Тягові електричні машини забезпечують ефективність роботи електропривода, тому їх надійність визначає працездатність рухомого складу у цілому. Проаналізовано шляхи обліку методів прогнозування експлуатаційної надійності електрообладнання тролейбусів та вплив факторів на оцінку їх надійності. Запропоновано алгоритм діагностування та визначення надійності елементів тягових електричних двигунів рухомого складу міського електричного транспорту в процесі експлуатації

Ключові слова: тяговий електричний двигун, експлуатаційна надійність, діагностування, інтенсивність відмов, діагностичний параметр

Тяговые электрические машины обеспечивают эффективность работы электропривода, поэтому их надежность определяет работоспособность подвижного состава в целом. Проанализированы пути учета методов прогнозирования эксплуатационной надежности электрооборудования троллейбусов и влияние факторов на оценку их надежности. Предложен алгоритм диагностирования и определения надежности элементов тяговых электрических двигателей подвижного состава городского электрического транспорта в процессе эксплуатации

Ключевые слова: тяговый электрический двигатель, эксплуатационная надежность, диагностика, интенсивность отказов, диагностический параметр

УДК 621.33:621.333

ДІАГНОСТУВАННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

В. М. Шавкун
Старший викладач
Кафедра електричного транспорту
Харківський національний університет
міського господарства
ім. О. М. Бекетова
вул. Революції,12,
м. Харків, Украина, 61002
E-mail: shavkun1977@mail.ru

1. Вступ

На сьогодні наукові дослідження в Україні за таких складних економічних умов повинні бути направлені на розробку та впровадження технологій найбільш ефективного використання відомої техніки, її модернізації, підвищення надійності і подовження ресурсу роботи. Це забезпечить зменшення енергетичних і ресурсних витрат на виробництво.

Надійність роботи електричних двигунів рухомого складу міського електротранспорту, зокрема тролейбусів, за останні 10-15 років знизилась в окремих випадках у десятки разів. [1].

Таким чином, практика експлуатації тролейбусів потребує в розробці таких методів оцінки надійності тягових електродвигунів, використання яких дозволить отримати адекватні оцінки характеристик надійності з урахуванням властивостей структури, функціональних зв'язків деталей і вузлів.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Матеріали досліджень та досвід експлуатації тролейбусів свідчать, що на даний час відсутній ефективний автоматичний контроль тягових електричних двигунів, зокрема в процесі експлуатації, який дасть змогу значно підвищити стан електробезпеки під час експлуатації тролейбусів на маршрутах [1 – 3].

Аналіз умов експлуатації електродвигунів за останні роки свідчить про те, що надійність роботи електроприводів у цілому не тільки досягла бажаного рівня, а навпаки, знизилася [4].

Таким чином, контроль параметрів тягових електричних двигунів з метою підвищення їх надійності у процесі експлуатації є задачею актуальною.

В умовах фізичного «старіння» тролейбусів, що відбувається на електричному транспорті України, підвищення надійності експлуатації тягового рухомого складу неможливо без впровадження ефективних методів контролю якості їх технічного обслуговування і ремонту. При цьому для забезпечення необхідних обсягів і термінів перевезень, безпеки руху тролейбусів необхідно так будувати стратегію технічного обслуговування устаткування, щоб постійно підтримувати його надійність на гідному рівні, зменшувати час простою тролейбусів через несправність їхніх вузлів, агрегатів і систем. В цих умовах особливої уваги до себе, а точніше до оцінки стану, вимагає електроустаткування і, зокрема, тягові електродвигуни (ТЕД) постійного струму, оскільки вони відносяться до найбільш навантаженого електрообладнання з точки зору комплексного впливу теплових, електричних, механічних та кліматичних факторів. Їх вихід з ладу в експлуатації складає біля 20 % за пошкодженнями і 30 % за кількістю заходжень на неплановий ремонт від відповідних видів відмов по всьому обладнанню [1, 2]. Основні причини низької надійності електричних машин в експлуатації - незадовільна якість ремонту та пропускання дефектів при його контролі [2].

