

**В.В. ДУЩЕНКО**, д-р техн. наук, НТУ “ХПІ”,  
**О.М. КОЦ**, магістр, НТУ “ХПІ”

## **ДО ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕФЕКТУ АДСОРБЦІЇ У СИСТЕМАХ РЕГУЛЮВАННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПІДРЕСОРЕНОГО КОРПУСУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

Выбраны характеристики системы адсорбент – адсорбат, а также определены количества поглощающего и поглощаемого веществ, обеспечивающие использования эффекта адсорбции в системах регулирования положения подрессоренного корпуса транспортных средств.

Characteristics of system adsorbent – adsorbate are chosen, and also the amounts of absorbing and absorbed substances providing uses of effect of adsorption in systems of regulation of position the case of vehicles are determined.

**Постановка проблеми.** Системи регулювання положення підресореного корпусу (СРПК) транспортних засобів (ТЗ) дозволяють підвищити їх експлуатаційні можливості та якість підресорювання. Однак, існуючі типи СРПК не отримують широкого розповсюдження, бо суттєво ускладнюють конструкцію підвіски, збільшують її вагу та габарити, а також зменшують надійність і погіршують ремонтпридатність.

**Аналіз останніх публікацій.** На сьогоднішній день, існує велика кількість різноманітних СРПК, як у вигляді патентів, так і у вигляді серійних зразків, що встановлюються на ТЗ різного призначення. Найбільш поширеними є пневматичні, гідравлічні та електромеханічні СРПК. Опис та конструкції деяких з них представлено у роботах [1,2]. У роботі [3] показано, що одним з перспективних напрямків розвитку пружних елементів ТЗ є використання в їх конструкції ефекту адсорбції. У патенті [4] дано опис регульованої пневматичної ресори та пристрою для її регулювання, що містить резервуар, у якому розміщені речовина, що поглинає і речовина, яку поглинають.

**Мета досліджень** – визначити основні характеристики процесу адсорбції та провести розрахунок необхідної кількості речовини, що поглинає і речовини, яку поглинають, для випадку використанні ефекту адсорбції у СРПК ТЗ з метою усунення недоліків традиційних конструкцій.

### Опис, умови існування та галузі застосування ефекту адсорбції.

Адсорбцією називається процес зміни концентрації речовини біля поверхні розділу фаз у порівнянні з об’ємною фазою. В процесі адсорбції беруть участь, як мінімум, дві речовини – адсорбент і адсорбтив. Адсорбент – це тіло, на поверхні або в об’ємі якого відбувається концентрація речовини, що поглинається. Адсорбтив – речовина, що поглинається в процесі адсорбції, яка знаходиться в газовій або рідкій об’ємній фазі (після

поглинання – адсорбат). Процес збільшення концентрації речовини у приповерхневому шарі називається сорбцією, а зменшення концентрації – десорбцією. Дані процеси можуть виникати в разі дії різноманітних чинників. Це зміна температури, опромінення, вплив електричного поля та ін.

В залежності від сил, які обумовлюють адсорбцію, всі адсорбційні явища розділяються на дві основні групи: фізичну адсорбцію і хімічну адсорбцію, або хемосорбцію.

Фізична адсорбція викликана Ван-дер-Ваальсовими силами взаємодії між молекулами адсорбенту і адсорбату. Ці сили незначні, тому теплота фізичної адсорбції складає 10...40 кДж/моль. Фізична адсорбція не потребує енергії активації.

Хімічна адсорбція виникає внаслідок хімічного зв'язку між адсорбентом і адсорбатом. Теплота хемосорбції становить 100...400 кДж/моль, а сам процес хемосорбції має активаційний характер.

Фізична адсорбція майже завжди має зворотній ефект у відношенні до зміни тиску і температури, хімічна адсорбція часто незворотна.

В залежності від чинників, які зумовлюють процеси сорбції і десорбції, існують такі види адсорбції, як фотоадсорбція (залежність процесу від освітлення, у багатьох випадках має неповний зворотній ефект) і термоадсорбція (залежність процесу від температури, має зворотній ефект).

Основною умовою існування процесу термоадсорбції є зміна температури системи адсорбент – адсорбат. Також, цей ефект може виникати під час зміни тиску в даній системі.

Робочими параметрами процесу адсорбції є температура, тиск і величина адсорбції. Діапазон температур є достатньо широким, нижня межа – температура кристалізації адсорбату, верхня – межа стійкості адсорбенту. Тиск при цьому може змінюватись від вакууму до десятків мПа. Величина адсорбції також залежить від матеріалів системи адсорбент – адсорбат.

