

**КОЛИЧЕСТВЕНА ОЦЕНКА НА ВЕРОЯТНОСТТА ЗА ВЪЗНИКВАНЕ НА  
ЕКСПЛОЗИИ В ПОДЗЕМНИ ВЪГЛИЩНИ РУДНИЦИ**

**Николай Лаков**

*Минно-геоложки университет*

*“Св. Иван Рилски”*

*София 1700, България*

*E- mail: [nikolaylakov@mail.bg](mailto:nikolaylakov@mail.bg)*

**Лъчезар Георгиев**

*Минно-геоложки университет*

*“Св. Иван Рилски”*

*София 1700, България*

*E- mail: [lucho\\_sdng1@mail.bg](mailto:lucho_sdng1@mail.bg)*

**QUANTITATIVE EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF EXPLOSION IN  
UNDERGROUND COAL MINES**

*University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”*

*Sofia 1700, Bulgaria, e-mail: [nikolaylakov@mail.bg](mailto:nikolaylakov@mail.bg), [lucho\\_sdng1@mail.bg](mailto:lucho_sdng1@mail.bg)*

**ABSTRACT**

The report is presented methods for determination of the probability of occurrence of explosions in underground coal mines. It was used the tree of hazardous events. This method is based on the creation and visualization of a clear structure of issues and fields of solutions with a logical nature.

**Key words:** *Probability, explosion, tree of dangerous events (DOS) methane-air mixture (MBC), coal dust.*

**ВЪВЕДЕНИЕ**

За количествената оценка на вероятността за възникване на експлозии в подземните въглищни рудници се използват различни математически методи. В конкретния случай тази оценка е направена с помощта на логическо-вероятностния метод, чрез построяване дърво на опасните събития (ДОС).

Структурата на ДОС представлява логическа диаграма, в която са разгледани различни комбинации на възможни опасни събития, които могат да доведат до **крайно събитие** (аварии, експлозии). След като бъде определено крайното събитие започват да се търсят второстепенните събития, които са причина за неговата поява. Ако причините водят независимо до крайното събитие, то те се прибавят чрез **логическия знак „ИЛИ”**. Понякога, обаче, едно събитие може да доведе до крайното събитие, само ако са изпълнени определени условия. В тези случаи събитията и условията се прибавят чрез **логическия знак „И”**.

**ПОСТРОЯВАНЕ ДЪРВО НА ОПАСНИТЕ СЪБИТИЯ**

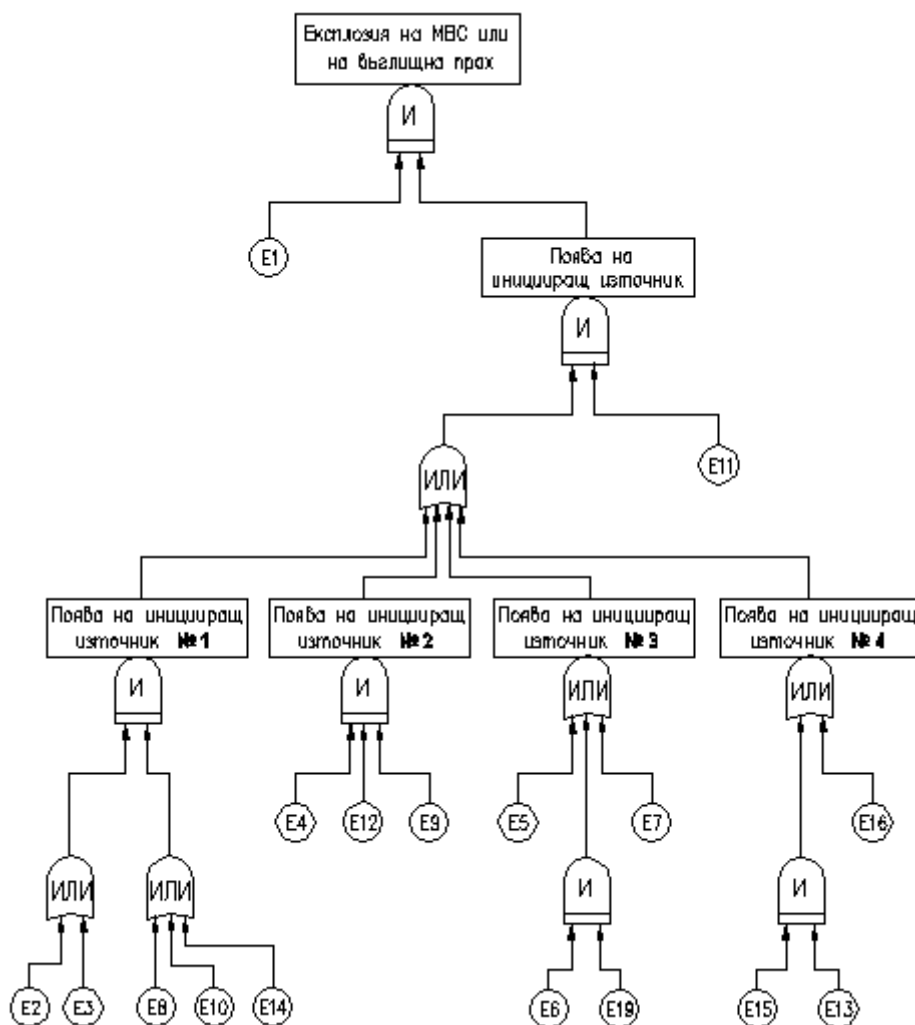
На фиг.1 е представено дърво на опасните събития, които водят до експлозия на метано-въздушна смес или въглищна прах.

