10210 \text{ кг} .$$

Среднее квадратическое отклонение σ по формуле (5) составит

$$\sigma = \pm\sqrt{\frac{4014000}{10-1}} = 660 \text{ кг} .$$

Коэффициент изменчивости по формуле (4) определится равным

$$v = \pm \frac{100 \cdot 660}{10210} = 6,5\% .$$

Необходимое число экспериментов может быть определено по формуле (3)

$$n = \frac{6,5^2 \cdot 2,58^2}{5^2} = 11,2 .$$

Таким образом, достаточно поставить 12 опытов.

ПРИМЕР 3. Испытывается два варианта железобетонной штанговой крепи в размокающих глинистых породах. Требуется определить необходимое число испытаний обычных железобетонных штанг и железобетонных штанг с уширенной замковой частью конструкции ЛГИ [1]. Результат надо получить с точностью 5% при вероятности 0,99.

Железобетонные штанги в рассматриваемых условиях испытываются впервые, поэтому коэффициент изменчивости несущей способности неизвестен. Для его определения проводится серия испытаний. В результате первых же экспериментов установлено, что значение несущей способности железобетонных штанг обычной конструкции в данных условиях имеют больший разброс, чем штанг с уширенной замковой частью. Поэтому для определения коэффициента изменчивости несущей способности штанг с уширенной замковой частью поставлено 10 опытов, а для штанг обычной конструкции 20. Результаты экспериментов представлены в табл. 4 и 5.

Для железобетонных штанг обычной конструкции

$$M = \frac{86000}{20} = 4300 \text{ кг} ,$$

$$\sigma = \pm\sqrt{\frac{23920000}{20-1}} = \pm 1120 \text{ кг} ,$$

$$v = \pm \frac{100 \cdot 1120}{4300} = \pm 26\% .$$

При этих условиях необходимое число экспериментов:

$$n = \frac{26^2 \cdot 2,58^2}{5^2} = 178 .$$

Таблица 4

Номер опыта	v, кг	x, кг	x^2, кг
1	5600	+1300	1960000
2	3200	-1100	1210000
3	3100	-1200	1440000
4	4800	+500	250000
5	3300	-1000	1000000
6	2900	-1400	1960000
7	5100	+800	640000
8	3700	-600	360000
9	6400	+2100	4410000
10	5900	+1600	2560000
11	3900	-400	160000
12	4100	-200	40000
13	4500	+200	40000
14	600	+1700	2890000
15	5200	+900	810000
16	4200	-100	10000
17	2300	-2000	4000000
18	3900	-400	160000
19	4100	-200	40000
20	3800	-500	250000
	Σv = 86000	+9100 -9100	Σx^2 = 23920000

Таблица 5

Номер опыта	v, кг	x, кг	x^2, кг
1	11200	-400	160000
2	11900	+300	90000
3	11000	-600	360000
4	11800	+200	40000
5	12000	+400	160000
6	12100	+500	250000
7	11600	0	0
8	11200	-400	160000
9	11800	+200	40000
10	11400	-200	40000
Σv =	116000	-1600 +1600	Σx^2 = 1300000

Такое число экспериментов свидетельствует, что в данных условиях испытываемая конструкция штанговой крепи явно не будет надежной.

Для железобетонных штанг с уширенной замковой частью

$$M = \frac{1 \cdot 160000}{10} = 11600 \text{ кг} ,$$

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{1300000}{10 - 1}} \approx \pm 380 \text{ кг} ,$$

$$v = \pm \frac{100300}{11600} \approx \pm 4\% .$$

Необходимое число испытаний

$$n = \frac{4^2 \cdot 2{,}58^2}{5^2} \approx 4 ,$$

т.е. для данной конструкции достаточно испытать 4–5 штанг. Таким образом, обработка, результатов первой серии опытов показала, что продолжать испытания железобетонных штанг без уширения в данных горногеологических условиях не имеет смысла.

Основная сложность определения необходимого числа экспериментов заключается в том, что почти каждый раз требуется находить коэффициент изменчивости изучаемого признака, особенно когда он зависит от физико-механических свойств горных пород.

Вследствие того, что горногеологические условия редко бывают одинаковыми, существуют известные трудности в накоплении данных о коэффициентах изменчивости основных параметров штанговой крепи и их использовании. Их следует уточнять при экспериментах. Для ориентировочного определения числа экспериментов в некоторых случаях можно воспользоваться данными табл. 1, которые получены при промышленных испытаниях штанговой крепи на Ярегских нефтешахтах [2, 3], сланцевых шахтах, строительстве подземных складов и на Северо-Уральских бокситовых рудниках.

Литература

1. Волжский В.М. Железобетонная штанговая крепь для слабых пород. Зап. ЛГИ, т. 42 , вып. 1, 1960.

2. Волжский В.М. Опыт применения штанговой крепи на Ягерских нефтешахтах. Горный журнал , 1961, № 4.

3. Длин А.М. Математическая статистика в технике, М., "Советская наука", 1958.