УДК 622.235.535.2.622.235.4

ОЦЕНКА ИСПРАВНОСТИ ВЗРЫВНЫХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНЫХ ОТКАЗОВ ЕЕ КОМПОНЕНТОВ

EVALUATION OF EXPLOSIVE NETWORK CORRECTION IN ACCORDANCE WITH POSSIBLE FAILURE OF ITS COMPONENTS

Эвист Борис Владимирович
профессор, доктор технических наук,
Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов»,
Горный институт
borisekwist@mail.ru

Ekwist Boris Vladimirovich
Professor Technical Sciences,
Moscow Institute of Steel and Allogs
National University of Science and Technology «Moscow Institute of Steel and Alloys», Mining Institute
borisekwist@mail.ru

Аннотация. Взрывные сети могут состоять из детонаторов, пиротехнических реле, электродетонаторов, электрических детонаторов с электронным замедлением, детонирующего шнура, волноводов, электрических проводов.
Повреждение каждого элемента взрывной сети приводит к отказам части или всей взрывной сети с определенной вероятностью. При производстве элементов взрывной сети и их монтаже задаются возможной вероятностью их отказов и повреждений.
Так вероятность выхода неисправных элементов взрывной сети при их производстве определяется на предприятии изготовителе путем выборочной проверки партии изготовленных элементов.
В паспорте на готовую продукцию указывается вероятность попадания в изготовленную партию неисправного элемента. В представленной статье анализируются возможные отказы взрывных сетей по причине отказа ее элементов и неисправности монтажа.
Приведены расчеты вероятности того, что взрывная сеть исправна, т.е. не содержит неисправных детонаторов и нет повреждений элементов самой сети, взрывная сеть неисправна по причине неисправности детонаторов и повреждений элементов самой сети, взрывная сеть неисправна вследствие повреждений элементов самой сети, взрывная сеть неисправна, вследствие повреждений детонаторов, вероятность исправности взрывной сети при ее дублировании.
При уменьшении количества детонаторов и дублировании взрывной сети вероятность исправности ее возрастает.
Предлагаемая методика базируется на статистических методах определения вероятности отказов.

Ключевые слова: детонаторы, пиротехнические реле, электродетонаторы, электрические детонаторы с электронным замедлением, детонирующие шнуры, волноводы, электрические провода, вероятность отказов.

Annotation. Blasting nets can consist of detonators, pyrotechnic relays, electric detonators, electric detonators with electronic deceleration, detonating cord, waveguides, electric wires.
The damage of every element of explosive network results in the refuses of part or all explosive network with certain probability. At the production of elements of explosive network and their editing set by possible probability of their refuses and damages. So probability of exit of defective elements of explosive network at their production is determined on an enterprise manufacturer by selective verification of party of the made elements. In a passport on the prepared products probability of hit is specified in the made party of defective element. In the presented article the possible refuses of explosive networks are analysed by reason of refuse of her elements and disrepair of editing. Calculations over of probability are brought that an explosive network in good condition.

Keywords: detonators, pyrotechnic relays, EBS, electric detonators with electronic deceleration, primacords, waveguides, electric wires, probability of refuses.

Взрывные сети могут состоять из детонаторов, пиротехнических реле, электродетонаторов, электрических детонаторов с электронным замедлением, детонирующего шнура, волноводов, электрических проводов [1, 2, 3].

Допустим, во взрывную сеть включены m детонаторов (или пиротехнических реле). Неисправность одного из них нарушает работу всей взрывной сети, приводя к отказам. Вероятность неисправности одного из детонаторов p_i. Повреждение или неисправность детонаторов считаются независимыми событиями [4, 5, 6]. Подсчитаем, какова вероятность при отказе детонатора выхода из строя взрывной сети.

