

УДК 622.235.5:504.3.054:504.064

Холоденко Т.Ф., магистр
(ГП «НПО «Павлоградский химический завод»)

Колесник В.Е., д-р техн. наук, профессор,

Павличенко А.В., канд. биол. наук, доцент
(Государственное ВУЗ «НГУ»)

**ВЛИЯНИЕ «ВНУТРЕННИХ» (РЕЦЕПТУРНЫХ) ОСОБЕННОСТЕЙ
ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ НА ЭМИССИЮ
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПРОДУКТАХ ВЗРЫВА В АТМОСФЕРУ**

Холоденко Т.Ф., магистр
(ДП «НВО «Павлоградський хімічний завод»)

Колесник В.Є., д-р техн. наук, профессор,

Павличенко А.В., канд. біол. наук, доцент
(Державний ВНЗ «НГУ»)

**ВПЛИВ «ВНУТРІШНІХ» (РЕЦЕПТУРНИХ) ОСОБЛИВОСТЕЙ
ЕМУЛЬСІЙНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН НА ЕМІСІЮ
ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В ПРОДУКТАХ ВИБУХУ
В АТМОСФЕРУ**

Kholodenko T.F., M.S (Tech)
(State Enterprise «SPA «Pavlograd Chemical Plant»)

Kolesnik V.Ye., D.Sc. (Tech.), Professor,
Pavlichenko A.V., Ph.D. (Biol.), Associate Professor
(State HEI «NMU»)

**INFLUENCE OF “INTERNAL” (COMPOSITION) FEATURES OF
EMULSION EXPLOSIVES ON EMISSION OF POLLUTING
SUBSTANCES OF EXPLOSION PRODUCTS INTO ATMOSPHERE**

Аннотация. Проанализирован характер влияния «внешних» факторов, связанных с особенностями изготовления и заряжания эмульсионных взрывчатых веществ в скважины и шпуры, особенностями инициирования взрывания скважинных зарядов, а также горно-геологическими условиями проведения взрывных работ на объемы выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

Выполнен расчетно-экспериментальный анализ зависимости состава продуктов детонации разных видов эмульсионных взрывчатых веществ от «внутренних» (рецептурных) факторов. Определено содержание экологически опасных газов, выбрасываемых при взрывах в атмосферу, и их общая вариация при изменении компонентного состава эмульсионного ВВ марки «ЕРА». Наглядно показано влияние его кислородного баланса на эмиссию в атмосферу оксида углерода, оксидов азота и других экологически опасных загрязнителей в виде взвешенных в воздухе частичек. Рекомендованы значения содержания теплотворных добавок в виде продуктов переработки композиционных материалов, которые позволят уменьшить вариабельность выбросов экологически опасных веществ в атмосферу, при этом исключить выбросы оксидов азота и минимизировать выбросы оксида углерода.

Ключевые слова эмиссия продуктов взрыва, эмульсионные взрывчатые вещества, компонентный состав, кислородный баланс.

Введение. Оценка эмиссии загрязняющих атмосферу веществ в составе продуктов детонации при изменении условий и режимов взрывания эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) предполагает определение дополнительных объемов веществ в выбросе, по сравнению с расчетным, т. е. с теоретически возможным выбросом, который обеспечивается при оптимальном соблюдении упомянутых условий и режимов. Это позволит показать возможные превышения загрязнения атмосферы относительно референтных (безопасных) уровней при использовании ЭВВ в карьерах по добыче нерудных и строительных материалов, а значит и связанные с этим превышением уровни экологической опасности взрывных работ [1], [Э.И. Ефремов, 1979].

Очевидно, что на каждом карьере имеются свои условия и особенности проведения взрывных работ, которые могут повлиять на интенсивность выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Действительно, на практике полностью соблюсти оптимальные условия и режимы подготовки при взрывании ЭВВ не представляется возможным из-за действия совокупности факторов, которые можно разделить на две группы: «внутренние» и «внешние» (рис. 1).

