

УДК 914.841

DOI: <https://doi.org/10.37657/vniipo.avpb.2026.95.96.002>

EDN: <https://elibrary.ru/dtguce>

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ХИМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ГИДРИДОВ МЕТАЛЛОВ (НЕМЕТАЛЛОВ) IA–VIIA ПОДГРУПП ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА И ИХ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ СВОЙСТВ

*Леонид Петрович Вогман, Александр Валерьевич Ильичев*

Всероссийский ордена “Знак Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), г. Балашиха, Московская область, Россия.

**Аннотация.** Выполнен анализ взаимосвязи химического строения гидридов металлов (неметаллов) IA–VIIA подгрупп периодической системы Д.И. Менделеева и их пожаровзрывоопасных свойств. Рассмотрено различие между типами гидридов: ионные, ковалентные, металлические и комплексные – в зависимости от вида связи между атомами металлов (неметаллов) и водородом.

Указано, что при большом различии электроотрицательности элементов связь между атомами носит ионный характер. В отсутствии различия в электроотрицательности элементов связь будет неполярной, а при различии – полярной. Ионные гидриды образуются при взаимодействии водорода со щелочными и щелочноземельными металлами IA, IIA подгруппы при повышенных температурах и давлении.

Обращается внимание на природу ковалентной связи, характерную для гидридов IIIA–VIIA подгрупп периодической системы, – она сложнее, чем ионная. Анализируется пожаровзрывоопасность гидридов, которая определяется связью между атомами. Химическая активность (реакционная способность) гидридов будет тем выше, чем больше электроотрицательность элементов (металл, неметалл – водород) и выше полярность атомов между металлом (неметаллом) и водородом в молекуле гидрида, а, следовательно, и ниже стабильность соединения.

Представленные в работе данные о взаимосвязи химического строения гидридов металлов (неметаллов) и их пожаровзрывоопасности позволяют на основании известных сведений о характере связи между элементом и водородом (ионная, ковалентная, металлическая, комплексная) прогнозировать уровень их пожаровзрывоопасности.

**Ключевые слова:** химический элемент, гидриды металлов, гидриды неметаллов, химическое строение, пожаровзрывоопасность, взаимосвязь

**Для цитирования:** Вогман Л.П., Ильичев А.В. Взаимосвязь химического строения гидридов металлов (неметаллов) IA–VIIA подгрупп периодической системы Д.И. Менделеева и их пожаровзрывоопасных свойств // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2026. № 1 (27). С. 13–20. DOI 10.37657/vniipo.avpb.2026.95.96.002. EDN DTGUCE.

**THE RELATIONSHIP BETWEEN THE CHEMICAL STRUCTURE OF IA–VIIA SUBGROUPS METAL HYDRIDES (NON-METALS) OF D.I. MENDELEEV'S PERIODIC TABLE AND THEIR FIRE AND EXPLOSIVE PROPERTIES**

**Leonid P. Vogman, Alexander V. Ilyichev**

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.

**Abstract.** An analysis of the relationship between the chemical structure of IA–VIIA subgroups metal hydrides (nonmetals) of D.I. Mendeleev's periodic table and their fire and explosive properties has been performed. There is considered the difference between the following types of hydrides: ionic, covalent, metallic and complex, depending on the type of bond between metal (nonmetal) atoms and hydrogen.

It is indicated that when the electronegativity of the elements is very different, the bond between the atoms is ionic. If there is no difference in the electronegativity of the elements, the bond will be nonpolar, and if there is a difference, it will be polar. Ionic hydrides are formed by the interaction of hydrogen with alkaline and alkaline earth metals of IA, IIA subgroups at elevated temperatures and pressures.

Attention is drawn to the nature of the covalent bond, which is characteristic of IIIA–VIIA subgroups hydrides of the periodic table. It is more complex than the ionic bond. The fire and explosion hazard of hydrides is analyzed, which is determined by the bond between the atoms. The higher the chemical activity (reactivity) of hydrides, the greater the electronegativity of the elements (metal, nonmetal – hydrogen) and the higher the polarity of the atoms between the metal (nonmetal) and hydrogen in the hydride molecule, and, consequently, the lower the stability of the compound.

The presented data on the relationship between the chemical structure of metal hydrides (nonmetals) and their fire and explosion hazard allow to predict their flammability and explosiveness level based on the known information about the nature of the bond between an element and hydrogen (ionic, covalent, metallic, or complex).

