

машинобудування, Одеський національний політехнічний університет, Україна.

**Торопенко Алла Володимирівна**, кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний політехнічний університет, Україна.

**Щедров Ігор Миколайович**, кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний політехнічний університет, Україна.

-----  
**Stanovskyi Alexandr**, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: stanovsky@mail.ru.

**Toropenko Alla**, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: alla.androsyuk@gmail.com.

**Schedrov Igor**, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: shchedrov@mail.ru

УДК 629.11.012.3: 621.512.001.24(075.8)

**Зубенко Д. Ю.**

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ПНЕВМАТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У статті показано запатентовану корисну модель пристрою для накачування пневматичних шин, яка дозволяє їхати машині з пробитим колесом. А також запропоновано запатентований прототип поршневого компресора безкривошипно-безшатунного типу, який дозволяє забезпечувати та підтримувати тиск повітря в пневмосистемі транспортних засобів. Показано ефективність роботи нового компресора в порівнянні зі стандартним.

**Ключові слова:** пневматична шина, компресор, транспортний засіб, надійність роботи, безвідмовність, пневматичні пристрої.

### 1. Вступ

На сьогоднішній день багато перевезень відбувається колісним транспортом — на його долю приходить близько 80 % від загальних перевезень. Однак постійні навантаження на колісний транспорт змушують шукати нові підходи в вирішенні питання безвідмовної роботи колеса, а саме шини транспортного засобу.

Багато пасажирських перевезень виконується електричним транспортом. На його долю приходить до 60 % загальних перевезень. Особу роль відіграють перевезення трамваями та тролейбусами — на них приходить близько 25 % від загальних перевезень. Однак рухомий склад, який експлуатується на транспортних підприємствах має граничний стан та морально застарілий. Так як його необхідно ремонтувати чи замінювати на новий, треба розробляти техніку нового покоління, яка б відповідала сучасним вимогам по безпеці та надійності.

У пневматичній системі тролейбусів типу Т2 ЮМЗ українського виробництва джерелом стисненого повітря є поршневі, одноступінчасті, двоциліндрові електрокомпресора типів ЕК-4В і ЕКВО-0,3 з приводом від електродвигуна ДК-408 постійного струму паралельного збудження; електродвигун отримує енергію від контактної мережі постійного струму; компресор ЕК-4В з повітряним охоло-

дженням, рядним, горизонтальним розташуванням циліндрів; компресор-0,3-опозитний з горизонтальним розташуванням циліндрів, охолоджуваних атмосферним повітрям [1].

Актуальність даної роботи полягає в тому, що при сучасному експлуатаційному режимі роботи транспортної техніки та збільшенню навантаження на основні вузли та агрегати основних елементів рухомого складу, необхідним є розробка нових конструктивних елементів, лімітуючих надійність роботи вузла.

### 2. Аналіз літературних даних

Надійність роботи шини транспортного засобу є лімітуючим елементом в безпеці дорожнього руху. Багато фірм та наукових організацій працюють над поставленим завданням. Створюються нові аналоги надійної шини транспортного засобу, але існують деякі проблеми при експлуатації шини при її проколах. Так у роботі [2] були розглянуті питання прогнозування залишкового ресурсу, але питання надійної експлуатації в умовах пошкодження розглянуті не були. У роботі [3] розглядається методи переробки шин транспортних засобів, але не розглянуто питання експлуатації. В статті [4] показані заходи запобігання проковзуванню та наведені розрахунки не дозволяють прогнозувати роботу шини запропонованої конструкції. Зменшення

роботи у плямі тертя, і запропоновані заходи [4] не є конкретними для шини з самостійною підкачкою в час руху, але методики частково прийнятні для подальших розрахунків. У статті [5] показано методи зменшення тертя у плямі контакту шини з опорною поверхнею, але не враховано особливості нової конструкції шини. У статті [6] показані засоби автоматизованого проектування компресорів, які можуть бути включені до розрахунків нового компресора, але не враховані методики розрахунку при проектуванні безкривошипно-безшатуного типу компресора. Авторами роботи [7] показані компресорні станції для створення повітря високого тиску, але не показано легкі та мобільні компресори для транспортної техніки. При випробуванні шин [8] та їх аналізі не показано різноманітність та універсальність пристроїв та стендів. У роботах [9, 10] при дослідженні плавності ходу автомобіля показано динамічні розрахунки, що можуть бути застосовані у подальших випробуваннях, але такі засоби не є конкретними для даного типу коліс. Наукова робота [11] по математичному моделюванню є основоположною, результати якої можуть бути враховані при створенні компресора нового покоління, але в математичній моделі не враховано особливість роботи опозитного компресора. Питання поставлені автором у роботі [12] є актуальні для даної роботи, так як проблема змашування для нового компресора не вирішена, але автором не розглядається питання горизонтального розміщення циліндрів.

### 3. Постановка проблеми

**Мета даної статті** — показати ефективність роботи запатентованого пристрою для накачування пневматичних шин та нового компресору в порівнянні з традиційним, та визначити в розрахунках надійність та коефіцієнт корисної дії роботи даних пристроїв на транспорті.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити задачу створення математичної моделі та можливість реалізації даних пристроїв на транспорті при можливих як позитивних, так і негативних наслідків на роботу основних вузлів та транспортного засобу в цілому.