Матеріали досліджень та досвід експлуатації тролейбусів свідчать, що на даний час відсутній ефективний автоматичний контроль тягових електричних

© В. М. Шавкун, 2014

двигунів, зокрема в процесі експлуатації, який дасть змогу значно підвищити стан електробезпеки під час експлуатації тролейбусів на маршрутах [1 – 3].

Аналіз умов експлуатації електродвигунів за останні роки свідчить про те, що надійність роботи електроприводів у цілому не тільки досягла бажаного рівня, а навпаки, знизилася [4].

Метою досліджень є аналіз експлуатаційної надійності тягових електродвигунів тролейбусів та визначення шляхів її підвищення.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі дослідження: виявити фактори, що впливають на ресурс тягових двигунів тролейбусів; виконати математичне моделювання тягових двигунів з метою визначення зміни їх параметрів в процесі експлуатації; розробити алгоритм діагностування і визначення експлуатаційної надійності елементів тягових електричних двигунів тролейбусів.

3. Шляхи підвищення експлуатаційної надійності

Рішення задачі підвищення експлуатаційної надійності тягового електричного двигуна (ТЕД) тролейбуса вимагає чіткого уявлення про вимоги, що пред'являються до їх технічного стану і умов експлуатації. Тому в технічному завданні на проектування і технічних умовах на експлуатацію вказуються техніко-економічні характеристики, що регламентують роботу електродвигуна в межах заданих параметрів.

Тролейбус, який є одним з видів міського електричного транспорту, працює в різних умовах навантаження. З позиції вимог до надійності ТЕД важливо зв'язати їх електромеханічні характеристики і конструктивні параметри з умовами експлуатації.

Спільний вплив зовнішніх і внутрішніх факторів зумовлює якісні характеристики, а, отже, і експлуатаційну надійність електрообладнання тролейбуса. Перевищення допустимих рівней параметрів, які впливають на роботу елементів електрообладнання, прискорює їх знос, а при критичних значеннях викликає відмову, яка вимагає позапланового ремонту [4 – 6].

Аналіз роботи вузлів і агрегатів тролейбусів показує, що в умовах реальної експлуатації їх елементи мають тривалі екстремальні перевантаження. Є тенденція все більшого зростання питомих навантажень на двигуни та вузли.

Практика експлуатації гостро потребує адекватних методів прогнозування експлуатаційної надійності електрообладнання тролейбуса, зокрема ТЕД. Висока ступінь точності прогнозування може бути досягнута шляхом обліку методів оцінки надійності, впливу факторів (рис. 1).

Рішення проблеми адекватної оцінки надійності дасть різке зниження дисперсії відмов в експлуатації за рахунок їх скорочення у періоди між ремонтами і попередження їх шляхом використання ефективної системи планово-попереджувальних ремонтів (ППР).

Для точного визначення параметрів ППР необхідно виділити в методиці розрахунку найбільш значущі складові елементи. Як відомо, в процесі експлуатації відмови електродвигунів у часі носять випадковий характер, які реалізуються за певними законами. Тому важливим моментом дослідження є якісний і своєчасний аналіз кожного випадку відмови ТЕД. Отже, в умовах експлуатації цьому питанню необхідно приділяти особливу увагу [7 – 11].

Рис. 1. Класифікація факторів

Для досягнення високої точності оцінок параметрів надійності в експлуатації необхідно прагнути до розумних меж статистичної інформації.

Іншою важливою умовою є необхідність обґрунтування надійності елементів. Теоретичне і розрахункове обґрунтування раціональних рівнів деталей і вузлів, як правило, здійснюється на етапах проектування і стендових досліджень. Однак із-за безлічі випадкових і невипадкових факторів, що впливають на роботу системи часто буває неможливо отримати точні оцінки параметрів. Це призводить до розкиду параметрів в експлуатації.

