

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗАВИСИМОСТТА МЕЖДУ СКОРОСТТА НА ДЕТОНАЦИЯ И СЪДЪРЖАНИЕТО НА КИСЛОРОД ПРИ ГРУБОДИСПЕРСНИТЕ ЕКСПЛОЗИВИ

Гергана Георгиева Камбурова

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Изследванията на отделящите се газови емисии при взривната химична реакция извършени съгласно новите изисквания на стандартите за граждански цели на ЕС показват, че при балансираните по съдържание на кислород взривни смеси се отделят значителни количества от 20 до 30 l/kg силно токсични оранжеви азотни оксиди, вследствие на частично свързване на въглерода и водорода при взривната реакция. Тези азотни оксиди намаляват до 10-12 l/kg при същите експлозиви с минус 10-12 % кислороден баланс.

За да се изясни влиянието на тези факти върху характера на детонационния процес са извършени серия от изследвания на зависимостта между съдържанието на кислорода (кислороден баланс) и скоростта на детонация. Изследванията в лабораторно-полигонни условия на експлозива АНФО – Л и грубодисперсните амонити показват, че с намаляване на съдържанието на кислород скоростта на детонация расте в сравнение с балансираните състави.

Резултатите от тези изследвания ще се използват при преработването на допуснатите до употреба експлозиви за граждански цели с цел минимизиране отделянето на токсични газове в изпълнение на Директива 93/15 и завишаване на взривните параметри на експлозивите.

RESEARCH OF THE DEPENDENCE BETWEEN THE DETONATION VELOCITY AND THE CONTENT OF OXYGEN AT ROUGHLY DISPERSED EXPLOSIVES

Gergana Georgieva Kamburova

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700; minenergo@yahoo.com

ABSTRACT. The examination of the gas emissions released during a blasting chemical reaction performed according to the new requirements of the EC standards for civil use showed that the explosive mixtures with a balanced content of oxygen release considerable quantities, from 20 to 30 l/kg, highly toxic orange nitrogen oxides as a result of the partial reaction between carbon and hydrogen. These oxides drop to 10-12 l/kg in case of the same explosives with an oxygen balance - minus 10-12%.

In order to clarify the influence of these facts over the character of detonation process, a series of examinations of the dependence between the content of oxygen (oxygen balance) and detonation velocity were performed. The examinations of the explosive ANFO and roughly dispersed ammonites in laboratory conditions, show that the decrease in the oxygen content to the increase in the detonation velocity in comparison with balanced compositions.

The results of this research will be used for the revision of explosives for civil use with the aim of minimizing the release of toxic gases according to the Directive 93/15 and improving the blasting parameters of explosives. The new formula of the blasting reaction will find an application for the creation and the evaluation of new contemporary explosives for civil use.

Въведение

Взривното явление може да се разглежда, като своеобразна машина, в която потенциалната химична реакция на взривната смес се превръща в топлинна енергия, а в последствие в механична работа, която се извършва от отделените се с висока температура до 4500 °C и с голямо налягане до 20MPa газови продукти на взрива в процеса на тяхното разширяване. Тази обща характеристика на взривното явление се отнася за всички експлозиви, като в зависимост от техния вид и тип налягането и температурата на газовите продукти, както и техния състав се променя в определени граници

В средата на 18-ти век руския изследовател Хес е предложил метод за определяне на топлинния ефект на химичните реакции, основавайки се на първия закон на термодинамиката, според който „изменението на вътрешната енергия или топлосъдържанието на една

изолирана система се явява еднозначна функция на параметрите на състоянието на системата". По този закон сумарният топлинен ефект на няколко последователни химични реакции не зависи от пътя на превръщането на изходните вещества в крайните продукти, а се определя само от началното и крайното състояние на системата.

Общият топлинен ефект е равен на алгебричната сума от топлинните ефекти на промеждутъчните реакции. Прилагайки закона на Хес към реакцията на взривното химично превръщане, може да се счита, че самото взривно вещество се явява някакъв промеждутъчен продукт на реакция между химични елементи влизащи в неговия състав, а крайното състояние на системата се явяват по термодинамично устойчивите газообразни продукти от взрива

Топлината на образуване се явява достатъчно точна константа на веществата. Основният проблем при разчетите, обаче се явява определянето на истинския

състав на продуктите на взрива към момента на завършване на процеса на тяхното разширяване или на всеки друг стадии, при който се определя топлинният ефект на взрива. Крайният състав на продуктите на взрива не е идентичен с началния. Това се отнася както за механичните взривни смеси, така и за чистите взривни химични съединения

От казаното до тук следва, че реалната топлина на взрива, която може да бъде експериментално определена, разчетена или реализирана е непостоянна величина. Тя зависи от това до каква степен на разширяването на газовете ще се изпълняват измерванията или разчетите. Затова при разчета на топлината на взрива е необходимо да се определя някое крайно състояние на продуктите на взрива, отговарящо на момента на завършване получаването на топлинната енергия на продуктите от взрива.

