

УДК 622.235.113

М. Д. Войтов, А. Б. Сабанцев

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННЫХ ВОРОНКООБРАЗУЮЩИХ ВРУБОВ

Действующими в настоящее время в России правилами безопасности при производстве взрывных работ в угольных шахтах, опасных по газу и пыли [1], предусмотрен ряд изменений, позволяющий повысить эффективность взрывных работ при проведении выработок относительно действующих «Единых правил безопасности при взрывных работах».

Разработанные параметры основного варианта и подвариантов комбинированного воронкообразующего вруба (КВВ) могут использоваться в рудных и угольных шахтах в забоях, не опасных по газу и пыли.

Для того чтобы использовать такие параметры

допущенными по безопасности, на рис. 1 приведены графики зависимости расстояний между шпурами от крепости пород для ВВ II, III–IV и V классов по дискретным значениям  $a_{min}$  установленным [1].

Сглаженные значения минимально допустимых расстояний определены по графикам рис. 1 и сведены в табл. 2., из данных которой следует, что во всех условиях взрывания при применении промышленных ВВ, расстояния между шпурами на контуре вруба больше допущенных по условиям безопасности и, следовательно, врубы КВВ по условиям отсутствия уплотнения смежных зарядов удовлетворяют требованиям [1].

Таблица 1. Минимально допустимые расстояния между смежными шпуровыми зарядами

| Условия взрывания        | Минимально допустимые расстояния между смежными шпуровыми зарядами $a_{min}$ , м при применении ВВ классов по предохранительности |        |     |      |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----|------|
|                          | II                                                                                                                                | III–IV | V   | VI   |
| по углю                  | 0,6                                                                                                                               | 0,6    | 0,5 | 0,4  |
| по породе при $f < 7$    | 0,5                                                                                                                               | 0,45   | 0,3 | 0,25 |
| по породе при $f = 7–10$ | 0,4                                                                                                                               | 0,3    | –   | –    |

Таблица 2. Сглаженные минимально допустимые расстояния

| Класс ВВ по<br>предохранительности | Сглаженные минимально допустимые расстояния между<br>смежными шпуровыми зарядами $a_{min}$ , мм в породах<br>с коэффициентом крепости $f$ |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                    | Уголь                                                                                                                                     | 2   | 3   | 4   | 5   | 6    | 7   | 8   | 9   | 10  | 12  | 15  |
| II                                 | 600                                                                                                                                       | 590 | 540 | 510 | 480 | 450  | 430 | 410 | 385 | 370 | 340 | 315 |
| III–IV                             | 600                                                                                                                                       | 570 | 520 | 470 | 430 | 3900 | 350 | 320 | 290 | 265 | 230 | 210 |
| V                                  | 500                                                                                                                                       | 460 | 390 | 325 | 275 | 230  | 190 | —   | —   | —   | —   | —   |

врубов в опасных условиях угольных шахт необходимо, чтобы они удовлетворяли требованиям [1] о допустимых режимах короткозамедленного взрывания, но также обеспечивали условия, при которых не будет происходить взаимоуплотнения смежных шпуровых зарядов на контуре вруба и этих же зарядов сосредоточенных в скважинах.

Согласно [1] минимально допустимые расстояния между смежными шпуровыми зарядами диаметром 36 мм по условиям исключения их уплотнения, в зависимости от крепости пород и класса ВВ, приведены в табл. 1.

При этом в породах с  $f > 10$  расстояние между смежными шпуровыми зарядами должно определяться нормативами, разработанными по согласованию с организацией-экспертом по безопасности взрывных работ.

Для того, чтобы выполнить проверку рассчитанных по эффективности разрушения массива расстояний между шпурами на контуре вруба с

Если расстояния между шпуровыми зарядами во всех условиях взрывания удовлетворяет требованиям [1], то величина допустимого приближения шпуровых зарядов к сосредоточенному требует обоснования.

Для выполнения обоснования, в качестве справки, следует привести данные о области применения непереходных ВВ в зависимости от крепости пород. Так по [1] непереходные ВВ, не содержащие сенсibilизаторов более чувствительных, чем тротил (аммонит 6ЖВ), могут использоваться во всех породах по крепости. Детонит М и аммонал скальный № 3, содержащие более чувствительные сенсibilизаторы – в породах с  $f$  от 7 до 10, только во врубах, а в породах с  $f$  более 10 – любые ВВ в забоях, не опасных по газу и пыли.