Зазначені відхилення мають складну природу і деколи неможливо визначити природу їх формування. У практичних випадках цей пробіл заповнюється за рахунок збільшення статистичних даних.

Існуючі методи розрахунку надійності не враховують такі важливі особливості - практично виключаються при розрахунку конструктивні властивості тягових електродвигунів і функціональні зв'язки між параметрами окремих елементів. Для того щоб вирішити завдання раціонального розподілу рівнів надійності ТЕД, необхідно відповідним чином розподілити задану надійність системи, вузлів, деталей та ін. В цьому випадку проектування елементів системи буде проводитися згідно з розрахунковими параметрами, що забезпечить в сукупності необхідну надійність тягових електродвигунів.

Аналіз структури вузлів електродвигунів показує, що на етапі проектування важливо знати конструктивні і функціональні властивості елементів, способи формування вузлів і підвузлів, тобто, як деталі конструктивно пов'язані між собою (пайка, зварювання, гвинтове з'єднання і т. д.) внаслідок чого можна буде визначити основні параметри структури, дати повний опис системи [12, 13].

Ранг елемента «R» - розподіляє елементи схеми в порядку їх важливості. Значимість елемента при цьому характеризується тільки кількістю зв'язків даного елемента з іншими. «R» є визначальним показником, що характеризує конструктивні або функціональні зв'язки.

На підставі цього параметра можна судити, наскільки деталі функціонально можуть впливати один на одного, а, отже, і визначити їхню значимість. Чим вище ранг елемента, тим більше він пов'язаний з іншими елементами схеми і тим більш важким будуть наслідки відмов.

У результаті досліджень запропоновано алгоритм діагностування і визначення експлуатаційної надійності елементів ТЕД (рис. 2). Його рішення дозволить досягти адекватних оцінок надійності елементів тягових електродвигунів і їх раціональний розподіл, де будуть враховані структурні і функціональні параметри системи.

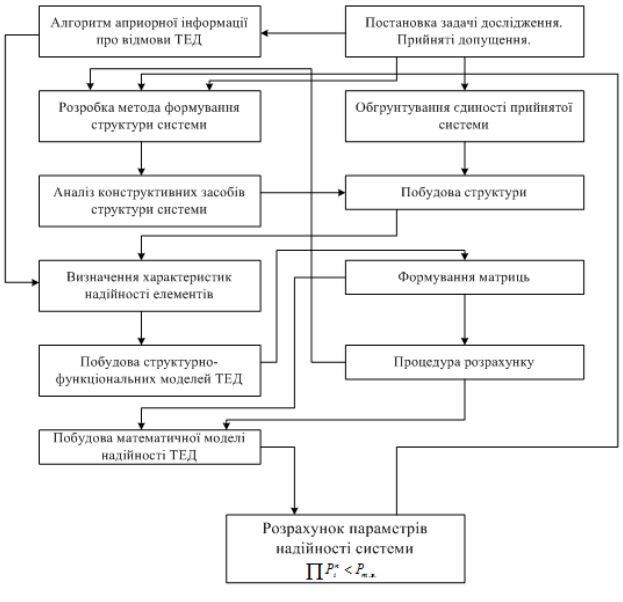

Рис. 2. Алгоритм діагностування і визначення експлуатаційної надійності елементів тягових електричних двигунів

На підставі встановлених вимог до надійності системи необхідно виробити умови щодо розподілу надійності між окремими її елементами. Завдання розподілу норм показників надійності між елементами тягових електричних двигунів вирішується на ранніх етапах проектування, зокрема, при обґрунтуванні вимог, встановлених технічного завдання на розробку технічної системи.

Мета такого розподілу вимог полягає в тому, що за допомогою моделі надійності задається надійність елементів (підсистем) таким чином, щоб забезпечувався необхідний рівень надійності системи в цілому.

Надійність системи також залежить від ступеня важливості елемента для функціонування системи, складності системи і зміни надійності елемента в залежності від характеру виконуваної функції [13].

