

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. Досягнення високих техніко-економічних показників перевізного процесу на залізничному транспорті України пов'язано з рішенням задач щодо забезпечення потрібних експлуатаційних характеристик і надійності систем сучасного тягового рухомого складу (ТРС), які визначають безпеку руху поїздів. Серед таких систем в першу чергу слід виділити систему повітропостачання, яка функціонально пов'язана з гальмовою, електропневматичною, пісочною системами ТРС, а також відповідними допоміжними приладами. При цьому головну роль в забезпеченні зазначених систем стислим повітрям (з необхідними показниками за продуктивністю і тиском) відіграють компресори.

В нинішній час на тяговому та моторвагонному рухомому складі Укрзалізниці використовуються, в основному, поршневі компресори (типів КТ-6, КТ-7, К-3, ПК-3,5, ПК-5,25 та інш.), які при достатній продуктивності і тиску нагнітання характеризуються досить великими масогабаритними показниками, витратами потужності на привод, а також високими рівнями вібрацій, які негативно впливають на надійність і довговічність систем повітропостачання ТРС.

Вищевказане визначило важливість проведення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, спрямованих на удосконалення систем повітропостачання сучасного рухомого складу за рахунок поліпшення характеристик функціонування компресорів.

Актуальність теми дисертації. Результати досліджень, які проводились в Українській державній академії залізничного транспорту (УкрДАЗТ), показали, що віброактивність поршневих компресорів, які використовуються на рухомому складі, визначається використанням в основі їх механічних систем різних за конструктивними параметрами кривошипно-шатунних механізмів. До основних недоліків таких механізмів слід віднести високий ступінь інерційних навантажень, який головним чином визначається неврівноваженістю значних мас, що здійснюють зворотно-поступальний рух. До того ж поршневі компресори, що використовуються на ТРС, мають значні масогабаритні показники, суттєві витрати потужності на привод, а в окремих випадках потребують використання редукторів для їх приводу.

В Комплексній програмі оновлення залізничного рухомого складу України на 2006-2010 роки, затвердженій Наказом міністерства транспорту та зв'язку від 5 червня 2006 р. №535, визначені актуальні науково-технічні проблеми створення ТРС нового покоління. Серед них виділено необхідність розробки і впровадження на залізничному транспорті нових типів локомотивних компресорів. Такі компресори на відзнаку від існуючих повинні забезпечувати потрібні характеристики функціонування систем повітропостачання сучасного ТРС при виконанні вимог надійності,

зменшення габаритних розмірів та витрат потужності на привод. Це обґрунтувало необхідність проведення наукових досліджень в УкрДАЗТ в такому напрямку.

За результатами проведених досліджень встановлено, що одним з перспективних напрямків вирішення такого науково-практичного завдання є створення і використання компресорів нової конструкції. Зокрема розроблених в УкрДАЗТ біроторних шибєрних компресорів (БШК), які мають суттєві переваги у порівнянні з існуючими поршневыми компресорами за вказаними вимогами.

Це визначає актуальність теми дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертація виконана згідно Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року N 1555-р., а також планів держбюджетної науково-дослідної роботи «Розробка нової концепції і методів удосконалення механічних систем локомотивних енергетичних установок з метою поліпшення експлуатаційних характеристик» (ДР 0107U000341).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вирішення науково-практичного завдання – удосконалення систем повітропостачання сучасного тягового рухомого складу за рахунок використання компресорів нового типу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- виконати аналіз існуючих систем повітропостачання тягового та моторвагонного рухомого складу; провести дослідження особливостей конструкції поршневих компресорів, що використовуються в системах повітропостачання сучасного тягового та моторвагонного рухомого складу; оцінити надійність систем повітропостачання ТРС з поршневыми компресорами в експлуатації;
- проаналізувати доцільність і можливість удосконалення систем повітропостачання сучасного ТРС за рахунок використання нових компресорів, зокрема БШК;
- отримати математичні залежності показників роботи БШК від їх основних конструкційних параметрів;
- доопрацювати математичні моделі для розрахунку параметрів робочого процесу БШК у складі систем повітропостачання ТРС;
- отримати математичні залежності для розрахунку кінематичних та динамічних характеристик механічної системи нового компресора;
- визначити основні конструкційні параметри, параметри робочого процесу і техніко-економічні показники БШК для систем повітропостачання сучасних локомотивів і моторвагонного рухомого складу;
- розробити конструкцію БШК для систем повітропостачання моторвагонного рухомого складу;

- виконати відповідні технологічні проробки і виготовити дослідний зразок БШК;
- виготовити дослідний стенд і провести випробування з підтвердження працездатності компресора нової конструкції та адекватності розроблених математичних моделей;
- визначити економічну ефективність від впровадження рекомендацій з удосконалення систем повітропостачання сучасного рухомого складу за рахунок використання компресорів нового типу.

Об'єкт дослідження – процес удосконалення систем повітропостачання сучасного тягового рухомого складу на основі використання компресорів нової конструкції.

Предмет дослідження – конструкція біроторного шибєрного компресора для систем повітропостачання сучасного тягового рухомого складу.

Методи дослідження. При виконанні дисертаційних досліджень використовувались сучасні методи дослідження та удосконалення конструкції рухомого складу; методи теорії надійності при оцінюванні надійності існуючих поршневих компресорів в експлуатації ТРС; сучасні методи проектування і конструювання при розробці конструкції БШК і отриманні математичних залежностей показників нових компресорів від їх основних конструкційних параметрів; методи теорії механізмів і машин при складанні математичних залежностей для розрахунків кінематичних і динамічних характеристик механічної системи нового БШК; методи математичного планування експерименту в дослідженнях з визначення основних конструкційних параметрів і техніко-економічних показників нових компресорів для систем повітропостачання сучасних локомотивів і моторвагонного рухомого складу; сучасні методи експериментальних досліджень при визначенні показників дослідного компресора нової конструкції для систем повітропостачання тягового рухомого складу.

Наукова новизна одержаних результатів. В дисертаційній роботі вирішено науково-практичне завдання поліпшення експлуатаційних характеристик систем повітропостачання сучасного тягового рухомого складу за рахунок використання компресорів нового типу.

Вперше:

- науково обґрунтована доцільність використання БШК для удосконалення систем повітропостачання сучасного тягового рухомого складу;

- отримані нові аналітичні залежності для визначення показників роботи БШК від їх основних конструкційних параметрів, які забезпечують їх проектування у відповідності до експлуатаційних характеристик систем повітропостачання тягового рухомого складу;

- розроблені математичні залежності і алгоритм для розрахунку кінематичних і динамічних характеристик механічної системи БШК, які

забезпечують визначення їх експлуатаційних характеристик у складі систем повітропостачання ТРС.

Дістали подальшого розвитку:

- математичні моделі для визначення основних параметрів робочого процесу нових компресорів (БШК) за рахунок введення процедури уточнених розрахунків зміни їх поточних об'ємів;

- методи експериментального дослідження компресорів для систем повітропостачання сучасного ТРС.

