

Область взрывоопасности одной тройной динамической газовой системы

В.Ф.Панин, Ю.А.Захаров, В.Б.Немировский, Л.К.Парфенов, А.В.Мельник

(Представлена научным семинаром кафедры радиационной химии)

При разработке мероприятий по обеспечению взрывобезопасности атмосфер некоторых объектов новой техники, а также взрывоопасных газовых сред, встречающихся в химических производствах, актуальным является вопрос разработки надежных способов оценки взрывоопасности многокомпонентных динамических газовых систем.

Под динамическими будем понимать газовые системы, формирующиеся в замкнутых объемах — за счет непрерывного поступления газовых компонентов (в общем случае горючих, окислителей, инертных, ингибирующих, катализирующих) из внутренних источников, которые в первом приближении можно полагать равномерно распределенными по замкнутому объему, что исключает необходимость учета возможной неравномерности распределения компонентов в реальных условиях объекта.

Вопрос о надежной оценке взрывоопасности динамической газовой системы исчерпывается установлением надежной концентрационной границы между областями взрывоопасных и взрывобезопасных концентраций — для всех возможных соотношений между содержаниями компонентов и уровнем общего давления, для всех возможных условий в системе (термические, гравитационные, электромагнитные и т.п. воздействия и условия).

Представляется целесообразным рассмотрение задачи начать с простейшего случая, с тройной системы, формирование которой происходит в нормальных условиях; при этом полагать энергию потенциальных импульсов зажигания достаточной для образования ядра пламени критических размеров, [I] и др., в смесях, приближающихся к предельным.

Рассмотрим с изложенной точки зрения концентрационные границы взрываемости динамической системы $H_2 - O_2 - N_2$, в интервале возможных общих давлений в системе 100 + 1300 мм.рт.ст., зажигание снизу.

Концентрационные границы взрываемости системы исследовались многими авторами, в основном при атмосферном давлении. Большею частью исследовались водородо-воздушные смеси в области нижнего концентрационного предела по водороду. Общепринятыми для этой системы являются следующие величины К.П.: при отсутствии азота в смеси H_2 составляет 4,0% об, H_2 - 94% об; для водородо-воздушной смеси - 4,0% об. и 74% об.

Широкий обзор материалов по системе приведен в [2]. Для настоящей работы интерес представляет приведенная в [2] зависимость КП водородо-воздушной системы от разбавления воздуха азотом, при атмосферном давлении, рис. 1. Для анализа взрывоопасности системы удобнее пользоваться данными рис. 1., пересчитанными на абсолютное содержание азота.

Результаты пересчета приведены в таблице № 1, здесь же приведены соответствующие содержания кислорода в смеси.

На рис. 2. представлена полученная в результате пересчета зависимость K_{H_2} от содержания азота в системе, вплоть до 90% об. N_2 , когда система становится взрывобезопасной (Значение K_{H_2} равно 93,9% об., взято также из [2]). Построением этой зависимости исчерпывается вопрос об области взрывоопасности для системы при нормальных условиях. Составляя какой-либо сложившийся в замкнутом объеме состав с областью взрывоопасности, легко оценить, взрывоопасен ли он.

Одним из выводов подобного анализа данных [2] является вывод о влиянии содержания кислорода в системе на пре-

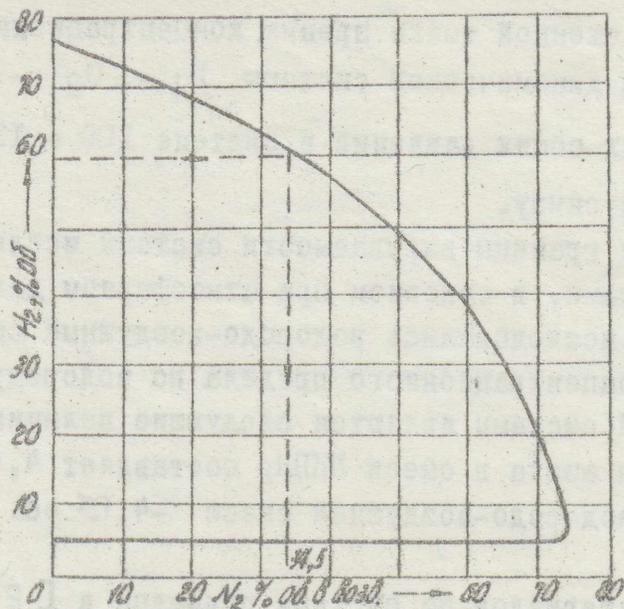


Рис.1. К пересчету кривой концентрационных пределов воспламенения в смеси водорода с воздухом, разбавленным азотом, [2] , в кривую пределов системы $H_2 - O_2 - N_2$.

