

Известия Балтийской государственной академии
рыбопромыслового флота. 2025. № 3(73). С. 221–226

Научная статья

УДК 378.147; 372.854

Doi:10.46845/2071-5331-2025-3-73-221-226

**Законы химии как связующее звено
между дисциплиной «Химия» и дисциплинами профессионального цикла**

Лариса Вадимовна Пустовик¹, Ирина Александровна Сарана²✉,

Алексей Николаевич Лунев³

^{1,2,3}Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации,
Пермь, Россия

¹pustovlarisa@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6092-3785>

²irinasarana@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-3945-2955>

³lex.lun@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4074-4448>

Аннотация. Рассматривается прием интеграции дисциплины «Химия» с дисциплинами профессионального цикла через изучение основных законов химии, таких как основной закон термодинамики, закон Авогадро и принцип Ле Шателье, и их применение в решении задач военно-прикладной направленности.

Ключевые слова: закон Гесса, закон Авогадро, принцип Ле Шателье, химия, дисциплины профессионального цикла, теплота образования, теплота сгорания, теплота взрыва, газообразные продукты взрыва.

Для цитирования: Пустовик Л. В., Сарана И. А., Лунев А. Н. Законы химии как связующее звено между дисциплиной «Химия» и дисциплинами профессионального цикла // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота. – 2025. – № 3(73). – С. 221–226.

Химия, как естественнонаучная фундаментальная дисциплина, играет важную роль в образовании, и ее задачи являются неотъемлемой частью учебного процесса. В военном институте дисциплина «Химия» реализуется в рамках базовой части основной профессиональной образовательной программы специалитета. На основных законах и понятиях химии базируются многие дисциплины профессиональной направленности [5].

Изучая фундаментальные понятия и законы химии, а также перечень свойств и особенностей разных веществ, курсанты должны понимать, для чего изучаемый материал им может понадобиться в дальнейшем обучении.

Как считает Усманова Р. Н.: «Изучение химии должно быть всесторонне развивающим для ученика: он должен не только просто «зубрить» теорию, но и приобретать навыки по работе с массивными объемами данных. Также здесь стоит учитывать, что он должен применять полученные знания в дальнейшей жизни» [6].

Гимашев В. И. в своей работе [2] отмечает, что «одним из приоритетных направлений осуществления междисциплинарных связей между различными циклами дисциплин в военно-учебном заведении является решение на учебных занятиях ... задач, имеющих военно-прикладной характер, соответствующий изучаемой специальности. Разработка методики решения задач с военно-прикладным содержанием является одним из аспектов реализации программы междисциплинарных связей между циклами дисциплин в военных вузах».

На практических и лабораторных занятиях по химии в военном институте необходимо внедрение в учебный процесс различных задач, в содержание которых желательно вводить военно-прикладную составляющую, что повышает интерес обучающихся к предмету.

Цель данной работы – показать роль и место химии в дисциплинах профессионального цикла через использование основных законов химии при решении задач, имеющих военно-прикладной характер.

В середине XIX века русский академик Г. И. Гесс, основываясь на первом законе термодинамики, предложил метод расчёта теплового эффекта химической реакции, согласно которому суммарный тепловой эффект некоторой последовательности реакции не зависит от пути превращения



исходных веществ в конечные продукты, а зависит только от начального и конечного состояний системы (рис. 1) [3, 4].



Рис. 1. Обобщенный химический процесс превращения реагентов в продукты реакции, который может быть осуществлен различными путями в одну или несколько стадий

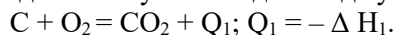
Согласно закону, из состояния H_1 в состояние H_2 можно перейти разными путями:

$$H_2 - H_1 = (H_4 - H_1) + (H_2 - H_4) = (H_3 - H_1) + (H_2 - H_3).$$

При этом результирующее изменение энтальпии системы все равно будет равно:

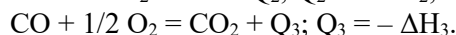
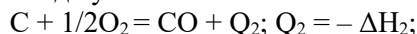
$$H_2 - H_1.$$

Например, сгорание графита можно провести двумя путями. Первый путь – прямое взаимодействие углерода с кислородом с получением диоксида углерода:



Тепловой эффект данной реакции равен ΔH_1 .