Отсутствие уплотнения, отказов и выгорания смежных зарядов при  $a_{min}$  обосновано прямыми экспериментами в угольных шахтах при взрыва-

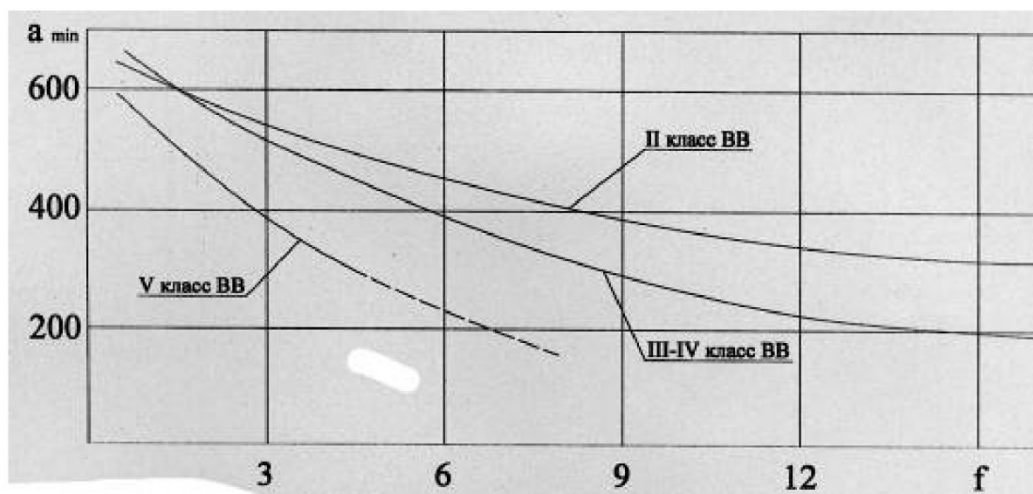


Рис. 1. График дифференцированных минимально допустимых расстояний между смежными шпуровыми зарядами по нормативам действующих ПБ

нии зарядов цилиндрической конструкции диаметром 36 мм и обобщенным анализом практики ведения взрывных работ, что позволило уточнить и дифференцировать результаты с учетом удельной мощности (энергии) зарядов и оформить в Правила безопасности.

Заряды в скважинах вруба конструктивно отличаются от шпуровых различным соотношением длины к их диаметру. Если заряды в шпурах при использовании стандартных патронов ВВ относятся к цилиндрическим, то заряды в скважинах вруба могут быть по своему действию как приближающиеся к сферическим, при отношении длины к его диаметру не более 4 [2], так и переходными к цилиндрическим, когда приведенное соотношение превышает 4.

Термин «переходные к цилиндрическим» означает, что между сферическими и цилиндрическими зарядами нет четкой границы, поскольку вследствие меньшей скорости распространения волны напряжения в более сжатой зоне (у торцов зарядов), на некотором удалении от продольной оси заряда, в принципе, любая цилиндрическая волна преобразуется в сферическую. Однако следует отметить, что в пределах  $a_{min}$  цилиндрическая волна от шпуровых зарядов массой 400 г и более не успевает трансформироваться в сферическую и распространяется в массиве по закономерностям цилиндрической волны.

Поэтому при обосновании допустимого отстояния шпуровых зарядов, по условиям отсутствия их уплотнения, от зарядов в скважинах вруба использованы закономерности затухания волн напряжения с относительным расстоянием с учетом соотношения их геометрических размеров.

Согласно теоретическим положениям [3, 4] затухания волны напряжения сферической формы с относительным расстоянием от них происходит в кубической зависимости, а цилиндрической формы – в квадратной.

При экспериментальном определении харак-

тера затухания напряжений на фронте волн в ближней зоне [5] (при относительном расстоянии  $\bar{r} \leq 10$ ) в конкретных горных породах были получены показатели затухания ниже теоретических, равные для цилиндрических 1,5 и сферических 2,0, с тенденцией приближения их к единице при  $\bar{r} > 100$ , т.е. на удалении, где волны напряжения преобразуются в сейсмические колебания.

С целью обеспечения максимальной гарантии исключения возможности уплотнения шпуровых зарядов скважинными, в основу определения текущих напряжений в сферических и цилиндрических волнах напряжения положены показатели степени затухания, установленные экспериментально, т.е. 2 и 1,5.

Кроме того, в нашем случае главным является оценка расстояния, при котором напряжения в волне от заряда в скважине вруба становится равным напряжению, при котором по [1] не происходит уплотнения смежных шпуровых зарядов.