Практичне значення одержаних результатів:

- для систем повітропостачання сучасних локомотивів і моторвагонного рухомого складу визначені основні конструкційні параметри, параметри робочого процесу і техніко-економічні показники БШК;

- запропоновані технічні рішення з удосконалення систем повітропостачання сучасного ТРС і компресорних станцій локомотиворемонтних підприємств, які захищені патентами України на винаходи та прийняті до впровадження в локомотивному депо Полтава і КП «Харківський метрополітен»;

- рекомендації з виготовлення, складання та випробування нових компресорів запропонованої конструкції;

- матеріали дисертаційної роботи можуть використовуватися при створенні нових і модернізації існуючих систем повітропостачання сучасного ТРС, а також у навчальному процесі Української державної академії залізничного транспорту при підготовці бакалаврів, спеціалістів і магістрів за спеціальністю «Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту».

Особистий внесок здобувача. В основних працях, що написані у співавторстві, здобувачеві належить: [1] – конструкція нового компресора для систем повітропостачання ТРС; [2] – методика визначення продуктивності компресора запропонованої конструкції; [3], [4] – математичні залежності для проведення розрахунків робочих поточних об'ємів БШК для ТРС; [5] – особливості впровадження нових компресорів в системах повітропостачання сучасного ТРС; [6] – розглядання особливостей виготовлення компресорів нової конструкції; [7] – методика розрахунку кінематичних характеристик ланок механічної системи БШК; [9] – результати математичного моделювання робочого процесу БШК для систем повітропостачання моторвагонного рухомого складу; [10] – нова конструкція компресорів для систем повітропостачання сучасного тягового і моторвагонного рухомого складу.

В додаткових працях, що написані у співавторстві, здобувачеві належить: [11] – конструкція стенду для проведення випробувань компресорів нової конструкції для систем повітропостачання ТРС; [12] – результати досліджень механічних систем компресорів для сучасного ТРС;

[13] – нова конструкція компресорів біроторного типу для систем повітропостачання сучасного тягового і моторвагонного рухомого складу.

Апробація результатів дисертації. Основні матеріали результатів дисертаційної роботи обговорювались і отримали схвалення на 12 міжнародних науково-технічних конференціях:

- 17-й міжнародній школі-семінарі «Перспективні системи управління на залізничному, промисловому і міському транспорті» (м. Алушта, 2005 р.);

- 66...72-й міжнародних науково-технічних конференціях кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств (Україна, м. Харків, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 рр.);

- 15-й, 16-й і 18-й міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Україна, м. Харків, 2007, 2008, 2009 рр.);

- Materiály v mezinárodní vědecko-praktická konference “DNY VĚDY 2009” 27 března – 05 dubna 2009 roku. Díl 17. Technické vědy. Matematika.: - Praha, 2009. - міжнародній науково-технічній конференції «Дні науки - 2009» (Чехія, м. Прага, 2009 р.)

Повністю результати дисертаційної роботи заслухані і схвалені на 72-й міжнародній науково-технічній конференції кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств (квітень 2010 р.), а також об'єднаному засіданні кафедр «Експлуатація та ремонт рухомого складу», «Механіка проектування машин» і «Матеріали і технології виготовлення виробів транспортного призначення» УкрДАЗТ за участю членів спеціалізованої вченої ради (червень 2010 р.).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані в 10 статтях у фахових виданнях, затверджених ВАК України.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 110 найменувань, та 9 додатків. Повний обсяг дисертації складає 165 сторінок, в тому числі 142 сторінки основного тексту, 15 таблиць, 53 рисунки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету роботи, задачі дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, подано інформацію про апробацію роботи і публікації основних результатів.

У першому розділі, який присвячено обґрунтуванню перспективних напрямків удосконалення систем повітропостачання сучасного тягового рухомого складу, виконано аналіз устрою систем повітропостачання тягового та моторвагонного рухомого складу, а також досліджено особливості конструкції компресорів, що в них використовуються. Науково обґрунтована доцільність удосконалення систем повітропостачання

сучасного ТРС за рахунок використання біроторних шибєрних компресорів запропонованої конструкції.

Задачам удосконалення систем повітропостачання ТРС присвячено велику кількість наукових праць. Найбільший внесок в цьому напрямку зробили: Андрєєв П.О., Бабанін О.Б., Балабін В.М., Басов Г.Г., Бершадський С.А., Боднар Б.Є., Горбунов М.І., Далека В.Х., Зайончковський В.М., Зарубін В.М., Кашуба В.І., Колесник І.К., Кудряш А.П., Кузнецов Т.Я., Мартенс Л.К., Маслієв В.Г., Матяш В.О., Мороз В.І., Омеляненко В.І., Паламарчук М.В., Панасенко М.В., Пластинін П.І., Тартаковський Е.Д., Тігарєв П.О., Фалендиш А.П., Френкель М.І., Хворост М.В. та інш.

На основі аналізу науково-технічної літератури та конструкторської документації досліджено особливості функціонування систем повітропостачання сучасного ТРС. Відзначена визначальна роль компресорів як джерел стислого повітря в забезпеченні потрібних експлуатаційних характеристик зазначених систем. Сформульовані основні вимоги до таких компресорів. Представлена загальна класифікація компресорів, які можуть використовуватися в системах повітропостачання сучасного ТРС.

Розглянуто особливості конструкції поршневих компресорів, що використовуються на магістральних і манєврових тепловозах, електровозах і моторвагонному рухомому складі. Виявлено, що такі компресори відзначаються суттєвими масогабаритними показниками і витратами потужності на привод. Результати експериментальних досліджень компресорів КТ-7, що проводились на Полтавському тепловозоремонтному заводі, підтвердили високий рівень їх віброактивності. Аналіз відмов W - подібних компресорів типу К-3, що використовуються в системах повітропостачання пасажирських електровозів серії ЧС 7, засвідчив недостатню надійність таких компресорів в експлуатації. При цьому однією з основних складових механізму відмов систем повітропостачання слід вважати високий рівень вібрацій поршневих компресорів типу К-3.

В якості альтернативи поршневим транспортним компресорам, розглянуто можливості використання в системах повітропостачання ТРС різних компресорів роторного типу. Відзначено їх переваги і недоліки.

Показано, що найбільш раціональним шляхом досягнення потрібних експлуатаційних характеристик систем повітропостачання ТРС є використання роторних компресорів нового типу - БШК. За результатами проведених досліджень була запропонована конструкція нового компресора для удосконалення систем повітропостачання ТРС.

Схема механічної системи БШК з двома шибєрами (двома робочими камерами I і II) в трьох фіксованих положеннях представлена на рис.1: *а*) – нагнітання стислого повітря з камери I і наповнення камери II ; *б*) – розрідження в камері I і стискання повітря в камері II ; *в*) – наповнення камери I і нагнітання стислого повітря з камери II .

