

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ СМЕСИ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

Аннотация. На основе исследований в электрических цепях делается предположение, что запись закона сохранения энергии идеальных газов должна содержать коэффициент взаимосвязи от конфигурации взаимодействующих объемов. Приводится вывод выражения для коэффициента взаимосвязи и численный пример, доказывающий выдвинутое предположение.

Т.А. Kuliev, M.G. Kelova

Turkmen State Architecture and Construction Institute
Ashgabat, Turkmenistan

LAW OF CONSERVATION OF ENERGY OF A MIXTURE OF IDEAL GASES

Abstract. Based on research in electrical circuits, it is assumed that the record of the law of conservation of energy for ideal gases should contain a coefficient of interaction from the configuration of interacting volumes. The derivation of the expression for the relationship coefficient and a numerical example proving the assumption are given.

При исследовании электрических цепей с реактивными элементами (конденсаторы и индуктивные катушки) было установлено, что при изменении конфигурации электрической цепи (например, последовательное или параллельное соединение) в запись законов сохранения необходимо вводить коэффициент электрической взаимосвязи [1].

Например, закон сохранения магнитных потоков должен выглядеть для двух индуктивных катушек в таком виде

$$I_1 \cdot L_1 + I_2 \cdot L_2 = K_L \cdot I \cdot L \quad (1)$$

Закон сохранения зарядов для двух конденсаторов – в таком виде

$$C_1 \cdot U_1 + C_2 \cdot U_2 = K_C \cdot C \cdot U \quad (2)$$

где K_L и K_C – коэффициенты электрической взаимосвязи; L_1, L_2, C_1, C_2 – индуктивности катушек и емкости конденсаторов; L и C –

индуктивность и емкость в результате соединения индуктивных катушек и конденсаторов; I_1, I_2, U_1, U_2 – токи и напряжения на индуктивных катушках и конденсаторах; I и U – ток и напряжение после соединения индуктивных катушек, конденсаторов.

При этом в записях законов сохранения можно выделить следующие элементы: постоянный параметр; параметр, характеризующий воздействие на систему; параметр, характеризующий реакцию на воздействие; параметр, характеризующий результат воздействия.

В законе сохранения энергии идеальных газов, для смеси двух газов должен также присутствовать коэффициент взаимосвязи газов K_V

$$P_1 \cdot V_1 + P_2 \cdot V_2 = K_V \cdot P \cdot U \quad (3)$$

Для газовых законов постоянным параметром является объем – V , температура T – параметр воздействия на систему, давление P – параметр реакции на воздействие, энергия газа $W=P \cdot V$ – результат воздействия.

По результатам воздействия законы сохранения носят то или иное название: закон сохранения магнитных потоков $\Phi= I \cdot L$; закон сохранения зарядов $q=C \cdot U$; закон сохранения энергии идеальных газов $W=P \cdot V$.

Экспериментально установлено, что коэффициенты взаимосвязи равны единице, если при изменении конфигурации системы постоянный параметр меняется в виде суммы постоянных параметров исходных элементов [2], то есть

$$V = V_1 + V_2; L= L_1 + L_2; C= C_1+ C_2 \quad (4)$$

Если при изменении конфигурации системы постоянный параметр меняется в виде

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2}; \quad \frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}; \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}; \quad (5)$$

то коэффициент взаимосвязи намного больше единицы. Выясним, что представляет собой коэффициент взаимосвязи для газовой смеси идеальных газов K_V .

Для простоты рассмотрим два объема идеальных газов, для которых энергетические состояния при $T=const$ будут определяться по уравнению Менделеево-Клапейрона

$$P_1 V_1 = \frac{m_1}{\mu_1} RT, \quad P_2 V_2 = \frac{m_2}{\mu_2} RT \quad (6),$$

где m_1 и m_2 – массы газов, кг

μ_1, μ_2 – молярные массы газов, кг/моль

$R=8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ – универсальная газовая постоянная,

T – постоянная температура, К

Отсюда имеем

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 = \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} RT \quad (7),$$

Для смеси газов

$$PV = \frac{m_1 + m_2}{\mu_{\text{см}}} RT \quad (8),$$

где $\mu_{\text{см}}$ – молярная масса смеси газов.

После преобразования, имеем

$$\frac{P_1 V_1 + P_2 V_2}{PV} = \frac{\frac{m_1 + m_2}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}}{\frac{m}{\mu_{\text{см}}}} RT, \quad P_1 V_1 + P_2 V_2 = PV \cdot \left(\frac{\frac{m_1 + m_2}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}}{\frac{m}{\mu_{\text{см}}}} \right)$$

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 = K_V \cdot P \cdot V \quad (9),$$

где $K_V = \frac{\frac{m_1 + m_2}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}}{\frac{m}{\mu_{\text{см}}}}$ – коэффициент взаимосвязи газов

В случае равенства молярных масс газов $\mu_1 = \mu_2 = \mu_{\text{см}}$ коэффициент взаимосвязи газов равен единице $K_V = 1$.

В случае неравенства молярных масс $\mu_{\text{см}} = \frac{m}{\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}}$ и K_V тоже равен единице.