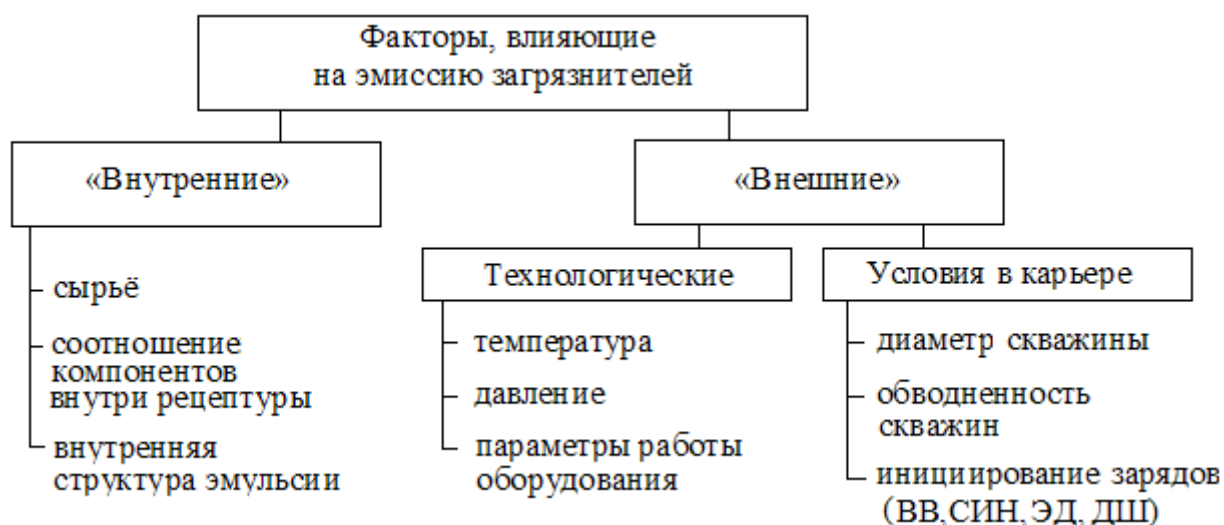


Рисунок 1 – Совокупность факторов, влияющих на эмиссию загрязняющих веществ при взрывных работах в карьерах с применением ЭВВ

Факторы первой группы характеризуют «внутренние» или рецептурные особенности ЭВВ и его адаптированность к тем или иным изменениям в условиях применения при взрывных работах. Факторы второй группы характеризуют так называемые «внешние» условия, связанные с особенностями изготовления и заряжания ЭВВ в скважины и шпурсы, особенностями инициирования взрывания скважинных зарядов, а также горно-геологическими условиями проведения взрывных работ [1,2], [Э.И. Ефремов, 1979].

Для экологического и технико-экономического обоснования дальнейшего применения ЭВВ марки «ЕРА» на карьерах возникает необходимость в

проведении теоретической и практической оценки влияния перечисленных выше факторов на эмиссию экологически опасных продуктов детонации ЭВВ.

Целью работы являлась оценка влияния «внутренних» рецептурных особенностей ЭВВ на образование и эмиссию загрязняющих веществ (продуктов взрыва) в атмосферу, в частности при изменении компонентного состава ЭВВ.

Основная часть. «Внутренние» факторы связаны с рецептурой ЭВВ, которая определяется: 1 – сырьем, используемым для его создания; 2 – соотношением компонентов; 3 – внутренней структурой эмульсии, определяемой степенью дисперсности и эквивалентности времени стабильности ее структуры.

Проанализируем изменчивость и влияние этих трех факторов на образование экологически опасных веществ, выбрасываемых в атмосферу при взрывных работах в карьерах с использованием ЭВВ. При разработке рецептур ЭВВ марки «ЕРА» использовались расчетно-экспериментальные методы, позволяющие оптимизировать технологические, эксплуатационные и экологические параметры и свойства конкретных видов ВВ [2-5].

В качестве основного критерия выбора рецептуры ЭВВ была выбрана ее сбалансированность по параметрам энергетических характеристик при минимизации образования вредных продуктов взрывчатого превращения.

Вначале рассмотрим влияние фактора 1. Так, сырьем для изготовления ЭВВ, в частности марки «ЕРА» подкласса 1.5, являются аммиачная и кальциевая селитры (соответственно в количестве 40-45% и 15-30% или в сумме 75-95%), используемые в виде сухих ингредиентов и (или) растворов, а также индустриальное масло (дизельное топливо) – 4-5% (в смеси с углеводородным эмульгатором в количестве 4,5-7,0%), вода, как правило, 8-12% (до 10-15% в зависимости от подкласса) [1, 2, 5].

В качестве энергетических добавок, увеличивающих фугасное действие ЭВВ, в некоторые составы добавляются до 10% теплотворных веществ в виде дисперсных компонентов, например, алюминиевый порошок, резиновая крошка, продукты переработки пластиковых и композиционных материалов, которые имеют отрицательный кислородный баланс.

Для обеспечения необходимых технологических свойств, стабильности структуры ЭВВ и достижения сенсibiliзирующих характеристик ЭВВ в составах используются технологические добавки и газогенерирующие реагенты общим количеством до 1%.

Элементный состав и характеристики ЭВВ представлены в табл. 1, в которой дополнительно приведены рассчитанные по столбцам средние значения, стандартные отклонения, а также вариации характеристик и элементного состава различных видов ЭВВ, применяемых на карьерах Украины.