Крайното събитие в ДОС е възникването на експлозия в дадена минна изработка на подземен въглищен рудник. Това е възможно, ако в минната изработка едновременно настъпят следните две опасни събития:

- наличие на взривоопасна концентрация на MBC или на въглищна прах (събитие E1);
- поява на инициращ източник.

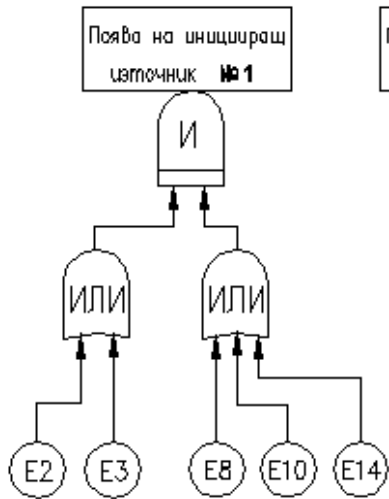
От своя страна появата на инициращ източник е в резултат на отказ на автоматичната газова защита (събитие E11) и наличие на един от четирите инициращи

източника ( $E_{изт.№1} \dots E_{изт.№4}$ ).

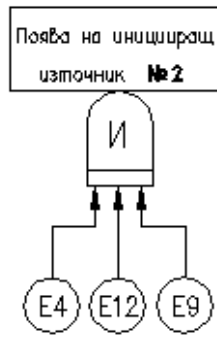


фиг.1

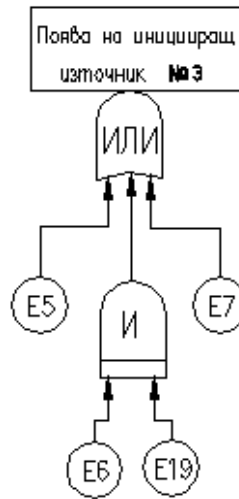
Първият инициращ източник (фиг.2) се появява при възникване на еднофазно (събитие E2) или при двойно земно съединение (събитие E3) от една страна, а от друга е необходимо да откаже или устройството за изпреварващ контрол съпротивлението на изолацията (събитие E8), или защитата от утечки (събитие E10), или е нарушена заземителната верига (събитие E14).



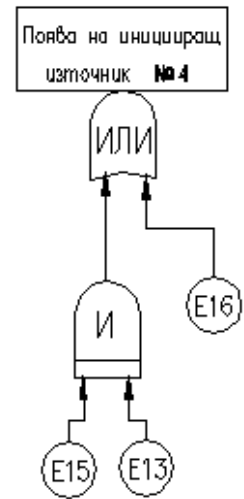
фиг.2



фиг.3



фиг.4



фиг.5

Наличието на втория инициращ източник (фиг.3) е в следствие от възникването на междуфазно късо съединение (събитие E4) и едновременно с това отказа на максималнотоковата защита (събитие E9) и късосъединителя (събитие E12).

Третият инициращ източник (фиг.4) може да се появи ако е изпълнено едно от трите условия:

- нарушаване на взривонепроницаемостта на металния корпус на електрическите апарати (събитие E5);
- възникване на нарушения в искробезопасните вериги за управление на рудничната апаратура (събитие E7);
- повреда в механичната блокировка за бързо отваряне на електрическите апарати във взривоопасна среда (събитие E6) и едновременно с това се извършва ТО и Р под напрежение (събитие E19).

Четвъртият инициращ източник (фиг.5) се появява в резултат на прегряване на тоководещите проводници в следствие претоварването на двигателя (събитие E15) с едновременен отказ на топлинната защита (събитие E13) или прегряване на тоководещите проводници и контактните съединения в резултат от некачествения електрически контакт (събитие E16).

### СЪСТАВЯНЕ НА ЛОГИЧЕСКИТЕ УРАВНЕНИЯ ЗА ЗАВЪРШВАЩО КРИТИЧНО СЪБИТИЕ

На базата на построеното дърво на опасните събития (фиг.1) и с помощта на булевата алгебра, може да се съставят логическите уравнения за завършващо критично събитие, което съдържа операциите дизюнкция и конюнкция на различни опасни събития.