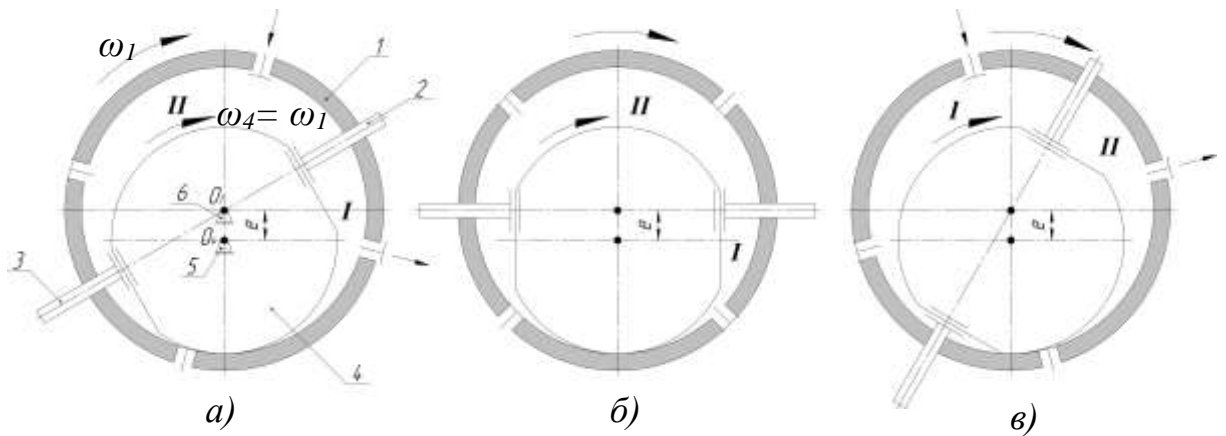


Рис.1. До розгляду особливостей конструкції і принципу дії компресора нового типу: 1 – зовнішній корпус з впускними і нагнітальними саморегульованими клапанами (обертається навколо осі O_1 з кутовою швидкістю ω_1); 2, 3 – шибери; 4 – внутрішній ротор (обертається навколо осі O_4 з кутовою швидкістю $\omega_4 = \omega_1$); 5, 6 – осі обертання O_1 і O_4 ; e – ексцентриситет

Показано, що у порівнянні з існуючими поршневыми компресорами, нові компресори мають суттєві переваги за надійністю, масогабаритними показниками і витратами потужності на привод.

У **другому розділі** представлені результати розрахункових досліджень компресорів нового покоління для удосконалених систем повітропостачання тягового та моторвагонного рухомого складу.

На першому етапі досліджень були розроблені математичні описання залежності продуктивності БШК від його основних конструкційних параметрів. На рис.2 у відповідності до розробленої документації показані основні конструкційні параметри механічної системи нового компресора: ексцентриситет (відстань між осями обертання корпуса та ротора) – e ; діаметр осі 1 – D_o ; зовнішній діаметр ротора 2 – d ; внутрішній діаметр корпуса 3 – D_k (визначається з урахуванням розмірів торцевих ущільнень 2Δ); довжина повздовжніх перерізів робочих камер компресора – L ; товщина шибера 4 – δ ; кількість шиберів (кількість робочих камер компресора) – z .

Повний об'єм однієї камери компресора визначається за формулою

$$V_1 = L \cdot F_{k1}, \quad (1)$$

де F_{k1} – найбільша площа поперечного перерізу однієї камери, яка визначається з формули

$$F_{k1} = \frac{\pi}{4z} \cdot (8D_k \cdot e - 2e^2). \quad (2)$$

З формул (1), (2) об'єм однієї робочої камери:

$$V_1 = \frac{2 \cdot L \cdot \pi}{z} (D_k \cdot e - 2e^2). \quad (3)$$

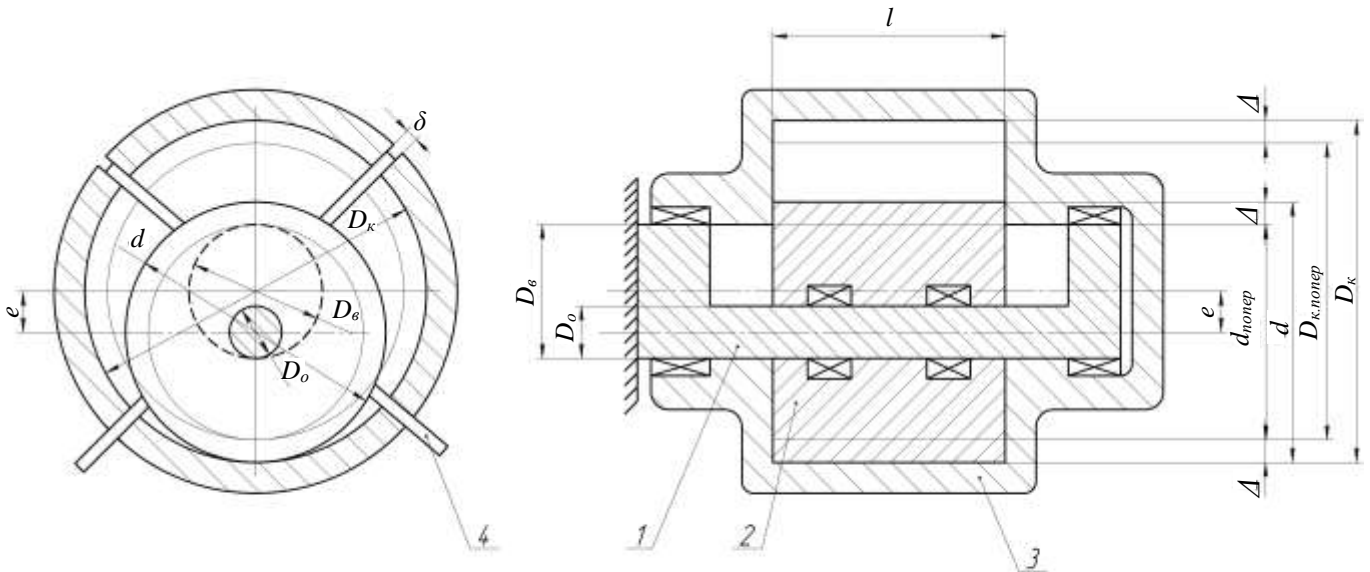


Рис.2. До визначення основних конструкційних параметрів БШК

Об'єм повітря, що надходить в компресор за один оберт ротора (при кількості робочих камер z)

$$V = V_1 \cdot z = 2 \cdot L \cdot \pi (D_\kappa \cdot e - 2e^2). \quad (4)$$

При розрахунку об'єму робочих камер БШК V_κ необхідно враховувати об'єм, що займається шиберами $V_{ш}$

$$V_\kappa = V - V_{ш}. \quad (5)$$

$$V_{ш} = S_{ш1} \cdot z, \quad (6)$$

де $S_{ш1}$ - площа перерізу одного шибера

$$S_{ш1} = l \cdot \delta. \quad (7)$$

Теоретична продуктивність нового компресора визначається за формулою

$$Q_m = V_\kappa \cdot n, \quad (8)$$

де n - частота обертання рухомого корпусу БШК.