### 4. Результати дослідження пневматичних пристроїв для транспортних засобів

Колесо відноситься до числа відповідальних вузлів автомобіля, які істотно мають вплив

на наступні експлуатаційні властивості автомобіля: безпека, економічність, стійкість, комфортабельність. Конструктивне вдосконалення коліс задля підвищення надійності, зниження металоємності і скорочення експлуатаційних затрат має велике народногосподарське значення. Успішне досягнення цих цілей можливо тільки при комплексному підході к конструюванню, випробуванню, виробництву і експлуатації автомобіля (рис. 1) [1].

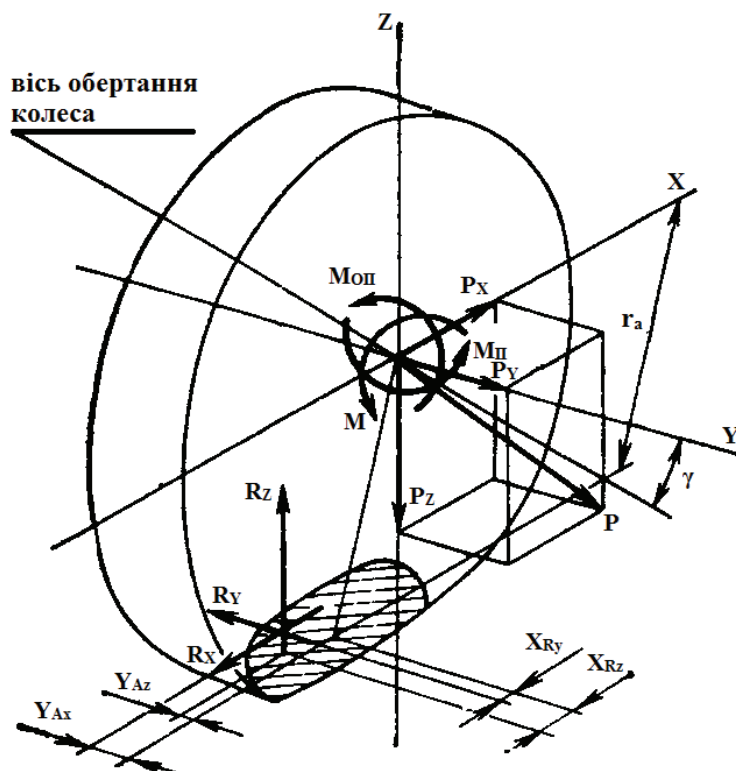


Рис. 1. Схема зовнішніх сил, діючих на колесо

Крутний момент:

$$M = R_x (r_D + Y_{R_z} \sin \gamma) + R_z X_{R_z}, \quad (1)$$

де  $r_D$  — динамічний радіус колеса;  $Y_{R_z}$  — прокольний знос нормальної реакції;  $\gamma$  — кут нахилу осі обертання колеса;  $X_{R_z}$  — прокольний знос нормальної реакції.

Поворотний момент:

$$M_{\Pi} = R_y X_{R_y} - R_x Y_{R_x} \cos \gamma, \quad (2)$$

де  $Y_{R_x}$  — знесення прокольної реакції;  $X_{R_y}$  — знесення бокової реакції.

Перекидаючий момент:

$$M_{\text{ОП}} = R_y r_D \cos \gamma + R_z (r_D \sin \gamma + Y_{R_z}). \quad (3)$$

Сумарний момент, діючий на колесо:

$$M_{\Sigma} = \sqrt{M^2 + M_{\Pi}^2 + M_{\text{оп}}^2}. \quad (4)$$

Тому важливим являється надійна робота колеса в різних ситуаціях при максимальному навантаженні в тому числі при проколах. Пропонується патент на корисну модель пристрою для накачування пневматичних шин.

**4.1. Дослідження пристрою для накачування пневматичних шин.** Корисна модель відноситься до транспортної техніки, а саме до пристроїв для накачування пневматичних шин транспортних засобів і може використовуватися на автомобілях, тролейбусах, автобусах і різних транспортних засобах, де використовується пневматична шина.

Відома система підкачки проколотої шини, що складається із корпусу з виступом і кришкою, встановленою на виступі на підшипниках кочення, закріпленого за допомогою швидкоз'ємного пристосування на диску колеса [13]. Недоліком даного пристрою є низька надійність.

Відомий пристрій для накачування шин, що містить корпус з усмоктувальним і нагнітаючим клапанами, встановленими на колесі, і робочий орган [14]. Недоліком даного пристрою є низький ККД. Найбільш близьким до запропонованого є пристрій для накачування пневматичних шин, що містить корпус з усмоктувальним і нагнітаючим клапанами, встановленими на колесі, і робочий орган, установлений нерухомо відносно обертаючого колеса [15]. Корпус виконано у вигляді трубчастого полукільця з еластичного матеріалу і встановленого співвісно з колесом, а робочий орган виконано у вигляді ролика, який контактує з корпусом, стискаючи його в місті контакту до ліквідації просвіту усередині трубки.