Таблица 1 – Элементный состав и характеристики ЭВВ

Марка ЭВВ	Элементный состав, моль/кг								Характеристика			
	C	H	O	N	Ca	Cl	S	Al	КБ, %	T, К	k	$\delta_{вв}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ЕРА-I	4,4- 6,1	52,0- 55,0	35,0- 37,5	17,0- 18,5	0,85- 1,25	<10 ⁻¹	<10 ⁻¹	0,25- 0,56	-0,2 -0,8	2370- 2470	1,298	89,8
Украинит	4,5- 4,6	52,5- 53,0	37,5- 38,0	15,5- 16,0	1,65- 1,75	-	<10 ⁻¹	-	-0,2 -2,2	2080- 2150	1,274	87,4
Анемикс	3,4- 3,6	63,2- 64,0	38,0- 38,5	20,0- 20,5	-	-	<10 ⁻¹	-	-0,85 -1,9	2030- 2100	1,276	87,1
Эмонит Н	4,8- 4,9	58,0- 58,5	37,0- 37,5	17,0- 17,5	1,80- 1,90 (Na)	-	<10 ⁻¹	-	-0,2 -0,8	1920- 2000	1,254	85,2
Среднее значение	4,54	57	37,4	17,8	1,38	-	<10 ⁻¹	0,41	-0,9	2140,0	1,28	87,38
Стандартное отклонение	0,83	4,72	1,06	1,79	0,41	-	-	0,22	0,77	187,92	0,02	1,89
Вариация, %	18,3	8,3	2,8	10,1	29,9	-	-	54,1	-86	8,8	1,4	2,2

Примечания. КБ – кислородный баланс, %; T – термодинамическая температура при взрыве, К; k – показатели адиабаты; $\delta_{вв}$ – коэффициент использования теплоты взрыва, %. Вариация определена, как отношение стандартного отклонения каждого показателя к его среднему значению, т.е. вариация % = (станд. откл./ср.зн.)·100.

Представленные в табл. 1 данные показывают, что энергетические характеристики (столбцы 11, 12, 13) практически одинаковы для представленных четырех основных марок ЭВВ, на что указывают малые значения вариации (последняя строка табл. 1). Относительно элементного состава ЭВВ можно отметить, что мольное содержание элементов углерода (C), водорода (H), азота (N), кислорода (O), серы (S) также примерно одинаково для представленных марок ЭВВ. Однако следует отметить существенную вариацию отрицательных значений кислородного баланса (до 90%) и содержания углерода (18,3%), что предопределяет значительную вариацию эмиссии оксида углерода (CO) в атмосферу. Большая вариация кальция (около 30%), и алюминия (около 50% для ЭВВ марки «ЕРА»), также предполагает существенную изменчивость выбросов их соединений в виде частичек (пыли).

Следует отметить, что наличие в составах ЭВВ элементов кальция и натрия позволяет нейтрализовать образование кислых продуктов взрывчатого превращения таких компонентов, как CO, NO_x, HCl, H₂S и, соответственно, уменьшить экологическую опасность продуктов взрыва. Наличие элементов алюминия и хлора в составе ЭВВ «ЕРА-I» обусловлено использованием теплотворных добавок в виде продуктов переработки композиционных материалов, увеличивающих температуру продуктов взрыва и их фугасное действие. Наличие элемента серы обусловлено использованием в составах ЭВВ углеводородов горючей фазы и технологических добавок, содержащих этот элемент. При этом, мольное содержание серы и хлора незначительно и находится на уровне примесей, сопутствующих техническим видам сырья для

разных марок ЭВВ.

Примечательно, что рецептурный состав ЭВВ марки «ЕРА» позволяет получить более высокий (на 10-15%) уровень термодинамической температуры (T) при взрыве, по сравнению с другими марками ЭВВ. Кроме того, продукты взрыва ЭВВ «ЕРА-І» обладают более высоким значением показателя адиабаты (k) и, соответственно, для них получен более выгодный коэффициент использования теплоты взрыва ($\delta_{вв}$) – до 90%.

Далее проанализируем влияние компонентного состава («внутреннего» фактора 2) на качественно-количественные характеристики ЭВВ и состав продуктов их детонации, выбрасываемых в атмосферу, в результате возможного изменения состава для одного вида ЭВВ. Поэтому для оценки степени экологического воздействия под влиянием «внутренних» рецептур, например, ЭВВ марки «ЕРА», выполнен анализ изменчивости его сырьевых компонентов и расчетно-экспериментальным методом получены характеристики, как взрывных показателей, так и показателей эмиссии веществ, загрязняющих атмосферу, кроме того, показана их изменчивость при вариации компонентного состава.