**Keywords:** chemical element, metal hydrides, non-metal hydrides, chemical structure, fire and explosion hazard, relationship

**For citation:** Vogman L.P., Ilyichev A.V. The relationship between the chemical structure of IA–VIIA subgroups metal hydrides (non-metals) of D.I. Mendeleev's periodic table and their fire and explosive properties. Aktual'nye voprosy pozharnoi bezopasnosti – Current Fire Safety Issues, 2026, no. 1, pp. 13-20. (In Russ.). DOI 10.37657/vniipo.avpb.2026.95.96.002. EDN DTGUCE.

**Введение. Строение и связь в гидридах металлов и неметаллов**

Гидриды – соединения элемента водорода с химическими элементами: металлами и неметаллами.

Основная причина периодического повторения аналогичных химических и других свойств элементов заключается в том, что в ряду элементов, расположенных в порядке возрастания их атомных весов, периодически повторяется процесс постройки новых наружных электронных оболочек [1], на что обратил внимание Д.И. Менделеев при создании периодической системы. К одной подгруппе периодической системы принадлежат те элементы, у атомов которых в наружных оболочках находится одинаковое количество электронов. Химические свойства атома определяются, прежде всего, числом электронов наружной оболочки и, как следствие, энергией связи их с атомом. Числом

электронов наружной оболочки, свойственным данному элементу, определяются типы его соединений, например, гидриды элементов. Так, в наружной оболочке атомов фосфора, мышьяка, сурьмы и висмута находится одинаковое количество (пять) электронов, что определяет одинаковость их основных валентных состояний. Это и является причиной того, что данные элементы располагаются в одной подгруппе периодической системы.

Энергия связи наружных электронов с атомом устанавливает различие в физико-химических свойствах элементов и их однотипных соединений. При переходе от легких элементов к более тяжелым внутри каждой данной подгруппы элементов ионизационные потенциалы между ядром атома и наружной электронной оболочкой уменьшаются. Например, хотя в V подгруппе элементы периодической системы обладают в наружной электронной оболочке одинаковым числом электронов, прочность связи элементов (металлов, неметаллов) этой подгруппы с водородом постепенно убывает в связи с возрастанием количества электронов и орбиталей между ядром атома и наружной электронной оболочкой от азота к висмуту. Этим объясняется нарастание «металличности» элементов и, как следствие, повышение устойчивости соединений элементов подгруппы с водородом (гидриды металлов, неметаллов). При этом изменяется электроотрицательность элементов (полярность атомов в молекуле снижается).

В зависимости от вида связи между атомами различают несколько типов гидридов: ионные, ковалентные, металлические и комплексные.

При большом различии электроотрицательности элементов связь между атомами носит ионный характер, при отсутствии различия в электроотрицательности элементов связь будет неполярной, а при различии – полярной. Ионные гидриды образуются при взаимодействии водорода со щелочными и щелочноземельными металлами IA, IIA подгруппы периодической системы при повышенных температурах и давлении (например, LiH, NaH, CaH<sub>2</sub>). Ионная связь в чистом виде может образоваться только между атомами элементов, сильно различающихся по своей электроотрицательности. Схему образования типичной ионной связи можно представить следующим образом [1]: один из взаимодействующих атомов передает другому (или другим) один или большее число электронов, в результате чего атомы превращаются в положительно заряженные ионы (катионы). Притягиваясь друг к другу вследствие противоположного знака их заряда, они образуют молекулу. Иначе говоря, при образовании ионной связи роль взаимодействующих атомов оказывается принципиально различной: один из них отдает электрон, а другой их принимает. Можно это показать на примере LiH, в состав которого входит анион H<sup>-</sup>, имеющий отрицательный заряд с устойчивой электронной конфигурацией благородного газа гелия, и катион Li<sup>+</sup>, имеющий положительный заряд. Анион образуется в результате присоединения электрона Li к атому водорода: H<sup>0</sup> + e = H<sup>-</sup>. Водород при этом проявляет окислительные свойства. Ионные гидриды устойчивы. При взаимодействии с водой образуют щелочь, при этом выделяется газообразный водород. В присутствии влаги могут самовоспламеняться.