Второй путь – через промежуточное окисление графита до монооксида углерода (угарного газа) с дальнейшим окислением до углекислого газа:



Если просуммировать уравнения (2) и (3), и сравнить результат с уравнением (1), мы получим, что тепловой эффект реакций равен ΔH_1 .

$$\Delta H_2 + \Delta H_3 = \Delta H_1$$

Графически это можно представить следующей схемой (рис. 2).

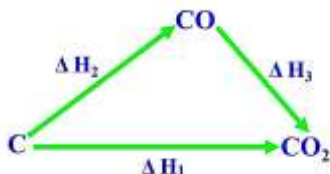
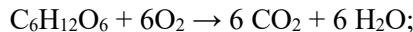


Рис. 2. Химический процесс превращения углерода в диоксид углерода различными путями

Согласно следствиям из закона Гесса, тепловой эффект химической реакции может быть вычислен как разность сумм теплот образования продуктов реакции и теплот образования реагентов, умноженных на стехиометрические коэффициенты ν .

$$\Delta H^0 = \sum \nu \Delta_f H^0_{\text{прод.}} - \sum \nu \Delta_f H^0_{\text{исх.}}$$

Например, в реакции окисления глюкозы:



$$\Delta H^0 = [6\Delta H^0_{\text{обр.}}(H_2O) + 6\Delta H^0_{\text{обр.}}(CO_2)] - \Delta H^0_{\text{обр.}}(C_6H_{12}O_6),$$

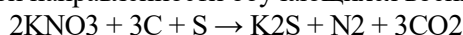
где $\Delta H^0_{\text{обр.}}(O_2) = 0$.

Но в реакциях горения всё иначе. Тепловой эффект химической реакции равен разности сумм теплот сгорания исходных веществ и продуктов реакции, умноженных на стехиометрические коэффициенты.

$$\Delta H^0 = \sum (\nu \Delta H^0_{\text{сгор.}})_{\text{исх.}} - \sum (\nu \Delta H^0_{\text{сгор.}})_{\text{прод.}}$$

Как известно, теплотой сгорания называют тепловой эффект реакции окисления данного соединения в кислороде с образованием высших устойчивых оксидов соответствующих элементов или соединений этих элементов.

И рассмотреть вычисление теплоты сгорания на примере реакции горения черного пороха, что ближе к прикладной направленности обучающихся военного вуза:



$$\Delta H^0 = \sum[(2\Delta H^0_{\text{сгор.}}(\text{KNO}_3))] - \sum[(\Delta H^0_{\text{сгор.}}(\text{K}_2\text{S}) + 3\Delta H^0_{\text{сгор.}}(\text{CO}_2))],$$

где $\Delta H^0_{\text{сгор}}(\text{C}) = 0$, $\Delta H^0_{\text{сгор}}(\text{S}) = 0$, $\Delta H^0_{\text{сгор}}(\text{N}_2) = 0$.

Стоит указать курсантам, что при горении дымного пороха кислород, необходимый для горения, поставляется калиевой селитрой, так как по природе реакция взрыва представляет собой реакцию внутримолекулярного горения (окисления) [7].

Для лучшего усвоения закона Гесса и следствий из него, каждому курсанту на самостоятельную работу выдается расчетное задание (табл. 1), в котором в соответствии со следствием из закона Гесса (используя стандартные энтальпии образования при 298 К), ему необходимо вычислить значение ΔH^0_{298} химической реакции, записать термохимическое уравнение и сделать вывод, экзотермическими или эндотермическими она является.

Таблица 1

Задание на самостоятельную работу по теме «Энергетика химических процессов»

№ варианта	Уравнение реакции
1	$4\text{NH}_3(\text{г}) + 5\text{O}_2(\text{г}) = 6\text{H}_2\text{O}(\text{г}) + 4\text{NO}(\text{г})$
2	$\text{CaO}(\text{к}) + 3\text{C}(\text{графит}) = \text{CaC}_2(\text{к}) + \text{CO}(\text{г})$
3	$4\text{HCl}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{г}) + 2\text{Cl}_2(\text{г})$
4	$\text{Cr}_2\text{O}_3(\text{к}) + 2\text{Al}(\text{к}) = 2\text{Cr}(\text{к}) + \text{Al}_2\text{O}_3(\text{к})$
5	$\text{CaCO}_3(\text{к}) = \text{CaO}(\text{к}) + \text{CO}_2(\text{г})$
6	$\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{к}) + \text{H}_2(\text{г}) = 3\text{FeO}(\text{к}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г})$
7	$\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{к}) + \text{CO}_2(\text{г}) = \text{CaCO}_3(\text{к}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г})$
8	$2\text{CO}(\text{г}) + \text{SO}_2(\text{г}) = \text{S}(\text{к}) + 2\text{CO}_2(\text{г})$
9	$2\text{H}_2\text{S}(\text{г}) + 3\text{O}_2(\text{г}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{г}) + 2\text{SO}_2(\text{г})$
10	$4\text{NH}_3(\text{г}) + 3\text{O}_2(\text{г}) = 2\text{N}_2(\text{г}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{г})$
...	