Однак у запропонованому пристрої для накачування пневматичних шин не вдосконалено процес накачування шин через недоопрацювання конструкції.

Завданням корисної моделі є удосконалення пристрою для накачування пневматичних шин, в якому за рахунок доопрацювання конструкції збільшується ККД, що підвищує надійність роботи пристрою.

Поставлене завдання досягається тим, що в пристрої для накачування пневматичних шин, що містить корпус пневматичної шини з усмоктувальним і нагнітаючим клапанами, встановленими на колесі, та еластичну трубку, яка згідно корисної моделі кріпиться до протектора колеса, має окремі сектори та запобіжний клапан з можливістю випуску надлишкового повітря.

Сутність корисної моделі пояснюється рис. 2. Еластична трубка 2 кріпиться до корпусу шини 1 на зовнішній поверхні протектора. Усмокту-

вальний клапан 6 і трубку для подачі повітря 3, яку кріплять до еластичної трубки 2, розміщують ззовні. Нагнітаючий клапан 4 з'єднує корпус шини 1 і еластичну трубку 2. Для випускання з шини надлишкового повітря існує запобіжний клапан 5, який кріпиться до корпусу шини 1.

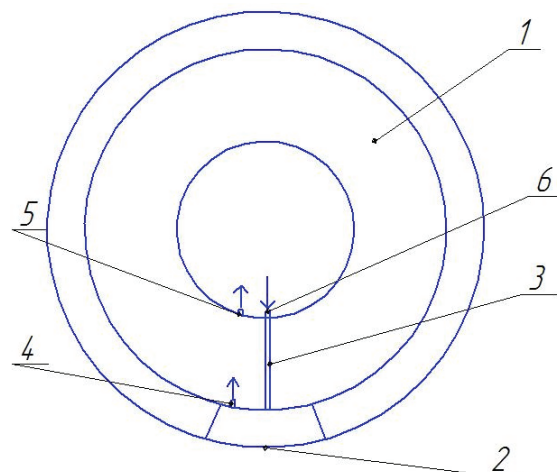


Рис. 2. Пристрій для накачування пневматичних шин

Працює пристрій наступним чином:

Еластична трубка 2 стискається дорогою і корпусом шини 1 під час руху колеса, через усмоктувальний клапан 6 і трубку для подачі повітря 3 усмоктується повітря ззовні (при розтисканні еластичної трубки). Далі при стисканні еластичної трубки 2 повітря подається в корпус шини 1 через нагнітальний клапан 4. Для випускання з шини надлишкового повітря існує запобіжний клапан 5.

Позитивний ефект досягається за рахунок спрощення конструкції і розміщення еластичної трубки між корпусом шини і дорожнім покриттям.

Таким чином, запропонований пристрій для накачування пневматичних шин дозволяє підвищити надійність роботи пристрою для накачування пневматичних шин. Пристрій для накачування пневматичних шин, що містить корпус пневматичної шини з усмоктувальним і нагнітаючим клапанами, встановленими на колесі та еластичну трубку, **відрізняється** тим, що еластична трубка кріпиться до протектора колеса, розділена на окремі сектори та має запобіжний клапан з можливістю випуску надлишкового повітря [16].

**4.2. Дослідження поршневого компресора безкривошипно-безшатунного типу.** В багатьох містах України було закуплено новий рухомий склад, а саме трамвайні вагони російського виробництва та тролейбуси вітчизняного виробництва ЛАЗ. Однак проаналізувавши роботу нової техніки за рік експлуатації можливо зробити висновки, що є недоліки при проектуванні та виробництві нових тролейбусів — відмови відбуваються як в механічній, так і в електричній частині обладнання.

Тому стає питання вдосконалення при проектуванні основних вузлів та агрегатів рухомого складу. Основним з таких вузлів являється компресор, який використовується на тролейбусах як вітчизняного виробництва, так і на трамваях імпортного виробництва.

Компресором називають машину, яка виконує підвищення тиску газу чи пару [17]. Найбільш типовими представниками об'ємних компресорів являються поршневі. Поршневі компресори широко використовуються на транспорті. Одним із параметрів, який характеризує роботу компресора є коефіцієнт корисної дії ККД, який дорівнює:

$$\eta = \frac{N_{\text{ет}}}{N_{\text{д}}}, \quad (5)$$

де  $\eta$  — коефіцієнт корисної дії;  $N_{\text{ет}}$  — потужність еталонного компресора;  $N_{\text{д}}$  — один із видів потужності дійсного компресора.

Таким чином, з метою підвищення ККД була запатентована корисна модель поршневого компресора безкривошипно-безшатунного типу [18].

Корисна модель відноситься до енергомашинобудування, зокрема, до поршневих компресорів і призначена для забезпечення стиснутим повітрям гаражів, автомобільних господарств, станцій технічного обслуговування, на рухомому складі (тролейбусах, трамваях, метро, залізничному транспорті і т. д.), у шиноремонтних майстернях.