Таким образом для данной конфигурации газов, когда $V = V_1 + V_2$, коэффициент взаимосвязи газов равен единице $K_V = 1$, поэтому закон сохранения для идеальных газов выглядит так

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 = P \cdot V \quad (10),$$

В данном случае справедливы законы Дальтона и Амага [3, 4]

$$P = \frac{P_1 V_1}{V} + \frac{P_2 V_2}{V} = P' + P'' \text{ – закон Дальтона} \quad (11),$$

$$V = \frac{P_1 V_1}{P} + \frac{P_2 V_2}{P} = V' + V'' \text{ – закон Амага} \quad (12),$$

где P', P'', V', V'' – парциальные составляющие давления и объема.

Закон Дальтона и Амага являются проявлениями принципа парциальных составляющих [5] для физических линейных систем.

Можно рассмотреть численный пример, подтверждающий, что при конфигурации постоянного параметра $V = V_1 + V_2$ коэффициент взаимосвязи $K_V = 1$ и выполняются законы Дальтона и Амага.

Пусть даны следующие параметры объединяемых газов:

He – гелий	Ne – неон	
$P_i = 40 \cdot 10^2 \text{ Па}$	$P_2 = 10 \cdot 10^2 \text{ Па}$	$T = 280 \text{ К}$
$V_i = 1,0 \text{ л} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	$V_i = 3 \text{ л} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	
$R = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$		
$\mu_i = \mu_{\text{He}} = 4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	$\mu_i = \mu_{\text{Ne}} = 20 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	

Найдем массы газов из выражений

$$P_1 V_1 = \frac{m_1}{\mu_1} RT, \quad P_2 V_2 = \frac{m_2}{\mu_2} RT$$

$$m_{\text{He}} = m_1 = \frac{P_1 V_1 \mu_1}{RT} = \frac{40 \cdot 10^2 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{8,314 \cdot 280} = 6,87 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$$

$$m_{\text{Ne}} = m_2 = \frac{P_2 V_2 \mu_2}{RT} = \frac{10 \cdot 10^2 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{8,314 \cdot 280} = 25,8 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$$

Молярная масса смеси газов равна

$$\mu_{\text{см}} = \frac{m}{\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}} = \frac{(6,87 + 25,8) \cdot 10^{-6}}{\frac{6,87 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-3}} + \frac{25,8 \cdot 10^{-6}}{20 \cdot 10^{-3}}} = 10,85 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

Коэффициент взаимосвязи газов равен

$$K_V = \frac{\frac{6,87 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-3}} + \frac{25,8 \cdot 10^{-6}}{20 \cdot 10^{-3}}}{\frac{32,67 \cdot 10^{-6}}{10,85 \cdot 10^{-3}}} = 0,9996 \cong 1$$

Проверим выполнение законов Дальтона и Амага

$$P = \frac{P_1 V_1}{V} + \frac{P_2 V_2}{V} = \frac{40 \cdot 10^2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} + \frac{10 \cdot 10^2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}} = 1000 + 750 = 1750 \text{ Па}$$

$$V = \frac{P_1 V_1}{P} + \frac{P_2 V_2}{P} = \frac{40 \cdot 10^2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{1750} + \frac{10 \cdot 10^2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{1750} = 2,286 \cdot 10^{-3} + 1,714 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 = P \cdot V \quad 4+3=1750 \cdot 4 \cdot 10^{-3}=7$$

Список использованных источников

1. Т. Kuliýew, А. Çoşşiyewa. Üýtgeýän toguň elektrik zynjyrlarynda magnit meýdanynyň akymilişmesiniň saklanmak kanuny. Garaşsyzlyk ýyllarynda gurluşyk senagat pudagyň ylmy-innowasion özgerişleri. Makalalar ýygındysy (TDBGI-niň ylmy işleri, 2-nji goýberiliş). – Aşgabat: Ýlym, 2021. – 352 sah.
2. Т. Kuliýew, Ý. Tyllanurow. Üýtgeýän toguň elektrik baglanyşkly ulgamlarynda energiýanyň saklanmak kanunlary. Berkarar döwletiň täze eýýamynyň Galkynyşy döwrüniň ylmy gadamlary (makalalar ýygındysy). – А.: Ýlym, 2022. – 400 sah.
3. Казин В.Н. Курс физической химии. – Ярославль; ЯРГУ, 2011. – 236 с.
4. Цивилев Р.П. Введение в физическую химию газов и жидкостей. – Ухта.: УГТУ, 2004. – 72 с.
5. Т. Kuliýew, А. Çoşşiyewa. Fiziki hadysalarda parsional düzüljileriň prinsipi. Berkarar döwletiň täze eýýamynyň Galkynyşy döwrüniň ylmy gadamlary (makalalar ýygındysy). – А.: Ýlym, 2022. – 400 sah.

UDC 66.021.3

R.I. Lankin, V.S. Frantskevich
Belarussian State Technological University
Minsk, Belarus

RESEARCH OF MASS TRANSFER APPARATUS WITH A MOVABLE PACKING

Abstract. In the chemical industry, petrochemical, construction, metallurgical, mining and chemical and other industries, packed and plate columns are used for the mass transfer process.