

УДК 629.1.032

Дущенко В.В., Мусницька І.В., Коц. О.М.

ПОПЕРЕДНІЙ РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПОЛОЖЕННЯ КОРПУСУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ЕФЕКТУ АДСОРБЦІЇ

Постановка проблеми. Існуючі гідравлічні, пневматичні та механічні системи регулювання положення корпусу (СРПК) транспортних засобів (ТЗ) мають певні недоліки, що стримують їх широке розповсюдження. Одним з перспективних напрямків розвитку СРПК є застосування в них ефекту адсорбції [1]. Однак, функціонування таких СРПК потребує певних витрат енергії, що призводить до необхідності проведення оцінки та аналізу їх енергоспоживання.

Аналіз останніх публікацій. У патенті [2] представлено пневмогідравлічну ресору (ПГР) та пристрій для її керування із використанням ефекту адсорбції. У роботі [3] розглянуто питання застосування ефекту адсорбції у СРПК ТЗ та проведено вибір системи адсорбент – адсорбат. В якості речовин обрано вуглецевий адсорбент АУК та метан. Визначено кількість газу та масу адсорбенту, які необхідні для регулювання кліренсу ТЗ, що розглядалося, у межах 0,2...0,6 м.

Ціль досліджень. На прикладі гусеничної машини вагою 8000 кг, яка має гідропневматичну підвіску, провести попередній розрахунок енергоспоживання СРПК на основі використання ефекту адсорбції, намалювати шляхи його зниження та сформулювати бажані характеристики системи адсорбент – адсорбат.

Підвіска ТЗ та СРПК, що розглядаються, мають у своєму складі одноступінчасту ПГР (рис. 1), у газовій порожнині якої (пневмоциліндрі), або поряд з нею (як у даному випадку, не показано), розташовано адсорбер, пов'язаний з даною порожниною. В адсорбері розміщено речовину, що поглинає (адсорбент) і речовину, яка поглинається (адсорбат). В процесі поглинання – виділення адсорбату (процеси сорбції – десорбції) відбувається регулювання об'єму пневмоциліндра та тиску у ньому, що призводить до регулювання кліренсу ТЗ. Процес поглинання – виділення адсорбату відбувається під дією зміни температури системи адсорбент – адсорбат, для чого необхідно витратити енергію.

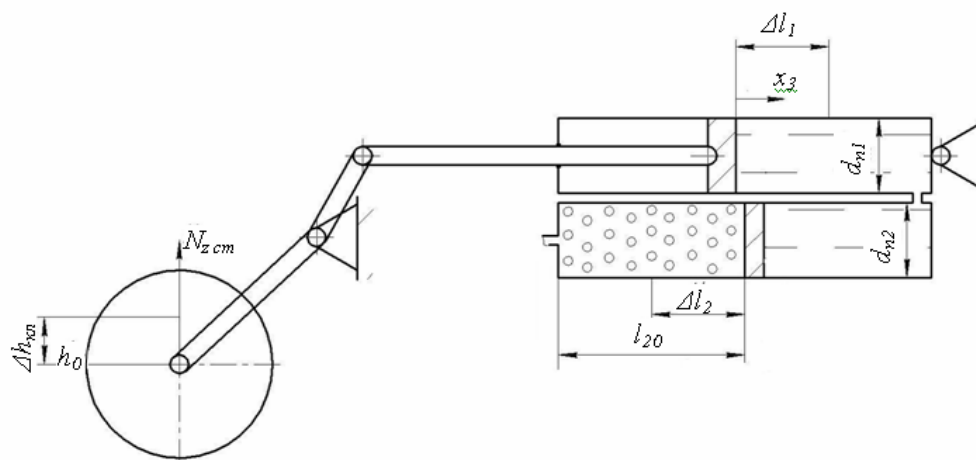


Рис. 1. Схема підвіски ТЗ з одноступінчастою ПГР

Кількість теплоти, яку необхідно підводити для забезпечення роботи СРПК, буде дорівнювати:

$$dQ = dQ_H + dQ_e + dQ_{adc}, \quad (1)$$

де: dQ_H – кількість теплоти, що витрачається на нагрів корпусу адсорбера, адсорбенту та газу, dQ_e – кількість теплоти, що відводиться в оточуючий повітряний простір, dQ_{adc} – кількість теплоти, що витрачається на процеси сорбції – десорбції газу на адсорбенті.