Текущие значения напряжений при использовании цилиндрических и сосредоточенных зарядов могут быть представлены в виде:

$$\bar{G}r_{\text{ц}} = P_{\text{оц}} / \bar{r}^{\gamma_{\text{ц}}}; \quad (1)$$

$$\bar{G}r_{\text{с}} = P_{\text{ос}} / \bar{r}^{\gamma_{\text{с}}}, \quad (2)$$

где  $\bar{r}$  – относительное расстояние в радиусах зарядов;

$\gamma_{\text{ц}}$ ,  $\gamma_{\text{с}}$  – показатели затухания волн напряжения, соответственно цилиндрической и сферической форм.

Условием отсутствия уплотнения смежных зарядов различной симметрии при некотором расстоянии между ними является равенство  $\bar{G}r_{\text{с}} = \bar{G}r_{\text{ц}}$ . При этом величина  $\bar{G}r_{\text{ц}}$  при известных  $P_{\text{оц}}$  и  $\gamma_{\text{с}}$  практически установлена [1] посредством минимально допустимого расстояния между смежными шпуровыми зарядами  $a_{min}$ .

Выразив относительные расстояния в форму-

лах (1, 2) в абсолютных размерах, условие отсутствия уплотнения шпуровых зарядов на контуре вруба скважинными запишется в виде:

$$\frac{P_{oc}}{(a_{min}/r_{з.с})^2} = \frac{P_{oc}}{(a_{min}/r_{з.ц})^{1,5}}. \quad (3)$$

Заряд в скважине, состоящий из одной связки 4-х стандартных патронов массой каждого 300 г, формирует сферическую волну напряжения на незначительном удалении от его оси.

При использовании в скважине двух и более связок патронов в ближней зоне формируется цилиндрическая волна, которая на некотором удалении от него преобразуется в сферическую с интенсивностью затухания напряжения свойственную такого типа волне.

Для определения размера границы, на которой происходит преобразование цилиндрической волны в сферическую воспользуемся зависимостью предложенную Г. И. Покровским [6] в виде

$$L = \frac{4}{3} R, \quad (4)$$

где  $L$  – длина цилиндрического заряда;

$R$  – расстояние от оси заряда, на котором цилиндрическая волна превращается в сферическую.

При длине зарядов состоящих из 1, 2 и 3-связок стандартных патронов ВВ массой 300 и 250 г и 2, 3 и 4-х связок массой 200 г (угленит Э-6), допущен-

ных к применению в шахтах, количественное значение  $R$  приведено в табл. 3.

Из сравнения данных табл. 1 и 3 следует, что на расстояниях  $a_{min}$  при использовании зарядов в скважинах, состоящих из 3<sup>х</sup> связок патронов их цилиндрическая волна напряжения не преобразовывается в сферическую, а при зарядах из 2<sup>х</sup> связок патронов только в угле и породах с  $f < 7$  цилиндрическая волна успевает трансформироваться в сферическую. Очевидно, что напряжения от зарядов в скважинах снизятся до уровня допустимого по [1], на расстояниях превышающих  $a_{min}$ , что следует учитывать в дальнейших расчетах.

Если в основу дальнейших расчетов принять среднее начальное давление в зарядной камере, равное для рассматриваемых ВВ в стандартных патронах диаметром 36 мм и равное: 5520,5; 5520,0; 6954,3; 9006,7; 8763,8; 4551,0 МПа соответственно для АП-5ЖВ, ПЖВ-20 (Т-19), 6ЖВ, детонита М, аммонала скального № 3 и угленита Э-6, то напряжения в массиве на удаление их  $a_{min}$  друг от друга будут равны, приведенным в табл. 4.

Если реальные напряжения будут несколько отличаться от расчетных по табл. 4, то это не окажет существенного влияния на объективность выводов о допустимых расстояниях шпуровых зарядов вруба от скважинных, поскольку они основываются не на абсолютных значениях, действующих в среде напряжений, а отношением интен-

Таблица 3. Расстояние от оси заряда, на котором цилиндрическая волна превращается в сферическую.

| Тип ВВ               | Параметры стандартного патрона ВВ |           | Длина заряда, см, состоящего из связок патронов ВВ, шт. |      | Расстояние от оси заряда $R$ , см, на котором цилиндрическая волна преобразуется в сферическую |                   |                   |
|----------------------|-----------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                      | масса, г                          | длина, см | 2                                                       | 3    | 1 связка патронов                                                                              | 2 связки патронов | 3 связки патронов |
| Аммонит АП-5ЖВ       | 300                               | 27,5      | 55,0                                                    | 82,5 | 20,62                                                                                          | 41,25             | 61,82             |
| Аммонит ПЖВ-20, Т-19 | 300                               | 26,5      | 53,0                                                    | 79,5 | 19,88                                                                                          | 39,75             | 59,62             |
| Аммонит № 6ЖВ        | 300                               | 26,8      | 53,6                                                    | 80,4 | 20,10                                                                                          | 40,20             | 60,30             |
| Детонит М            | 250                               | 23,5      | 47,0                                                    | 70,5 | 17,62                                                                                          | 35,25             | 52,88             |
| Аммонал скальный № 3 | 300                               | 28,1      | 56,2                                                    | 84,2 | 21,08                                                                                          | 42,15             | 63,18             |
| Угленит Э-6          | 200                               | 17,0х2    | 51,0                                                    | 68,0 | 25,5                                                                                           | 38,25             | 51,00             |

