

УДК 629.

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ПЕРЕТИНУ В ЗОЛОТНИКОВОМУ РОЗПОДІЛЬНИКУ ПНЕВМОДВИГУНА

**О.І. Воронков, доц., к.т.н., О.Ю. Лісіна, доц., к.ф.-м.н.,
І.М. Нікітченко, інж., Харківський національний автомобільно-дорожній
університет**

Анотація. Наведено результати розрахунку пропускної спроможності технологічного отвору в корпусі золотникового розподільника пневмодвигуна при подачі стисненого повітря. Розглядаються питання формування оптимальних геометричних розмірів вікон для забезпечення подачі необхідного об'єму стисненого повітря в робочу камеру пневмодвигуна.

Ключові слова: пневмодвигун, золотниковий розподільник, стиснене повітря, робоча камера.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СЕЧЕНИЯ В ЗОЛОТНИКОВОМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕ ПНЕВМОДВИГАТЕЛЯ

**А.И. Воронков, доц., к.т.н., О.Ю. Лисина, доц., к.ф.-м.н.,
И.Н. Никитченко, инж., Харьковский национальный автомобильно-дорожный
университет**

Аннотация. Представлены результаты расчета пропускной способности технологического отверстия в корпусе золотникового распределителя пневмодвигателя при подаче сжатого воздуха. Рассматриваются вопросы формирования оптимальных геометрических размеров окон для обеспечения подачи необходимого объема сжатого воздуха в рабочую камеру пневмодвигателя.

Ключевые слова: пневмодвигатель, золотниковый распределитель, сжатый воздух, рабочая камера.

GEOMETRY DEFINITION OF SPOOL VALVE WINDOWS OF THE PNEUMATIC ENGINE

**A. Voronkov, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), O. Lisina, Assoc. Prof.,
Ph. D. (Phys.-Math.), I. Nikitchenko, Eng.,
Kharkov National Automobile and Highway University**

Abstract. The results of calculation of the pneumatic spool valve opening capacity at compressed air supply are presented. The issues of formation of optimal geometrical dimensions of the windows to ensure the necessary amount of compressed air supply in to the working chamber of the pneumatic engine are considered.

Key words: pneumatic engine, spool valve, compressed air, working chamber.

Вступ

Забезпечення технологічних досліджень можливостей двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) в умовах перехідних режимів передбачає, перш за все, забезпечення роботи двигуна у стаціонарних режимах. В умовах міста

реалізація важливих функціональних можливостей автомобіля (тобто режимів зрушування, зупинки тощо, які відповідають перехідним режимам двигуна і не є ефективними для ДВЗ) потребує застосування електро- та пневмодвигунів. З цією метою розглядається конвертування бензинового двигуна MeMЗ

4Ч 7,6×6,6, який виготовлявся Мелітопольським моторним заводом, в поршневі пневмодвигун. У процесі конвертації виникає необхідність забезпечення в новому двигуні оптимальної організації процесу підводу повітря (впуску та випуску) через золотниковий розподільник. Це обумовлює проведення відповідних досліджень із визначення геометричних параметрів системи золотникового розподільника для отримання заданих витрат повітря.

Аналіз публікацій

Розробка поршневих пневматичних двигунів є практично значущою задачею, завдяки тому, що в порівнянні з іншими типами двигунів має найбільший пусковий момент, тягове навантаження, допускає перевантаження та ін. [1–3]. Поршневий пневматичний двигун можна створити зі змінним ступенем наповнення, що означає наявність у пневмодвигуна регульованого ступеня наповнення стисненим повітрям робочої камери [2, 3].

Газорозподіл у пневмодвигуні може здійснюватися за допомогою як клапанної, так і золотникової системи газорозподілу. Клапанна система має деякі переваги перед золотниковою, а саме: меншу величину шкідливого простору, можливість застосування пристроїв зміни фаз газорозподілу, компактність, конструктивну ідентичність із системою газорозподілу ДВЗ-прототипу. Але, враховуючи те, що запроєктований пневмодвигун має двотактний робочий цикл, значно простішу конструкцію, було обрано саме золотникову систему газорозподілу, яка забезпечує надійну синхронність роботи окремих циліндрів.