На явищі адсорбції заснована велика кількість методів очистки від шкідливих домішок повітря, води та продуктів у харчовій промисловості, а також відпрацьованих мастильних матеріалів [5].

Опис принципу дії СРПК ТЗ на основі застосування ефекту адсорбції.

Як відомо, у гідравлічних і пневматичних СРПК зміна положення підресованого корпусу ТЗ відбувається шляхом або зміни кількості робочої рідини у гідравлічних порожнинах пневмогідравлічних ресор (ПГР), або зміни кількості повітря у гумовокордних пневмобалонах. Це потребує наявності насосів, баків, розподілювачів, дозаторів, компресорів, ресиверів, регуляторів, трубопроводів та ін., що призводить до суттєвого ускладнення конструкції, збільшення габаритів і ваги та зниження надійності. Для усунення даних недоліків пропонується використати ефект адсорбції, коли зміна кількості робочого тіла у ПГР та

тиску у ній, а, відповідно, і регулювання положення підресореного корпусу, відбувається за рахунок процесів сорбції – десорбції у системі адсорбент – адсорбат.

Вибір системи адсорбент – адсорбат для застосування у СРПК ТЗ.

В зв'язку з тим, що у даному випадку, фізичний ефект має бути зворотнім, для подальших досліджень оберемо ефект термоадсорбції (різновид фізичної адсорбції). Крім того, у порівнянні з іншими, цей ефект більш вивчений та у ньому використовуються більш доступніші матеріали.

Для забезпечення високої ефективності, необхідно обрати таку систему адсорбент – адсорбат, яка б забезпечувала найбільшу різницю адсорбції газу при заданій зміні температури. Це пояснюється тим, що при значних величинах різниці адсорбції газу, маса адсорбенту, який потрібен для поглинання встановленої кількості газу  $\Delta n$ , менша, а це у свою чергу вплине на об'єм, який займатиме адсорбент та на розміри самого адсорбера.

Величина адсорбції визначається за формулою:

$$a = \frac{n}{m},$$

де  $a$  – величина адсорбції, що залежить від температури і тиску;  $n$  – кількість речовини, що поглинається адсорбентом при заданих умовах;  $m$  – маса адсорбенту.

Якщо задатися величиною тиску  $P = const$ , то кількість речовини і величина адсорбції залежатимуть від температури  $T$ . При температурі  $T_1$ , яка відповідає максимальному кліренсу, величина адсорбції і кількість газу, що поглинається, будуть мати значення  $a_1, n_1$ , а при температурі  $T_2$  (мінімальний кліренс машини) –  $a_2$  і  $n_2$ .

Відповідно:

$$a_1 - a_2 = \frac{n_1 - n_2}{m}, \quad \Delta a = \frac{\Delta n}{m},$$

де  $\Delta a$  – значення різниці адсорбції.

Величини  $a_1$  і  $a_2$  можна визначити з графіків ізотерм адсорбції газу на відповідному адсорбенті. Для попередніх розрахунків візьмемо температури  $T_1 = 100^\circ\text{C}$  та  $T_2 = 50^\circ\text{C}$ , тиск газу у робочому циліндрі ПГР при статичному положенні ТЗ  $P = 6,36$  мПа та об'єм даного циліндра, що відповідає максимальному кліренсу,  $V_1 = 1317 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ . При цьому величина кліренсу повинна змінюватися у межах 0,2...0,6м.

Одним з параметрів, по якому обирається система адсорбент – адсорбат є молярна теплота адсорбції. Для забезпечення найнижчих витрат енергії у

процесі сорбції – десорбції газу, цей параметр має бути якомога меншим. Аналіз молярної теплоти адсорбції адсорбційних систем показав, що одну з найнижчих значень теплоти адсорбції має метан (CH<sub>4</sub>) у випадку адсорбції на вуглецевих адсорбентах. Вона складає  $Q = 18,1$  кДж/моль [5]. У зв'язку з цим, оберемо за адсорбат метан, а в якості адсорбенту – один з вуглецевих адсорбентів.

У роботах [6] і [7] наведені графіки ізотерм адсорбції метану відповідно на мікропористих вуглецевих адсорбентах АУК і PAU-10. Визначимо по даним ізотермам (рис.1, рис.2) величини адсорбції для кожної з систем адсорбент – адсорбат та, за розрахованими показниками  $\Delta a$ , оберемо адсорбент і адсорбат.