Общее значение вероятности рассмотрим для случаев:

А) для взрывной сети, содержащей два детонатора,

Б) для взрывной сети, содержащей три детонатора,

В) для взрывной сети, содержащей m детонаторов,

Г) для взрывной сети, содержащей m детонаторов, причем вероятность выхода из строя каждого детонатора одинакова и равна p.

Д) для взрывной сети при ее дублировании.

Воспользуемся теоремой сложения вероятностей

$$p(A_1, \text{ или } A_2, \text{ или} ..., \text{ или } A_m) = 1 - \prod_{i=1}^{m}[1 - p(A_i)] = 1 - \prod_{i=1}^{m}(1 - p_i),$$

где $p(A_i)$ – вероятность наступления события A_i из группы независимых событий $A_1, A_2, ..., A_i, ..., A_m$.

Для случая сети, содержащей два детонатора, получим

$$p(A_1, \text{ или } A_2) = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2) = p_1 + p_2 - p_1 p_2.$$

Для случая сети, содержащей три детонатора, получим

$$p(A_1, \text{ или } A_2, \text{или } A_3) = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_3) = p_1 + p_2 + p_3 - p_1 p_2 - p_1 p_3 - p_2 p_3 + p_1 p_2 p_3.$$

Для случая сети, содержащей m детонаторов, получим

$$p(A_1, \text{ или } A_2, \text{или} ..., \text{или } A_m) = \sum_{i=1}^{m} p_i - \sum_{i,j=1, j \neq i}^{m} p_i p_j + \sum_{i,j,v=1, j \neq 1 \neq v}^{m} p_i p_j p_v - ...$$

Для случая, когда вероятности выхода из строя каждого детонатора в отдельности равны между собой, т.е. $p_1 = p_2 = ... = p_m = p$,

$$p_{вых} = 1 - (1 - p)^m.$$

При $p \prec 1$, раскладывая второй член этого выражения по формуле бинома Ньютона и сохраняя только два члена, получим

$$p_{вых} \approx mp.$$

Последнюю формулу нельзя применять, если $p > \frac{1}{m}$.

Пример решения.

Рассчитать вероятность выхода из строя взрывной сети, состоящей из 600 и 60 детонаторов. Рассчитать вероятность выхода из строя взрывной сети при ее дублировании. Примем вероятность неисправности одного детонатора 0,002.

Для первого случая, несмотря на то что р < 1, пользоваться приближенной формулой нельзя, т.к. $p > \frac{1}{m}$.

По точной формуле получим

$$p_{вых} = 1 - (1 - p)^m = 1 - (1 - 0{,}002)^{600} = 0{,}7.$$

При дублировании взрывной сети в первом случае

$$p_{вых,дубл} = p_{вых} \cdot p_{вых} = 0{,}49.$$

Для второго случая можно пользоваться приближенной формулой

$$p_{вых} \approx m \cdot p = 60 \cdot 0{,}002 = 0{,}12.$$

При дублировании взрывной сети во втором случае

$$p_{вых,дубл} = p_{вых} \cdot p_{вых} = 0{,}014.$$

С увеличением количества детонаторов вероятность неисправности взрывной сети возрастает, а при ее дублировании уменьшается.

При монтаже взрывных сетей из детонаторов возможны неисправности по причине их выхода из строя с вероятностью $p_{вых}$ и независимо от этого по причине нарушения сети из-за механических повреждений и технологических нарушений с вероятностью $p_{повр}$ [7].

Рассчитаем вероятность того, что

А) взрывная сеть исправна, т.е. не содержит неисправных детонаторов и нет повреждений элементов самой сети,

Б) взрывная сеть неисправна по причине неисправности детонаторов и повреждений элементов самой сети,

В) взрывная сеть неисправна вследствие повреждений элементов самой сети,

Г) взрывная сеть неисправна, вследствие повреждений детонаторов,

Д) вероятность исправности взрывной сети при ее дублировании.