1. Досегашни разбирания за протичането на взривната химична реакция

Обезпечеността на експлозивите с кислород характеризира кислородния баланс на взривното вещество (КБ) или кислородния коефициент α_k , които в относителни величини изразяват излишък или недостиг на кислород за пълното окисление на горящите елементи до тяхните висши оксиди.

Известно е, че в зависимост от съдържанието на кислород експлозивите се делят на (Лазаров, 1988)

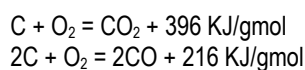
- експлозивни с нулев кислороден баланс, при които кислородът е точно толкова, колкото е необходим за изгарянето на въглерода и водорода до висши оксиди (CO_2 и H_2O);

- експлозивни с отрицателен кислороден баланс са взривните вещества, при които кислородът не достига за пълното окисляване на горящите елементи;

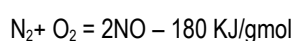
- и експлозивни с положителен кислороден баланс, при които наличният кислород е в повече от необходимото за окисляване на горящите елементи до висши оксиди.

Общоизвестно е разбирането, че при взривяване на експлозивни с нулев кислороден баланс, взривната химична реакция протича най-пълно с максимално окисляване на въглерода и водорода, като се отделя възможно най-голямото количество топлина.

При взривяване на експлозивни с недостиг на кислород (отрицателен КБ) въглеродът се окислява до въглероден монооксид (CO) вместо до въглероден диоксид (CO_2), при което се отделя значително по малка топлина



При взривяване на експлозивни с излишък на кислород се получават силно токсичните азотни (нитрозни) оксиди, при което се поглъща топлина - реакцията е ендотермична



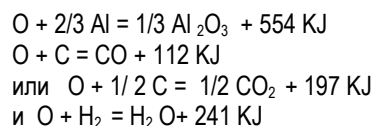
Трябва да се отбележи, че това тълкуване по принцип е общоприето от различните автори с извесни нюанси за протичане на взривната химична реакция.

Въпросът за влиянието на кислородния баланс за отделянето на токсичните газови продукти е разгледан по-нататък.

Според Дубнов, ако кислородният баланс е нулев или положителен то максималната топлина Q_{max} се определя, като се изхожда, от образуването на висшите оксиди на всички горящи елементи съдържащи се в състава на ВВ.

Ако кислородният баланс е отрицателен и кислородът не достига за образуването на висшите оксиди на всички елементи, то за определяне на Q_{max} трябва да се намерят тези реакции, които стават с най-голямо отделяне на топлина в разчет на един атом кислород. (Дубнов и др.)

Ако в състава на експлозива се съдържат горимите елементи въглерод, водород и алуминий, то топлинният ефект от възможните реакции при тяхните окисления към един грам атом кислород са следните:



Приведените значения на топлинните ефекти показват, че при недостиг на кислород в състава на взривното вещество, за получаването на Q_{max} , кислородът трябва последователно да се изразходва за окислението на алуминия до Al_2O_3 , след това водородът до вода и въглеродът до въглероден монооксид. Останалото количество горящи елементи трябва да се отделят в свободен вид, т.е. във вид на молекулярен водород и твърд въглерод.

От извършените проучвания се установи, че преобладаващото становище на специалистите до сега е, че при наличие на достатъчен кислород при взривните вещества (нулев или положителен кислороден баланс) следва да се образуват висшите оксиди – въглероден диоксид и водни пари. От направените експериментални определения на отделящите се токсични газове, както в чужбина, така и у нас се установи следното (Лазаров 1988):

а) При взривяване на всички промишлени взривни вещества се образуват винаги определени количества токсични газове, както при нулевия така и при отрицателния и положителния кислороден баланс на взривните смеси. При достатъчен кислород в състава се получават, както висши оксиди така и въглероден монооксид. В процеса на детонацията част от азота, който би следвало да се отдели в свободно състояние се свързва с кислород от взривната смес независимо от кислородния баланс. Общоизвестен е фактът, че колкото кислородният баланс става по положителен, т.е. има наличие на свободен кислород, толкова количеството на азотните оксиди става по голямо. Обратната тенденция се отбелязва при отделянето на въглероден монооксид.