Природа ковалентной связи, характерная для гидридов IIIA–VIIA подгрупп периодической системы, сложнее, чем ионная. Главным признаком ее является то, что она осуществляется электронами, общими для обоих взаимодействующих атомов. Основную роль в образовании электронной связи играют электроны,

находящиеся в пространстве между ядрами связываемых электронов, притягиваются ими обоими и образуют одну систему. Она будет смещена к одному из них (электроны этой пары в среднем во времени будут принадлежать в большей степени одному из атомов, чем другому), и такая связь является полярной. Электронное облако связывающей электронной пары не располагается симметрично по отношению к обоим связывающим атомам, как при неполярной связи и не концентрируется полностью при одном из них, как в случае ионной связи: полярность в ковалентной связи не достигает такой степени, как в ионной связи. Например, в молекуле галоидоводородов электронная пара в большей степени смещена к атому галоида, поэтому он приобретает отрицательный заряд, а атом водорода – положительный.

Гидриды неметаллов IIIA–VIIA подгрупп состоят из молекул или имеют полимерное строение. Молекулярные гидриды образуют неметаллы (IIIA подгруппы и подгруппы IVA–VIIA). Связь в этих гидридах ковалентная полярная (гидриды хлора, фтора) или близка к ковалентной неполярной (гидрид фосфора). Полимерное строение имеют гидриды бериллия, магния, алюминия, цинка и некоторых других металлов. В полимерных гидридах атомы металла связаны между собой водородными «мостиками».

Пожарная опасность гидридов будет определяться связью между атомами: их химическая активность (реакционная способность) будет тем выше, чем больше электроотрицательность элементов и выше полярность атомов между металлом (неметаллом) и водородом в молекуле гидрида, а, следовательно, и ниже стабильность соединения.

Цель работы заключается в установлении взаимосвязи химического строения гидридов металлов (неметаллов) IA–VIIA подгрупп периодической системы и их пожаровзрывоопасных свойств.

### **Взаимосвязь химического строения и пожаровзрывоопасности гидридов металлов (неметаллов) IA–VIIA подгрупп периодической системы**

С учетом цели исследований представляет интерес проследить изменение пожаровзрывоопасных свойств гидридов металлов (неметаллов) с изменением их химического строения.

В таблице представлены показатели пожаровзрывоопасности гидридов металлов или неметаллов (данные пожаровзрывоопасных свойств гидридов IIIA–VA групп получены нами в экспериментальных исследованиях [2]) в сопоставлении с их химической связью между водородом и металлом (неметаллом).

### **Показатели пожаровзрывоопасности гидридов металлов (неметаллов) в сопоставлении с их химической связью в соединениях гидридов между водородом и элементом (металлом, неметаллом)**

Группа периодической системы	Химическая связь	Гидрид металла (неметалла)	НКПР, % (об.)	ВКПР, % (об.)	$T_{св}$ , °C
IA	Ионная	LiH – г. тв.	-	-	Нет данных
IA		NaH – г. тв.	-	-	
IA		KH – г. тв.	-	-	
IIA	Ионная	CaH <sub>2</sub> – г. тв.	-	-	Нет данных

Группа периодической системы	Химическая связь	Гидрид металла (неметалла)	НКПР, % (об.)	ВКПР, % (об.)	$T_{\text{св}}$ , °C
IIIA	Ковалентная полимерная	$B_2H_6$ – г. г.	0,8	95,0	80
		$B_5H_9$ – г. ж.	1,1	89,6	65
IVA	Ковалентная молекулярная	$CH_4$ – г. г.	5,28 [3]	14,1 [3]	537 [3]
		$SiH_4$ – г. г.	32*	91*	-140
		$GH_4$ – г. г.	2,8	96	173
VA	Ковалентная неполярная	$NH_3$ – г. г.	15 [3]	28 [3]	650 [3]
		$N_2H_4$ – г. ж.	4,7 [3]	100 [3]	132 [3]
		$PH_3$ – г. г.	0,25*	98,0*	23
		$AsH_3$ – г. г.	9,0	90,0	289
VIA	Ковалентная прочная	$H_2O$ – ж.	-	-	-
		негорючая $H_2S$ – г. г.	4,3 [3]	46 [3]	246 [3]
VIIA	Ковалентная, молекулярная, полярная, прочная	$HF$ – ж. негорючая $HCl$ – ж. негорючая $HBr$ – ж. негорючая	-	-	-

\* Расчетные оценочные значения.