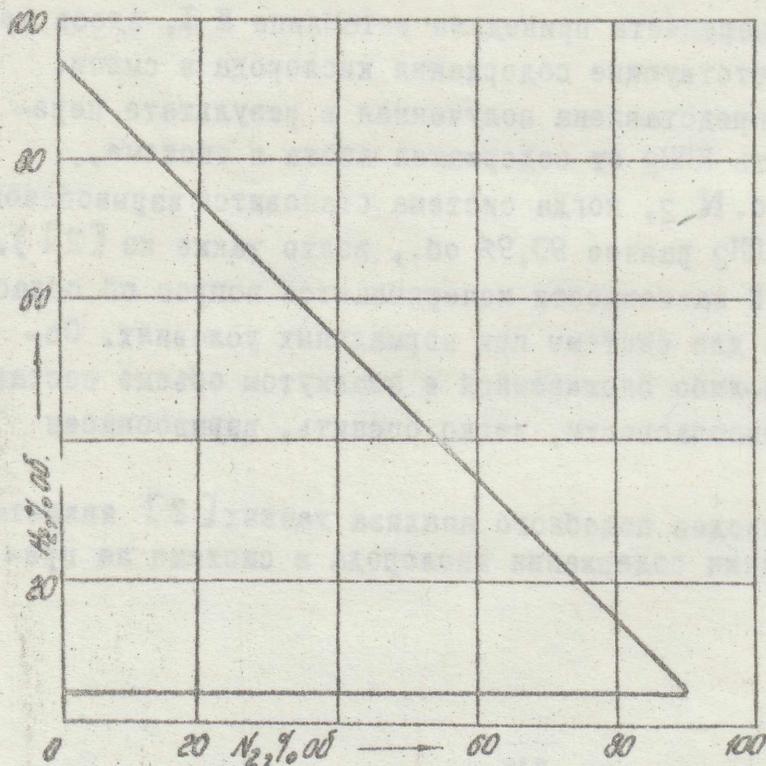


Рис.2. Зависимость KPH_2 от содержания азота в водородо-кислородо - азотной системе, Робщ. 760 мм.рт.ст. (пересчет данных Коварда Г.Ф. и Джонса Г.В., [2]).

дел взрываемости по водороду, что иллюстрируется рис. 3, кривая I, откуда следует, что $K_{\text{ПН}_2}$ остается почти неизменным вплоть до содержания кислорода ~ 42 мм.рт.ст. (около 5,5 % об.) Дальнейшее уменьшение содержания кислорода с сохранением взрывоопасной ситуации возможно лишь при увеличении содержания водорода, однако уменьшение содержания O_2 незначительно, до $\sim 4,95\%$ об. При необходимости воспламенить смеси, содержащие более 30% об H_2 следует вновь увеличивать содержание O_2 , вплоть до 6,1 % об - при полной замене азота водородом.

Таким образом, на основании изложенного можно определенно говорить о $K_{\text{ПН}_2}$ для системы с любыми из возможных содержаний O_2 и, в частности, о максимальном взрывобезопасном содержании кислорода (МВСК), равном $\sim 4,95\%$ об.

Кроме того, проведенный анализ данных [2] существенно облегчает поиск области взрывоопасности системы при других давлениях - из важного для практики интервала $10^3 + 10^2$ мм.рт.ст. (Предварительно заметим, что для рационализации поиска концентрационной границы при разных давлениях целесообразно получить зависимости $K_{\text{ПН}_2} = f(P \text{ общ}; \text{O}_2\% \text{ об} = \text{const})$ - во всем интервале взрывоопасных концентраций H_2 в системе: от $\sim 4\%$ об до $\sim 93,9\%$ об. Область взрывоопасности для других давлений может быть затем определена простым пересчетом.