Таблица 4. Значения напряжения в массиве для разных типов ВВ

| Тип ВВ                | Класс ВВ по предохранительности | Напряжения в массиве, МПа на расстоянии $a_{min}$ от шпуровых зарядов, при которых не происходит их уплотнения |                |                   |
|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|
|                       |                                 | уголь                                                                                                          | породы $f < 7$ | породы $f = 7-10$ |
| Аммонит 6ЖВ           | II                              | 34,058                                                                                                         | 47,501         | 66,386            |
| Детонит М             | II                              | 46,801                                                                                                         | 61,520         | 85,979            |
| Аммонал скальный № 3  | II                              | 45,538                                                                                                         | 59,860         | 83,658            |
| Аммонит АП-5ЖВ        | III                             | 28,686                                                                                                         | 44,164         | 81,132            |
| Аммонит ПЖВ-20 (Т-19) | IV                              | 28,590                                                                                                         | 44,016         | 80,861            |
| Угленит Э-6           | V                               | 31,086                                                                                                         | 66,885         | —                 |

Таблица 5. Значения радиуса заряда в скважине

| Тип ВВ              | Плотность патронирования средняя, г/см <sup>2</sup> | Радиус заряда в скважине, приведенной к сферической форме, $r_{сф.с}$ , мм, при его массиве, кг и количестве связей, шт. |           |           |           |             |           |           |           |
|---------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
|                     |                                                     | 1,0;<br>1                                                                                                                | 1,2;<br>1 | 1,6;<br>2 | 2,0;<br>2 | 2,4;<br>2;3 | 3,0;<br>3 | 3,2;<br>4 | 3,6;<br>3 |
| Аммонит ПЖВ-20      | 1,100                                               | –                                                                                                                        | 63,90     | –         | –         | 80,45       | –         | –         | 92,11     |
| Аммонит АП-5ЖВ      | 1,075                                               | –                                                                                                                        | 64,36     | –         | –         | 81,09       | –         | –         | 92,82     |
| Аммонит 6ЖВ         | 1,100                                               | –                                                                                                                        | 63,90     | –         | –         | 80,45       | –         | –         | 92,11     |
| Детонит М           | 1,060                                               | 60,85                                                                                                                    | –         | –         | 76,66     | –           | 87,75     | –         | –         |
| Аммонал скальный №3 | 1,050                                               | –                                                                                                                        | 64,87     | –         | –         | 81,72       | –         | –         | 93,55     |
| Угленит Э-6         | 1,175                                               | –                                                                                                                        | –         | 68,77     | –         | 78,72       | –         | 86,64     | –         |

сивностей их затухания, установленной экспериментально.

Чтобы при использовании любых ВВ исключалось уплотнение шпуровых зарядов скважинными, определение допустимых расстояний между ними следует производить с таким расчетом, чтобы во всех случаях напряжение от зарядов в скважинах снижалось до минимального уровня, который обеспечивается при взрывании в угле и породах с коэффициентом крепости от 2 до 15 цилиндрических зарядов диаметром 36 мм аммонита ПЖВ-20, принятого в качестве эталона, при «сглаженных» допустимых расстояниях между шпурами, приведенными в табл. 2.

Поскольку при применении ПЖВ-20 реализуется наименьшее, относительно других ВВ, напряжение в волне при приходе ее к смежному заряду, при применении других ВВ будет обеспечиваться запас при определении величины мини-

мально допустимых расстояний между зарядами, который следует предусматривать при решении вопросов безопасности.

Расчет предельных напряжений ( $\Delta P_{эт.}$ ) при взрывании цилиндрических зарядов диаметром 36 мм ПЖВ-20 выполнен по формуле (1), при показателе затухания равном 1,5 и количественно равен: 28,6; 30,9; 35,4; 41,2; 47,1; 54,5; 64,2; 73,4; 85,1; 97,4; 120,5; 138,0, соответственно в угле и породах с  $f$  от 2 до 10 включительно и  $f=12$  и 15.