Учитывая изложенное, выполним оценку влияния добавок теплотворных компонентов на характеристики и состав продуктов взрыва, выбрасываемых в атмосферу. Такие добавки изменяют кислородный баланс ВВ и способны при определенных условиях увеличивать выход токсичных газов, несвойственных для ЭВВ. Поэтому при разработке ЭВВ с теплотворными компонентами основное внимание уделяется выбору состава, обеспечивающего высокий энергетический потенциал и минимальное содержание токсичных газов в продуктах детонации [2, 5].

Расчетные физико-химические и взрывчатые показатели для ЭВВ с теплотворными компонентами, характеризующие изменение количества выбросов оксида углерода и оксидов азота в зависимости от концентрации, представлены в табл. 2 и 3 (последние три столбца этих и последующих таблиц содержат средние значения, стандартные отклонения и вариации анализируемых показателей ЭВВ).

В результате анализа данных табл. 2 и 3 установлено, что с увеличением содержания указанных теплотворных компонентов в рецептуре ЭВВ возрастает энергия взрыва и уменьшается кислородный баланс (с переходом в область отрицательных значений). При средних значениях $-0,27\%$ и $-0,49\%$, соответственно, его изменчивость характеризуется довольно высокими значениями вариации $-581,54\%$ и $-314,27\%$, соответственно, т.е. меняется почти в 3-6 раз. Одновременно с этим снижается содержание оксидов азота в выбросах при вариации $61,44\%$ относительно среднего значения. Что касается оксида углерода, то заметный рост его концентрации наблюдается при содержании теплотворных компонентов в ЭВВ 10% и более при вариации $+110,53\%$ относительно среднего значения. Аналогичный характер имеют и зависимости выбросов токсичных газов от содержания теплотворных компонентов в эмульсионных ВВ.

Таблица 2 – Физико-химические и взрывчатые показатели ЭВВ с теплотворными компонентами*

Наименование показателя	Значение показателя при содержании теплотворных компонентов в ЭВВ					Ср. зн.	Станд. откл.	Вариация, %
	8%	9%	10%	11%	15%			
						11%	3%	25,49
Теплота взрыва, кДж/кг	3560,8	3673,0	3746,2	3755,7	3769,1	3701	86,8	2,34
Объем газов, л	821,58	817	815	813,3	812	815,8	3,75	0,46
Кислородный баланс, %	1,22	0,67	0,02	- 0,43	-2,82	-0,27	1,56	-581,54
Состав продуктов взрыва, %:								
CO	-	-	0,5	1,33	5,7	1,51	2,41	159,81
CO ₂	13,89	14,43	14,28	13,4	8,8	12,96	2,36	18,21
H ₂ O	44,98	44,85	44,75	44,6	44,1	44,66	0,34	0,76
N ₂	22,24	22,55	22,7	22,5	21,7	22,34	0,39	1,76
NO _x	1,84	0,75	-	-	-	0,52	0,81	155,84
Al ₂ O ₃	2,87	3,23	3,59	3,9	5,4	3,80	0,98	25,68
CaCl ₂	1,78	2,0	2,2	2,44	3,3	2,34	0,59	25,06
CaCO ₃	12,42	12,23	12,0	11,83	11	11,90	0,55	4,61

* - теплотворные компоненты в виде суспензии продуктов переработки композиционных материалов в эмульсии (вариант 1)

Таблица 3 – Физико-химические и взрывчатые показатели ЭВВ с теплотворными компонентами*

Наименование показателя	Значение показателя при содержании теплотворных компонентов в ЭВВ					Ср. зн.	Станд. откл.	Вариация, %
	8%	9%	10%	11%	15%			
						11%	3%	25,49
Теплота взрыва, кДж/кг	3620,1	3736,5	3814,0	3826,9	3873,0	3774	99,11	2,63
Объем газов, л	821,28	816,7	813,7	813,3	811	815,2	3,96	0,49
Кислородный баланс, %	0,99	0,44	-0,14	-0,74	-3,02	-0,49	1,55	-314,27
Состав продуктов взрыва, %:								
CO	-	-	0,38	1,45	5,5	2,44	2,70	110,53
CO ₂	13,12	13,54	13,38	12,2	7,4	11,93	2,58	21,66
H ₂ O	44,76	44,6	44,45	44,3	43,7	44,36	0,41	0,92
N ₂	23,11	23,51	23,74	23,64	23,3	23,46	0,26	1,09
NO _x	1,75	0,69	-	-	-	1,22	0,75	61,44
Al ₂ O ₃	3,17	3,57	3,94	4,36	6	4,21	1,09	26,01
CaCl ₂	0,5	0,61	0,68	0,74	1	0,71	0,19	26,49
CaCO ₃	-	-	0,38	1,45	5,5	2,44	2,70	110,53

* - теплотворные компоненты в виде суспензии продуктов переработки композиционных материалов в эмульсии (вариант 2)

Проведенные исследования показали, что добавление в ЭВВ теплотворных компонентов в смеси с нитратом кальция, наряду с улучшением энергетических характеристик свойств ВВ, позволяет уменьшить выбросы оксидов азота.