При решении подобных заданий нарабатывается навык применения следствий из закона Гесса в решении прикладных задач по химии. Но, далее, на специальных дисциплинах, таких как «Основы баллистики и аэродинамики», «Взрывчатые вещества и боеприпасы», приобретенные навыки будут успешно применяться для решения военно-прикладных задач.

Но уже на занятиях по химии показать, что применительно к реакциям взрыва закон Г. И. Гесса формулируется так: количество теплоты, выделяющейся при взрыве, равно суммарной молярной теплоте образования продуктов взрыва за вычетом молярной теплоты образования самого взрывчатого вещества (ВВ) [3]:

$$Q_T = Q_{\text{ПВ}} - Q_{\text{ВВ}},$$

где Q_T – молярная теплота взрыва 1 кмоль ВВ, которая выделяется после расширения продуктов взрыва до нормального давления (101325 Па) и температуры 288 К, кДж/кмоль;

$Q_{\text{ПВ}}$ – молярная теплота образования продуктов взрыва 1 кмоль ВВ, кДж/кмоль;

$Q_{\text{ВВ}}$ – молярная теплота образования 1 кмоль ВВ, кДж/кмоль.

Для порохов, ВВ важной характеристикой является теплота горения или взрыва. Теплотой горения или взрыва называют то количество тепла, которое выделяется при горении или взрыве одного моля пороха или другого ВВ за счет собственного кислорода.

Теплота сгорания в большинстве случаев больше теплоты горения или взрыва, так как кислорода, который находится в молекулах пороха или другого ВВ, недостаточно для полного окисления его компонентов.

Указать, что в применении к термохимии взрывчатых веществ закон Гесса записывается в следующем виде [1]:

$$Q_{1-2} + Q_{2-3} = Q_{1-3}$$

Индексы 1, 2 и 3 обозначают соответственно три состояния:

1 – начальное, 2 – промежуточное, 3 – конечное;

Q_{1-2} – теплота, выделяющаяся или поглощающаяся при переходе из состояния 1 в состояние 2;



Q_{2-3} – теплота перехода от состояния 2 к состоянию 3;

Q_{1-3} – теплота перехода из состояния 1 непосредственно в состояние 3.

В зависимости от того, какие термодинамические характеристики ВВ (теплота образования, теплота сгорания, теплота взрывного превращения, тепловой эффект реакции получения ВВ и др.) известны, а какие требуется рассчитать, возможны разные варианты расчетов.

Одним из вариантов расчетов является теплота взрыва, причем исходными данными служат теплота образования ВВ и уравнение взрыва.

Для этого случая применим следующие обозначения в уравнении (4):

Состояние 1 – элементы в стандартных условиях.

Состояние 2 – ВВ при стандартных условиях.

Состояние 3 – продукты взрыва при тех же условиях.

Тогда Q_{1-2} – теплота образования взрывчатого вещества из элементов;

Q_{2-3} – теплота взрыва;

Q_{1-3} – теплота образования продуктов взрыва из элементов.

Из уравнения (4)

$$Q_{2-3} = Q_{1-3} - Q_{1-2}$$

Теплоты образования основных взрывчатых соединений, компонентов взрывчатых смесей и продуктов взрыва приведены в таблице 2 [3].