Колкото кислородният баланс става по отрицателен, т.е. кислородът става по недостатъчен за образуване на висши оксиди, толкова количеството на отделящия се въглероден монооксид се увеличава.

б) Измерените и определени количества токсични газове, при всички взривни химични реакции показват, че количеството на въглеродния монооксид е винаги по голямо от количеството на образувалите се азотни оксиди. Това се отнася, както за нулевия, така и за положителния и отрицателния кислородни баланс.

в) Преобладаващото становище на изследователите е, че при работа с балансирани взривни вещества, т.е. кислородният баланс е около нулата, се отделят сумарно най-малко токсични газове. Това се отнася както за аритметичната сума на въглеродния монооксид и азотните оксиди, така и за преизчисления условен въглероден монооксид.

Трябва да се отбележи, че в ПБТВР (1997) действащ в нашата страна се препоръчва промишлените взривни работи да се извършват с балансирани взривни вещества.

2. Нови изследвания за характера на взривната химична реакция

В изпълнение на изискванията на Директива 93/15 ЕЕС на Съвета на Европа през 2002г. е разработен и приет нов стандарт EN 13631-16 за установяване и измерване на газовите емисии при взривната химична реакция. Въз основа на новите изисквания на тези европейски нормативни документи в нашата страна са извършени комплексни нови изследвания на отделящите се газове емисии при взривната химична реакция. За целта е разработена нова методика, нови изпитателни устройства и са определени нови съвременни апаратури за изследване на взривните газове емисии в това число токсичните CO, NO и NO₂.

Използвайки идеята на проф. Лазаров, че при екстремното състояние на средата при взривното химично превръщане, могат да се образуват и значителни количества други продукти и по специално различни въглеводороди и амоняк, се възприе при новите изследвания да се измерват и сумарните въглеводороди C_xH_y. Този подход е различен от Европейския стандарт, но резултатите само биха обогатили представите ни за реалния характер за протичане на взривната химична реакция. (Камбурова, 2004).

В резултат на тези нови изследвания извършени у нас по изискванията на Европейския съюз и новите световни тенденции са установени съвършено нови факти (Камбурова, 2005).

На таблица 1 са дадени обобщените резултати за отделящите се газове емисии от взрива на тротилосъдържащите грубодисперсни амонити с марки ГДА 70/30, ГДА - ЛМ и ГДА 79/21.

Получените средни резултати за отделящите се газове емисии при взрива на различни марки тротилосъдържащи грубодисперсни амонити, показват една явна тенденция за рязко намаляване на отделящите се азотни оксиди при различните марки експлозиви. Така сумарните азотни оксиди - NO_x отделящи се от експлозива с марка ГДА 79/21, с нулев кислороден баланс, са 28,69 l/kg ВВ.

Таблица 1

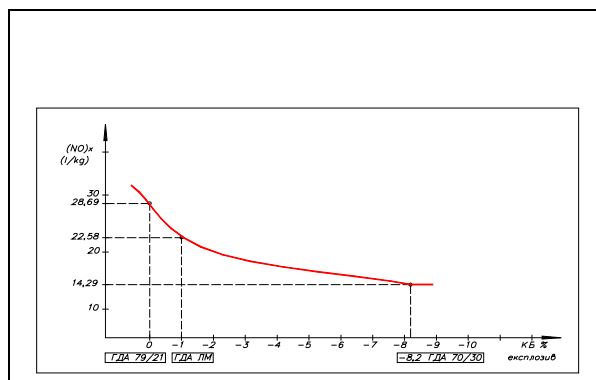
Обобщени резултати за отделящите се газове емисии от тротилосъдържащи грубодисперсни амонити – ГДА 70/30, ГДА-ЛМ и ГДА 79/21

№	Експлозив, марка, крит. диаметър, кислороден баланс	Газови емисии, l/kg ВВ					Усп. СО
		CO ₂	СО	NO _x	C _x H _y	∑ CO+NO _x	
1.	ГДА 70/30, d _{кр} - 80mm, КБ минус 8,2%	95	11,0	14,3	59	25,3	104
2.	ГДА ЛМ, d _{кр} - 80mm, КБ минус 1%	142	17,3	22,6	42	39,9	164
3.	ГДА 79/21, d _{кр} - 80mm, КБ – нула%	85	13,8	28,7	59	42,5	200

Тези оксиди бързо намаляват с промяна на кислородния баланс към минус, за да достигнат до 14,29 l/kg ВВ, при ГДА 70/30 с минус 8,2 % КБ.