Существенная вариация содержания CO и NO_x связана с переходом кислородного баланса от положительного значения к отрицательному. Эту

закономерность наглядно иллюстрируют зависимости содержания указанных газов от величины кислородного баланса (рис. 2), которые построены на основе совокупности полученных расчетно-экспериментальных данных.

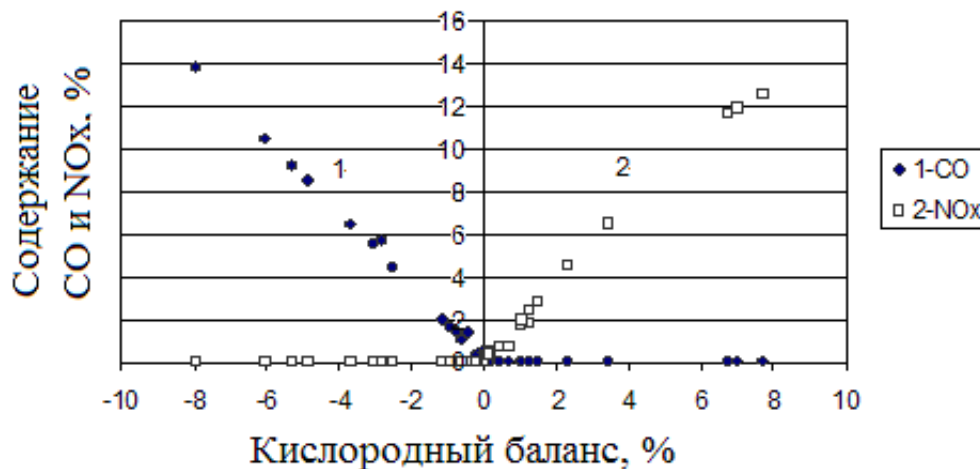


Рисунок 2 – Зависимости содержания CO и NO_x от значений кислородного баланса ЭВВ марки «ЕРА»

Как видим, при положительном кислородном балансе эмиссия CO в атмосферу не происходит. При этом эмиссия оксидов азота возрастает на 1,75% с увеличением значения кислородного баланса на каждый 1%. При отрицательном кислородном балансе, наоборот, полностью исключается эмиссия NO_x, но возрастает содержание CO также на 1,75% с ростом отрицательных значений кислородного баланса на каждый 1%.

Очевидно, что для исключения образования и эмиссии в атмосферу экологически опасных оксидов азота (NO_x) и минимизации содержания менее экологически опасного оксида углерода (CO) в составе продуктов взрыва кислородный баланс ЭВВ теоретически должен быть равен нулю. Исключение более опасных оксидов азота предполагает поддержание кислородного баланса в пределах от -0,2 до -2,0%, при котором максимальное содержание CO не превысит 3,5% общего количества выбрасываемых при взрывах ЭВВ газов.

Таким же путем анализировали закономерности содержания Al₂O₃, CaCl₂ и CaCO₃, т.е. продуктов детонации ЭВВ в виде взвешенных в воздухе частичек, которые, наряду с породной пылью, образуемой в результате взрывания горного массива в карьере, обуславливают дополнительно пылевыделение при взрыве. Их наличие в продуктах детонации вызвано содержанием Ca и Al в составе ЭВВ (табл. 1), среднее содержание которых составляет, соответственно, 1,38 и 0,41% при вариациях 29,9 и 54,1%, в зависимости от вида ЭВВ.

Содержания Al₂O₃ и CaCO₃ в продуктах детонации тоже связывались с кислородным балансом, как это показано на рис. 3а, 3б.

Как видим, содержание Al₂O₃ вполне однозначно зависит от кислородного баланса ЭВВ. Так, с его увеличением образование Al₂O₃ снижается, примерно, на 1% на каждый 1% повышения кислородного баланса. Теоретически нулевой минимум образования Al₂O₃ прогнозируется при значении кислородного

баланса +5%, при котором содержание токсичных оксидов азота (NO_x) может достигнуть 9% (рис. 2). Однако при этом прогнозируется образование алюмосиликатов кальция и других сложных дисперсных веществ. При рекомендуемых же значениях кислородного баланса от -0,2 до -2,0% содержание Al_2O_3 составит 4,5% от общего количества продуктов детонации при вариации около 35% в зависимости от содержания теплотворных компонентов, при содержании которых не более 5% обеспечивается достаточно высокая теплота взрыва ВВ (свыше 3700 кДж/кг), а в продуктах детонации отсутствуют оксиды азота, и обеспечивается минимальное содержание оксида углерода.