Примечания: НКПР – нижний концентрационный предел распространения пламени в объемных процентах; ВКПР – верхний концентрационный предел распространения пламени в объемных процентах;  $T_{\text{св}}$  – температура самовоспламенения, °C; тв. – твердое вещество; г. г. – горючий газ; г. ж. – горючая жидкость; ж. – жидкость.

Данные таблицы можно прокомментировать следующим образом. Ионные гидриды IA и IIA подгруппы щелочных и щелочноземельных металлов – термически неустойчивы, обладают высокой химической активностью, являются сильными восстановителями. Отдавая валентный электрон внешнего уровня, атомы щелочных металлов превращаются в однозарядные катионы, имеющие устойчивую конфигурацию инертного газа. То же самое можно сказать и о щелочноземельных металлах: Mg, Ca и др., которые отдают два валентных электрона внешнего уровня и превращаются в двухзарядные катионы, имеющие устойчивую конфигурацию инертного газа. Следует заметить, что щелочные и щелочноземельные металлы в ряду активности металлов занимают первые места. Гидриды этих металлов реагируют с галогенидами или гидридами алюминия и бора, образуя комплексные гидриды: алюмогидриды и борогидриды металлов.

Гидриды IIIA подгруппы ковалентно-полярные, имеют полимерное строение, например, бораны (гидриды бора) диборан  $B_2H_6$  – горючий газ, пентаборан  $B_5H_9$  – горючая жидкость. В них металлы (неметаллы) непосредственно друг с другом не связаны, они образуют связь с помощью водородных «мостиков». В полимерных гидридах водород является анионом и имеет отрицательный заряд. Бораны отличаются высокой энергетикой и горят с выделением большого количества тепла ~ 2000 КДж/моль. В силу полярности и низкой устойчивости молекул, в которых связь между водородом и неметаллом осуществляется водородными «мостиками», гидриды IIIA подгруппы проявляют высокую

реакционную способность, что отражается на их пожаровзрывоопасности (широкий концентрационный диапазон распространения пламени, низкие температуры самовоспламенения).

Близкими по физико-химическим и пожаровзрывоопасным свойствам к гидридам IIIA подгруппы являются газообразные горючие гидриды IVA подгруппы (моносилан  $\text{SiH}_4$ , моногерман  $\text{GeH}_4$ ). Они также ковалентно-полярные, имеют молекулярную структуру с высокой реакционной способностью, о чем свидетельствуют и показатели их пожаровзрывоопасности.

VA подгруппа гидридов металлов (неметаллов) характеризуется тем, что при переходе от азота (N) к висмуту (Bi) радиус атома закономерно возрастает, поскольку с увеличением размеров атомов уменьшается энергия ионизации. Это значит, что связь электронов наружного энергетического уровня с ядром у атомов ослабевает, что приводит к ослаблению неметаллических и к усилению металлических свойств в ряду от азота к висмуту. Азот и фосфор – типичные неметаллы. У мышьяка (As) еще проявляются неметаллические свойства. Элементы этой подгруппы образуют газообразные водородные соединения (гидриды) типа  $\text{ЭH}_3$ . Причина инертности молекулярного азота – крайне прочная ковалентная неполярная связь.

Следует отметить закономерность (хотя эту закономерность нельзя назвать для всех гидридов строгой): ковалентная, прочная связь неметаллов второго периода периодической системы, если смотреть по горизонтали таблицы (углерод, азот, кислород, фтор) с водородом проявляется у гидридов IVA подгруппы (метан и другие низшие гомологи углеводородов), у гидридов VA подгруппы (вода, сероводород) и у гидридов VIIA подгруппы (галогеноводороды). Здесь связь между водородом и элементом (металлом, неметаллом) является ковалентной, прочной. Пожаровзрывоопасность этих веществ (гидриды углерода, серы, фтора и др.) является следствием относительной стабильности молекул соединений. Например, галогеноводороды, соединения галогенов с водородом ( $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ) VIIA подгруппы – негорючие вещества [3].

### Заключение

Выполнен анализ взаимосвязи химического строения гидридов металлов (неметаллов) I–VII подгрупп периодической системы Д.И. Менделеева и их пожаровзрывоопасных свойств. В зависимости от вида связи между атомами различают несколько типов гидридов: ионные, ковалентные, металлические и комплексные.