Тази ясна тенденция е особено важна, като се има предвид значително по голямата токсичност на нитрозните оксиди в сравнение с въглеродния монооксид.

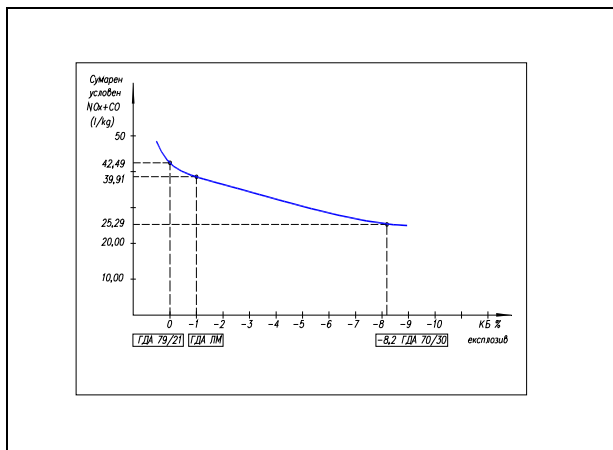
На фиг.1 е дадена зависимостта между отделящите се сумарни азотни оксиди - NO_x и кислородният баланс на изследваните експлозиви с марка ГДА.



Фиг.1. Зависимост между отделящите се сумарни азотни оксиди – NO_x и кислородният баланс на различните видове тротилосъдържащи грубодисперсни амонити

Подобни резултати се наблюдават и при общото количество токсични газове емисии, които се отделят от различните видове грубодисперсни тротилосъдържащи експлозиви, съгласно изискванията на новия Европейски стандарт. Така при ГДА 79/21 се отделят 42,49 l/kg ВВ токсични газове, които намаляват до 25,29 l/kg ВВ при ГДА 70/30 с минус 8,2% кислороден баланс.

На фиг 2 е дадена зависимостта между общото количество токсични газове CO+NO_x и кислородният баланс на експлозивите с марка ГДА.



Фиг.2. Зависимост между общото количество отделящи се токсични газове NO_x+CO и кислородният баланс на изследваните експлозиви

Интересни резултати се получават при разглеждане на зависимостта между определения Условен СО в l/kg ВВ на отделните видове тротилосъдържащи грубодисперсни амонити с марка ГДА и кислородният баланс.

Така при Условен СО от 200 l/kg ВВ отделящ се от ГДА 79/21 с нулев кислороден баланс, се достига до почти два пъти по малък Условен СО – 104 l/kg ВВ при минус 8,2 % КБ за ГДА 70/30.

Трябва да се отбележи, че подобни изследвания, съгласно новите изисквания на Европейския съюз и световните тенденции, за поредица от тротилосъдържащи грубодисперсни амонити се извършват за първи път. Установените зависимости са съвършено нови и същите ще имат голямо отражение върху бъдещото проектиране, създаване, производство и употреба на най-използваните у нас експлозиви за работа в откритите рудници и кариери.

Резултатите от новите изследвания на тротилосъдържащите грубодисперсни амонити от вида ГДА показват съществуването на още един много важен факт. И при трите марки изследвани грубодисперсни експлозиви се отделят значителни количества сумарни въглеродороди C_xH_y от 42 до 59 l/kg ВВ, т.е. около количеството на сумата от отделящите се токсични газове NO_x +CO.

Този нов факт явно е свързан с установената зависимост между токсичните газове и кислородния баланс и минимизирането им при около минус 8% КБ. Влиянието на тези нови факти върху характера на взривното химично превръщане ще бъде разгледан по нататък в настоящата работа.

Подобни резултати се получават и при изследването на нафтоселитрените експлозиви. Така при експлозива АНФО с нулев КБ, изработен с порьозна амониева селитра внос от Румъния, се отделя също голямо количество сумарни азотни оксиди от порядъка на 211/kg, както и значително количество сумарни въглеродороди C_xH_y-80l/kg.