З графіків адсорбції метану на вуглецевому адсорбенті АУК отримаємо:

$$\Delta a^{50+100^{\circ}\text{C}} = a^{50^{\circ}\text{C}} - a^{100^{\circ}\text{C}} = 7,85 - 6,315 = 1,535 \frac{\text{ММОЛЬ}}{\text{Г}}$$

Визначимо значення різниці адсорбції при зміні температури від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$ , що відповідає експлуатації ТЗ в умовах низьких температур.

$$\Delta a^{-50+100^{\circ}\text{C}} = a^{-50^{\circ}\text{C}} - a^{100^{\circ}\text{C}} = 11,8 - 6,315 = 5,485 \frac{\text{ММОЛЬ}}{\text{Г}}$$

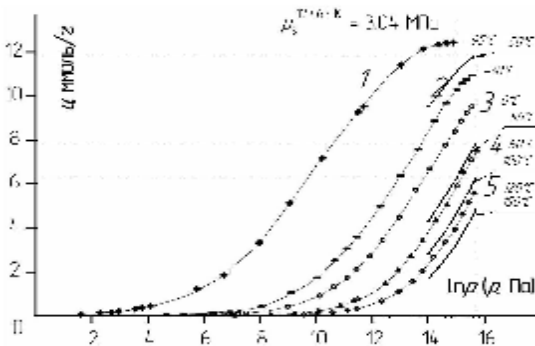


Рис.1. Ізотерми адсорбції метану на мікропористому вуглецевому адсорбенті АУК при температурах  $T$  [K]: 1–177,65<sup>0</sup>; 2–243,3<sup>0</sup>; 3–273,15<sup>0</sup>; 4–333<sup>0</sup>; 5–393<sup>0</sup>. Символи – експериментальні точки; лінії – згладжуючі криві

Аналогічно, з графіків адсорбції метану на вуглецевому адсорбенті PAU-10 отримуємо:

$$\Delta a^{50+100^{\circ}\text{C}} = a^{50^{\circ}\text{C}} - a^{100^{\circ}\text{C}} = 6,88 - 5,69 = 1,19 \frac{\text{ММОЛЬ}}{\text{Г}}$$

Визначимо значення різниці адсорбції при зміні температури від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$ :

$$\Delta a^{-50+100^{\circ}\text{C}} = a^{-50^{\circ}\text{C}} - a^{100^{\circ}\text{C}} = 9,5 - 5,69 = 3,81 \frac{\text{ММОЛЬ}}{\text{Г}}$$

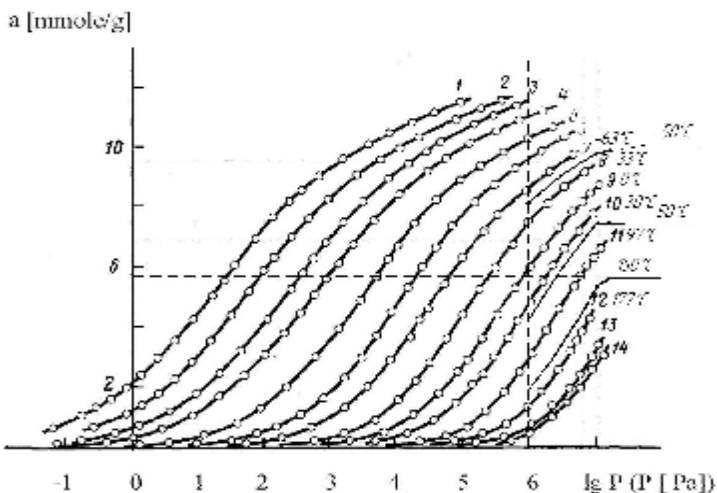


Рис.2. Ізотерми адсорбції метану на мікропористому вуглецевому адсорбенті PAU-10 при  $T$  [K]: 1 – 120<sup>0</sup>; 2 – 130<sup>0</sup>; 3 – 140<sup>0</sup>; 4 – 150<sup>0</sup>; 5 – 170<sup>0</sup>; 6 – 190<sup>0</sup>; 7 – 210<sup>0</sup>; 8 – 240<sup>0</sup>; 9 – 273<sup>0</sup>; 10 – 303<sup>0</sup>; 11 – 370<sup>0</sup>; 12 – 450<sup>0</sup>; 13 – 550<sup>0</sup>; 14 – 600<sup>0</sup>

За отриманими величинами різниці адсорбції оберемо адсорбент АУК, який має більші значення параметру  $\Delta a$ .