Визначимо дані складові при роботі в інтервалі температур 50...100⁰С.

Кількість теплоти, що витрачається на нагрів корпусу адсорбера, адсорбенту та газу дорівнює:

$$dQ_H = (m_k c_m + m_{adc} c_{adc} + m_g c_g) dT_1 = 129,3 \text{кДж}, \quad (2)$$

де, відповідно: маса металевого корпусу адсорбера $m_k = 5,27$ кг; теплоємність металу $c_m = 0,47 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; маса адсорбента $m_{adc} = 0,549$ кг [3]; теплоємність адсорбенту $c_{adc} = 0,1386 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; теплоємність газу $c_g = 2,22 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; dT_1 – різниця температур на яку змінюється температура адсорбера.

Масу газу, що приймає участь в процесі адсорбції, розрахуємо як:

$$m_g = \Delta v \cdot \mu = 0,0135 \text{кг}, \quad (3)$$

де: $\Delta v = 0,842 \text{моля}$ – кількість газу в молях, яку необхідно поглинути або виділити в газовий об'єм ППР для забезпечення зміни кліренсу ТЗ у межах 0,2...0,6 м [3]; $\mu = 16 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ – молярна маса метану.

Визначимо кількість теплоти, що відводиться в оточуючий повітряний простір:

$$dQ_e = \alpha \cdot F \cdot dT_2 \cdot dt = 0,5 \text{кДж}, \quad (4)$$

де: $F = 0,1278 \text{м}^2$ – площа зовнішньої поверхні адсорбера; $\alpha = 50 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішніх стінок адсорбера до повітря.

Різниця між температурою адсорбера і оточуючого повітря $dT_2 = T - T_o = 373^0 - 293^0 = 80^0 \text{К}$.

Визначимо кількість теплоти, що витрачається на процеси сорбції – десорбції газу на адсорбенті:

$$dQ_{adc} = (\lambda + Q) \Delta v = 22,83 \text{кДж}, \quad (5)$$

де: $\lambda = 9,01$ кДж/моль – теплота конденсації адсорбтива, $Q = 18,1$ кДж/моль –

молярна теплота адсорбції метану, які визначалися по середній теплоті адсорбції вуглеводнів на вуглецевих адсорбентах [4].

Тоді, загальна кількість необхідної теплоти буде дорівнювати $dQ = 152,63 \text{ кДж}$.

Розрахуємо потужність, яка необхідна для здійснення процесу десорбції газу в адсорбері при зміні кліренсу від \min до \max значення, що відбувається при його нагріванні від 50^0 до 100^0C і температурі навколишнього середовища 20^0C :

$$N = \frac{dQ}{dt} = (m_k c_k + m_{add} c_{adc} + m_2 c_2) \frac{dT_1}{dt} + \alpha \cdot F dT_2 + \frac{dQ_{add}}{dt}; \quad (6)$$

Нехай регулювання кліренсу від \min до \max значення відбувається за 30 с. Тоді необхідна потужність, яка повинна підводитися до однієї ПГР підвіски буде становити 5,1 кВт.

Потужність, яка буде витрачатися на підтримання температури в адсорбері на рівні 50^0C складе величину:

$$N^* = \alpha \cdot F \cdot dT = 0,192 \text{ кВт}; \quad (7)$$

Таким чином, проведений розрахунок показав, що для регулювання об'єму газової порожнини навіть однієї ПГР, при зміні кліренсу від 0,2 до 0,6 м, необхідно підводити значну потужність, причому, її 81% витрачається на нагрів металевго корпусу адсорбера.