За промишлена проверка на получените нови резултати са разработени видоизменени проби от грубодисперсия

амонит ГДА – ЛМ и АНФО – Л, като същите са разработени с отрицателен до минус 7 – 7,5 % кислороден баланс.

С тези видоизменени по кислороден баланс експлозиви са извършени взриввания в промишлени условия.

С експлозива АНФО – Л взривванията са извършени в кариера Студена, като в едно взривно поле с 50 ms закъснение са взривени два участъка с по 3 тона АНФО – Л. В първия участък експлозивът е с нулев КБ, а във втория участък е с минус 7 % КБ.

На фиг.3 е даден визуален качествен ефект от взривването на двата участъка с един и същ експлозив, но с нулев и минус 7% КБ. В лявата страна е праховъздушният облак от ВВ АНФО - Л с нулев КБ, а от дясната страна същият експлозив с минус 7% КБ



Фиг.3. Визуален ефект на газопраховите облаци при взривяване на ВВ АНФО - Л с нулев КБ в лявия участък и с минус 7 % КБ в десния участък в кариера "Студена"

С преработения грубодисперсен експлозив ГДА -ЛМ са извършени промишлени изследвания в кариера "Клокотница" на А и Б АД, Хасково. От промишлените изпитвания се установи, че газо-праховият облак от полето с ГДА - ЛМ с минус 7,5 % КБ е значително по – чист от полето с около нулевия КБ, т.с. резултатите са идентични с резултатите получени в кариера "Студена".

Резултатите от извършените нови изследвания, по нова методика, за образуващите се газови емисии при взривната химична реакция е твърде различна от досегашните класически разбирания. В газовите емисии при взривната химична реакция, при всички видове от изследваните експлозиви, се появява голяма група сумарни въглеродороди C_xH_y. При екстремните условия на взривната химична реакция, голямо налягане до 20MPa и висока температура до 4500°C, вследствие на някои екзотермични процеси част от въглерода и водорода не изгарят до СО₂ и Н₂О, а се свързват помежду си.

Ако приемем, че дадена взривна смес е с нулев кислороден баланс, т.е. кислородът е точно толкова колкото е необходим да се окисли целият въглерод до СО₂ и целият водород до Н₂О, в случай, че част от въглерода и част от водорода се свържат по между си в сумарни въглеродороди C_xH_y, то остава определено количество свободен кислород О₂, който при високата температура и

налягане се свързва с наличния в сместа азот N_2 , като се образуват в повече сумарни азотни оксиди NO_x .

В този случай, така наречените балансирани ВВ, дефакто стават дебалансиранни, т.е. с определен излишък на кислород, при което фактически те стават с положителен кислороден баланс.

Фактическият положителният КБ на тези взривни смеси е толкова по-голям, колкото е по-голямо количеството на образуващите се сумарни въглеводороди C_xH_y .

Съвсем логичен изводът, че за да се осъществи взривното химично превръщане при балансирано съдържание на кислород, е необходимо първоначалния състав на взривната смес да бъде с определен отрицателен кислороден баланс, примерно от порядъка на минус 7 – 9%. (Камбурова, 2006).

В този случай взривната реакция ще бъде най-пълна, което следва да се отрази положително на взривните параметри на експлозива.

3. Изследване на скоростта на детонация в зависимост от кислородния баланс.

Полученият нов характер на взривната химична реакция дава основание да се очаква взаимовръзка между кислородния баланс и скоростта на детонация.

За установяване на тази зависимост са извършени изследвания с двата от най – употребявани грубодисперсни експлозиви за открити взривни работи ГДА – ЛМ и АНФО- Л разработени с различен кислороден баланс.

Изследването на един от най- важните параметри на експлозивите за граждански цели – скоростта на детонационния процес се извърши съгласно изискванията на новия стандарт на ЕС, който е вече и БДС EN 13631-14 2003.

Използува се известната зависимост

$$s = v \cdot t \text{ или } v = \frac{s}{t},$$

при което при определено разстояние между датчиците s се измерва времето t за преминаване на детонацията и се изчислява скоростта в m/s .

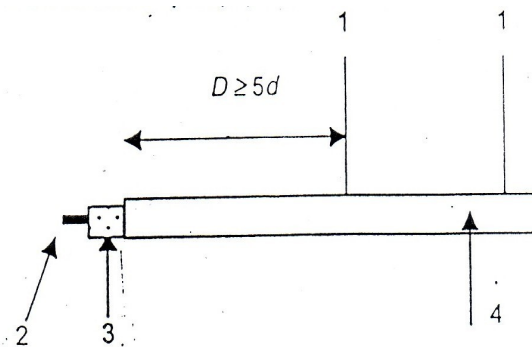
Съгласно стандарта на ЕС, разстоянието s между чувствителни елементи (датчици) трябва да бъде минимум от 10mm.