Розподіл заданої надійності P* за елементами системи вимагає рішення наступної нерівності:

$$f\left(P_1, P_2, ...P_n\right) \geq P^*, \quad (1)$$

де f - функціональне співвідношення між елементами і системою;

$P_п$ - задана імовірність безвідмовної роботи п-го елемента.

Дане функціональне співвідношення можна використовувати для систем з послідовним і паралельним з'єднанням елементів. При інших конфігураціях системи це співвідношення не вдається представити у вигляді простих математичних виразів. Припустимо, що:

1) елементи системи виходять з ладу незалежно один від одного;

2) відмова будь-якого елемента призводить до відмови всієї системи;

3) інтенсивність відмов елементів постійна, тоді нерівність (1) матиме вигляд:

$$P_1(t)P_2(t)P_n(t) \geq P^*(t),$$

або

$$e^{-\lambda_1 t}e^{-\lambda_2 t}e^{-\lambda_n t} \geq e^{-\lambda^* t}, \quad (2)$$

де λ_n - інтенсивність відмов і-го елемента; λ^* - інтенсивність відмов системи:

$$\lambda_1 + \lambda_2 + ...\lambda_n \leq \lambda^*, \quad (3)$$

У першому наближенні в розрахунках можна стверджувати, що надійність між усіма елементами системи розподілена рівномірно. Передбачається, що система складається з п послідовно сполучених підсистем, що володіють однаковою надійністю.

Нехай P^* - необхідна імовірність безвідмовної роботи системи; P_i - імовірність роботи і-ой підсистеми. Тоді

$$P^* = \prod_{i=1}^{n} P_i,$$

або

$$P_i = \sqrt[n]{P^*}, \quad (4)$$

де п - число підсистем.

Основним недоліком цього методу є те, що рівень надійності підсистем встановлюється без урахування істинної надійності кожного з елементів. Це призводить до систематичної помилки в розрахунках.

У другому наближенні необхідно враховувати структурні і функціональні властивості системи. Припустимо, що підсистеми мають постійну інтенсивність відмов елементів, система є довільною в сенсі з'єднання елементів, а елементи взаємно незалежними з відмов і мають експоненційний розподіл часу роботи.

Ресурс елементів ТЕД значно відрізняється один від одного. Тому частина деталей електромашини, для яких він перевищує встановлену напрацювання до відновлення або заміни має на заданому інтервалі практично мало відмов. Отже, буде залежати від закону розподілу.

При заданому напрацюванні імовірність того, що двигун напрацює більше заданого значення, дорівнює:

$$P = \{\xi > 1\} = \int_{1}^{t+\infty} f(x)dx \qquad (5)$$

де f(x) - щільність розподілу; x - напрацювання на відмову.

При великих значеннях імовірності $P\{\xi > t\}$ значно зменшується число відмов в інтервалі 0 - t. При певних значеннях можна вважати потік відмов у цьому інтервалі стаціонарним, що задовольняє вимогам Пуассонівського потоку. Тоді модель імовірності відмови в інтервалі 0 - t можна отримати, підставивши в вираз f(x):

$$P = \{\xi > 1\} = \begin{cases} 1 - \exp[-\lambda t], \text{if} > 0 \\ 0, \text{if} = 0 \end{cases} \qquad (6)$$

звідси надійність дорівнюватиме:

$$P\{\xi \geq 1\} = \exp[-\lambda t]. \qquad (7)$$

Метод включає наступні етапи:

1. Визначення інтенсивності відмов підсистем λ_i за результатами спостережень або на основі оцінок за даними минулого часу.
2. Завдання рангу для кожної підсистеми відповідно до її структурної та функціональної значимості:

$$\sum_{i=1}^{n} R_i = 1, \qquad (8)$$

де R_i - ранг і-ой підсистеми.