Зменшимо витрати енергії на нагрів даного корпусу, шляхом застосування теплоізолятора між нагрівачем і корпусом. Прийнемо товщину теплоізоляційного шару рівною 10мм, матеріал – скляна вата з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda_{із} = 0,037 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$. Конструкцію такого адсорбера представлено на рис. 2.

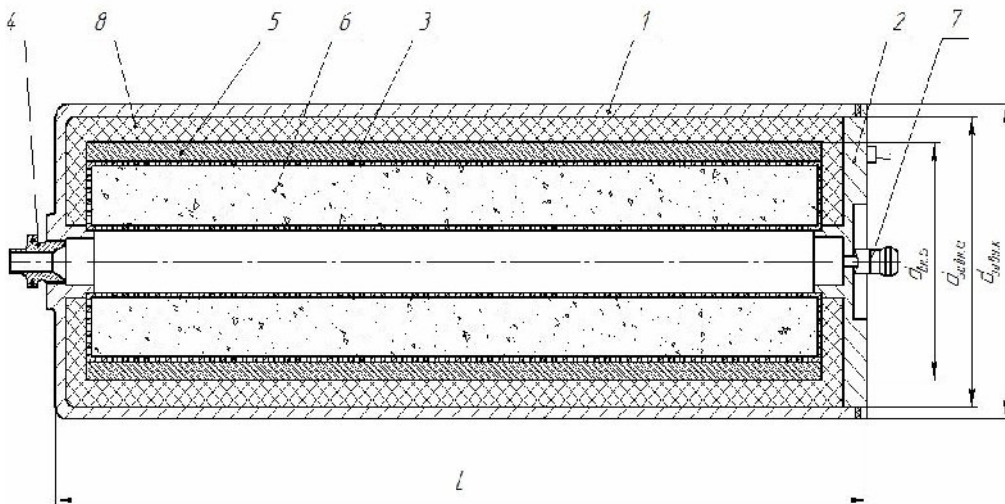


Рис. 2. Конструкція адсорбера з теплоізолюючим шаром:

- 1 – корпус адсорбера; 2 – кришка; 3 – металева сітка; 4 – штуцер; 5 – нагрівач;
6 – адсорбент; 7 – заправний штуцер; 8 – теплоізолюючий шар

Визначимо кількість теплоти, що відводиться в оточуючий повітряний простір при теплопередачі через двошарову циліндричну і плоску стінку [5]:

$$dQ_g = \frac{L \cdot dT \cdot dt}{\frac{1}{2\pi\lambda_{i3}} \ln \frac{d_{зовніз}}{d_{вн.із}} + \frac{1}{2\pi\lambda_k} \ln \frac{d_{зовнк}}{d_{вн.к}} + \frac{1}{\alpha\pi d_{зовнк}}} + \frac{F_1 \cdot dT \cdot dt}{\frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}} + \frac{\delta_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha}} = 0,469 \cdot 10^{-3} \cdot dT \cdot dt, \quad (8)$$

де: $L = 0,315$ м – довжина корпусу адсорбера; $\lambda_k = 50,24$ Вт/м · К – коефіцієнт теплопровідності корпусу; $d_{зовніз} = 0,12$ м, $d_{вн.із} = 0,1$ м – відповідно, зовнішній і внутрішній діаметри теплоізолятора; $d_{зовнк} = 0,13$ м, $d_{вн.к} = 0,12$ м – відповідно зовнішній і внутрішній діаметри корпусу; $F_1 = 0,02653$ м² – площа торців адсорбера.