Относительно содержания CaCO_3 в продуктах взрыва следует отметить его малую зависимость от кислородного баланса (рис. 3.2 б), а его величина, в среднем, составляет 11,2% при вариации 41,2% в зависимости от добавок теплотворных компонентов. Содержание CaCl_2 явно не зависит от кислородного баланса.

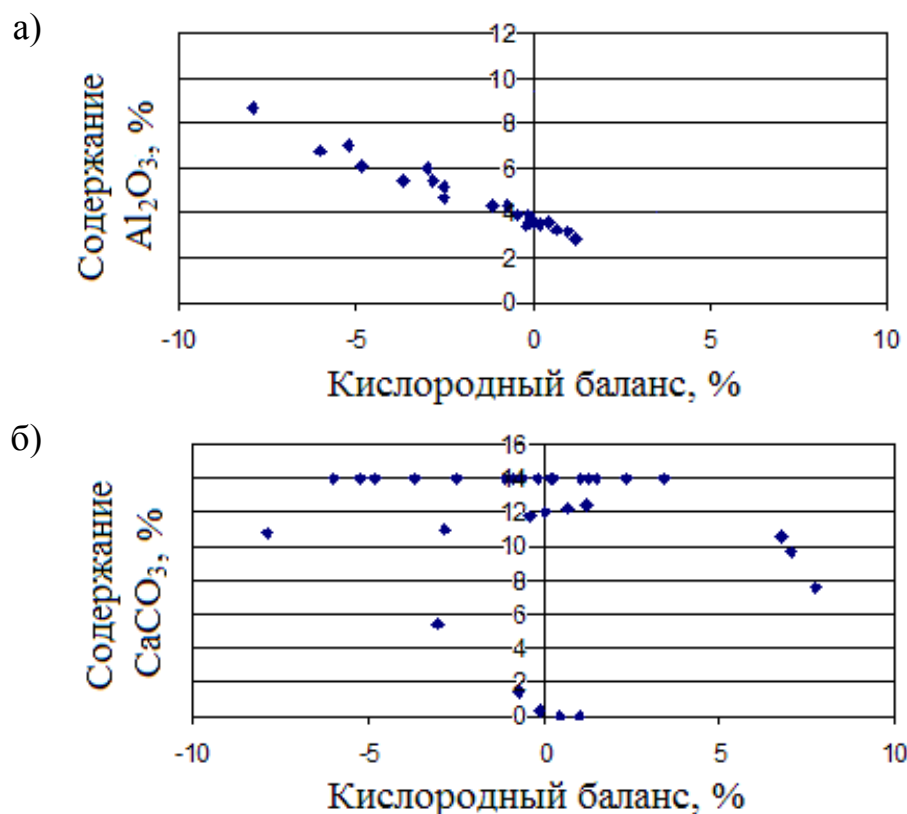


Рисунок 3 – Зависимости содержания Al_2O_3 и CaCO_3 в продуктах взрыва ЭВВ марки «ЕРА»

В заключение приведем обобщенные на основе полученных данных показатели изменчивости продуктов взрыва ЭВВ с добавлением теплотворных компонентов (табл. 4).

Как видим, объем выбрасываемых в атмосферу газов на 1 кг ЭВВ составляет, в среднем, 820 л при вариации от изменения компонентного (рецептурного) состава ЭВВ около $\pm 2\%$.

Таблица 4 – Обобщенные показатели изменчивости продуктов взрыва в зависимости от компонентного состава ЭВВ

Наименование показателя	Среднее значение	Стандартное отклонение	Вариация, %
Объем газов, л	819,86	16,58	2,02
Содержание выбрасываемых в атмосферу экологически опасных веществ, %:			
СО	2,41	3,71	+154,37
NO _x	1,90	3,64	+191,88
Al ₂ O ₃	5,32	2,16	40,59
CaCO ₃	11,17	4,60	41,17
CaCl ₂	2,37	1,94	81,68
Обобщенные показатели изменчивости содержания опасных веществ	4,63	3,90	84,16

Содержание экологически опасных веществ в выбросе (газы и частицы пыли) составляет $4,63 \pm 3,9\%$ от общего объема продуктов взрыва при вариации, близкой к $\pm 84\%$, т.е. их приземные концентрации в совокупности могут изменяться относительно средних значений также в пределах $\pm 84\%$.