Розрахунок необхідної інтенсивності відмов кожного елемента (підсистеми) λ_i^* на підставі необхідної імовірності безвідмовної роботи системи і функції надійності системи:

$$\lambda_i = \lambda_{\ i}. \qquad (9)$$

Завдання полягає в тому, щоб вибрати такі λ_i^*, щоб:

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i^* \geq \lambda_i^*. \qquad (10)$$

4. Визначення імовірності безвідмовної роботи елементів (підсистем) рангу:

$$P^*(t) = \exp(-\lambda_i^* t). \qquad (11)$$

Перший етап чисто емпіричний. На другому етапі визначаються параметри системи P_i, що впливають на якість структурної схеми при представленні її графом.

Граф системи, як правило, буває зв'язковим, тобто між будь-якою парою вершин існує чергування послідовності різних вершин і ребер.

При аналізі значущості кожного елемента в структурній схемі визначається ранг «R» цього елемента. Під «R» розуміють число всіх одноланкових і дволанкових шляхів, що зв'язують даний елемент з іншими.

На третьому етапі використовуються відомі аналітичні вирази.

Функціональні залежності і параметри, що характеризують надійність елемента, які виражені наступними виразами:

для частоти відмов

$$f(t) = \frac{dq(t)}{dt}, \qquad (12)$$

для інтенсивності відмов

$$\lambda(t) = \frac{1}{p(t)} \frac{dq(t)}{dt}, \qquad (13)$$

для середнього часу безвідмовної роботи

$$t_{cp} = \int_{0}^{\infty} tf(t)dt, \qquad (14)$$

де q - імовірність відмови елемента; p- імовірність безвідмовної роботи.

Наведені вирази легко поширюються на системи з довільним поєднанням елементів, а також на системи довільних відносин між елементами.

Якщо відомо аналітичний вираз для імовірності безвідмовної роботи системи, виражена через імовірності безвідмовної роботи її складових елементів, то:

для частоти відмов

$$F(t) = \sum_{i=1}^{n} \frac{dQ}{dq_i} f_i(t), \qquad (15)$$

де Q - імовірність відмови системи.

для інтенсивності відмов

$$\Lambda(t) = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^{n} \frac{dP}{dp_i} f_i(t), \qquad (16)$$

для середнього часу безвідмовної роботи

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^{n} \int_{0}^{\infty} t f_i(t) \frac{dP}{dp_i} dt, \qquad (17)$$

Справедливість наведених виразів доводиться шляхом використання понять диференціювання функції багатьох змінних.

Імовірність безвідмовної роботи (відмови) системи є функцією імовірності безвідмовної роботи (відмови), що входить в систему елементів:

$$P[p_1(t), p_2(t) \ldots p_n(t)],$$

або (18)

$$Q[q_1(t), q_2(t) \ldots q_n(t)].$$

Вираз для частоти відмов матиме вид:

$$F = \frac{dQ}{qt}. \quad (19)$$

В свою чергу:

$$dQ = \frac{dQ}{dq_1}\frac{dq_1}{dt}dt + \frac{dQ}{dq_2}\frac{dq_2}{dt}dt + \dots, \quad (20)$$

враховуючи (12) отримаємо:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ}{dq_1}f_1 + \frac{dQ}{dq_2}f_2 + \frac{dQ}{dq_n}f_n = \sum_{i=1}^{n}\frac{dQ}{dq_n}f_i. \quad (21)$$

Для системи з n довільно сполучених елементів імовірність безвідмовної роботи можна представити у вигляді полінома:

$$P = \sum_{i=1}^{n} a_i \prod_{i=1}^{k} P_i, \quad (22)$$

де коефіцієнти a_i - цілі, рівні числа шляхів з даною кількістю ребер.

З (14) можна інтегруванням отримати формулу для середнього часу безвідмовної роботи:

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^{k}\frac{a_i}{\Lambda_i}. \quad (23)$$

На підставі структурного аналізу системи і значень інтенсивності відмов або можливо оцінити, на рівні елементів, значення середнього часу безвідмовної роботи, або при заданому значенні T_{cp} встановити максимальні величини інтенсивності відмов для підсистем тягових електродвигунів.