Ионные гидриды IA и IIA подгруппы щелочных и щелочноземельных металлов – термически неустойчивы, обладают высокой химической активностью, являются сильными восстановителями. Отдавая валентный электрон внешнего уровня, атомы щелочных металлов превращаются в однозарядные катионы, имеющие устойчивую конфигурацию инертного газа.

Гидриды IIIA подгруппы ковалентно-полярные, имеют полимерное строение, например, бораны (гидриды бора), диборан  $\text{B}_2\text{H}_6$  – горючий газ, пентаборан  $\text{B}_5\text{H}_9$  – горючая жидкость. В силу полярности и низкой устойчивости молекул, в которых связь между водородом и неметаллом осуществляется водородными «мостиками», гидриды IIIA подгруппы проявляют высокую реакционную способность, что отражается на их пожаровзрывоопасности (широкий концентрационный диапазон распространения пламени, низкие температуры самовоспламенения). Близкими по физико-химическим и пожаровзрывоопасным

свойствам к гидридам IIIA подгруппы являются газообразные горючие гидриды IVA подгруппы (моносилан  $\text{SiH}_4$ , моногерман  $\text{GeH}_4$ ). Они также ковалентно-полярные, имеют молекулярную структуру с высокой реакционной способностью, о чем свидетельствуют и показатели их пожаровзрывоопасности.

VA подгруппа гидридов неметаллов характеризуется тем, что при переходе от гидридов азота (N) к гидридам висмута (Bi) радиус атома закономерно возрастает, поскольку с увеличением размеров атомов уменьшается энергия ионизации. Это значит, что связь электронов наружного энергетического уровня с ядром у атомов ослабевает, что приводит к ослаблению неметаллических и к усилению металлических свойств в ряду от азота к висмуту. Причина инертности молекулярного азота – крайне прочная ковалентная неполярная связь.

На основании выполненного анализа взаимосвязи строения гидридов и их пожаровзрывоопасности можно проследить такую закономерность: чем прочнее связь (например, крайне прочной является ковалентная неполярная связь неметаллов с водородом второго периода периодической системы по горизонтали таблицы: углерод, азот, кислород, фтор), тем в большей степени снижаются пожароопасные свойства у гидридов IVA подгруппы (метан и другие низшие гомологи углеводородов), у гидридов VA подгруппы (аммиак), у гидридов VI подгруппы (вода) и у гидридов VIIA подгруппы (галоидоводороды). Это является следствием повышения относительной стабильности молекул соединений металла (неметалла) с водородом. Например, показатели пожаровзрывоопасности (пределы распространения пламени, температура самовоспламенения) низших гомологов углеводородов (метан, бутан и др.), аммиака существенно ниже по сравнению с гидридами IIIA подгруппы, а галоидоводороды – соединения галоидов с водородом HF, HCl, HBr VIIA подгруппы – негорючие вещества.

Представленные в работе данные о взаимосвязи химического строения гидридов металлов (неметаллов) и их пожаровзрывоопасности позволяют на основании известных сведений о характере связи между элементом и водородом (ионная, ковалентная, металлическая, комплексная) прогнозировать уровень их пожаровзрывоопасности.

### Список литературы

1. Киреев В.А. Краткий курс физической химии. Москва: Химия, 1970. 640 с.
2. Баратов А.Н. Горение – пожар – взрыв – безопасность. Москва: ВНИИПО, 2003. 363 с.
3. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник; под ред. А.Н. Баратова, А.Я. Корольченко: в 2 кн. Москва: Химия. 1990.

**Статья поступила в редакцию 12.01.2026;  
одобрена после рецензирования 13.02.2026;  
принята к публикации 27.02.2026.**

**Вогман Леонид Петрович** – доктор технических наук, главный научный сотрудник. E-mail: 3.5.2@vniipo.ru; **Ильичев Александр Валерьевич** – начальник отдела. E-mail: od3.5@vniipo.ru.

Всероссийский ордена “Знак Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий

стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), г. Балашиха, Московская область, Россия.

**Leonid P. Vogman** – Doctor of Technical Sciences, Main Researcher. E-mail: 3.5.2@vniipo.ru; **Alexandr V. Ilyichev** – Head of Department. E-mail: od3.5@vniipo.ru.

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.