Для обеспечения гарантии безопасности при применении допущенных промышленных ВВ, напряжения в массиве при подходе волны напряжения от скважинного заряда к заряду на контуре вруба должна быть не более, приведенных выше при использовании ПЖВ-20, т.е.  $\Delta P_{эт.}$

Поскольку заряды в скважинах формируют волны напряжения со свойствами цилиндрической и сферической форм, определение минимально

Таблица 6. Минимально допустимые расстояния зарядов на контуре вруба

| Тип ВВ                | Масса заряда в скважине, кг | Минимально допустимые расстояния зарядов на контуре вруба от скважинных, $a_{мин с}$ , мм в угле и породах с коэффициентом крепости, $f$ |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                       |                             | Уголь                                                                                                                                    | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 12  | 15  |
| Аммонит ПЖВ-20 (Т-19) | 1,2                         | 445                                                                                                                                      | 435 | 420 | 404 | 390 | 377 | 363 | 352 | 341 | 332 | 319 | 311 |
|                       | 2,4                         | 582                                                                                                                                      | 575 | 563 | 545 | 535 | 526 | 518 | 510 | 504 | 497 | 487 | 478 |
|                       | 3,6                         | 752                                                                                                                                      | 746 | 736 | 726 | 717 | 709 | 700 | 693 | 686 | 680 | 673 | 667 |
| Аммонит АП-5ЖВ        | 1,2                         | 446                                                                                                                                      | 437 | 423 | 407 | 394 | 381 | 367 | 355 | 344 | 335 | 322 | 314 |
|                       | 2,4                         | 593                                                                                                                                      | 587 | 575 | 563 | 553 | 544 | 533 | 525 | 519 | 512 | 502 | 493 |
|                       | 3,6                         | 771                                                                                                                                      | 765 | 755 | 745 | 737 | 729 | 721 | 703 | 696 | 690 | 683 | 677 |
| Аммонит 6ЖВ           | 1,2                         | 475                                                                                                                                      | 465 | 448 | 430 | 415 | 400 | 370 | 359 | 348 | 338 | 325 | 316 |
|                       | 2,4                         | 607                                                                                                                                      | 600 | 586 | 569 | 555 | 543 | 529 | 520 | 512 | 505 | 494 | 488 |
|                       | 3,6                         | 776                                                                                                                                      | 770 | 759 | 744 | 733 | 722 | 710 | 703 | 696 | 690 | 681 | 676 |
| Детонит М             | 1,0                         | 504                                                                                                                                      | 492 | 471 | 450 | 432 | 414 | 395 | 381 | 367 | 354 | 336 | 325 |
|                       | 2,0                         | 598                                                                                                                                      | 589 | 573 | 557 | 544 | 531 | 517 | 506 | 495 | 486 | 472 | 464 |
|                       | 3,0                         | 736                                                                                                                                      | 729 | 715 | 702 | 690 | 679 | 667 | 658 | 649 | 641 | 630 | 623 |
| Аммонал скальный №3   | 1,2                         | 526                                                                                                                                      | 501 | 482 | 462 | 446 | 429 | 412 | 401 | 386 | 374 | 358 | 348 |
|                       | 2,4                         | 648                                                                                                                                      | 639 | 624 | 610 | 598 | 585 | 572 | 563 | 552 | 544 | 532 | 524 |
|                       | 3,6                         | 823                                                                                                                                      | 816 | 803 | 791 | 781 | 770 | 759 | 751 | 742 | 735 | 724 | 715 |
| Угленит Э-6           | 1,6                         | 455                                                                                                                                      | 447 | 434 | 421 | 411 | 400 | 388 | –   | –   | –   | –   | –   |
|                       | 2,4                         | 552                                                                                                                                      | 545 | 534 | 523 | 514 | 505 | 495 | –   | –   | –   | –   | –   |
|                       | 3,2                         | 670                                                                                                                                      | 659 | 644 | 635 | 627 | 618 | 610 | –   | –   | –   | –   | –   |