Таким чином, результати проведених досліджень дають підстави рекомендувати для практичних розрахунків в умовах експлуатації метод, де враховуються структурно-функціональні властивості системи. Це дає можливість підвищити точність оцінюваних параметрів системи планово-попереджувальних ремонтів тролейбусів та підвищити ефективність роботи парку тролейбусів, за рахунок зниження відмов у період між ремонтами.

4. Висновки

У ході досліджень було розроблено алгоритм діагностування і визначення експлуатаційної надійності елементів ТЕД та надано практичні рекомендації щодо раціонального вибору діагностичних параметрів тягових електродвигунів.

Таким чином прагнення підвищити імовірність правильного і точного діагнозу, достовірність отримуваних результатів при дослідженні зміни параметрів електричних машин рухомого складу електричного транспорту в процесі їх експлуатації є задачею актуальною.

1. Проаналізовано експлуатаційну надійність тягових електродвигунів тролейбусів та визначено шляхи її підвищення.

Проаналізовано експлуатаційну надійність тягових електродвигунів тролейбусів, що свідчить про її низький рівень і необхідність удосконалення методів діагностування тягових електричних двигунів тролейбусів із визначенням шляхів її підвищення.

2. Виявлено фактори, що впливають на ресурс тягових двигунів тролейбусів у процесі експлуатації.

Виявлено зовнішні (експлуатаційні, технологічні) та внутрішні (параметри стану вузлів конструкції) фактори, що впливають на ресурс тягових двигунів тролейбусів у процесі експлуатації.

3. Розроблено алгоритм діагностування і визначення експлуатаційної надійності елементів тягових електричних двигунів тролейбусів.

Розроблено алгоритм діагностування і визначення експлуатаційної надійності елементів тягових електричних двигунів тролейбусів, який на відміну від існуючих дозволяє досягти адекватних оцінок надійності елементів тягових електродвигунів і їх раціональний розподіл, і особливість якого у тому, що враховуються структурні і функціональні параметри системи.

Таким чином прагнення підвищити імовірність правильного і точного діагнозу, достовірність отримуваних результатів при дослідженні зміни параметрів електричних машин рухомого складу електричного транспорту в процесі їх експлуатації є задачею актуальною.

Література

1. Шавкун, В. М. Методи моніторингу параметрів тягових електричних двигунів в процесі експлуатації рухомого складу міського електротранспорту [Текст] / В. М. Шавкун, В. М. Бушма // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – ХНАМГ.: технічні науки і архітектура, 2011. – Вип. 97. – С. 272-278.
2. Яцун, М. А. Експлуатація та діагностування електричних машин і апаратів [Текст] / М. А. Яцун, А. М. Яцун. – Львів.: «Львівська політехніка», 2010. – 228 с.
3. Шавкун, В. М. Вплив періодичності діагностування на показники надійності тягових електродвигунів рухомого складу електротранспорту [Текст] / В. М. Шавкун, С. П. Шацький // комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – ХНАМГ.: технічні науки і архітектура, 2011. – Вип. 101. – С. 265-269.
4. Шавкун, В. М. До питання підвищення надійності тягових електричних двигунів та ресурсозбереження на рухомому складі міського електричного транспорту [Текст] : Наук.-техн. зб./ В. М. Шавкун // Комунальне господарство міст:, серія: технічні науки і архітектура. ХНАМГ. – 2010. – Вип. 97. – С. 272-278.
5. Иваботенко, Б. А. Планирование эксперимента в электромеханике [Текст] / Б. А. Иваботенко, Н. Ф. Ильинский. – М.: Энергия, 1975. – 240 с.
6. Круг, Г. К. Математическое описание и оптимизация многофакторных процессов [Текст] / Г. К. Круг // Труды МЭИ. – М.: МЭИ, 1966. – Вып. 67. – С. 67-74.