Визначимо кількість газу в молях, яку необхідно поглинути або виділити у робочому циліндрі ПГР для забезпечення зміни кліренсу ТЗ у заданих межах:

$$\Delta n = n_1 - n_2,$$

де  $n_1$  – кількість газу, що потрібна для забезпечення максимального кліренсу;

$n_2$  – кількість газу, що потрібна для забезпечення мінімального кліренсу;

Значення величин  $n_1$  і  $n_2$  можна знайти з рівнянь стану ідеального газу  $pV = nRT$  (рівняння Менделєєва – Клапейрона).

$$n_1 = \frac{p \cdot V_1}{RT} = \frac{6,36 \cdot 10^6 \cdot 1,317 \cdot 10^{-3}}{8314 \cdot 373} = 2,7 \text{ моля.}$$

Знайдемо об'єм газу у робочому циліндрі, що відповідає мінімальному кліренсу:  $V_2 = V_1 - \Delta V = l_{20} S_2 - \Delta l_2 S_2 = S_2 (l_{20} - \Delta l_2)$ ,

де:  $\Delta V$  – об'єм газу, який потрібно виділити або поглинути у робочому циліндрі для зміни кліренсу на величину  $\Delta h_{кл}$ ,  $S_2$  – площа поршня,  $\Delta l_2$  – хід поршня. Тоді:

$$n_2 = \frac{p \cdot (V_1 - \Delta V_2 S_2)}{RT} = \frac{6,36 \cdot 10^6 \cdot (1,317 \cdot 10^{-3} - 0,2 \cdot 2,055 \cdot 10^{-3})}{8314 \cdot 373} = 1,858 \text{ моля.}$$

Таким чином  $\Delta n = 2,7 - 1,858 = 0,842$  моля.

Визначимо необхідну масу адсорбенту в адсорбері для робочого інтервалу температур  $50^0 \dots 100^0 \text{C}$ :

$$m = \frac{\Delta n^{100^0 \text{C}}}{\Delta a^{50+100^0 \text{C}}} = \frac{842}{1,535} = 549 \text{ г.}$$

Розраховуємо кількість газу, яку може поглинути адсорбент масою 549г при охолодженні до температури  $-50^0 \text{C}$ .

$$\Delta n^{-50^0 \text{C}} = \Delta a^{-50+100^0 \text{C}} \cdot m = 5,485 \cdot 549 = 3011 \text{ ммоль} = 3,011 \text{ моль.}$$

Таким чином, при температурі  $-50^0 \text{C}$ , адсорбент масою 549г повністю поглине газ у робочому циліндрі ПГР. У зв'язку з цим, необхідно запобігти надмірному поглинанню газу адсорбентом. Для виконання цієї умови необхідно встановити клапан між ПГР і адсорбером, який би роз'єднував дані об'єми. Крім того, цей клапан буде виконувати функцію енергозбереження. Для забезпечення незмінної величини кліренсу необхідно підтримувати постійну температуру в адсорбері. Однак, якщо після отримання необхідної величини кліренсу, газовий об'єм ПГР від'єднати від адсорбера, то нагрівання адсорбенту у ньому можна буде припинити.

**Висновки.** Проведено вибір системи адсорбент–адсорбат для застосування у СРПК ТЗ на основі використання ефектів сорбції – десорбції. В якості речовин обрано метан та вуглецевий адсорбент АУК. Визначено кількість газу та маса адсорбенту, що необхідні для регулювання кліренсу ТЗ у межах  $0,2 \dots 0,6 \text{ м}$ .

**Список літератури:** 1. Акоюн Р.А. Пневматическое подрессоривание автотранспортных средств; ч.1 / Акоюн Р.А. – Львов: Вища школа, 1979. – 218 с. 2. Сига Х., Мидзутани С. Введение в автомобильную электронику / Х. Сига, С. Мидзутани; [пер. с японск. Л.А. Богданова, С.В. Богдасарова, Л.В. Поспелова]. – М.: Мир, 1989. – 232с. 3. Дущенко В.В. Вепольный анализ упругих элементов систем подрессоривания военных гусеничных и колесных машин / В.В. Дущенко // Механіка та машинобудування. – 2007. – №2. – С. 163–169. 4. Пат. 4477062 США, МКІ<sup>3</sup> F 16 F 9/46. Регулируемая пневморессора и устройство для ее регулирования / Maremont Согр; – № 342607 заявл. 25.01.82; опубл. 16.10.84, Том 1047, № 3. 5. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники / Кельцев Н.В. – М.: Химия, 1984. – 592 с. 6. Школин А.В. Асорбционно-стимулированная деформация микропористого углеродистого адсорбента с узким распределением пор по размерам при адсорбции углеводородов в широких интервалах давлений и температур / автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. хим. наук, М.: 2008. 7. Толмачев А.М. Термодинамика адсорбции газов, паров и растворов / уч.-метод. пособие, МГУ, 2008.

*Поступила в редакцию 29.09.2010.*