Розроблена методика та математичні описання використовувались в подальших розрахункових дослідженнях з визначення основних конструкційних параметрів БШК.

Основою для проведення оцінки ступеня досконалості нових компресорів, а також формування масивів даних для виконання динамічного дослідження їх механічних систем, є індикаторні діаграми робочих процесів БШК. Для розрахунку таких діаграм в дисертаційній роботі запропоновано математичну модель, що містить процедуру уточнених розрахунків поточних об'ємів робочих камер нового компресора.

Суттєву роль при проектуванні нових компресорів відіграють результати математичного моделювання кінематичних та динамічних процесів, що протікають в їх механічних системах. З урахуванням того, що

механізм руху нового компресора є плоским кінематичним ланцюгом, дослідження кінематики його ланок виконувалось з використанням методу проєкцій замкнених векторних контурів на координатні осі. Відповідно до такого методу наведена кінематична схема механізму умовно замінюється векторним контуром $OBCAO$ (рис.3 а), для якого може бути складено наступна умова замкнення

$$\bar{R} + \bar{l}'_1 = \bar{e} + \bar{l}'_2, \quad (9)$$

де R – радіус рухомого корпусу, e – ексцентриситет.

Приймаючи, що $\bar{l}'_1 = \bar{R} + \bar{l}'_1$, $\bar{l}'_2 = \bar{r} + \bar{l}'_2$, рівняння (9) буде мати вид

$$\bar{e} + \bar{r} + \bar{l}'_2 = \bar{l}'_1, \quad (10)$$

де r – радіус ротора з напрямною.

Відповідно до вказаного методу складені рівняння проєкцій векторного контуру (10) на осі системи координат xOy :

$$\text{на ось } x: \quad r \cdot \cos \varphi_3 + l_2 \cdot \cos \varphi_2 = l_1 \cdot \cos \varphi_1. \quad (11)$$

$$\text{на ось } y: \quad e + r \cdot \sin \varphi_3 - l_2 \cdot \sin \varphi_2 = l_1 \cdot \sin \varphi_1. \quad (12)$$

З перетворення формул (11), (12) отримані аналітичні описання для визначення поточних значень кінематичних параметрів шибера (переміщення s_c , швидкості V_c і прискорення a_c) в залежності від положення початкової ланки l – величини кутової узагальненої координати:

$$s_c = e \cdot (1 - \cos \varphi_1); \quad (13)$$

$$V_c = \frac{ds_c}{d\varphi_1} \cdot \omega_1 = e \cdot \sin \varphi_1 \cdot \omega_1; \quad (14)$$

$$a_c = \frac{dV_{qc}}{d\varphi_1} \cdot \omega_1^2 = \frac{d^2 s_c}{d\varphi_1^2} = e \cdot \cos \varphi_1 \cdot \omega_1^2. \quad (15)$$

На рис.3 б представлено розрахункову схему для проведення динамічного дослідження механічної системи двокамерного компресора, метою якого є розрахунок реакцій R в усіх кінематичних парах (КП), що утворені відповідними ланками механізму руху (формування даних для проведення розрахунків на міцність відповідних деталей) і визначення зрівноважувальних моментів $M_{зр}$, які необхідно прикласти до початкової (вхідної) ланки, щоб вона рухалась за заданим законом (дані для обґрунтування вибору типу привода). При проведенні динамічного дослідження ураховуються такі сили:

- сили інерції F_{in2} і F_{in3} , що обумовлені прискореними рухами шиберів 2 і 3 у напрямних ротора 4 - $F_{in2} = m_2 \cdot a_2$; $F_{in3} = m_3 \cdot a_3$ (де $m_2 = m_3$ - маси шиберів 2 і 3; a_2, a_3 - прискорення шиберів в розрахунковому положенні механізму компресора);

- сили тиску повітря на шибери 2 і 3 з боку робочої камери I F_{2I}, F_{3I} ;
- сили тиску повітря на шибери 2 і 3 з боку робочої камери II F_{2II}, F_{3II} ;
- сили тиску повітря на рухомий корпус I з боку робочих камер I і II F_{1I}, F_{1II} ;
- сили тиску повітря на ротор 4 з боку робочих камер I і II F_{4I}, F_{4II} .

Величини діючих на ланки сил $F_{2I}, F_{3I}, F_{2II}, F_{3II}, F_{1I}, F_{1II}, F_{4I}, F_{4II}$ визначаються з використанням індикаторних діаграм і розроблених математичних описань для розрахунку геометричних параметрів механічної системи нового компресора.

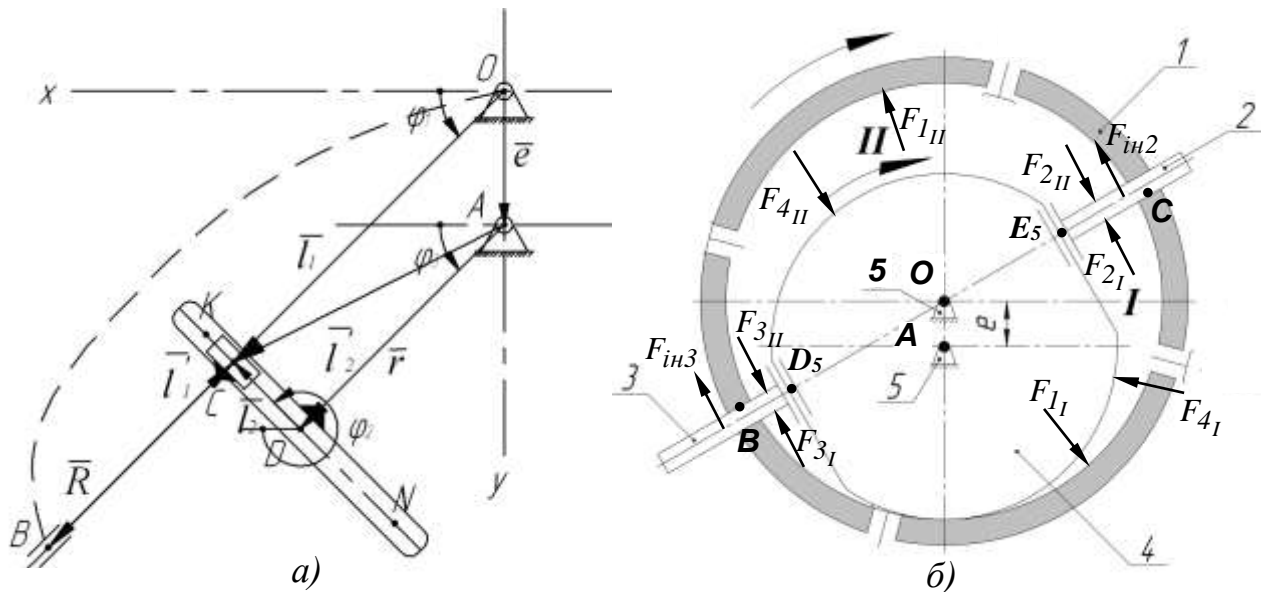


Рис.3. Розрахункові схеми для проведення кінематичного та динамічного дослідження механічної системи нового компресора