Мета і постановка задачі

Задачею дослідження є визначення геометричних розмірів прохідних перетинів повітродозподільника двигуна (вікон) з подальшою їх оптимізацією, тобто отримання максимального потоку повітря. Згідно літературних джерел [3], золотниковий повітродозподільник може мати декілька варіантів форми перетину впускних і випускних вікон. Найбільш поширеними і простими за технологією виконання є вікна прямокутної (або квадратної) та круглої форми як для корпусу золотникової коробки, так і для ротора золотника. Площа перетину таких вікон зміню-

ється за певними законами [3]. Але для вибору оптимальної форми саме для запроєктованої золотникової системи газорозподілу пневмодвигуна на базі ДВЗ необхідно було виконати математичне моделювання процесу формування прохідних перетинів для вибору найбільш прийнятної їх форми як для корпусу, так і для ротора золотника, що може значною мірою вплинути як на площу прохідних перетинів і наповнення циліндрів стисненим повітрям, так і на витрати стисненого повітря.

Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є золотниковий повітродозподільник, для якого необхідно розрахувати розміри та форму прохідних перетинів вікон у корпусі і роторі для отримання максимального наповнення циліндрів за мінімальної витрати стисненого повітря.

Конструктивні особливості золотника

Золотник складається із корпусу, закріпленого в розвалі блоку циліндрів пневмодвигуна (рис. 1), і ротора, встановленого в корпусі на підшипниках, що обертається відносно корпусу (рис. 2).