Използуват се различни чувствителни елементи, като оптични нишки, контактни датчици свързани на късо, йонизационни или пиезоелектрически щифтове и др.

При изследване на грубодисперсни експлозиви за първоначално инициране се използват бустери, които се иницират с детонатор.

На фиг.4 е показана принципна схема за изпитване с междинен детонатор, поставен в единия край и чувствителни елементи (датчици) в другия.

В случай на патрони, които са захванати със скоби, крайната част на патрона трябва да се отреже, за да се оформи плоска повърхност и е поставен бустер (например чрез залепваща се лента).



фиг. 4 Принципна схема за изпитване с инициране чрез бустер:
D – разстояние между края на бустера и първия чувствителен елемент;
d – диаметър на взривното вещество, което се изпитва; 1 – чувствителни елементи (датчици); 2 – детонатор; 3 – бустер; 4 – експлозив, който се изпитва.

В новия европейски стандарт експлозивите се изпитват в собствената си обвивка, както се пускат на пазара от производителя, като при неустойчива детонация зарядите се поставят в стоманени тръби. Размерите на стоманените тръби трябва да бъдат в съответствие с ISO 4200:1991. Препоръчителните размери по EN 1631-14 са дадени в табл. 2..

Таблица 2.
Размери на стоманени тръби

Вътрешен диаметър (mm)	Дебелина на стената (mm)
17,3	2,0
22,9	2,0
29,1	2,3
37,2	2,6
43,1	2,6
54,5	2,9
70,3	2,9
82,5	3,2
107,1	3,6
131,7	4,0
159,3	4,5
206,5	6,3
260,4	6,3
309,7	7,1

Скоростта на детонационния процес е изследвана с апарат Експломет – 2000, Швейцария, като при зададено разстояние между датчиците на дисплея се получава скоростта на детонация в m/s . Пробите от двата типа грубодисперсни експлозиви се изпитват в полиетиленов шлаух с диаметър 140 mm.

Изпитването за скоростта на детонация на грубодисперсния нафтоселитрен експлозив с марка АНФО- Л са

извършени с +3,5% КБ, с нулев и с минус 7,0 % КБ. Пробата е изработена от 100% оситнена водоустойчива амониева селитра, тип ЖВК.

Изпитването за скоростта на детонация на грубодисперсия експлозив с марка ГДА - ЛМ са извършени при +4% КБ, при +2% КБ, при "0" КБ и при минус 7,5% КБ. Използва се оситнена водоустойчива амониева селитра, тип ЖВК.

На табл. 3 и фиг. 5 и 6 са дадени получените резултати за скоростта на детонация в зависимост от кислородния баланс на АНФО- Л и ГДА-ЛМ.

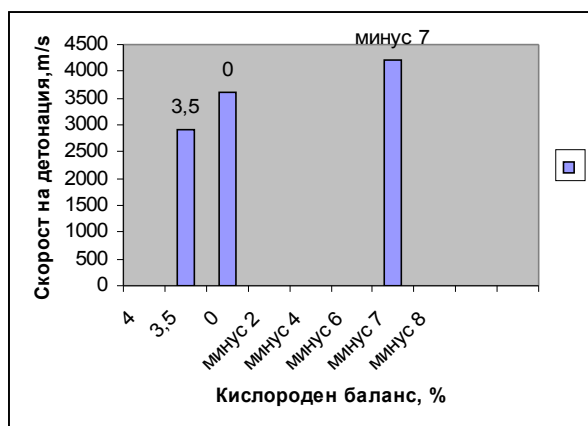
Таблица 3

Скорост на детонация на грубодисперсия експлозив ГДА- ЛМ и АНФО- Л в зависимост от кислородния им баланс

Кислороден баланс,%	Скорост на детонация, m/s	
	За ГДА ЛМ	За АНФО Л
4,0	3000	-
3,5	-	2900
2,0	3500	-
0	4000	3600
Минус 7,0	-	4200
Минус 7,5	4500	-

Получените резултати потвърждават направените изводи, като скоростта на детонация на експлозива ГДА-ЛМ от 3000m/s при +4% КБ се увеличава на 4500m/s при минус 7,5% КБ. В случая се очертава оптимален кислороден баланс за този тип експлозив от минус 7,5 – 9,5%.