Таблица 2

Теплота образования некоторых ВВ и продуктов взрыва

Вещество	Теплота образования в ккал/моль при 18°C и постоянном давлении	Вещество	Теплота образования в ккал/моль при 18°C и постоянном давлении
Тротил	17,5	Клетчатка	230,3
Нитроклетчатка (12,00 %N) ¹	683,3	Вода(газ)	57,78
Нитроглицерин	88,63	Вода (жидкая)	68,37
Диглицольдинитрат	104,2	Двуокись углерода	94,51
Тэн	129,37	Окись углерода	26,88
Гексоген	– 15,64	Окись азота	– 21,6
Динитронафталин (1,5)	– 3,6	Метан	18,3
Аммиачная селитра	87,36	Окись алюминия	399

¹ – В ккал/кг

В качестве примера привести расчёт теплоты взрыва аммотола 80/20, уравнение взрыва которого имеет вид [1]:



Теплота образования из элементов веществ, стоящих в левой части уравнения, составляет:

$$Q_{1-2} = 11,35 \cdot 87,36 + 17,5 = 1009,04 \text{ ккал},$$

где 87,36 ккал/моль – теплота образования аммиачной селитры,

ккал/моль – теплота образования тротила.

Теплота образования продуктов взрыва из элементов

$$Q_{1-3} = 7 \cdot 94,51 + 25,2 \cdot 57,78 = 2117,64 \text{ ккал},$$

где 94,51 и 57,78 – соответственно теплоты образования 1 г-моль углекислоты и газообразной воды из элементов;

$$Q_{2-3} = Q_{1-3} - Q_{1-2} = 2117,64 - 1009,04 = 1108,60 \text{ ккал}.$$

Разъяснить, что, полученная величина представляет собой теплоту взрыва при постоянном давлении, т. е. при таком объеме газообразных продуктов взрыва, который они занимают при стандартных условиях (18 °С и 760 мм рт. ст.). Эту величину обозначают Q_p . Если реакция взрывного превращения, например при детонации, успевает завершиться до того, как продукты ее существенно расширятся, то считают, что реакция происходит без изменения объема, т. е. продукты взрыва по окончании реакции занимают тот объем, который имело исходное ВВ. Теплоту реакции при постоянном объеме обозначают Q_v . Нетрудно видеть, что $Q_p < Q_v$, так как в последнем случае не затрачивается часть энергии на работу расширения газов от объема ВВ, соответствующего атмосферному давлению и данной температуре (18 °С), т. е. до 23,9 л на каждый моль газов [1].

Помимо закона Гесса, применяются и другие законы химии для расчета количества (объемов) продуктов взрыва, для оценки смещения равновесия в реакциях горения и взрывчатого превращения.

Так, используя закон Авогадро, согласно которому объем, занимаемый одним молем газа при температуре 0 °С и давлении $1,01 \cdot 10^5$ Па, равен 22,4 л, можно определить объем газообразных продуктов взрыва (ГПВ):

$$V_{\text{ПВ}} = \frac{22,4 \cdot (n_1 + n_2 + \dots + n_n)}{M_{\text{ВВ}}}, \frac{\text{м}^3}{\text{кг}},$$

где $M_{\text{ВВ}}$ – молекулярная масса ВВ, г/моль.

При составлении реакции взрывного превращения для 1 кг ВВ расчет объема ГПВ (в $\text{м}^3/\text{кг}$) осуществляется по формуле:

$$V_{\text{ПВ}} = \frac{22,4 \cdot (n_1 + n_2 + \dots + n_n)}{1000}, \frac{\text{м}^3}{\text{кг}},$$

где $n_1, n_2, \dots$ – количество грамм-молекул газообразных ПВ.

Показать на примере реакции взрыва нитроглицерина определение объема ГПВ, молекулярная масса которого 227 г/моль (с положительным кислородным балансом).

$$\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3 = 3\text{CO}_2 + 2,5\text{H}_2\text{O} + 1,5\text{N}_2 + 0,25\text{O}_2$$

$$V_{\text{ПВ}} = \frac{22,4 \cdot (3 + 2,5 + 1,5 + 0,25)}{227} = 0,716 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}.$$

ГПВ играют роль рабочего тела. Их количество и состав существенно изменяются даже для одного и того же ВВ, что объясняется существенным влиянием начальных условий и способа возбуждения взрыва, которые определяют вид реакции взрывчатого превращения [7].