Формулы для расчета следующие:

$$p_А = [1-p_{вых}][1-p_{повр}],$$

$$p_Б = p_{вых} \cdot p_{повр},$$

$$p_В = p_{повр}[1-p_{вых}],$$

$$p_Г = p_{вых}[1-p_{повр}],$$

$$p_Д = 1-(1-p_А)\cdot(1-p_А),$$

где $(1-p)$ вероятность события, противоположного происходящему, с вероятностью p.

Пример решения.

Рассчитать вышеперечисленные вероятности состояния взрывных сетей, состоящих из 600 и 60 детонаторов. Вероятности выхода ее из строя в первом случае $p_{вых} = 0{,}7$, во втором случае $p_{вых} = 0{,}12$. Примем вероятность повреждений элементов самой взрывной сети в первом случае $p_{повр} = 0{,}4$, во втором случае $p_{повр} = 0{,}1$ (т. к. взрывная сеть во втором случае уменьшилась).

Тогда для первого случая

$$p_А = [1-0{,}7][1-0{,}4] = 0{,}18,$$

$$p_Б = 0{,}7\cdot 0{,}4 = 0{,}28,$$

$$p_В = 0{,}4[1-0{,}7] = 0{,}12,$$

$$p_Г = 0{,}7[1-0{,}4] = 0{,}42,$$

$$p_Д = 1-(1-0{,}18)\cdot(1-0{,}18) = 0{,}328.$$

Вероятность выхода взрывной сети из строя по любой причине

$$p_{Б,В,Г} = 1-[1-p_{вых}]\cdot[1-p_{повр}] = 1-[1-0{,}7]\cdot[1-0{,}4] = 0{,}82.$$

Легко убедится, что

$$p_А + p_Б + p_В + p_Г = 1,$$

и

$$p_А + p_{Б,В,Г} = 1.$$

Для второго случая

$$p_А = [1-0{,}12][1-0{,}1] = 0{,}792,$$

$$p_Б = 0{,}12\cdot 0{,}1 = 0{,}012,$$

$$p_В = 0{,}1[1-0{,}12] = 0{,}088,$$

$$p_Г = 0{,}12[1-0{,}1] = 0{,}108,$$

$$p_Д = 1-(1-0{,}792)\cdot(1-0{,}792) = 0{,}957.$$

Вероятность выхода взрывной сети из строя по любой причине

$$p_{Б,В,Г} = 1-[1-p_{вых}]\cdot[1-p_{повт}] = 1-[1-0{,}12]\cdot[1-0{,}1] = 0{,}208.$$

Для меньшего количества детонаторов и дублировании взрывной сети вероятность исправности ее возрастает [8, 9, 10, 11, 12].

Литература:

1. Сейсмическая безопасность при взрывных работах / В.К. Совмен [и др.]. – М. : Издательство «Горная книга», 2012. – 228 с.

2. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом : учебник для вузов. – 2-е изд., стер. – М. : Издательство «Горная книга», 2009. – 471 с.

3. Эквист Б.В., Вартанов В.Г. Лабораторный практикум по дисциплине «Технология и безопасность взрывных работ» : учебное пособие для вузов / Под ред. Б.Н. Кутузова. – М. : Издательство «Горная книга», 2006. – 50 с.

4. Кутузов Б.Н. Сравнительная оценка сейсмического воздействия взрыва скважинных зарядов при использовании системы неэлектрического инициирования и электродетонаторов с электронным замедлением / Б.Н. Кутузов, Б.В. Эквист, П.А. Брагин // Горный журнал. – 2008. – № 12. – С. 44–46.

5. Нетлетон М. Процессы детонации. – М. : Издательство «Мир», 1989. – 280 с. Michael Netteleton. This book was ariginally published in the English language by Chapman. – Hall Ltd of London, 1987. – 280 s.

6. Эквист Б.В. Сейсмическое воздействие на окружающую среду взрывов зарядов с различным расположением на блоке, разными интервалами замедления и схемами инициирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 8. – С. 249–253.