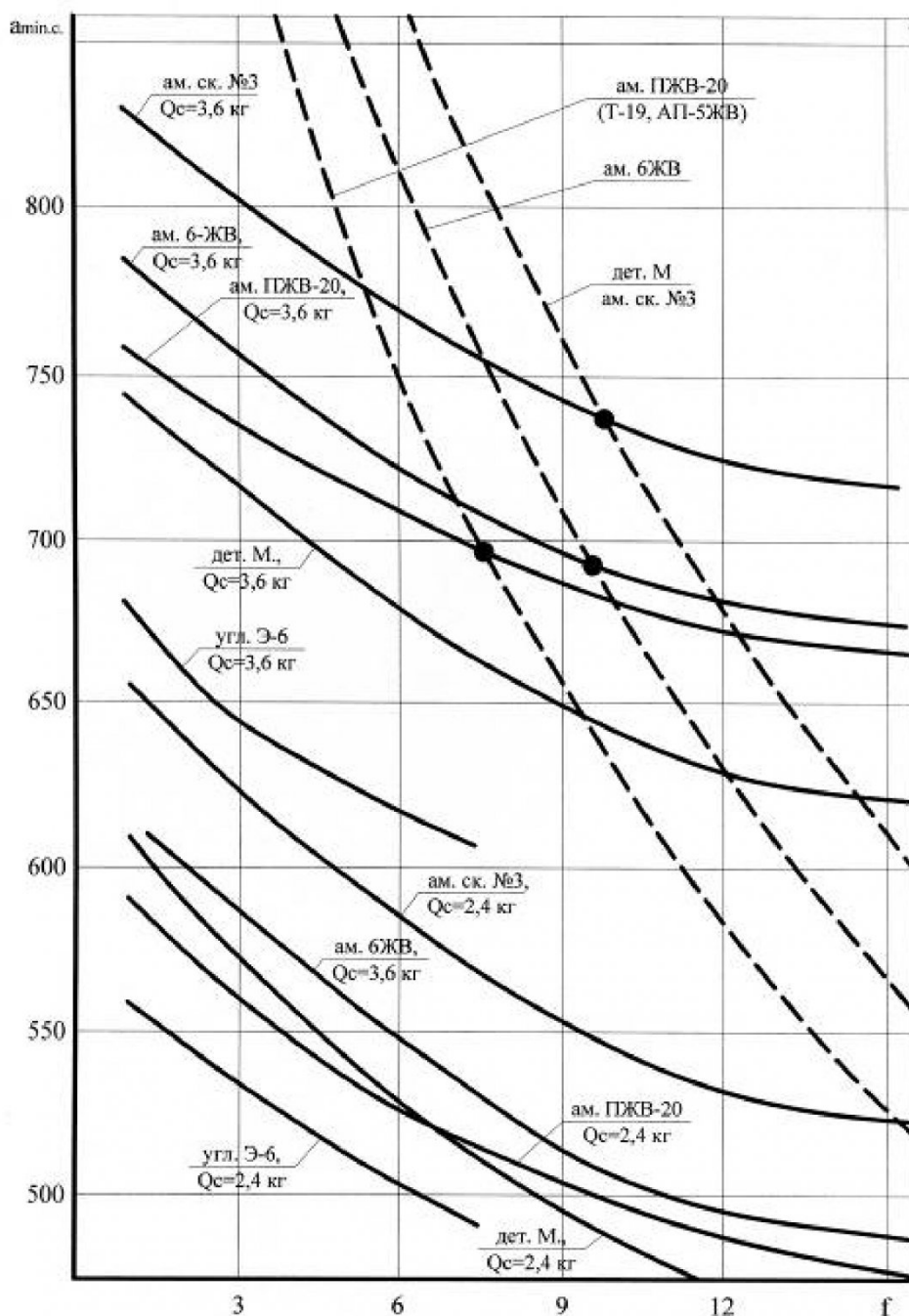


Рис. 2. Графики минимально допустимых расстояний зарядов на контуре вруба от скважинных в зависимости от крепости пород при исследовании

допустимых расстояний до шпуровых зарядов вруба необходимо производить с учетом интенсивности снижения напряжения в обеих формах волны.

Величина снижения напряжения в волне цилиндрической формы определится по правой части уравнения (3), при  $P_{o.c} = P_{o.u}$  и радиусе скважинного заряда в его цилиндрической форме, т.е.

$$\Delta P_{u.c} = P_{o.u} / [R / r_{c.u}]^{1.5} \quad (5)$$

Далее от уровня  $\Delta P_{u.c}$  снижение напряжения происходит по сферической зависимости до до-

пустимого предела, равного  $\Delta P_{э.т.}$ , т.е.

$$\frac{P_{o.u.}}{\left(\frac{R}{r_{c.u.}}\right)^{1.5}} \cdot \left(\frac{a_x}{r_{c.f.c.}}\right)^2 = \Delta P_{э.т.} \quad (6)$$

где  $a_x$  — расстояние снижения напряжения в волне сферической формы от уровня  $\Delta P_{u.c}$  до  $\Delta P_{э.т.}$ ;

$r_{c.f.c.}$  — радиус скважинного заряда, приведенного к сферической симметрии.