Анализът на ДОС е направен от върха надолу, започвайки със завършващото критично събитие. При това условие логическото уравнение има следния вид:

$$E_{ексл} = E_1 \wedge E_{изм} = E_1 \wedge E_{11} \wedge (E_{изм \text{ №1}} \vee E_{изм \text{ №2}} \vee E_{изм \text{ №3}} \vee E_{изм \text{ №4}}) = \quad (1)$$

$$= E_1 \wedge E_{11} \wedge [(E_2 \vee E_3) \wedge (E_8 \vee E_{10} \vee E_{14})] \vee E_4 \wedge E_9 \wedge E_{12} \vee (E_5 \vee E_6 \wedge E_{19} \vee E_7) \vee (E_{15} \wedge E_{13} \vee E_{16})$$

където:

$E_{експл.}$  - експлозия на метано-въздушна смес или въглищен прах;

$E_{изт.}$  - поява на инициращ източник;

$E_{изт. \text{ №1}} \dots \dots \dots E_{изт. \text{ №4}}$  - поява на първи, втори, трети или четвърти инициращ източник.

Логическото уравнение (1) е записано в минимална неповторна форма, т.е. уравнението съдържа минимален брой елементи и в тях няма повторение на еднакви аргументи.

За количествена оценка на ДОС логическото уравнение е необходимо да се приведе към аритметичен вид чрез замяна на логическите операции с аритметични по следните правила:

$$E_i \vee E_j = E_i + E_j - E_i * E_j \quad (2)$$

$$\bigvee_{i=1}^n E_i = 1 - \bigwedge_{i=1}^n \bar{E}_i \quad (3)$$

$$E_i \wedge E_j = E_i * E_j \quad (4)$$

$$\bigwedge_{i=1}^n E_i = 1 - \bigwedge_{i=1}^n \bar{E}_i \quad (5)$$

$$\bar{\bar{E}}_i = 1 - E_i \quad (6)$$

На база на споменатите по-горе правила опасните събития се заменят със стойността на вероятността за тяхната поява. По този начин алгоритъма за количествена оценка на дървото на опасните събития включва:

- минимизиране на логическата функция на завършващото опасно (критично) събитие и привеждането ѝ към минимална неповторна форма;
- аритметизацията на логическите функции;
- замяна на опасните събития с техните вероятности;
- определяне на вероятността за настъпване на опасно събитие;
- анализ на получените резултати от гледна точка откриването и определянето на най-опасните събития и разработването на методи за повишаване на безопасността.

С отчитането на описания алгоритъм логическото уравнение (1) приема следния вид:

$$Q(E_{експл.}) = Q(E_1) * Q(E_{11}) * [1 - (1 - Q(E_{изт. \text{ №1}}))] * [1 - Q(E_{изт. \text{ №2}})] * [1 - Q(E_{изт. \text{ №3}})] * [1 - Q(E_{изт. \text{ №4}})]]; \quad (7)$$

където:

$Q(E_{експл.})$  - вероятност за възникване на експлозия на метано-въздушна смес или въглищен прах;

$Q(E_{изт. \text{ №1}})$  - вероятност за появата на първия инициращ източник, която се определя с израза:

$$Q(E_{изт. \text{ №1}}) = [Q(E_2) + Q(E_3) - Q(E_2) * Q(E_3)] * [1 - (1 - Q(E_8)) * (1 - Q(E_{10})) * (1 - Q(E_{14}))]; \quad (8)$$

$Q(E_{изт. №2})$  - вероятност за появата на втори инициращ източник, която се определя с израза:

$$Q(E_{изт. №2}) = Q(E_4) * Q(E_9) * Q(E_{12}); \quad (9)$$

$Q(E_{изт. №3})$  - вероятност за появата на трети инициращ източник, която се определя с израза:

$$Q(E_{изт. №3}) = 1 - [1 - Q(E_5)] * [1 - Q(E_6) * Q(E_{19})] * [1 - Q(E_7)]; \quad (10)$$

$Q(E_{изт. №4})$  - вероятност за появата на четвърти инициращ източник, която се определя с израза:

$$Q(E_{изт. №4}) = Q(E_{15}) * Q(E_{13}) + Q(E_{16}) - Q(E_{15}) * Q(E_{13}) * Q(E_{16}) = 1 - [(1 - Q(E_{13}) * Q(E_{15}) * (1 - Q(E_{16})))]; \quad (11)$$

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С използване на метода на дървото на опасните събития (ДОС) е анализирана възможността за възникването на експлозии в подземните въглищни рудници, като са разгледани четири варианта на инициращ източник. По този начин и чрез използване на булевата алгебра е изведено логическо уравнение за завършващо критично събитие.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кърцелин Е.Р., Математически модели за изследване на руднични системи за електроснабдяване, год. на МГУ "Св. Ив. Рилски", том 44-45, св. III, 2002, с. 63-66.
2. Кърцелин, Е. Р., Р. Г. Исталиянов. Електроснабдяване на взривоопасни производства. VIII конф. по открит и подводен добив на полезни изкопаеми, 31 май - 4 юни 2005, к. к. "Слънчев бряг", България.
3. БДС EN IEC 61025. Анализ чрез дървото на отказите.
4. Брагин В. В., Ф. Чабон. Оценка риска и последствий отказов комплексной системы, конструкций, процессов, Ярославль, 1997.