Кількість тепла, що витрачається на нагрів, за винятком корпусу адсорбера дорівнює:

$$dQ_H = (m_{адд}c_{адс} + m_2c_2)dT_1; \quad (9)$$

Тоді, потужність, яка необхідна для здійснення процесу десорбції газу в адсорбері (зміни кліренсу від \min до \max значення протягом 30с), при його нагріванні від 50⁰ до 100⁰С (температура навколишнього середовища 20⁰С) буде дорівнювати:

$$N = \frac{dQ_H + dQ_g + dQ_{адс}}{dt} = \frac{5,3 + 0,0375dt + 22,83}{dt} = 0,9755 \approx 1 \text{ кВт}; \quad (10)$$

Потужність, що витрачається на підтримання температури адсорбера на рівні 50⁰С складе:

$$N^* = 0,469 \cdot 10^{-3} \cdot dT = 0,0141 \text{ кВт}; \quad (11)$$

Таким чином, у разі застосування конструкції адсорбера з теплоізолюючим шаром, потужність, що необхідна для функціонування СРПК, яка припадає на одну ПГР, зменшиться у 5 разів і складе величину 1 кВт. У цьому випадку, домінуючими енерговитратами будуть витрати $dQ_{адс}$ на процеси сорбції – десорбції газу на адсорбенті, які складуть 0,761 кВт або 76% від загальних витрат.

Проведемо розрахунок характеристик, які повинна мати система адсорбент – абсорбат, щоб енерговитрати на регулювання однієї ПГР, виходячи із потужності генератора ТЗ, не перевищили 0,3 кВт.

Потужність, що витрачається на нагрів та відводиться в оточуючий простір, дорівнює $5,3/30 + 0,0375 = 0,215$ кВт. Тоді на процес десорбції необхідно витратити не більше, ніж $0,3 - 0,215 = 0,085$ кВт, а сумарна величина молярної теплоти адсорбції і конденсації адсорбтиву на адсорбенті буде дорівнювати:

$$dQ_{адс} = N_{адс} \cdot dt = 2,55 \text{ кДж}, \quad (12)$$

де dt – час, за який кліренс машини змінюється від \min до \max значення (прийнято 30 с).

Знайдемо необхідну сумарну теплоту конденсації адсорбтива та молярну теплоту адсорбції:

$$\lambda + Q = \frac{dQ_{адс}}{\Delta v} = 3,03 \text{ кДж/моль}; \quad (13)$$

Отримана величина теплоти у 9 разів менша за величину теплоти прийнятої системи адсорбент – адсорбат (вуглецевий адсорбент АУК та метан). Вона є бажаною, але нажаль, речовин з такими характеристиками, у відомих джерелах, знайдено не було.

Визначимо вплив вагової категорії ТЗ на можливу величину регулювання кліренсу при фіксованому енергоспоживанні СРПК, що розглядається.

Нехай кількість тепла, яку можна використати в процесі адсорбції, для прийнятої системи адсорбент – адсорбат, становить $dQ_{адс} = 2 \text{ кДж}$. Виходячи з відомих характеристик системи, знайдемо кількість речовини, яку можна поглинути витративши таку кількість тепла:

$$\Delta v = \frac{dQ_{адс}}{\lambda + Q} = \frac{2}{9,01 + 18,1} = 0,07377 \text{ моля}; \quad (14)$$

Тоді, для знайденої величини Δv , по виразу

$$N_{z \text{ ст}} = \frac{\Delta v R T i_k}{\Delta h_{кл} i_c}, \quad (15)$$

який можна легко отримати з рівняння стану ідеального газу та залежностей, що описують кінематику підвіски, можна побудувати графік залежності статичного навантаження $N_{z \text{ ст}}$ на опорному катку (а, відповідно, і підресореної ваги машини) від максимально можливої величини регулювання кліренсу $\Delta h_{кл}$. Даний графік представлено на рис. 3.