Відомий поршневий компресор [19], що містить кільцевий канал постійного перерізу з вікнами в стінці для входу і виходу газів і в ньому дві пари поршнів, кожен з яких розташований між поршнями іншої пари, прикріплених до окремих для кожної пари співвісних полувалял і пов'язаних кінематично з валом рівномірного обертання через універсальні шарніри, причому площині співвісних вилок сусідніх універсальних шарнірів перетинаються під кутом менше  $180^\circ$ . Кожен універсальний шарнір однією вилкою приєднаний соосно до полувалялу з поршнями, а інший вилкою приєднаний соосно до валу рівномірного обертання.

Відомий поршневий компресор з внутрішнім потоком охолоджуючого повітря в картері [20], що містить картер, циліндр з поршнем і головку циліндра, колінчастий вал і розташований в якості з'єднання шатун. Циліндр з'єднаний з картером. Колінчастий вал за допомогою підшипників кочення з можливістю обертання встановлений в картері, причому шатун також за допомогою підшипників кочення з можливістю обертання встановлений на колінчастому валу.

Відомий поршневий компресор з кривошипно-шатунним механізмом [21], що містить корпус з циліндрами, в якому розміщено штоки з порш-

нями і клапанними головками, колінчастий вал, шатуни. При цьому поршень з'єднаний з шатуном пальцем плаваючого типу.

Найбільш близьким до запропонованого є поршневий компресор безшатунного типу з кривошипно-планетарним механізмом, котрий включає корпус з циліндрами, в якому розміщені штоки з поршнями і клапанними головками, колінчастий вал, який з'єднаний через посадочні гнізда одним кінцем з провідним кривошипним валом, а другим кінцем — з введеним кривошипним валом. На колінчастому валу жорстко встановлена планетарна шестерня-сателіт, яка знаходиться у внутрішньому зачепленні з центральною планетарною шестернею [22].

Однак у відомому поршневому компресорі з кривошипно-планетарним механізмом та компресорі безшатунного типу підвищено енерговитрати при виробництві стисненого повітря з-за механічних втрат на тертя поршнів об стінки циліндрів і подолання великих інерційних сил, що спричиняються при роботі компресора масивними деталями шатуно-поршневої групи.

Завданням корисної моделі є удосконалення поршневого компресора, в якому за рахунок зміни конструкції досягається зменшення тертя на стінки циліндра поршнем, знижуються енерговитрати при виробництві стисненого повітря та підвищується надійність роботи при збільшенні частоти коливання за рахунок використання спрощеної схеми приводу поршнів.

Технічним результатом є підвищення механічного ККД при зменшенні маси поршневого компресора безкривошипно-безшатунного типу.

Поршневий компресор безкривошипно-безшатунного типу, включає корпус з циліндрами, в якому розміщений шток з поршнями і клапанними головками, згідно корисної моделі на циліндрах по обидві боки розташовано електромагніти. На штоку посередині розміщений сталевий сердечник, який жорстко закріплений на штоку, причому циліндри виготовлені з немагнітних матеріалів.

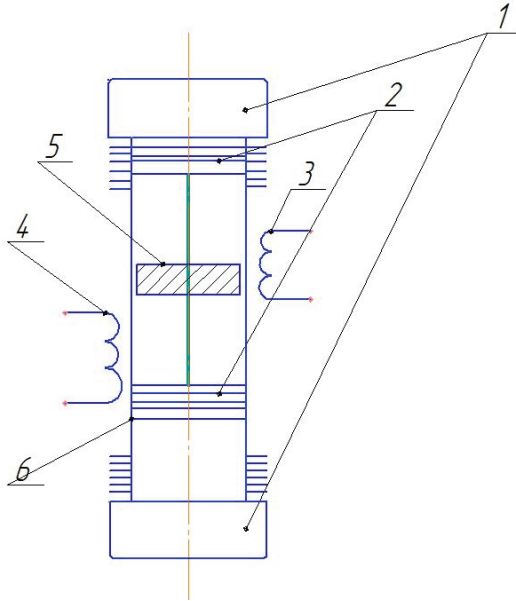
Сутність корисної моделі пояснюється рис. 3.

Поршневий компресор безкривошипно-безшатунного типу з приводом поршнів від електромагнітів з циліндрами 6, в яких розміщено шток з поршнями 2. На шток насаджений сталевий сердечник 5, клапанні голівки 1, закріплені з торців циліндрів 6. На циліндрі розміщені електромагніти 3 і 4.

Працює пристрій наступним чином:

На котушку електромагніта 3 подається струм в провідники, які намотані на циліндр. Утворюється магнітне поле, яке притягує до себе сталевий сердечник 5. Сталевий сердечник 5 тягне шток 2, на якому він закріплений. В свою чергу відбувається переміщення в одну сторону поршнів і в одному із циліндрів відбувається стискання

повітря, а в другому засмоктування. Далі при подачі напруги в інший електромагніт 4 і зняття напруги на електромагніті 3 процес буде відбуватися в зворотному напрямку. Таким чином, подаючи напругу поперемінно то на один електромагніт 3, то на другий електромагніт 4 буде здійснюватися прямолінійне зворотно-поступове переміщення.