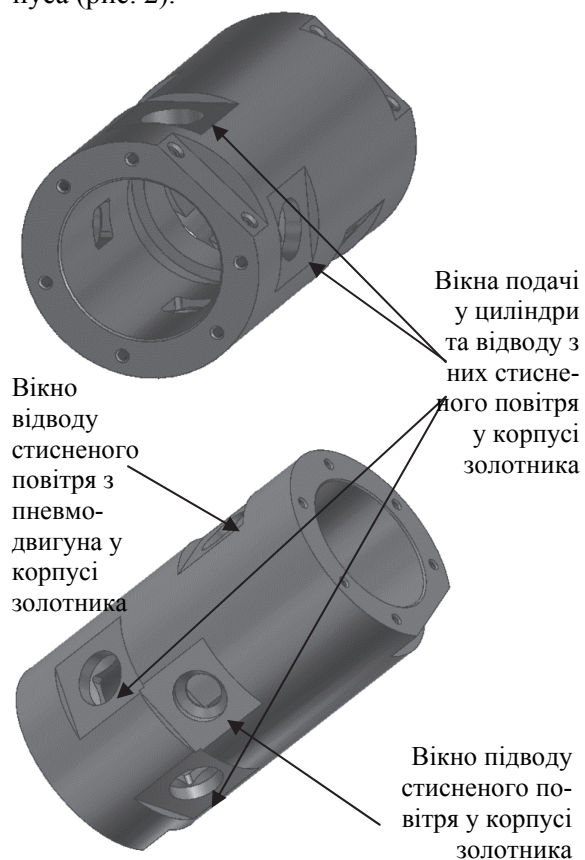


Рис. 1. Корпус золотника

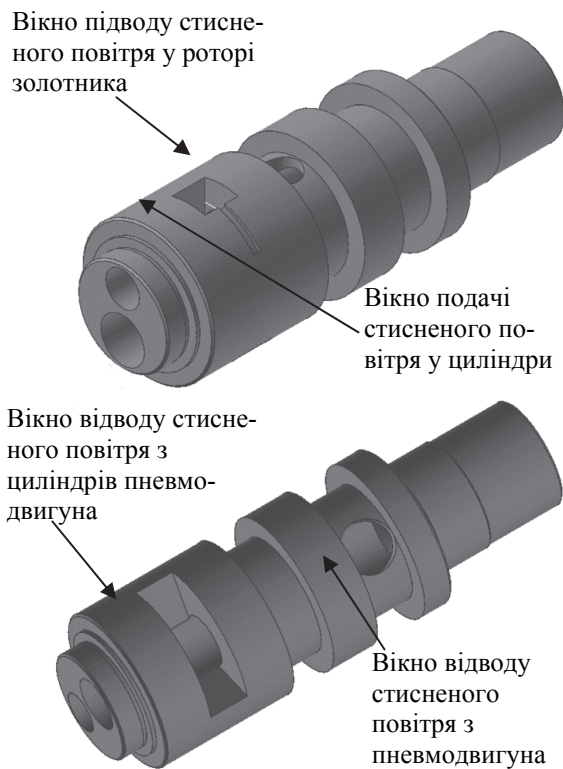
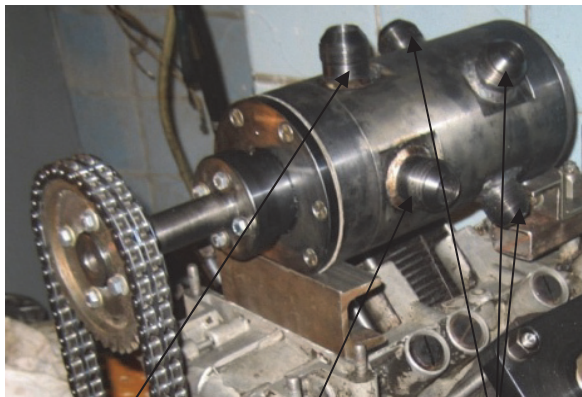


Рис. 2. Ротор золотника



Вікно відводу стисненого повітря з пневмодвигуна у корпусі золотника (зі встановленими штуцерами)

Вікно підводу стисненого повітря у корпусі золотника (зі встановленими штуцерами)

Вікна подачі у циліндри та відводу з них стисненого повітря у корпусі золотника (зі встановленими штуцерами)

Рис. 3. Золотниковий газорозподільник пневмодвигуна

У корпусі виконані отвори для підводу стисненого повітря від балонів і відводу відпрацьованого стисненого повітря в навколишнє середовище. Крім цього, в корпусі є чотири

отвори для розподілення стисненого повітря по циліндрах пневмодвигуна. В отвори вставляються штуцери (на рисунках не показані), до яких приєднані трубопроводи, що з'єднують балони стисненого повітря із золотником, золотник із системою випуску і золотник з кожним із циліндрів відповідно до порядку їх роботи.

У роторі золотника виконані отвори для підводу і відводу стисненого повітря. Ці отвори знаходяться у проточках для забезпечення постійного зв'язку з балонами високого тиску і системою випуску, незалежно від положення ротора золотника для забезпечення наповнення циліндрів і випуску відпрацьованого стисненого повітря.

Крім описаного, у роторі передбачені вікна для розподілення повітря по циліндрах (вікна подачі та відводу) і випуску відпрацьованого стисненого повітря (вікно відводу стисненого повітря) відповідно до встановлених фаз газорозподілу золотникового газорозподільника.

Золотниковий розподільник працює таким чином. При відкритті крана подачі стисненого повітря через трубопровід, з'єднаний з вікном підводу стисненого повітря корпуса золотника, через це вікно (рис. 1) і вікно підводу стисненого повітря у роторі золотника (рис. 2) відбувається заповнення каналу наповнення, розташованого паралельно осі золотника (рис. 2). З каналом наповнення з'єднується вікно подачі стисненого повітря ротора золотника. При обертанні ротора золотника вікно подачі в роторі співпадає з будь-яким вікном подачі та відводу стисненого повітря корпуса золотника за ходом обертання ротора. У момент початку збігання отворів починається перетікання стисненого повітря із каналу наповнення через вікна подачі до трубопроводів, з'єднаних із циліндрами, і відбувається заповнення циліндрів стисненим повітрям. Процес заповнення відбувається до моменту збігання задньої кромки вікна подачі ротора з передньою кромкою вікна подачі та відводу корпуса, тобто до повного закриття отворів. Процес заповнення проходить однаково для всіх циліндрів.