Сучасні підходи до проведення динамічного дослідження механізмів передбачають його виконання на основі розглядання стану рівноваги відповідної системи сил. При цьому використовується принцип Даламбера, згідно з яким рухома система перебуває в кожний момент часу під дією сил (активних сил, реакцій в КП, сил інерції рухомих ланок) в рівновазі. Такому теоретичному положенню відповідає формула

$$\sum_{i=1}^n \bar{F}_i + \sum_{j=1}^m \bar{R}_j + \sum_{k=1}^l \bar{F}_{ink} = 0, \quad (16)$$

де $\sum_{i=1}^n \bar{F}_i$, $\sum_{j=1}^m \bar{R}_j$, $\sum_{k=1}^l \bar{F}_{ink}$ - відповідно векторні додатки активних сил, діючих на ланки, векторний додаток реакцій у всіх КП, сил інерції відповідних ланок механічної системи.

Показано, що за результатами таких розрахунків для циклу руху механічної системи (з заданим кроком $\Delta\varphi_1$) визначаються:

- максимальна величина реакції R_{54max} (в КП, що утворена ротором 4 і стояком 5), з урахуванням якої проводяться дослідження міцності відповідного валу і підбір його підшипників;
- максимальна величина реакції R_{51max} (в КП, що утворена рухомих корпусом 1 і стояком 5), з урахуванням якої проводяться дослідження міцності відповідного валу і підбір його підшипників;
- визначаються $M_{зр}$, за якими вибирається привод БШК, що при заданій конструкції механічної системи забезпечує його працездатність.

Відзначено, що запропонований підхід для проведення динамічного дослідження механічної системи компресора нової конструкції може застосовуватися при будь-якому числі шиберів z .

Розробка конструкції нових компресорів для систем повітропостачання сучасного ТРС обумовила необхідність обґрунтованого вибору їх основних конструкційних параметрів, при яких забезпечується постачання стислого повітря з необхідним тиском і продуктивністю. Показано, що найбільш раціональним шляхом проведення таких досліджень є отримання і аналіз узагальнених математичних моделей (УММ), які описують залежність основних показників компресора (дійсної продуктивності Q , загального об'єму конструкції V_{Σ} , витрат потужності на привод N_{∂}) від означених конструкційних параметрів (діаметр рухомого корпусу D_K і довжина циліндру L) для прийнятих інтервалів їх зміни та частоти обертання валу компресора n .

Розробка універсальних УММ виду $\bar{Q} = Q/n = f(D_K, L)$, $V_{\Sigma} = f(D_K, L)$ і $\bar{N}_{\partial} = N_{\partial}/n = f(D_K, L)$ проводилась з використанням методів математичного планування експериментів (МПЕ). При цьому наявність УММ для описання відносних значень продуктивності (\bar{Q}_n) і витрат потужності на привод ($\bar{N}_{\partial n}$), дозволяє використовувати їх для варіантів БШК з різними частотами обертання n . Отримання УММ здійснювалось на основі ортогонального математичного плану (табл.1) для двох змінних, що варіюються на трьох рівнях в обґрунтовано обраних інтервалах: $D_K = 100...280$ мм, $L = 70...270$ мм.

Реалізація математичного плану дозволила отримати шукані адекватні УММ у вигляді поліномів другого ступеня:

$$\bar{Q} = 1,1731 \cdot 10^{-3} - 1,43 \cdot 10^{-5} \cdot D_K - 7,8 \cdot 10^{-6} \cdot L + 3,8 \cdot 10^{-8} \cdot D_K^2 + ; \quad (17)$$

$$+ 1,5 \cdot 10^{-9} \cdot L^2 + 9,2 \cdot 10^{-8} \cdot D_K \cdot L$$

$$\bar{N}_{\partial} = 7,4182 \cdot 10^{-3} - 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot D_K - 4,93 \cdot 10^{-5} \cdot L + 2 \cdot 10^{-7} \cdot D_K^2 + ; \quad (18)$$

$$+ 9,2 \cdot 10^{-9} \cdot L^2 + 5,83 \cdot 10^{-7} \cdot D_K \cdot L$$

$$V_{\Sigma} = 0,097326 - 0,001186 \cdot D_K - 6,472 \cdot 10^{-4} \cdot L + 3,12 \cdot 10^{-6} \cdot D_K^2 + \\ + 1,233 \cdot 10^{-7} \cdot L^2 + 7,642 \cdot 10^{-6} \cdot D_K \cdot L \quad (19)$$

Таблиця 1

Математичний план дослідження

№№	X_1	X_2	D_K , мм	L , мм	\bar{Q} , ($m^3/xв$)/(об/хв)	V_{Σ} , m^3	\bar{N}_d , кВт/(об/хв)
1	1	1	280	270	0,005136372	0,4257	0,032480876
2	1	-1	280	70	0,001331652	0,1104	0,008420968
3	-1	1	100	270	0,00065515	0,0543	0,004142969
4	-1	-1	100	70	0,000169854	0,0141	0,001074103
5	0	0	190	170	0,001489131	0,1234	0,009416817
6	1	0	280	170	0,00323401	0,268	0,020450922
7	-1	0	100	170	0,000412502	0,0342	0,002608536
8	0	1	190	280	0,0024526863	0,2033	0,015510052
9	0	-1	190	70	0,00061317156	0,0508	0,003877513

З метою дослідження УММ (17)...(19) був побудований допоміжний графік (рис.4 а) для частоти обертання валу БШК $n = 1500 \text{ об/хв}$. Відзначені на графіку точки 1, 2, 3, 4, 5 відповідають конструкційним параметрам, габаритам і витратам потужності на привод нових БШК, які за своєю продуктивністю і тиском нагнітання повітря відповідають існуючим поршневым компресорам типів КТ-7; ПК-3,5; ВВ-1,5/9; ЭК-7Б; ЭК-4 (використовуються в системах повітропостачання відповідно магістральних тепловозів серії 2ТЕ116, маневрових тепловозів ТГМ6, дизель-поїздів ДР1А, електропоїздів ЕР2, вагонів метрополітену серій 81 і ЕС).