**Рис. 3.** Поршневий компресор безкривошипно-безшатунного типу

За рахунок застосування в поршневому компресорі прямого штока з поршнями, який не містить кривошипно-шатунного механізму, тобто здійснюється тільки зворотно-поступовий рух без додаткового натискання на стінки циліндрів (як у компресорах з кривошипно-шатунним механізмом), знижується тертя, і коефіцієнт інерції обертових мас менше в порівнянні з традиційними компресорами.

Таким чином запропонований поршневий компресор дозволяє знизити енерговитрати при підвищенні надійності роботи і збільшити ресурс.

Поршневий компресор безшатунного типу включає корпус з циліндрами, в якому розміщений шток з поршнями і клапанними головками, який відрізняється тим, що на циліндрах по обидві боки розташовано електромагніти, на штоку посередині розміщений сталевий сердечник, який жорстко закріплений на штоку, циліндри виконані з немагнітних сплавів [23].

У пневматичній системі тролейбусів типу Т2 ЮМЗ українського виробництва джерелом стисненого повітря є поршневі, одноступінчасті, двоциліндрові електрокомпресора типів ЕК-4В і ЕКВО-0,3 з приводом від електродвигуна ДК-408 постійного струму паралельного збудження; електродвигун отримує енергію від контактної мережі постійного струму. Компресор ЕК-4В з повітряним охолодженням, рядним, горизонтальним розташуванням

циліндрів; компресор-0,3-опозитний з горизонтальним розташуванням циліндрів, охолоджуваних атмосферним повітрям [24–27].

Стиснення атмосферного повітря відбувається в циліндрах при поступальному русі поршнів від НМТ до ВМТ (нижньої і верхньої мертвих точок). Обертальний рух колінчастого валу перетворюється в зворотно-поступальний рух поршнів центральним кривошипно-шатунним механізмом (КШМ). Всі рухомі деталі: колінчастий вал, кривошипи, шатуни, поршнева група володіє масою тому при їх русі з прискоренням, згідно другого закону Ньютона, виникають інерціальні сили. При зворотно-поступальному русі поршнів відбувається циклічне переміщення в просторі центру ваги компресора і, прикладених до нього змінних сил інерції, що викликає вібрацію компресора, яка передається по корпусу тролейбуса в пасажирський салон і створює дискомфорт пасажиром. Тому необхідно застосовувати електрокомпресора з мінімальним рівнем вібрації. Рівень вібрації залежить не тільки від величин сил вібрації, а й від точок їх додатку, тобто від конструкції КШМ [16, 17].

Центральний КШМ (рис. 3) можна представити у вигляді двохмасової системи з'єднання безінерціального стрижня, маса якого здійснює поступальний і обертальний рухи:

$$m_{\Pi} = m_{в.г.ш.} + m_{п.г.}, \quad (6)$$

$$m_{вр.} = m_{н.г.ш.} + m_{к.р.}, \quad (7)$$

де  $m_{п.г.}$  — маса поршневої групи (поршень, палець, кільце);  $m_{в.г.ш.}$  — маса шатуна, приведена до його верхньої (поршневої) головки;  $m_{к.р.}$  — маса кривошипа;  $m_{н.г.ш.}$  — маса шатуна, приведена до його нижньої (кривошипної) головки.

Сили інерції поступального руху мас змінні як за величиною, так і за напрямком:

$$P_j(\phi) = -m_{\Pi} j = -m_{\Pi} R \omega^2 \left( \cos \phi + \frac{R}{L_{Ш}} \cos 2\phi \right) = P_{j1} + P_{j2}. \quad (8)$$

Зазвичай, сила інерції поступального руху мас описують двома членами ряду Фур'є, де перший член Фур'є відповідає руху шатуна нескінченної довжини ( $L_{Ш} = \infty$ ), а другий вносить поправку на кінцеву довжину шатуна  $L_{Ш}$ .

Відцентрові сили — сили інерції обертального руху мас, постійні за величиною і спрямовані по радіусу кривошипа, як правило, повністю врівноважуються обертовими противаг  $m_{п.р.}$ :

$$\left. \begin{aligned} P_{ц} &= -m_{вр.} \omega^2 R, \\ P_{пр} &= -m_{пр} \omega^2 R_{пр}, \\ P_{ц} - P_{пр} &\approx 0, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

що забезпечується при статичному балансуванні колінчастого валу.

У створенні гальмівного моменту бере участь тангенціальна сила  $T$ :

$$M_{\text{Тр}}(\phi) = RT(\phi) = R \cdot P_c \frac{\sin(\phi + \beta)}{\cos\beta}, \quad (10)$$

яка прикладена до кривошипа в результаті сумарної дії газових сил і сил інерції:

$$P_c = P_{\Gamma} + P_j, \quad (11)$$

де газова сила:

$$P_{\Gamma}(\phi) = P_{\Gamma}(\phi) \frac{\pi D}{4}. \quad (12)$$

Тиск газів  $P_{\Gamma}(\phi)$  створюється на днищі поршня діаметром  $D$ .

Газові сили замикаються в контурі конструкції компресора, тому вібрації не виникають.