Действительно, в соответствии с данными табл. № I, например, зависимость $K_{\text{ПН}_2} = f(P \text{ общ}; \text{O}_2\% \text{ об} = 1,75)$ при $P \text{ общ} = 760$ мм.рт.ст. должна пройти через величину $K_{\text{ПН}_2} = 4,25\%$ об, и т.д. - как это следует из рис. 4. Имеется, таким образом, "точки привязки" (точки б, в, е - рис. 4, точки б + 3 - рис. 5) для экспериментального определения зависимостей $K_{\text{ПН}_2} = f(P \text{ общ}; \text{O}_2\% \text{ об} = \text{const})$ для разных содержаний кислорода в смеси. Форма кривых на рис. 4 ориентировочна и соответствует положению о том, что при давле-

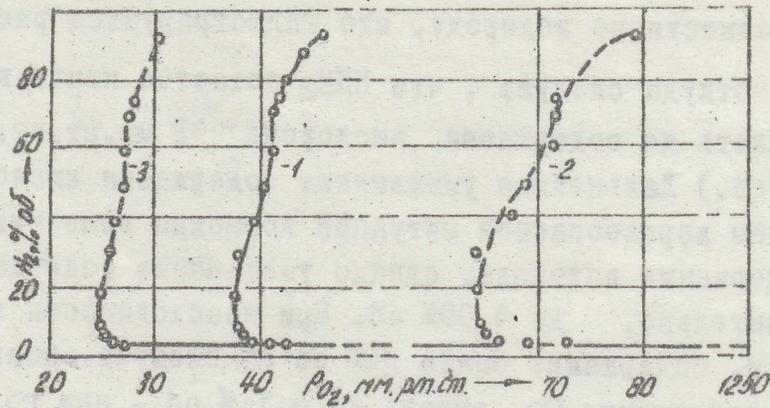


Рис.3. Зависимость K_{PN_2} от содержания кислорода в системе $H_2-O_2-N_2$. I - по данным [2], 2 и 3 - расчет, $P_{общ} = 1300$ и 500 мм.рт.ст.

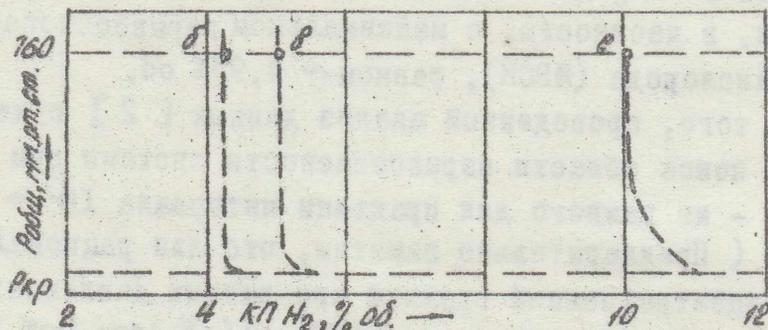


Рис.4. К пояснению "точек привязки" экспериментов к искомым кривым $K_{PN_2} = f(P_{общ}; O_2, \% об. = const)$. Точка б соответствует $K_{PN_2} = 4,25$ и содержанию $O_2, \% об.$, равному $12,75$; точка в - $4,5$ и $5,5$; е - 10 и $4,95$, соответственно (см. табл. № I).

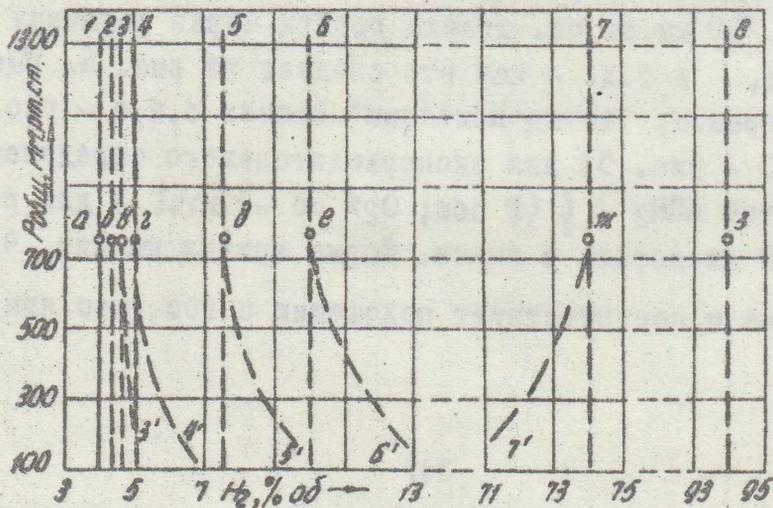


Рис.5. Предполагаемый ход зависимостей $K_{PN_2} = f(P_{общ}; O_2, \% об. = const)$ Кривая I - по данным [4].

ниях, меньших критического ($P_{кр}$), пламя в смеси не распространяется, [3].