7. Bridman, P. W. Dimensional Analysis [Text] / P. W. Bridman. – Yale University Press, 1988. – 50 p.
8. Devaux, J. La Duree de vie des moteurs electriques [Text] / J. Devaux // Entretier et travaux neufs. – N. – 1970. – V. 22.
9. Johnson, N. Distributions in Statistics: Continuous multivariate distributions [Text] / N. Jonson, S. Kotz. – New York.: Wiley, 1972.
10. Leadbetter, M. / Extremes and related hrjherties of random sequences and processes [Text] / M. Leadbetter, G. Lindgrem, H. Rootzer. – Berlin: Heildelberg, 1983.
11. Hurtgen, J. P. Hermetic Motor Life Test. Proceedings of 10-th Insulation Cjnferenct [Text] / J. P. Hurtgen. – Chicago, 1971.
12. Hecht, G. Economic formulation of Reliability Objectives. Proceedings of Annual Symposium on Reliability [Text] / G. Hecht. – Washington, 1971.
13. Kotovic, P. Minimum Energy control a traction motor [Text] / P. Kotovic, G. Singh. – UIEEE Transactions. Automatic control, 1972.

Стаття присвячена теоретичним дослідженням з подальшою експериментальною перевіркою залежності силових характеристик роботи ротаційного органу від його параметрів: співвідношення значень і напрямів векторів окружної та поступальної швидкостей. Встановлено вплив кінематичного режиму на тяговий опір установки. Визначено оптимальні значення кутової і поступальної швидкостей для забезпечення раціональних енергетичних характеристик і високої продуктивності установки

Ключові слова: ротаційний орган, кутова швидкість, поздовжня швидкість, тяговий опір, оптимізація параметрів

Статья посвящена теоретическим исследованиям с последующей экспериментальной проверкой зависимости силовых характеристик работы ротационного органа от его параметров: соотношения значений и направления векторов окружной и поступательной скоростей. Установлено влияние кинематического режима на тяговое сопротивление установки. Определены оптимальные значения угловой и поступательной скоростей для обеспечения рациональных энергетических характеристик и высокой производительности установки

Ключевые слова: ротационный орган, угловая скорость, продольная скорость, тяговое сопротивление, оптимизация параметров

УДК 631.31.0031.2

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТЫ РОТАЦИОННОГО ОРГАНА ДЛЯ МЕЖДУРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

С. А. Беловол
Кафедра безопасности жизнедеятельности
Полтавская государственная
аграрная академия
ул. Сковороды, 1/3, г. Полтава,
Украина, 36003
E-mail: belovol_sa@mail.ru

1. Введение

Основной задачей ухода за посевами пропашных культур является устранение сорняков и обеспечение корневой системы культурных растений достаточным количеством продуктивной почвенной влаги, воздуха и питательных веществ. Это достигается путем применения механизированной обработки почвы, качественное выполнение которой требует разработки высокоэффективных, продуктивных и энергетически обоснованных технических средств.

Использование ротационных орудий с вертикальной осью вращения обеспечивает качественное уничтожение сорняков, их мульчирование с последующей минерализацией, рыхление, перемешивание и оптимальный фракционный состав почвы, ровный профиль обработанной поверхности. Целесообразным является применение приводных роторных машин, так как они позволяют регулировать параметры обработки в зависимости от условий её проведения. Кроме того, результаты ряда исследований свидетельствуют о том, что фрезерованная почва более длительный период сохраняет состояние оптимальное для развития культурных растений [1].

Однако остается не до конца решенным вопрос повышения производительности ротационных почвообрабатывающих машин при рациональных энергетических параметрах их работы.

Таким образом, исследование силовых характеристик вертикально-роторных машин, поиск путей оптимизации их параметров и усовершенствования конструкции является важной прикладной задачей.

© С. А. Беловол, 2014