Нерівності моментів обертання  $M_{\text{об}}$  електродвигуна і гальмівного моменту  $M_{\text{Тр}}$  компресора викликають деякі вібрації електрокомпресора в перпендикулярному напрямку до осі циліндрів через наявність нормальної сили:

$$N = P_c(\phi) \operatorname{tg} \beta, \quad (13)$$

прикладеної по нормалі до стінки циліндра. Створений силою  $N$  перекидний момент сприймається опорами і проявляється в момент пуску і зупинки електрокомпресора.

Отже, вібрацію електрокомпресора викликають зворотно-поступальні рухомі маси. При порушенні статичного балансування можуть виникнути вібрації, пов'язані з відцентровими силами, через зміщення центру ваги щодо центру обертання.

Для зниження вібрації необхідно урівноважити як самі сили інерції, так і, створювані ними моменти, тобто:

— сума інерційних сил повинна дорівнювати нулю:

$$\sum P_j = 0; \quad (14)$$

— сума моментів від сил інерції так само повинна дорівнювати нулю:

$$\sum M_i = 0. \quad (15)$$

Колінчастий вал двоциліндрових поршневіх компресорів має два кривошипа, зрушених на  $180^\circ$ , до яких включені відцентрова сила інерції  $P'_{\text{ц}}$  та  $P''_{\text{ц}}$ . Рівність цих сил досягається рівністю мас

$m'_{\text{вр}} = m''_{\text{вр}}$ , а зсув по фазі на  $180^\circ$  їх зрівнювання  $P'_{\text{ц}} = P''_{\text{ц}}$ . Але вони навколо центру обертання (точка ЦВ) створюють момент обертання:

$$M = \frac{1}{2} a P'_{\text{ц}} + \frac{1}{2} a P_{\text{ц}}, \quad (16)$$

для компенсації якого приймаються противаги, що створюють рівний момент обертання  $M_{\text{пр}}$ , спрямований в протилежному напрямку. Тому колінчастий вал двоциліндрових компресорів урівноважений.

Сили інерції поступально рухомих мас, де сили інерції першого  $P_{j1}$  і другого  $P_{j2}$  порядку:

$$\begin{cases} P_{j1} = -m_{\text{п}} R \omega^2 \cos \phi, \\ P_{j2} = -m_{\text{п}} R \omega^2 \frac{R}{L_{\text{ш}}} \cos 2\phi. \end{cases} \quad (17)$$

Нерівномірність обертання ротора електродвигуна викликає нерівномірність споживання електроенергії з контактної мережі, тому є необхідність визначити гармонійний склад гальмівних моментів електрокомпресора, застосувавши для цього ряд Фур'є з чисельним значенням коефіцієнтів розкладання в О. Е., де за одиничне значення прийнято значення середнього індукторного моменту:

— рядного компресору:

$$\begin{aligned} M_T(\phi)_{\text{ряд}} = & 1,96 + 1,71 \sin 2(\phi - 14^\circ) + \\ & + 0,49 \sin 6(\phi - 58^\circ) + 0,63 \sin 10(\phi + 21^\circ) + \\ & + 0,09 \sin 14(\phi + 1^\circ) + \dots \end{aligned} \quad (18)$$

— опозитного компресору:

$$\begin{aligned} M_T(\phi)_{\text{опп}} = & 1,98 + 1,26 \sin 2(\phi - 8^\circ) + \\ & + 1,27 \sin 3(\phi + 41^\circ) + 0,13 \sin 5(\phi - 82^\circ) + \\ & + 0,11 \sin 7(\phi + 41^\circ) + \dots \end{aligned} \quad (19)$$

Відмічено, що особливість гармонійних складових гальмівного моменту в їх порядку та амплітуді.

Результати розкладання гальмівного моменту в ряди Фур'є доцільно досліджувати для будівлі загороджувальних фільтрів в ланцюзі електроживлення компресорів.

Рядний компресор нерівноважений по інерціальним силам другого порядку і по моменту сил інерції першого порядку. Опозитний компресор урівноважений по силам інерції першого і другого порядку, але нерівноважений по моментам від цих сил, однак ці моменти значно менші, ніж у рядного компресора завдяки значно меншій міжосовій відстані між циліндрами. Тому рівень впливу вібрації на комфорт пасажирського салону набагато менше.

Опозитний компресор має велику нерівномірність обертання валопроводу, ніж рядний компресор, тому вимагає більш важкого маховика, що збільшує вагу всього електрокомпресора.

Гальмівний момент рядного компресора описується парними гармоніками ряду Фур'є, а опозитного — непарними [27].

## 5. Висновки

В даному дослідженні вирішенні питання, пов'язані з надійною роботою основних вузлів пневмосистеми транспортних засобів, що лімітують безпеку на рухомому складі.

В результаті досліджень у даній статті показано:

1. Запатентований прототип поршневого компресора безкривошипно-безшатунного типу. Показано, що завдяки вдосконаленню конструкції підвищується надійність роботи компресора та ККД.

2. Запатентовану корисну модель пристрою для накачування пневматичних шин, яка дозволяє їхати машині з пробитим колесом. Показано, що корисна модель є ефективною при малих, а також при значних пробоях колеса.

3. Переваги нового компресора порівнянню з традиційним.