При проведенні досліджень різниця в контрольованих показниках нових компресорів і їх прототипів кількісно оцінювалась за величинами коефіцієнтів зниження витрат потужності на привод $k_N = N_{днром} / N_{дн}$, конструктивного об'єму $k_{V_{\Sigma}} = V_{\Sigma нром} / V_{\Sigma н}$ і маси компресора $k_m = m_{нром} / m_n$. Встановлено, що у порівнянні з розглянутими поршневыми компресорами, нові компресори при забезпеченні потрібної продуктивності потребують значно менших витрат потужності на привод ($k_N = 1,22...1,65$), а також відзначаються суттєво нижчими масо-габаритними показниками ($k_{V_{\Sigma}} = 1,8...4,2$ і $k_m = 1,5...2,8$) - рис.4 б.

В третій розділ включені матеріали, які містять результати робіт, що спрямовані на проектування та експериментальне дослідження компресора нового типу для удосконалення систем повітропостачання сучасного моторвагонного рухомого складу.

З використанням запатентованих технічних рішень виконана розробка проектно-конструкторської документації БШК для удосконалення систем

повітропостачання рухомого складу метрополітену (прототип – поршневий компресор ЭК-4 продуктивністю $Q = 0,43 \text{ м}^3 / \text{хв}$ і тиском нагнітання $p_H = 0,8 \text{ МПа}$).

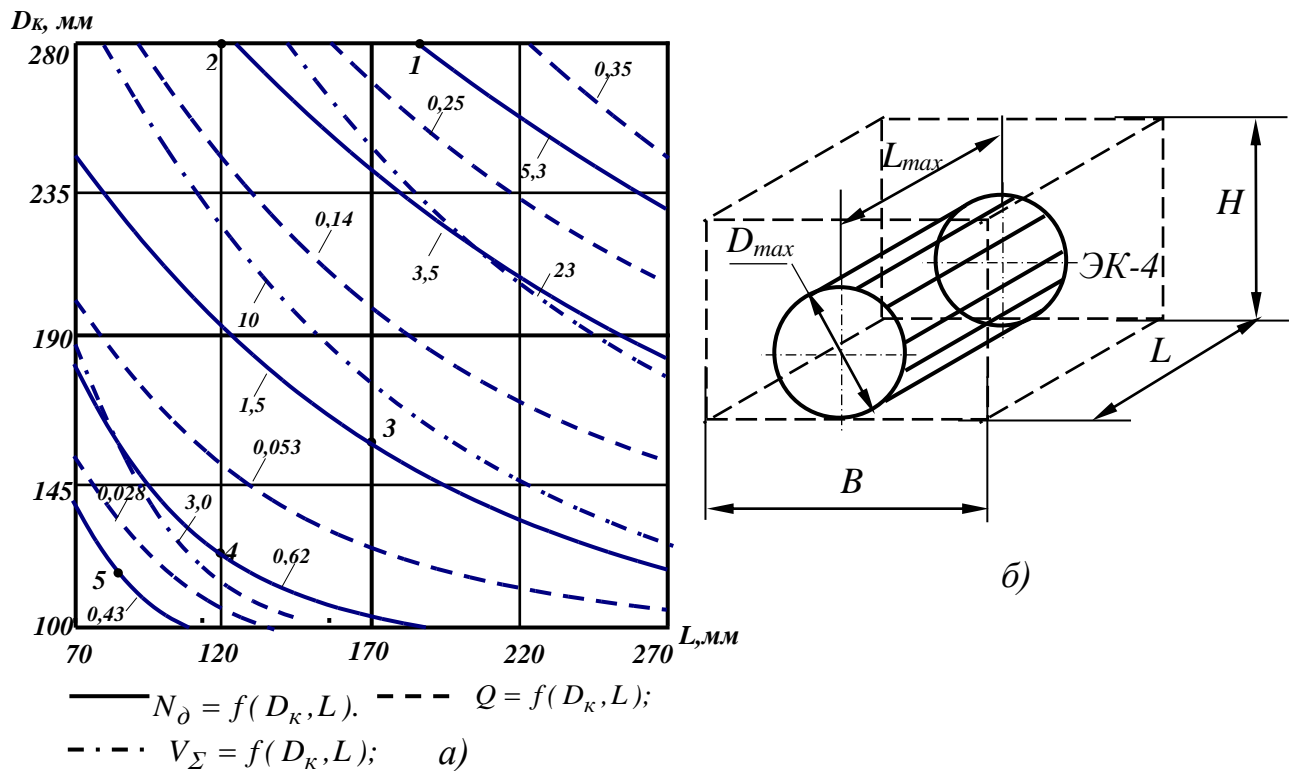


Рис.4. До визначення основних параметрів БШК для рухомого складу

Основою для проведення таких робіт стали результати попередніх досліджень з визначення основних конструкційних параметрів нового компресора: внутрішній діаметр рухомого корпусу $D_k = 120 \text{ мм}$ і довжина циліндру $L = 82 \text{ мм}$ відповідають точці 5 на рис.4 а. Було проведено моделювання робочого процесу нового компресора і досліджені кінематичні і динамічні процеси в його механічній системі. Результати розрахункових досліджень урахувались при розробці відповідної конструкторської документації.

З аналізу конструкторської документації виявлені найбільш складні у виготовленні елементи конструкції БШК. Показано, що при виготовленні компресорів запропонованої конструкції доцільно урахувувати висвітлені особливості технології виготовлення та складання експериментального зразку БШК. На основі розробленої документації виготовлений дослідний компресор запропонованої конструкції для удосконалення систем повітропостачання рухомого складу метрополітену (рис.5).

Експериментальні дослідження нового компресора були спрямовані на підтвердження його працездатності і доцільності використання в системах повітропостачання рухомого складу метрополітену замість існуючих поршневих компресорів типу ЭК-4.

Для проведення випробувань нового компресора був спроектований та виготовлений дослідний стенд. Результати експериментальних досліджень засвідчили, що новий компресор за своїми основними показниками повністю відповідає вимогам, що пред'являються до систем повітропостачання рухомого складу метрополітену (табл.2).



Рис.5. Дослідний компресор для систем повітропостачання моторвагонного рухомого складу

При цьому у порівнянні з поршневими компресорами ЭК-4 робочий об'єм БШК менший на 80%, маса - на 64%, а витрати потужності на привод - на 36%. Також встановлено, що робота нового компресора запропонованої конструкції відзначається суттєво зменшеними, у порівнянні з поршневими компресорами, рівнями вібрацій.

Таблиця 2

Основні показники дослідного компресора при частоті обертання валу $n = 1500$ об / хв

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Об'ємна продуктивність	Q	$м^3 / хв$	0,415
Потрібна потужність	N_k	$кВт$	2,6
Тиск нагнітання	p_n	$МПа$	0,82
Внутрішня потужність компресора	N	$кВт$	2,4
Механічний корисної дії	η_m		0,92
Коефіцієнт продуктивності (коефіцієнт подачі)	λ		0,51
Середня відносна швидкість поверхонь тертя	C_m	$м / с$	1,25

Оцінка економічної ефективності рекомендацій з удосконалення систем повітропостачання рухомого складу метрополітену за рахунок

використання компресорів нового покоління показала, що впровадження запропонованих рішень в умовах Харківського метрополітену забезпечить річний економічний ефект у розмірі 272203,30 грн.