В отдельности изменчивость выброса экологически опасных веществ в атмосферу составляет: по СО – возможное возрастание до $+154\%$ от среднего его содержания в продуктах взрыва ЭВВ – $2,41\%$, соответственно NO_x – до $+192\%$ от среднего содержания $1,9\%$, Al₂O₃ и CaCO₃ – $\pm 41\%$ (при средних содержаниях $5,32\%$ и $11,17\%$, соответственно), а CaCl₂ – $\pm 82\%$ (при среднем содержании $2,37\%$).

В целом, представленная изменчивость приземных концентраций от изменения компонентного (рецептурного) состава ЭВВ соответствующим образом отразится и на кратности превышения концентраций этих веществ над референтными уровнями после взрывов ЭВВ в карьерах.

Очевидно, что значительно уменьшить вариабельность выбросов экологически опасных веществ можно поддержанием, в частности, средних значений содержания теплотворных компонентов. Правда такой подход не гарантирует исключение оксидов азота в выбросах, содержание которых составит около $1,9\%$ от всего объема выбросов. Поэтому подбор процентного содержания таких добавок, соответствующих значениям кислородного баланса, смещенных в область отрицательных значений от $-0,2$ до $-2,0\%$, позволит полностью исключить образование NO_x.

Выводы. Расчетно-экспериментальный анализ состава продуктов взрыва разных видов ЭВВ в зависимости от «внутренних» (рецептурных) факторов показал, что объем выбрасываемых в атмосферу продуктов взрыва на 1 кг ЭВВ достигает 820 л при вариации около $\pm 2\%$.

Содержание в продуктах взрыва экологически опасных веществ составляет $4,63 \pm 3,9\%$ от общего их объема ЭВВ при средней вариации около $\pm 84\%$. Это значит, что в совокупности их приземные концентрации, как и кратности превышения над референтными уровнями, будут также изменяться в таких пределах.

Наглядно показано, что при положительном кислородном балансе эмиссия оксида углерода (CO) в атмосферу полностью исключается. При этом эмиссия оксидов азота (NO_x) с увеличением значения кислородного баланса на каждый 1% возрастает на 1,75%. При отрицательном кислородном балансе, наоборот, полностью исключается эмиссия NO_x, но возрастает содержание CO также на 1,75% с ростом отрицательных значений кислородного баланса на каждый -1%.

Уменьшить вариабельность выбросов экологически опасных веществ поддержанием кислородного баланса ЭВВ марки «ЕРА» в пределах от -0,2 до -2,0% можно при средних значениях содержания теплотворных добавок на основе продуктов переработки композиционных материалов от 9,5 до 13%.

Это исключит выбросы оксидов азота (NO_x) в атмосферу и снизит выбросы оксида углерода (CO) до величины, не превышающей 3,5% от общего выброса газов, оставшаяся часть которых, а именно двуокись углерода, пары воды и азот, представляют экологическую опасность лишь как парниковые газы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shyman, L. Disposal and destruction processes of ammunition, missiles and explosives, which constitute danger when storing / L. Shyman, Y. Ustimenko // NATO Security through Science Series C: Environmental Security, 2009. – P. 147-152.

2. Исследование детонационных характеристик шпуровых зарядов патронированных ЭВВ / Кириченко А.Л., Е.Б. Устименко Е.Б., Шиман Л.Н., Политов В.В. // Науковий вісник НГУ. – 2012 – №6. – С. 37-41.

3. Mironova I. and Borysovs'ka O. Defining the parameters of the atmospheric air for iron ore mines / Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining, Leiden, The Netherlands: CRC Press 2014 / Balkema: pp. 333-339.

4. Способы и средства повышения экологической безопасности массовых взрывов в железорудных карьерах по пылевому фактору: моногр. / В.Е. Колесник, А.А. Юрченко, А.А. Литвиненко, А.В. Павличенко.- Днепропетровск: Литограф, 2014. – 112 с.

5. Technical, economic and environmental aspects of the use of emulsion explosives by ERA brand in underground and surface mining / Kholodenko T., Ustimenko Ye., Pidkamenna L. and Pavlychenko A. // New Developments in Mining Engineering: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining. – The Netherlands: CRC Press / Balkema, 2015. – P. 211–219.

REFERENCES

1. Shyman, L. and Ustimenko, Y. (2009), «Disposal and destruction processes of ammunition, missiles and explosives, which constitute danger when storing», *NATO Security through Science Series C: Environmental Security*, pp. 147-152.

2. Kirichenko A.L., Ustimenko Ye.B., Shyman L.N. and Politov V.V. (2012), «Study of detonation characteristics of blast-hole charges of packaged emulsion explosives», *Scientific Bulletin of National Mining University*, Vol. 6, pp. 37-41.

3. Mironova I. and Borysovs'ka O. (2014), «Defining the parameters of the atmospheric air for iron ore mines», *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, CRC Press / Balkema, Leiden, Netherlands, pp. 333-339.