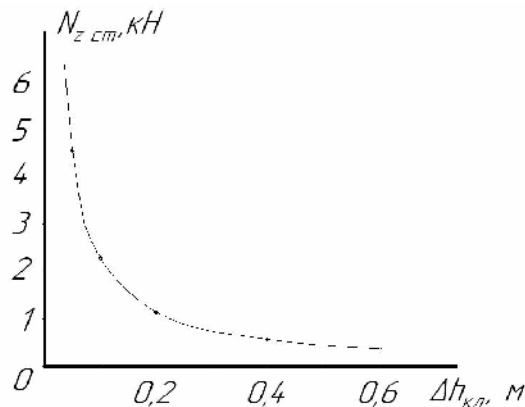


Рис. 3. Залежність статичного навантаження на опорному катку від максимальної величини регулювання кліренсу, при кількості речовини, що поглинається $\Delta v = 0,07377$ моля

Таким чином, для обраної системи адсорбент – адсорбат та допустимому енергоспоживанні, регулювання кліренсу можливе лише у незначних межах, для легких ТЗ.

Висновки.

I. Використання ефекту адсорбції в СРПК ТЗ потребує досить великого енергоспоживання, яке для прийнятої системи адсорбент – адсорбат та ТЗ, що розглядається, виходить за межі можливостей звичайного генератора машини. Для зменшення енергоспоживання до допустимої величини необхідно:

1. Застосувати запропоновану конструкцію адсорбера з теплоізоляцією, яка дозволяє знизити енерговитрати у 5 разів;
2. Збільшити час регулювання кліренсу та зменшити межі його регулювання;
3. Знайти або створити речовини для нової системи адсорбент – адсорбат, яка має сумарну теплоту конденсації адсорбтива та молярну теплоту адсорбції на рівні 3 кДж/моль.

II. Прийнята при розрахунках система адсорбент – адсорбат, при допустимому енергоспоживанні, дозволяє реалізувати регулювання кліренсу у незначних межах і лише для легких ТЗ.

Література: 1. Дущенко В.В. Вепольный анализ упругих элементов систем поддресоривания военных гусеничных и колесных машин / В.В. Дущенко // Механіка та машинобудування. – 2007. – №2. – С. 163–169. 2. Пат. 4477062 США, МКИ³ F 16 F 9/46. Регулируемая пневморессора и устройство для ее регулирования / Maremont Corp; – № 342607 заявл. 25.01.82; опубл. 16.10.84, Том 1047, № 3. 3. Дущенко В.В. До питання використання ефекту адсорбції у системах регулювання положення підресореного корпусу транспортних засобів / В.В. Дущенко, О.М. Коц // Вестник НТУ «ХПИ», Сб. науч. тр. Тематический выпуск: “Автомобиле- и тракторостроение”. – 2010. – №39. – С. 38–43. 4. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники / Кельцев Н.В. – М.: Химия, 1984. – 592 с. 5. Нащекин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: уч. пособ. для вузов. / Нащекин В.В. – М.: Высш. Школа, 1980. – 469 с.

Дущенко В.В., Мусницкая И.В., Коц А.Н.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ КОРПУСА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭФФЕКТА АДСОРБЦИИ

На примере гусеничной машины с гидропневматической подвеской, проведен предварительный расчет энергопотребления системы регулирования положения корпуса на основе использования эффекта абсорбции, предложены пути его снижения и определены желательные характеристики системы адсорбент – адсорбат.

Dushchenko V.V., Musnitskaja I.V., Kots A.N.

PRECOMPUTATION ENERGY CONSUMPTION OF SYSTEM OF REGULATION OF POSITION OF THE CASE OF THE VEHICLE ON THE BASIS OF USE OF EFFECT OF ADSORPTION

On an example of the caterpillar machine with a hydropneumatic suspender, precomputation energy consumption systems of regulation of position of the case is carried out on the basis of use of effect of absorption, ways of its drop are offered and desirable characteristics of system adsorbent – adsorbate are determined.