В [4] представлены экспериментальные данные, позволяющие говорить о форме графиков $K_{PH_2} = f(P_{общ}; O_2 об = const)$ более определенно: для содержаний кислорода 96 и 16% об зависимости $K_{PH_2} = f(P_{общ})$ в интервале давлений $10^3 + 10^2$ мм.рт.ст. изобразились практически прямой линией, рис. 5, график 1, ниже точки а. Если предположить, что и при других содержаниях O_2 графики $K_{PH_2} = f(P_{общ})$ остаются прямыми линиями, рис. 5, графики 2 + 8, появляется возможность простого определения взрывоопасной области для любого общего давления. В таблице № 2, например, приведены результаты подсчета содержаний O_2 вдоль концентрационной границы для $P_{общ} = 1300$ и 500 мм.рт.ст.; соответствующие графики (2, 3) приведены на рис. 3.

Очевидно, что на основе указанного предположения, в частности, легко установить МВСК для любого давления в системе. На рис. 6 приведен график $МВСК = f(P_{общ})$, откуда следует, что $МВСК \approx 0,049 \cdot P_{общ}$.

Для реализации изложенного выше способа оценки взрывоопасности динамических газовых систем важно знать не только экстремальные величины, характерные для рассматриваемой системы (МВСК, наименьший предел по водороду и т.п.). Необходимо очертить всю область взрывоопасности, т.е. указать всё поле взрывоопасных концентраций. Эту область для заданного уровня $P_{общ}$ можно представить в форме кривых на рис. 2, на рис. 3 и т.п.

Очевидно, что для задач, в которых натекающими компонентами являются H_2 и O_2 , область взрывоопасности целесообразнее изображать в системе координат с осями O_2 и H_2 , причем — в объемных процентах, т.к. в определенных интервалах давления в системе процентные содержания компонентов вдоль концентрационной границы могут оставаться неизменными.

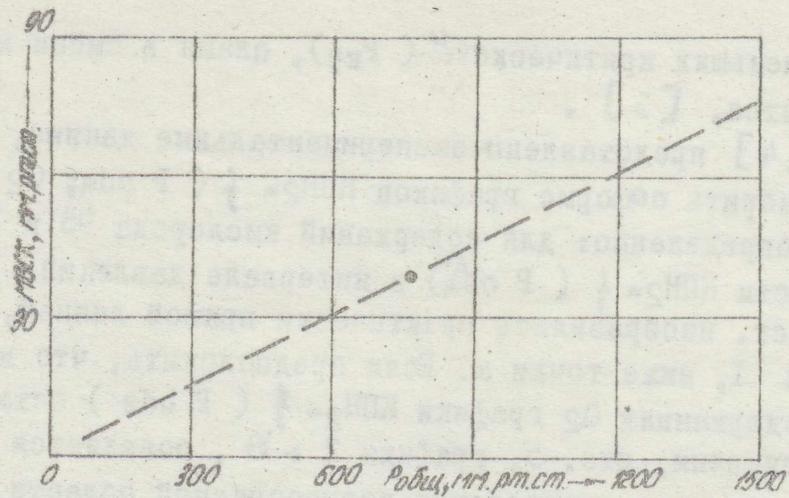


Рис.6. Предположительная зависимость МВСК = $f(P_{общ})$, I - точка соответствующая данным [2].

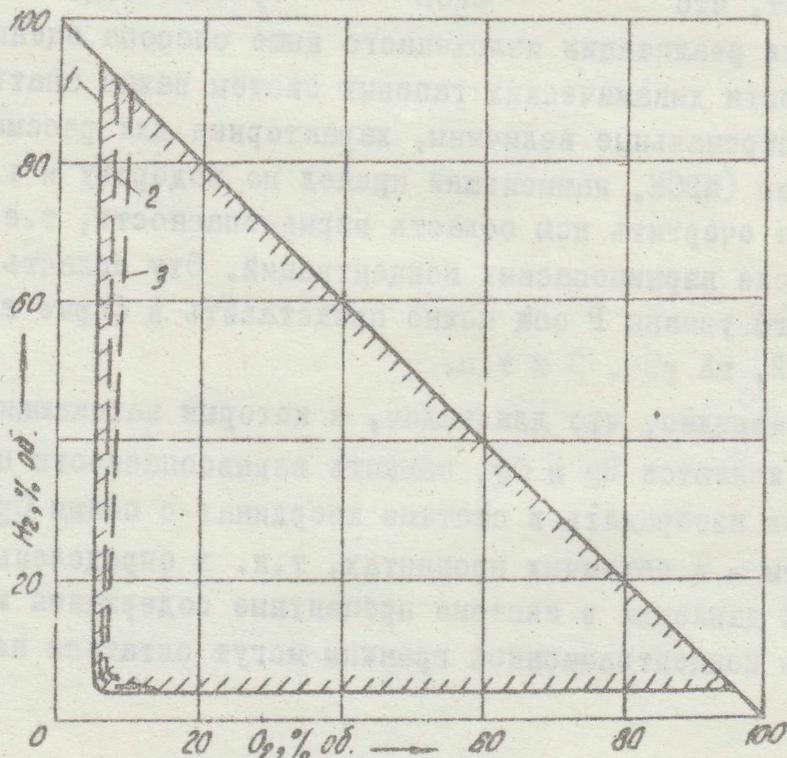


Рис.7. Области взрывоопасности системы $H_2-O_2-N_2$ при разных уровнях общего давления: I - для 760 мм.рт.ст., по данным [2]; 2 и 3 - для 500 и 200 мм.рт.ст., предположительные.