Процес випуску відбувається аналогічним чином. При обертанні ротора відбувається збігання передньої кромки вікна відводу стисненого повітря ротора з вікном подачі та

відводу корпуса золотника. Цим забезпечується перетікання відпрацьованого стисненого повітря із трубопроводу, з'єднаного з циліндром, і, відповідно, звільнення об'єму циліндра. Вікно відводу стисненого повітря ротора з'єднане з каналом відводу стисненого повітря, виконаним паралельно осі золотника, а той, у свою чергу, сполучений з вікном відводу стисненого повітря ротора. Процес випуску відбувається до моменту збігання задньої кромки вікна відводу ротора з передньою кромкою вікна подачі та відводу корпуса, тобто до повного закриття отвору. Процес випуску проходить однаково для всіх циліндрів.

Обчислення об'єму повітря, яке підводиться до розподільника

Попередні розрахунки дозволили розглянути варіанти форми прохідних перетинів вікон золотника, які наведені на рис. 4.

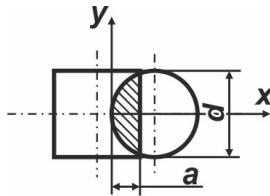


Рис. 4. Прохідні перетини вікон корпуса (коло) і ротора (квадрат) золотника

Розрахунковий алгоритм розглядаємо за умови нехтування кривизною поверхні та товщиною рухомої частини золотникового розподільника.

Нехай рухома частина розподільника обертається з частотою n обертів за одиницю часу; R – радіус зовнішнього кола перерізу циліндра рухомої частини, а r – радіус кола, що визначається перерізом повітродувної трубки. Для зручності розрахунку вважаємо, що нульовий момент відліку часу для обчислення площі отвору, який формується при насуванні квадратного отвору, що міститься в рухомій частині золотникового розподільника, на круговий отвір трубки впуску, наступає при збіганні координат точки середини сторони квадратного отвору (точка A , рис. 5) рухомого циліндра та точки, що знаходиться на колі, яке обмежує круговий отвір трубки.

Нехай рухомий циліндр обертається з частотою n , тобто її кутова швидкість точки дорівнює $\omega = 2\pi n$ рад/с. Лінійна швидкість v

точки A : $v = \omega R$. Таким чином, час t_B , який потрібен, щоб перетин повністю відкрився, визначається величиною

$$t_B = \frac{2r}{v} = \frac{2r}{\omega R}.$$

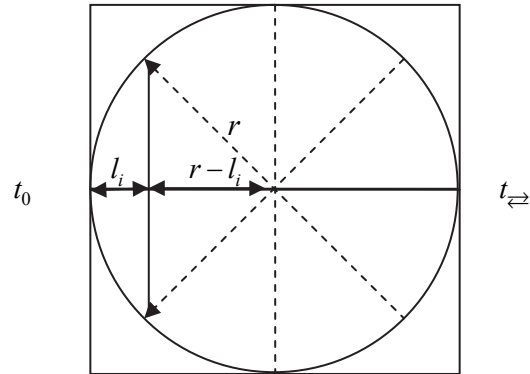


Рис. 5. Схематичний рисунок для визначення площі отвору при подачі стиснутого повітря в золотниковий розподільник

Аналогічно визначаємо час t_3 , необхідний, щоб отвір повністю закритися. Повний час відкриття-закриття визначається величиною

$$t_{\Pi} = t_B + t_3 = \frac{4r}{\omega R}.$$

Нехай за час t_i точка A проходить відстань l_i . Очевидно, що вказаний розрахунковий час буде знаходитися в таких межах: $0 \leq t_i \leq t_{\Pi}$. Шукана площа S_i , яка формується отвором вприскування в момент часу t_i , коли $0 \leq l_i \leq r$, визначається за формулою

$$S_i = S_{ci} - S_{\Delta i},$$

$$S_i = r^2 \arccos \frac{(r-l_i)}{r} - (r-l_i) \sqrt{2rl_i - l_i^2}.$$

У випадку, коли $r \leq l_i \leq 2r$, площа перетину визначається

$$S_i = r^2 \arccos \frac{(l_i-r)}{r} - (l_i-r) \sqrt{2rl_i - l_i^2}.$$

Чисельний алгоритм був реалізований в середовищі MatLab. Обчислювальний експеримент проводився у відношенні до парамет-