Таблица 7. Минимально допустимые расстояния между смежными шпуровыми зарядами при разных типах ВВ и схемах вруба

| Тип ВВ               | Схема вруба | Кол-во шпуров на контуре вруба, шт.  | Коэффициент крепости пород, $f$ |                   |                  |                   |                  |                   |                    |                   |                    |                   |
|----------------------|-------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
|                      |             |                                      | 8                               |                   | 9                |                   | 10               |                   | 12                 |                   | 15                 |                   |
|                      |             |                                      | Радиус вруба, мм                | $a_{min\ c}$ , мм | Радиус вруба, мм | $a_{min\ c}$ , мм | Радиус вруба, мм | $a_{min\ c}$ , мм | Радиус вруба, мм   | $a_{min\ c}$ , мм | Радиус вруба, мм   | $a_{min\ c}$ , мм |
| Аммонит ПЖВ-20       |             | 9+1                                  | 770                             | 693               | 725              | 687               | 699              | 680               | 642<br>не проходит | 673               | —                  | —                 |
|                      |             | 12+1 $f \leq 9$<br>12+2 $f \geq 10$  | 740                             | 693               | 692              | 687               | 732              | 680               | 612<br>предел      | 673               | —                  | —                 |
|                      |             | 14+1 $f \leq 10$<br>14+2 $f \geq 12$ | 765                             | 693               | 714              | 687               | 684<br>предел    | 680               | 690                | 673               | —                  | —                 |
|                      |             | 15+1 $f \leq 9$<br>15+2 $f \geq 10$  | 734                             | 693               | 684<br>предел    | 687               | 722              | 680               | 654<br>не проходит | 673               | —                  | —                 |
| Аммонит 6ЖВ          |             | 9+1                                  | —                               | —                 | —                | —                 | 748              | 690               | 688<br>предел      | 681               | —                  | —                 |
|                      |             | 12+1 $f \leq 9$<br>12+2 $f \geq 10$  | —                               | —                 | —                | —                 | 711              | 690               | 720                | 681               | 644<br>не проходит | 676               |
|                      |             | 14+1 $f \leq 10$<br>14+2 $f \geq 12$ | —                               | —                 | —                | —                 | 731              | 690               | 742                | 681               | 661<br>не проходит | 676               |
|                      |             | 15+1 $f \leq 9$<br>15+2 $f \geq 10$  | —                               | —                 | —                | —                 | 700              | 690               | 710                | 681               | 639<br>не проходит | 676               |
| Аммонит скальный № 3 |             | 9+1                                  | —                               | —                 | —                | —                 | —                | —                 | 734                | 724               | 657<br>не проходит | 676               |
|                      |             | 12+2                                 | —                               | —                 | —                | —                 | —                | —                 | 770                | 724               | 688                | 676               |
|                      |             | 14+2                                 | —                               | —                 | —                | —                 | —                | —                 | 790                | 724               | 707                | 676               |
|                      |             | 15+2                                 | —                               | —                 | —                | —                 | —                | —                 | 758                | 724               | 678                | 676               |

Из формулы (6) непосредственно следует:

$$a_x = r_{cf.c} \sqrt{\frac{P_{o.ц.}}{\Delta P_{эм.} \left( \frac{R}{r_{c.ц.}} \right)^{1,5}}} \quad (7)$$

Тогда суммарное минимально допустимое расстояние шпуровых зарядов на контуре вруба от скважинных равно:

$$a_{min c} = R + a_x = R + r_{cf.c} \sqrt{\frac{P_{o.ц.}}{\Delta P_{эм.} \left( \frac{R}{r_{c.ц.}} \right)^{1,5}}} \quad (8)$$

Для количественной оценки  $a_{min c}$  необходимо привести заряды в скважине к сферической симметрии по формуле:

$$r_{cf.c} = 0,5 \sqrt[3]{\frac{6 \cdot Q_c}{\pi \rho_{ВВ}}} \quad (9)$$

Для наиболее распространенных промышленных ВВ, рассчитанные по формуле (9) радиусы скважинных зарядов, приведенные к сферической форме, состоящие из стандартных патронов массой 200, 250 и 300 г из 1, 2, 3 и 4 связок по 4 патрона, приведены в табл. 5.

Для оценки минимально допустимых расстояний зарядов на контуре вруба от скважинных в табл. 6 приведены значения  $a_{min c}$ , рассчитанные по формулам (8, 9) при использовании наиболее

распространенных промышленных ВВ при массе зарядов от 1,0 до 3,6 кг, которые могут быть использованы при проектировании параметров врубов в условиях угольных шахт непосредственно или путем интерполяции табличных данных при применении других ВВ или зарядов.