ВИСНОВКИ

Дисертаційне дослідження, в рамках якого розв'язана науково-практична задача удосконалення систем повітропостачання сучасного тягового рухомого складу за рахунок використання компресорів нового типу, виконано у відповідності Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року N 1555-р. Отримані результати дозволяють зробити наведені нижче висновки.

1. В основі систем повітропостачання сучасного ТРС використовуються поршневі компресори. Особливості їх конструкції визначають наявність високого рівня вібрацій, відповідних інерційних навантажень в експлуатації, а також значні масогабаритні показники та суттєві витрати потужності на привод (за результатами досліджень: робочий об'єм компресора КТ-7 перевищує 1 м³, маса складає 646 кг, витрати потужності на привод 60 кВт – 2% ефективної потужності локомотивної енергетичної установки; імовірність безвідмовної роботи компресорів К-3 за межремонтний пробіг знижується на 40%).

2. Одним з перспективних напрямків удосконалення систем повітропостачання сучасного ТРС є використання нового біроторного шибєрного компресора, який має суттєві переваги у порівнянні з існуючими поршневими компресорами за надійністю, масогабаритними показниками і витратами потужності на привод (використання БШК замість компресора К-3 не потребує редуктора, підвищує до 25% імовірність безвідказної роботи, знижує на 50% робочий об'єм компресора на 25% витрати потужності на його привод).

3. В процесі конструювання БШК доцільно використовувати наведені в розділі 2.1 аналітичні залежності для вихідних показників БШК від його конструкційних параметрів.

4. Представлена в розділі 2.2 математична модель може використовуватися для розрахунку індикаторних діаграм БШК різних систем повітропостачання (за результатами експериментальних випробувань дослідного зразку БШК максимальна розбіжність між розрахунковими і експериментальними значеннями основаних параметрів не перевищує 5%).

5. При конструюванні БШК доцільно використовувати наведені в розділі 2.3 аналітичні залежності і алгоритм розрахунку кінематичних і динамічних характеристик механічної системи компресора.

6. При визначенні конструктивних параметрів БШК для систем повітропостачання різних одиниць ТРС доцільно використовувати наведені в розділі 2.4 узагальнені математичні моделі і відповідні допоміжні графіки. Це забезпечує правильний вибір БШК з найкращими розглядаємими показниками для конкретної системи повітропостачання ТРС.

7. В основу конструкції БШК для різних систем повітропостачання ТРС доцільно закладати отримані при проведенні дисертаційних досліджень патенто захищені технічні рішення (патент № 81264 «Роторний компресор», патент №51789 «Роторна машина»).

8. При створенні компресора нової конструкції доцільно використовувати наведені в розділі 3.2 рекомендації з технології виготовлення та складання БШК.

9. Можливість використання в системах повітропостачання рухомого складу нових компресорів підтверджується результатами стендових експериментальних випробувань дослідного зразка БШК. Вони підтверджують його працездатність та відповідність вимогам з забезпечення основних параметрів систем повітропостачання.

10. Отримані результати дисертаційної роботи свідчать, що одним з перспективних напрямків удосконалення систем повітропостачання сучасного рухомого складу є заміна поршневих компресорів на відповідні БШК. При цьому суттєво знижуються рівні вібрацій, поліпшуються масогабаритні показники, зменшуються витрати потужності на привод. Так, при заміні локомотивних компресорів КТ-7 робочий об'єм, що займається компресором зменшується на 75%, маса компресора – на 57%, витрати потужності на привод знижуються на 18%. При заміні локомотивних компресорів ПК -3,5 робочий об'єм зменшується на 44%, маса компресора – на 64%, витрати потужності на привод знижуються на 18%. Заміна компресорів ВВ-1,5/9 приводить до зменшення робочого об'єму на 25%, маси на 58%, витрат потужності на привод на 35%. При заміні компресорів ЭК – 7Б робочий об'єм компресора зменшується на 64%, маса компресора – на 32%, витрати потужності на привод знижуються на 24%. Заміна компресорів ЭК – 4 приводить до зменшення робочого об'єму компресора на 80%, маси на 64%, витрат потужності на привод на 36%.

Розрахунковий річний економічний ефект від заміни компресорів ЭК – 4 на БШК, визначений у відповідності до акту впровадження результатів дисертації у КП Харківський метрополітен, складає 272203,30 грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мороз В.І. Нова конструкція компресорів для технічних засобів транспорту / В.І.Мороз, М.Б.Чубикало, О.В.Братченко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 61. – С. 8-12.

2. Мороз В.І. Методика розрахунку продуктивності багатокамерного біроторного компресору /В.І.Мороз, М.Б.Чубикало, О.А.Логвіненко//Вісник

Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2005. – Вип. 33. – С. 103-109.

3. Мороз В.І. Уточнена методика розрахунку робочого об'єму багатокамерного біроторного компресора / В.І.Мороз, О.А.Логвіненко, М.Б.Чубикало // Міжвуз. зб. наук. праць / УкрДАЗТ, 2005. – Вип. 70. – С. 108-112.

4. Мороз В.І. Методика розрахунку поточних об'ємів роторного компресора / В.І.Мороз, М.Б.Чубикало, О.А.Логвіненко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – Вип. 69. – С. 80-90.

5. Мороз В.І. Перспективи використання нових багатокамерних біроторних компресорів на сучасних електровозах / В.І. Мороз, М.Б. Чубикало, О.В. Братченко, Н.П. Карпенко, О.А. Логвіненко // Зб.наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – № 73. – С 124-127.

6. Мороз В.І. Технологічний аспект виготовлення нових багатокамерних компресорів для рухомого складу /В.І. Мороз, М.Б.Чубикало // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип. 79. – С. 73-79.

7. Братченко О.В. Визначення кінематичних характеристик механічної системи багатокамерного біроторного компресора для технічних засобів транспорту / О.В.Братченко, О.А.Логвіненко, М.Б.Чубикало // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 107. – С. 147-152.

8. Чубикало М.Б. Експериментальне дослідження багатокамерного біроторного компресора для технічних засобів транспорту / М.Б.Чубикало // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 108. – С. 154-158.

9. Братченко О.В. Моделювання робочого процесу багатокамерного біроторного компресора / О.В.Братченко, О.А.Логвіненко, М.Б.Чубикало // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 113. – С. 143-148.

10. Пат. 81264 А Україна, МПК (2006) F04C18/00, F04C18/34, F04C18/356. Роторний компресор (варіанти) / Мороз В.І., Чубикало М.Б., Братченко О.В. (Україна). - №200503571; Заявл.15.04.2005; опубл. 15.12.2006, Бюл. №12.