рів радіуса пропускного отвору та кутової швидкості. Тобто за деякий проміжок часу обчислювались площі отвору, що відкриваються у певні моменти часу.

На рис. 6 наведені змінення прохідних перетинів впускних вікон золотника за часом відкриття залежно від зміни частоти обертання колінчастого вала пневмодвигуна.

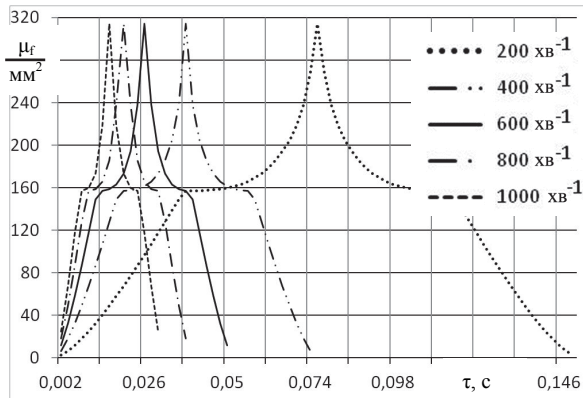


Рис. 6. Змінення прохідних перетинів впускних вікон золотника за часом відкриття залежно від зміни частоти обертання колінчастого вала пневмодвигуна

За результатами дослідження було обрано отвір у роторі розміром 20×20 мм і отвір у корпусі діаметром 20 мм.

Як видно із рис. 6, час-перерізу зменшується зі збільшенням частоти обертання колінчастого вала від 0,15 с при 200 хв⁻¹ до 0,032 с при 1000 хв⁻¹, тобто у 4,7 рази. Зменшення часу-перерізу впливає на заповнення циліндрів стисненим повітрям, що значно знижує індикаторну роботу і, відповідно, площу індикаторної діаграми.

Автори висловлюють подяку за допомогу у проведенні дослідження професору В.М. Колодяжному.

Висновки

У результаті проведеної роботи було виконано такі задачі:

1. За результатом огляду літературних джерел було обрано відповідні форми прохідних перерізів вікон золотникового газорозподільника пневмодвигуна.

2. Розраховано найбільш сприятливі форми впускних і випускних вікон золотника та визначено їх геометричні розміри.

3. Для прийнятих геометричних розмірів вікон визначено змінення прохідних перерізів.

Література

1. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1980. – 400 с.
2. Борисенко К.С. Пневматические двигатели горных машин / К.С. Борисенко. – М.: Углетехиздат, 1958. – 205 с.
3. Зиневич В.Д. Поршневые и шестерные пневмодвигатели горно-шахтного оборудования / В.Д. Зиневич, Л.А. Гешлин. – М.: Недра, 1982. – 200 с.
4. Гибридная силовая установка // Автостроение за рубежом. – 2002. – № 4. – С. 18.
5. Туренко А.Н. О требованиях к конструкции и рабочему процессу пневмодвигателя для комбинированной энергоустановки автомобиля / А.Н. Туренко, В.А. Богомолов, Ф.И. Абрамчук и др. // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2006. – Вып. 18. – С. 7–12.
6. Воронков А.И. Золотниковое воздухо-распределение пневмодвигателя гибридной силовой установки автомобиля на базе бензинового двигателя / А.И. Воронков, С.С. Жилин, И.Н. Никитченко // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2013. – Вып. 63. – С. 36–40.

Рецензент: Ф.І. Абрамчук, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 7 березня 2014 р.