Для иллюстрации данных табл. 6 на рис. 2 приведены графики зависимостей

$a_{min c}$  от крепости пород и угля при массе зарядов в скважинах вруба 2,4 и 3,6 кг при применении аммонитов ПЖВ-20 (Т-19), 6ЖВ и аммоннала скального № 3 в стандартных патронах массой 300 гр.; 2,0 и 3,0 кг при применении детонита М в патронах массой 250 гр. и 2,4 и 3,2 кг при применении угленита Э-6 в патронах массой 200 гр.

На графиках рис. 2 верхние кривые зависимостей соответствуют большей массе зарядов в скважинах, нижние – меньшей и обозначены сплошными линиями. На этом же рисунке пунктирными линиями обозначены расчетные, по требованиям эффективности разрушения массива, радиусы врубов при использовании ВВ типов ПЖВ-20 (Т-19), АП-5ЖВ, 6ЖВ, детонита М и аммоннала скального № 3.

При этом ввиду незначительной разницы в радиусах врубов при использовании ПЖВ-20 и АП-5ЖВ, а также детонита М и аммоннала скального № 3, последние зависимости объединены.

Как следует из графиков рис. 2 при использовании в скважинах зарядов массой 3,0 и 3,6 кг, в крепких породах, проектные радиусы врубов по эффективности разрушения массива становятся меньше допустимых по безопасности ( $a_{min c}$ ). Так при применении ВВ типов ПЖВ-20 (Т-19), АП-5ЖВ, 6ЖВ, аммоннала скального № 3 массой 3,6 кг, в породах с коэффициентом крепости, соответственно, равным 7,5; 9,5 и 10, а при применении зарядов детонита М

массой 3,0 кг в породах с  $f = 14,5$ , радиус вруба становится одинаковым с допустимым по  $a_{min c}$ .

Для того, чтобы расширить область применения зарядов массой 3,6 кг, позволяющих существенно увеличить глубину заходки без ущерба безопасности, рекомендуется увеличить диаметр вруба за счет увеличения количества шпуров на его контуре, но не более чем на 1, при использовании врубов с одним сосредоточенным зарядом и не более 2 при двух и более скважинах во врубе, при этом расстояние между ними должно быть не менее  $a_{min c}$ .

Поскольку некоторые параметры вруба дискретны и имеют ограничения по эффективности и безопасности, для оценки допустимого предела применения зарядов массой 3,6 кг требуется подбор параметров вруба. Для наиболее распространенных ВВ и схем врубов выполнена количественная оценка геометрических параметров врубов с массой зарядов в скважинах 3,6 кг при увеличенном количестве шпуров на его контуре и границы по крепости пород, в которых еще обеспечивается  $a_{min c}$ , приведены в табл. 7.

Как следует из данных табл. 7, при добавлении на контуре вруба одного или двух шпуров при неизменном расстоянии между ними, пределы использования КВВ, с массой зарядов в скважинах 3,6 кг, могут быть расширены без ущерба безопасности до  $f=11$  при использовании предохранительных ВВ III-IV классов, до  $f=12$  при использовании аммонита 6ЖВ и до  $f=15$  при применении аммоннала скального № 3.

Поскольку при увеличении диаметра вруба глубина заходки не изменяется, то и суммарная масса заряда в каждом шпуре на контуре вруба остается неизменной, но при этом необходимо произвести корректировку масс зарядов в ярусах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единые правила безопасности при взрывных работах: ПБ 13-407-01: утв. постановлением Госгортехнадзора России 30.01.01: ввод. в действие с 01.03.02 // Безопасность при взрывных работах: Сб. доп. сер. 13. Вып. 1. – М.: ГУП «Научно-техн. центр по безопасности в пром-ти Госгортехнадзора России», 2002. С. 5-212.
2. Мосинец В. И., Абрамов А. В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. – М.: Недра, 1982. – 244 с.
3. Терминологический словарь Горное дело – М.: Недра, 1965. – 300 с.
4. Шемякин, Е. Н. О волнах напряжения в прочных горных породах / ПМТФ, №5. 1963. – С. 83-93.
5. Клаповский, В. Е. Особенности действия зарядов различной конструкции в среде / Труды V сессии Ученого совета по народнохозяйственному использованию взрыва. – Фрунзе, Илим, 1965. – С. 91-100.
6. Покровский, Г. И. Зависимость формы зоны действия взрыва от формы и расположения зарядов / В ст. Взрывное дело 54/11, управление действием взрыва. – М.: Недра, 1964. – С. 234-240.

□ Авторы статьи:

Войтов  
Михаил Данилович  
– канд. техн. наук, доц. каф.  
«Строительство подземных  
сооружений и шахт» КузГТУ.  
Тел. 8 (3842) 39-63-78.

Сабанцев  
Алексей Борисович  
– зам. декана ФНПС КузГТУ.  
Тел. 8 (3842) 39-69-83.