4. Kolesnik, V.Ye., Yurchenko, A.A., Litvinenko, A.A. and Pavlichenko, A.V. (2014), *Sposoby i sredstva povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti massovykh vzryvov v zhelezorudnykh karyerakh po pyl'evomu faktor* [Ways and means to enhance the environmental safety of massive explosions in quarries for iron dust factor], Litograf, Dnipropetrovsk, Ukraine, 112 p.

5. Kholodenko T., Ustimenko Ye., Pidkamenna L. and Pavlychenko A. (2015), «Technical, economic and environmental aspects of the use of emulsion explosives by ERA brand in underground and surface mining», *New Developments in Mining Engineering: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, CRC Press/Balkema, Leiden, Netherlands pp. 211–219.

Об авторах

Холоденко Татяна Фердинандовна, начальник управления охраны труда, экологического надзора и специального режима ГП «НПО «Павлоградский химический завод» (ГП «НПО «ПХЗ»), Павлоград, Украина, dirphz@mail.pkhz.dp.ua

Колесник Валерий Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры экологии и технологий защиты окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (ГБУЗ «НГУ»), Днепр, Украина, kolesnikve@yahoo.com

Павличенко Артем Владимирович, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологии и технологий защиты окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (ГБУЗ «НГУ»), Днепр, Украина, pavlychenkoa@nmu.org.ua

About the authors

Kholodenko Tatyana Ferdinandovna, Master of Science, Head of Department for Occupational Safety and Health, Environmental Supervision and Special Safety Regime of SE RIC «Pavlograd Chemical Plant» (SE RIC «PCP»), Pavlograd, Ukraine, dirphz@mail.pkhz.dp.ua

Kolesnik Valerii Yevgenevich, Doctor of Technical Science (D.Sc.), Professor, Professor of Department of Ecology and Technologies of Environmental Protection, State Institution of Higher Institution «National Mining University», SHEI «NMU», Dnepr, Ukraine, kolesnikve@yahoo.com.

Pavlichenko Artem Vladimirovich, Candidate of Biological Sciences (Biol.), Associate Professor, Associate Professor of Department of Ecology and Technologies of Environmental Protection, State Higher Educational Institution «National Mining University» (SHEI «NMU»), Dnepr, Ukraine, pavlychenkoa@nmu.org.ua.

Анотація. Проаналізовано характер впливу «зовнішніх» чинників, пов'язаних з особливостями виготовлення і заряджання емульсійних вибухових речовин в свердловини і шпури, особливостями ініціювання підривання свердловинних зарядів, а також гірничо-геологічними умовами проведення вибухових робіт на обсяги викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище.

Виконано розрахунково-експериментальний аналіз залежності складу продуктів детонації різних видів емульсійних вибухових речовин від «внутрішніх» (рецептурних) факторів. Визначено вміст екологічно небезпечних газів, що викидаються при вибухах в атмосферу, та їх загальна варіація при зміні компонентного складу емульсійної ВР марки «ЕРА». Наочно показано вплив кисневого балансу на емісію в атмосферу оксиду вуглецю, оксидів азоту та інших екологічно небезпечних забруднювачів у вигляді завислих у повітрі часток. Рекомендовані значення змісту теплотворних добавок у вигляді продуктів переробки композиційних матеріалів, що дозволять зменшити варіабельність викидів екологічно небезпечних речовин в атмосферу, при цьому виключити викиди оксидів азоту і мінімізувати викиди оксиду вуглецю.

Ключові слова: емісія продуктів вибуху, емульсійні вибухові речовини, компонентний склад, кисневий баланс.

Abstract. Influence of “external” factors associated with specific features of manufacture and loading of emulsion explosives into the boreholes and blastholes, and features of blasting initiation of downhole charges, as well as geological conditions of blasting operations on the volume of pollutant emissions into environment was analyzed.

A computational and experimental analysis of dependence between composition of detonation products in different types of emulsion explosives and “internal” (formula) factors was conducted. The composition of environmentally hazardous gases emitted into atmosphere during the explosions and their total variation when changing the component composition of “ERA” emulsion explosive was determined. Influence of the ERA oxygen balance on emission into the atmosphere of carbon monoxide, nitrogen oxides and other environmentally hazardous pollutants in the form of airborne particles is demonstrated. Content values are recommended for the thermal additives in the form of composite material converted products, which will allow reducing variability of environmentally

hazardous substance emitted into atmosphere and excluding emissions of nitrogen oxides and minimizing emissions of carbon monoxide.

Key words: emission of explosion products, emulsion explosives, component composition, oxygen balance.

Стаття поступила в редакцію 16.12.2016

Рекомендовано к публікації д-ром техн. наук Т.В. Бунько