Оценить смещение равновесия в реакциях горения и взрывчатого превращения можно по принципу Ле Шателье, изучаемому в курсе химии. Как отмечено авторами в работе [7], при взрыве количественный и качественный состав ГПВ будет существенно отличаться от состава газов, образующихся при сгорании ВВ. Это объясняется тем, что при взрыве возникают значительно более высокие давления, под влиянием которых, согласно принципу Ле Шателье, происходит смещение равновесия между продуктами реакции в сторону уменьшения их объема. Это значит, что в начальной стадии взрыва будут преобладать продукты вида $\text{CO}_2 + \text{C}$, которые по сравнению с 2CO занимают меньший объем.

В дальнейшем, по мере развития процесса взрыва, состав газообразных продуктов будет изменяться. Так как характер протекания процесса взрыва зависит от различных факторов (плотности заряда, способа возбуждения взрыва, начальных условий разлета продуктов взрыва и др.), то в каждом конкретном случае будут образовываться ГПВ различного состава и объема.

Объем газообразных продуктов взрыва и их состав могут быть определены приближенно, но решение этой задачи представляет большой практический интерес. Зная приблизительно состав ГПВ, можно оценить степень их химической активности и вредного влияния на объекты техники или людей, например, при взрывах [7].

Таким образом, стоит отметить, что без знаний и навыков, приобретенных при изучении основного закона термодинамики, закона Авогадро и принципа Ле Шателье, разобраться во всех вопросах вычислений теплоты взрывов и теплоты сгорания, кинетикой разложения ВВ, будет сложно.

Следовательно, при изучении тем «Динамика химических реакций и равновесие», «Энергетика химических процессов» в курсе дисциплины «Химия», необходимо приводить конкретные примеры использования основных законов химии в решении военно-прикладных задач, постоянно подчеркивать важность изучаемых тем, увязывая их с военно-специальными дисциплинами. Например, на факультете артиллерийского вооружения – это дисциплины «Основы баллистики и аэродинамики», «Взрывчатые вещества и боеприпасы».

Все полученные знания специалисты-оружейники будут использовать при решении задач военно-прикладной направленности. Тем самым, подчеркивается взаимосвязь с дисциплинами профессионального цикла, повышается заинтересованность курсантов в изучении дисциплины «Химия», происходит активизация процесса обучения.



Список источников

1. Андреев, К. К., Беляев, А. Ф. Теория взрывчатых веществ. – Москва : Оборонгиз, 1960. – 597 с.
2. Гимашев, В. И. Особенности преподавания физики в системе подготовки военных специалистов технического профиля войск национальной гвардии Российской Федерации // Альманах Пермского военного института войск национальной гвардии. Серия: педагогика : научный журнал; Пермский военный институт войск национальной гвардии // Научно-исследовательский и редакционно-издательский отдел. – Пермь : ПВИ войск национальной гвардии, 2023. – № 1(9). – 143 с.
3. Гуляев, И. Ю., Пустовик, Л. В., Сарана, И. А. Определение объемов газов и теплоты взрыва взрывчатых веществ // Инновационные методы в преподавании естественных дисциплин в военном высшем учебном заведении : сборник статей межвузовской научно-практической конференции. – Пермь, 2021. – 179 с. – С. 33–39.
4. Производство и эксплуатация порохов и взрывчатых веществ : учебник / В. К. Марьин, Н. М. Боклашов, Б. Г. Романенко и др. – Пенза : ПАИИ, 2005. – 350 с.
5. Пустовик, Л. В., Сарана, И. А., Лунев, А. Н. Интеграция дисциплины «Химия» с дисциплинами профессионального цикла // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота : психолого-педагогические науки. – Калининград : Издательство БГАРФ, 2021. – № 2(56). – С. 209–216.
6. Усманова, Р. Н. Совершенствование методики решения задач по химии / Р. Н. Усманова // Молодой ученый. – 2019. – № 52(290). – С. 280–282. – URL: <https://moluch.ru/archive/290/65773/> (дата обращения: 24.02.2025).
7. Хорев, А. Б., Черноземцев, А. В. Расчет удельного объема газообразных продуктов взрыва // Современные проблемы студенческого образования : сборник статей межвузовской научно-практической конференции / под общ. ред. С. Г. Карнишина. – Пермь : ПВИ войск национальной гвардии, 2018. – 111 с. – С. 93.

Информация об авторах

Л. В. Пустовик – кандидат химических наук, доцент;
И. А. Сарана;
А. Н. Лунев – доцент.

Статья поступила в редакцию 03.06.2025; одобрена после рецензирования 04.07.2025; принята к публикации 11.07.2025.