7. Эквист Б.В. Теория детонации взрывчатых веществ : учебное пособие № 2897. – УМО. МГИ, НИТУ МИСиС, 2016. – 30 с.

8. Господариков А.П. О некоторых результатах численного моделирования воздействия сейсмовзрывных волн на подземный нефтепровод // Современные проблемы науки и образования : электронный научный журнал. – 2015. – № 1. – URL : http://www.science-education.ru/121-18630 (дата обращения 12.09.2016).

9. Гоподариков А.П. Математическое моделирование подземного нефтепровода при воздействии на него взрывных волн // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 341–344.

10. Braun L.G. Seismic hazard evaluation using apparent stress ratio for mining-induced seismic events : Ph.D. Thesis, Laurentian University, 2015. – 257 p.

11. Pilot studies of influence of diameter of explosive wells on seismic action of explosions on Nuybeo coal mine / Chan Kuang Hiyeu [etc.] // Explosive technologies : conference materials, Hanoi, Vietnam, on October 22, 2015. – P. 252–255.

12. Gorokhov N.L. The mathematical formulation and numerical implementation of dynamic problems of geomechanics using finite element method // Scientific Reports on Resource. – Issues. – Vol 1. – International University of Resources : Frierberg, 2011. – P. 205–211.

References:

1. Seismic safety during the explosive works / V.K. Sovmen [etc.]. – M. : Gornaya kniga, 2012. – 228 p.

2. Kutuzov B.N. Methods of conducting explosive works. P.1. Destruction of rocks explosion : the textbook for higher education institutions. – 2nd prod. – M. : Gornaya kniga, 2009. – 471 p.

3. Ekwist B.V., Vartanov V.G. Laboratory workshop on discipline «Technology and safety of explosive works» : the manual for higher education institutions / Under the editorship of B.N. Kutuzov. – M. : Gornaya kniga, 2006. – 50 p.

4. Kutuzov B.N. Comparative assessment of seismic impact of explosion of borehole charges when using system of not electric initiation and electric detonators with electronic delay / B.N. Kutuzov, B.V. Ekwist, P.A. Bragin // Mountain magazine. – 2008. – № 12. – P. 44–46.

5. Netleton M. Processes of a detonation. – M. : Mir, 1989. – 280 p. Michael Netteleton. This book was ariginally published in the English language by Chapman. – Hall Ltd of London, 1987. – 280 s.

6. Ekwist B.V. Seismic impact on the environment of explosions of charges with various arrangement on the block, different intervals of delay and schemes of initiation // Mountain information and analytical bulletin. – 2007. – № 8. – P. 249–253.

7. Ekwist B.V. Theory of a detonation of explosives : manual No. 2897. – UMO. MGI, NITU MISIS, 2016. – 30 p.

8. Gospodarikov A.P. About some results of numerical modeling of influence this-smovzryvnykh of waves on the underground oil pipeline // Modern problems of science and education: online scientific magazine. – 2015. – № 1. – URL : http://www.science-education.ru/121-18630 (date of the address 9/12/2016).

9. Gopodarikov A.P. Mathematical modeling of the underground oil pipeline at impact on him of blast waves // Mountain information and analytical bulletin. – 2014. – № 4. – P. 341–344.

10. Braun L.G. Seismic hazard evaluation using apparent stress ratio for mining-induced seismic events : Ph.D. Thesis, Laurentian University, 2015. – 257 p.

11. Pilot studies of influence of diameter of explosive wells on seismic action of explosions on Nuybeo coal mine / Chan Kuang Hiyeu [etc.] // Explosive technologies : conference materials, Hanoi, Vietnam, on October 22, 2015. – P. 252–255.

12. Gorokhov N.L. The mathematical formulation and numerical implementation of dynamic problems of geomechanics using finite element method // Scientific Reports on Resource. – Issues. – Vol 1. – International University of Resources : Frierberg, 2011. – P. 205–211.