Додаткові:

11. Мороз В.І. Стенд для експериментальних досліджень транспортних біроторних компресорів нового типу/В.І.Мороз, М.Б.Чубикало, О.В.Братченко // Materiály V mezinárodní vědecko-praktická konference “DNY VĚDY 2009” 27 března – 05 dubna 2009 roku. Díl 17. Technické vědy. Matematika.: - Praha, 2009. – S. 56 – 59.

12. Розробка нової концепції і методів удосконалення механічних систем локомотивних енергетичних установок з метою поліпшення експлуатаційних характеристик: [звіт про НДР № ДР 0107U000341] - Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 106 с.

13. Пат. 51789 Україна, МПК (2009) F01C1/348, F02B55/00, F03C2/00. Роторна машина / Чубикало М.Б. (Україна). - №201003199; Заявл.24.07.2009; опубл. 26.07.2010, Бюл. №14.

АНОТАЦІЯ

Чубикало М.Б. Удосконалення систем повітропостачання сучасного тягового рухомого складу за рахунок використання компресорів нового типу – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів; Українська державна академія залізничного транспорту; Харків, 2011.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-практичної задачі – удосконалення систем повітропостачання сучасного тягового рухомого складу за рахунок використання компресорів нового типу.

Науково обґрунтована доцільність удосконалення систем повітропостачання сучасного ТРС за рахунок використання біроторних шибєрних компресорів нової конструкції - БШК. Проведені розрахункові дослідження, спрямовані на розробку формалізованих описань залежності показників роботи БШК від їх основних конструкційних параметрів. Отримано єдине математичне описання кінематичних і динамічних процесів, що відбуваються в механічних системах нових компресорів. Визначені основні конструкційні параметри, параметри робочого процесу і техніко-економічні показники БШК, які орієнтовані на використання в системах повітропостачання сучасних локомотивів і моторвагонного рухомого складу. На основі результатів виконаних розрахункових досліджень і розробленої конструкторської документації виготовлено зразок нового компресора для систем повітропостачання моторвагонного рухомого складу. Працездатність дослідного компресора запропонованої конструкції підтверджена в ході експериментальних випробувань.

Ключові слова: тяговий рухомий склад, система повітропостачання, біроторний шибєрний компресор, конструкційні параметри і показники компресора нового типу.

АННОТАЦИЯ

Чубикало М.Б. Усовершенствование систем воздушноснабжения современного тягового подвижного состава за счет использования компрессоров нового типа – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов; Украинская государственная академия железнодорожного транспорта; Харьков, 2011.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-практической задачи – усовершенствованию систем воздушноснабжения

современного тягового подвижного состава за счет использования компрессоров нового типа.

Показано, что достижение высоких технико-экономических показателей перевозочного процесса на железнодорожном транспорте Украины связано с обеспечением требуемых характеристик и надежности систем современного тягового подвижного состава, которые непосредственно определяют безопасность движения поездов.

Среди данных систем выделены системы воздухообеспечения тягового подвижного состава, центральное место в которых занимают поршневые компрессоры. Такие компрессоры характеризуются значительными массогабаритными показателями, существенными затратами мощности на привод, а также высокими уровнями вибраций, которые негативно влияют на надежность и долговечность систем воздухообеспечения тягового подвижного состава. Научно обоснована целесообразность усовершенствования систем воздухообеспечения современного тягового подвижного состава за счет использования новых бироторных шиберных компрессоров, которые отличаются от существующих поршневых компрессоров значительно меньшими массогабаритными показателями, затратами мощности на привод и уровнями вибраций.

Проведены расчетные исследования, направленные на разработку формализованных описаний зависимости показателей новых компрессоров от их основных конструктивных параметров. Предложено единое математическое описание кинематических и динамических процессов, которые протекают в механических системах компрессоров предложенной конструкции. Сделан вывод, что основой для проведения оценки степени совершенства компрессоров предложенной конструкции, а также формирования массивов данных для выполнения динамического исследования их механических систем, являются индикаторные диаграммы рабочего процесса, которые рассчитываются с помощью доработанной математической модели, которая содержит процедуру уточненных расчетов текущих объемов рабочих камер БШК.

С использованием математических описаний, разработанных с использованием методов математического планирования экспериментов, определены основные конструктивные параметры, параметры рабочих процессов и технико-экономические показатели новых компрессоров, ориентированных на использование в системах воздухообеспечения современных электропоездов, тепловозов и моторвагонного подвижного состава.

На основе предложенных патентозащищенных технических решений, результатов выполненных расчетных исследований и разработанной конструкторской документации изготовлен опытный образец нового компрессора для усовершенствованных систем воздухообеспечения подвижного состава метрополитенов. В сравнении с заменяемыми

поршневыми компрессорами типа ЭК-4 новый компрессор имеет сниженные на 64% массогабаритные показатели и уменьшенные на 36% затраты мощности на привод. Результаты экспериментальных исследований, которые проводились с использованием спроектированного и изготовленного опытного стенда, полностью подтвердили работоспособность компрессора нового типа и обосновали целесообразность его использования в системах воздухообеспечения подвижного состава метрополитенов. При этом установлено, что работа нового компрессора сопровождается существенно меньшими (по сравнению с поршневыми компрессорами) уровнями вибраций. Показано, что полученные результаты являются основой для разворачивания опытно-конструкторских работ по созданию компрессоров предложенной конструкции для современного тягового и моторвагонного подвижного состава.

Ключевые слова: тяговый подвижной состав, система воздухообеспечения, бироторный шиберный компрессор, конструктивные параметры и показатели компрессора нового типа.

THE SUMMERY

Chubykalo M.B. The improvement of modern motive power air supply systems at the expense of the use of new type compressors. – Manuscript.

The dissertation to obtain the Degree of the Candidate of technical sciences according to the speciality 05.22.07 – railway rolling stock and train traction; Ukrainian State Academy of Railway Transport; Kharkiv, 2011.

The dissertation is dedicated to the solution of an acute scientific practical task - the improvement of modern motive power air supply systems at the expense of the use of new type compressors.

The appropriateness of the improvement of modern motive power air supply systems at the expense of the use of birotating sliding-vane compressors of offered design has been scientifically grounded. Calculated investigations directed to the development of the formalized descriptions of the dependence of new compressors indices upon their main design parameters have been made. The unified mathematical description of kinematic and dynamic processes, taking place in mechanical systems of new compressors, has been obtained. The main design parameters, work process-related parameters and engineering-and-economical performance of new compressors, oriented to be used in air supply systems of modern locomotives and motor car rolling stock have been determined. A sample of a new compressor for motor car rolling stock air supply systems has been produced on the base of the results of the performed calculated investigations and the developed design documentation. Functionability of the compressor of offered design has been proved in the course of experiments.

Key words: motive power, air supply system, birotating sliding-vane compressor, design parameters and indices of a new type compressor.