За експлозива АНФО-Л скоростта на детонация от 2900 m/s при +3,5%КБ се увеличава на 4300 m/s при минус 7,0% кислороден баланс.



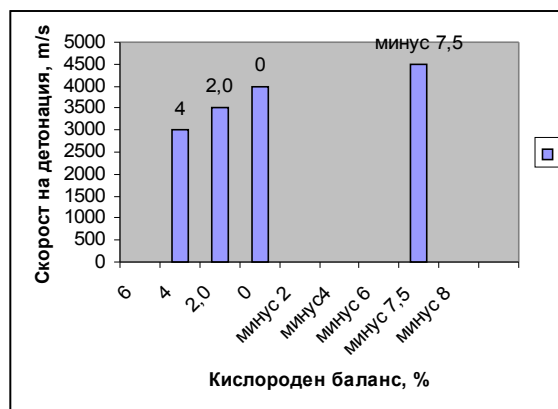
Фиг.5. Зависимост между скоростта на детонация и кислородният баланс на нафтоселитрения експлозив АНФО- Л.

5. Основни изводи

От извършената работа могат да се направят следните основни изводи:

1. Досегашните разбирания за протичане на взривната химична реакция се основават на това, че най – пълна

реакция с отделянето на максимална топлина от взрива, а от там и с най добри взривни параметри се получава при балансирани експлозиви с нулев и около нулевия кислороден баланс.



Фиг.6 Зависимост между скоростта на детонация и кислородният баланс на грубодисперсия тротилосъдържащ експлозив ГДА -ЛМ

2. Новите изследвания за протичане на взривната химична реакция показват, че при екстремалните условия на взрива се получават определено количество въглеводороди вследствие на свързването на част от въглерода и водорода помежду им. Вследствие на това балансирани експлозиви дефакто стават дебалансиранни с определен излишък на кислород, вследствие на което например, при грубодисперсия експлозиви ГДА –ЛМ и АНФО Л се образуват значителни до 21 -29 l/kg силно токсични оксиди.

3. Вследствие на установения различен характер на взривното химично превръщане при експлозиви с нулев кислороден баланс вследствие с отделянето на сумарни въглеводороди и по- голямо количество на азотни оксиди с поглъщане на топлина се намалява енергията на експлозивите.

4.Извършените изследвания за влиянието на кислородния баланс върху скоростта на детонация на експлозивите ГДА-ЛМ и АНФО -Л след тяхната преработка показват, че при работа с кислороден баланс от порядъка на минус 7-7,5% скоростта на детонация се повишава с до 50% в сравнение със скоростта на детонация на същите експлозиви с 3,5-4% положителен КБ.

5.Извършените изследвания потвърждават извода, че вследствие на образуването на определено количество въглеводороди най- малко токсични газове и по-добри енергетични и взривни параметри се получават при експлозиви с определен за всеки конкретен случай отрицателен кислороден баланс.

Литература

Лазаров Сл.Б. Взривни работи – С., Техника, 1988.
Дубнов Л.В.,Бухаревич Н. С., Романов А. И. Промышленные взрывчатых вещества, М., Недра, 1988.

Правилник по безопасността на труда при взривните работи – С., Техника, 1997.

Европейска Директива 93/15 ЕЕС от 15 април 1993 г. за хармонизиране на изискванията за продажба и контрол на експлозивите за граждански цели БДС EN 13631 – 16 „Експлозиви за граждански цели – част 16 Установяване и измерване на токсичните газове.

Kamburova G. New researches on the toxic gases emitted during blasting from chemical reactions according to the new requirements of the European Community European.

Препоръчана за публикуване от
Катедра “Открито разработване на полезни изкопаеми и взривни работи”, МТФ

Камбурова Г. Нови методи за определяне на токсичните газове отделящи се при взривната химическа реакция, сп.Експлозив-СВИБ, бр. 1, С. 2004.

Камбурова Г. Норми за отделящите се токсични газове при промишлени взривни работи, сп. Експлозив -СВИБ, бр. 4, С. 2006.

БДС EN 13631-14:2003 Метод за определяне на скоростта на детонация.

Federation of Explosives Engineers, Word Conference Explosives and blasting, Brighton U.K., 2005.