Такой график приведен на рис. 7, кривая I (см. также табл. № I).

Проверка допустимости указанного предположения наиболее просто может быть осуществлена следующим образом: ориентируясь на "точки" привязки, рис. 4 и рис. 5, экспериментально установить характер зависимостей $K_{PH_2} = f (P_{общ})$ для нескольких малых содержаний O_2 (см. табл. № I). В случае, если будет установлена зависимость K_{PH_2} от общего давления (при $O_2 \text{ об} = \text{const}$), возможно будет, сняв достаточное число зависимостей, построить области взрывоопасности для любых давлений в системе.

Области взрывоопасности на рис. 7, кривые 2, 3 ($P_{общ} = 500$ и 200 мм.рт.ст.) дают представление о характере сдвига границ взрывоопасности при понижении давления в системе в случае, если для неизменных (в % об.) содержаний O_2 в системе величина K_{PH_2} будет заметно зависеть от давления, рис. 5, графики 3-7.

Из рис. 7 следует, что наиболее широкой в таком случае является область взрывоопасности для $P_{общ} = 760$ мм.рт.ст., а также для давлений, больших атмосферного, где K_{PH_2} остается на том же уровне. Эту область, характеризующуюся, таким образом, самыми низкими K_{PH_2} и МВСК, рис. 7, следует рассматривать в качестве основной взрывоопасной области для интервала давлений $10^3 + 10^2$ мм.рт.ст. и использовать её в первую очередь при оценке взрывоопасности данной газовой системы в нормальных, кроме давления, условиях.

Использование этой области для систем с пониженными давлениями несколько "ужесточит" требования к ним - в случае, если K_{PH_2} заметно зависят от давления - однако это увеличит надежность оценки повысит "коэффициент запаса их взрывобезопасности".

Отметим, в заключение, что в общем случае задачи установления области взрывоопасности системы необходимо, как отмечалось, изучить и учесть все возможные, влияющие на К.П. воздействия и условия.

Таблица № 1

H ₂ % об.	93,9	74	70	60	50	40	30	20	10	7,5	6	5	4,5	4,25	4
N ₂ % об.	0	20,5	24,5	34,5	44,7	54,8	65,05	75,05	85,05	87,45	88,9	89,7	90	83	0
O ₂ % об.	6,1	5,5	5,5	5,5	5,3	5,2	4,95	4,95	4,95	5,05	5,1	5,3	5,5	12,75	96
O ₂ мм.рт.ст.	46,4	41,8	41,8	41,8	40,3	39,6	37,6	37,6	37,6	38,4	38,8	40,3	41,8	97	730

Таблица № 2

H ₂ % об.	83,9	74	70	60	50	40	30	20	10	7,5	6	5	4,5	4,25	4,0	
O ₂ % об.	6,1	5,5	5,5	5,5	5,3	5,2	4,95	4,95	4,95	5,05	5,1	5,3	5,5	12,75	96	
O ₂ мм.рт.ст.	P об =	79,4	71,5	71,5	71,5	68,9	67,6	64,4	64,4	64,4	65,6	66,4	69	71,5	165,8	1248
	P об =	30,5	27,5	27,5	27,5	26,5	26,2	24,76	24,76	24,76	25,2	25,5	26,5	27,5	63,7	480

ЛИТЕРАТУРА

1. Я.Б. Зельдович, Н.Н. Семенов, ЖФХ, 23, № II, 1949.
2. Coward H.F. and Jones G.W., "U.S. Bureau of Mines Bull.", 503, 1952.
3. Л.Н. Хитрин, "Физика горения и взрыва", 1957, Изд. МГУ.
4. В.Ф. Панин, Д.А. Захаров, В.А. Марасанов, В.Б. Немировский, Л.К. Парфенов, "Исследование нижних концентрационных пределов воспламеняемости водородо-кислородной и водородо-воздушной смесей при пониженных давлениях", см. наст. сборник.