Недоліками роботи являється те, що неможливо освоїти весь круг питань при пропонуванні нових рішень, та спрогнозувати подальшу роботу цих пристроїв, але основа даних розробок лежить на твердому підґрунті тих класичних технічних рішень, які в даний час експлуатуються. Дані результати і запропоновані пристрої можуть бути реалізовані в реальній діючій моделі та мають практичне значення.

В цілому результати показують, що для створення транспортної техніки нового покоління з використанням пневмосистеми є обов'язковим питання підвищення надійності роботи як кожного агрегату, так і системи в цілому.

## Література

1. Савельев, Г. В. Автомобильные колеса [Текст] / Г. В. Савельев. — М.: Машиностроение, 1983. — 151 с.
2. Арефін, Ю. В. Прогнозування залишкового ресурсу автомобільної шини в умовах експлуатації [Текст]: автореф. ... канд. техн. наук / Ю. В. Арефін. — Х.: Харківський нац. автомобільно-дорожній ун-т, 2013. — 20 с.
3. Буденный, А. П. Методы переаботки шин [Текст]: матеріали II Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції, м. Суми, 17–20 квітня 2012 р., у 3-х ч. / А. П. Буденный, А. Н. Винокурова; під ред. О. Г. Гусака, В. Г. Євтухова // Сучасні технології в промисловому виробництві. — Суми: СумДУ, 2012. — Ч. 2. — С. 32.
4. Гащук, П. М. Зумовлені зволоженістю дороги, акустичним випромінюванням та проковзуван-

ням шин складові коефіцієнта опору коченню колеса транспортної машини [Текст] / П. М. Гащук, С. В. Нікіпчук // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. — 2012. — № 730. — С 14–21.

5. Добровольський, О. Л. Зменшення роботи тертя у плямі контакту шини з опорною поверхнею [Текст]: автореф. ... канд. техн. наук / О. Л. Добровольський. — К.: Нац. транспортний ун-т, 2012. — 20 с.
6. Бережной, А. С. Применение средств автоматизированного проектирования для расчета и создания V-образного поршневого компрессора [Текст]: матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій, м. Суми, 23–26 квітня 2013 р., у 2-х ч. / А. С. Бережной, Д. В. Сорокина, Ю. Ю. Усик; під ред. О. Г. Гусака, В. Г. Євтухова // Сучасні технології у промисловому виробництві. — Суми: СумДУ, 2013. — Ч. 2. — С. 41.
7. Бондаренко, Г. А. Компрессорные станции [Текст]. Ч. 1: Воздушные компрессорные станции: учеб. пос. в 2-х ч. / Г. А. Бондаренко, Г. В. Кирик. — Сумы: СумГУ, 2012. — 344 с.
8. Горин, Г. С. Анализ результатов сравнительных испытаний тягово-сцепных свойств колес с шинами низкого и сверхнизкого давления [Текст] / Г. С. Горин, А. А. Янчук, А. В. Ващула // Тракторы и сельхозмашины. — 2013. — № 4. — С. 14–18.
9. Мазур, В. В. Исследование плавности хода автомобиля с пневматическими шинами повышенной безопасности [Текст] / В. В. Мазур, О. Ёндон // Механика XXI века. — 2013. — № 12. — С. 190–192.
10. Технология нового поколения для сбора масла в поршневых компрессорах [Текст] // Компрессорная техника и пневматика. — 2013. — № 4. — С. 6.
11. Туголуков, Е. Н. Математическое моделирование процесса сжатия реального газа в поршневом компрессоре [Текст] / Е. Н. Туголуков, Е. С. Егоров // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. — 2012. — № 1. — С. 50–53.
12. Захаренко, А. В. Поршневые компрессоры без цилиндрической смазки в установках разделения воздуха [Текст] / А. В. Захаренко, В. П. Захаренко // Компрессорная техника и пневматика. — 2013. — № 8. — С. 2.
13. Система подкачки проколотовой шины [Электронный ресурс]: патент РФ на полезную модель № 65428: В60С23/10 (2006.01) / Васильев О. К., Ушанов В. Н.; патентообладатель Васильев О. К. — № 2006143241/22; заявл. 07.12.2006; опубл. 10.08.2007. — Режим доступа: \www/URL: http://bankpatentov.ru/node/47062. — 18.05.2014.
14. Пневматический насос для накачки шин [Текст]: пат СССР № 1614927: В60С23/12 / Кравец И. А., Прилуцкий В. И.; Украинская сельскохозяйствен-

- ная академия — № 4667142/30-11; заявл. 26.01.89; опубл. 23.12.90, Бюл. № 47. — 2 с. — Режим доступа: \www/URL: <http://patentdb.su/2-1614927-pnevmaticheskij-nasos-dlya-nakachki-shin.html>. — 18.05.2014.
15. Устройство для накачки пневматических шин [Электронный ресурс]: пат. РФ № 2077994: МПК 6 В60С23/12, В60С23/12 / Алешков И. Н.; заявитель и патентообладатель Алешков И. Н. — № 94031574/11; заявл. 29.08.1994; опубл. 27.04.1997. — Режим доступа: \www/URL: <http://ru-patent.info/20/75-79/2077994.html>. — 18.05.2014.
  16. Пристрій для накачування пневматичних шин [Текст]: пат. 72105 України: МПК (2012.01) В50С 23/00 / Зубенко Д. Ю.; Харківська національна академія міського господарства. — и 201200091; заявл. 03.01.2012; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 15. — 3 с. — Режим доступа: \www/URL: <http://uapatents.com/4-72105-pristriij-dlya-nakachuvannya-pnevmatichnikh-shin.html>. — 18.05.2014.
  17. Пластинин, П. И. Поршневые компрессоры [Текст]. Т. 1. Теория и расчет / П. И. Пластинин. — М.: КолосС, 2006. — 3-е изд., доп. — 456 с.
  18. Подземно-наземное сооружение — необслуживаемый усилительный пункт [Электронный ресурс]: патент РФ на полезную модель № 63376: МПК E02D29/00 (2006.01) / Масленников С. Г., Зайнаков В. А., Трындин С. В.; патентообладатель Открытое акционерное общество «Брянский завод металлоконструкций и технологической оснастки». — № 2007104221/22; заявл. 02.02.2007; опубл. 27.05.2007. — Режим доступа: \www/URL: <http://bankpatentov.ru/node/471538>. — 18.05.2014.
  19. Поршневой компрессор [Электронный ресурс]: пат. РФ № 2379552: МПК F04C 21/00, F04B 27/00 / Черняков Ф. А., Черняков Ю. Ф.; заявитель и патентообладатель Черняков Ф. А., Черняков Ю. Ф. — № 2009107385/06; заявл. 02.03.2009; опубл. 20.01.2010. — Режим доступа: \www/URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2379552>. — 18.05.2014.
  20. Поршневой компрессор с внутренним потоком охлаждающего воздуха в камере [Электронный ресурс]: пат. РФ № 2362051: МПК МПК F04B 39/06 / Хартль Михаэль; патентообладатель КНОРР БРЕМЗЕ ЗЮСТЕМЕ ФЮР ШИНЕН-ФАРЦОЙГЕ ГМБХ. — № 2007111955/06; заявл. 31.08.2005; опубл. 20.07.2009. — Режим доступа: \www/URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2362051>. — 18.05.2014.
  21. Компрессор модель С415М. Компрессор модель С416 [Текст]: Паспорт С415М.00.00.000. ПС С416М.00.00.000.ПС. — Бежецк: ОАО «Бежецкий завод «Автоспецоборудование». — Режим доступа: \www/URL: <http://sibstankoservis.narod.ru/pasports/c415m.pdf>. — 18.05.2014.
  22. Поршневой компрессор бесшатунного типа с кривошипно-планетарным механизмом [Электронный ресурс]: патент РФ на полезную модель № 96192: F04B27/00 (2006.01) / Мухутдинов Ю. М.; патентообладатель Мухутдинов Ю. М. — № 2010110745/22; заявл. 22.03.2010; опубл. 20.07.2010. — Режим доступа: \www/URL: <http://bankpatentov.ru/node/40046>. — 18.05.2014.
  23. Поршневий компресор безкривошипно-безшатунного типу [Текст]: пат. 63376 Україна: МПК F04B 27/00 / Зубенко Д. Ю.; Харківська національна академія міського господарства. — и 201102310; заявл. 28.10.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19. — 3 с. — Режим доступа: \www/URL: <http://uapatents.com/2-63376-porshnevijj-kompresor-bezkrivoshipno-bezshatunnogo-tipu.html>. — 18.05.2014.
  24. Троллейбус пассажирский ЮМЗ Т2. [Текст]: Техническое описание ЮМЗ Т2 ТО. — 1998. — 217 с.
  25. Терешенко, В. К. Источники и первичные преобразователи энергии [Текст] / В. К. Терещенко, К. Т. Конов, Л. М. Крутий и др. — МО СССР, 1979. — 554 с.
  26. Френкель, М. И. Поршневые компрессоры [Текст]. Теория, конструкция и основы проектирования / М. И. Френкель. — Л.: Машиностроение, 1969. — 743 с.
  27. Куренев, С. И. Сборник задач по расчету электрических цепей [Текст] / под. ред. С. И. Куренева, М. П. Пинеса. — М.: Высшая школа, 1967. — 384 с.

### ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В статье показана запатентованная полезная модель устройства для накачивания пневматических шин, которая позволяет ехать машине с пробитым колесом. А также предложен запатентованный прототип поршневого компрессора безкривошипно-безшатунного типа, который позволяет обеспечивать и поддерживать давление воздуха в пневмосистеме транспортных средств. Показана эффективность работы нового компрессора по сравнению со стандартным.

**Ключевые слова:** пневматическая шина, компрессор, транспортное средство, надежность работы, безотказность, пневматические устройства.

*Зубенко Денис Юрійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електротранспорту, Харківський національний університет міського господарства ім О. М. Бекетова, Україна, e-mail: Denis04@ukr.net.*

*Зубенко Денис Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра электротранспорта, Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, Украина.*

*Zubenko Denys, Kharkiv National Academy of Municipal Economy, Ukraine, e-mail: Denis04@ukr.net*