

УДК 630*181/629.3

Класифікація втрат енергії в пневматичній шині під час руху колісного форвардера

Щупак Андрій Львович

НЛТУ України, м. Львів, Україна

***Анотація.** Проаналізовано енергетичні втрати в шині під час руху колісного форвардера. Визначено, що на величину енергетичних втрат в системі «колісний рушій - ґрунтова опорна поверхня» впливають наступні чинники: величина вертикального навантаження, тиск повітря в шині, характеристика і стан протектора шини, характеристика опорної поверхні тощо. Здійснено класифікацію гістерезисних втрат в пневматичних шинках і аналіз чинників, які їх викликають. Запропонована класифікація енергетичних втрат враховує комплексно якісний характер впливу параметрів взаємодії системи «колісний рушій – ґрунтова опорна поверхня». Це дозволить в повній мірі охарактеризувати кількісно такі втрати і окреслити напрямки мінімізації втрат.*

***Ключові слова:** колісний форвардер, система «колісний рушій – ґрунтова опорна поверхня», гістерезисні втрати в шині.*

Лісові колісні форвардери виконують транспортні роботи в основному на ґрунтових опорних поверхнях. Динамічні процеси, які відбуваються в агрегатах та вузлах лісових машин, направлені на забезпечення руху та реалізуються в контактній шині з опорною поверхнею. Така взаємодія викликає значні енергетичні втрати в системі «колісний рушій – опорна поверхня», які впливають на паливну економічність, тягово-експлуатаційні властивості та прохідність форвардера. Точне розуміння того, як шина взаємодіє з поверхнею ґрунту є важливим чинником для формування шляхів підвищення продуктивності форвардера та визначення раціональних режимів його руху з дотриманням екологічних вимог. Науково обґрунтовані рекомендації, направлені на поліпшення цих показників, можуть бути отримані тільки на основі глибокого вивчення енергетичних втрат в шині під час руху лісової машини по нежорсткій опорній поверхні, оскільки безпосередньо можливо впливати на зміну параметрів шини: тиск повітря та вантажність.

Оцінювання впливу різних чинників на роботу шини є складною задачею. Тому для вивчення питання роботи пневматичних шин лісових машин необхідно використати диференційований підхід, тобто сформувані задачу у вигляді набору окремих функціональних моделей, які відображають особливість відповідних гістерезисних втрат.

На величину енергетичних втрат в системі «колісний рушій - ґрунтова опорна поверхня» впливають наступні чинники: величина вертикального навантаження, тиск повітря в шині, характеристика і стан протектора шини, характеристика опорної поверхні тощо вагомість яких вимагає ретельного аналізу [1]. Тому необхідно виявити найбільш істотні типи енергетичних та гістерезисних втрат, які суттєво впливають на роботу шини в розглядуваній системі.

На втрати потужності двигуна, викликані деформуванням шини припадає від 20% до 40% [2], що є суттєвим зважаючи, зокрема на те, що на механічні втрати в трансмісії форвардера чи трактора складають 12-18% потужності двигуна.

Причинами втрати потужності на кочення колеса є наступні чинники: втрати внутрішньої енергії шини під час її безперервному коченні (гістерезисна втрати енергії) в областях еластичного деформування та подальшого відновлення її профілю (90% всіх втрат); втрати енергії під час ковзання шини поверхнею дороги (5 - 9% всіх втрат); втрати енергії через аеродинамічний опір, що виникає в процесі обертання колеса з шиною (1-5% всіх втрат) [3].

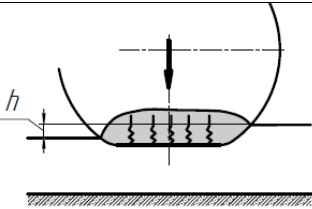
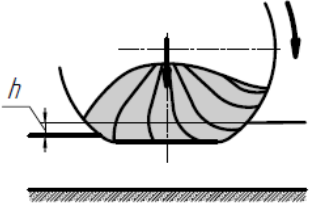
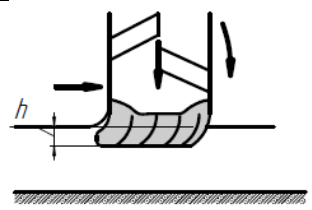
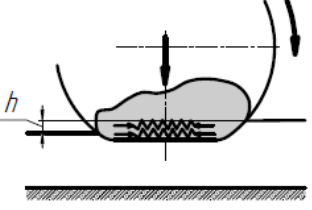
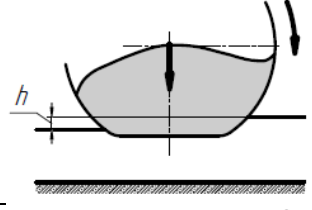
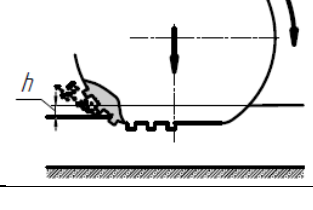
Основними величинами, які визначають втрати в шині є гістерезисні втрати.

У процесі кочення колеса шина деформується під впливом різних сил, які постійно змінюються і викликають багаторазове еластичне деформування її елементів. Такі деформації супроводжуються великими втратами енергії, внаслідок чого шина значно нагрівається і змінює свої основні властивості (пружність, деформативність, опірність до дії механічних навантажень тощо). Оскільки втрати на кочення шини пов'язані в основному з втратами на внутрішнє тертя і в гумі, і в корді, їхня величина залежить від властивостей цих матеріалів та від їхньої деформації [4].

Для можливості мінімізувати вказані вище втрати пропонується класифікувати механізми втрат в пневматичних шинах у наступному вигляді (таблиця).

Таблиця 1

Гістерезисні втрати в шині

ч/ч	Тип втрат	Схема типу втрат	Головні чинники, які викликають гістерезисні втрати
1	Втрати на радіальну деформацію шини		Нормальне навантаження
2	Втрати на кутову деформацію шини		Крутний момент; гальмівний момент; нормальне навантаження.
3	Втрати на деформацію у боковому напрямку		Бокова сила; нормальне навантаження.
4	Втрати в шині під час деформування в тангенціальному напрямку		Крутний момент. нормальне навантаження.
5	Втрати на зменшення тиску повітря в шині		Крутний момент; нормальне навантаження.
6	Втрати на зношення шини (відривання частинок шини від основи протектора)		Крутний момент; нормальне навантаження.

В реальних умовах шина зазнає одночасно кілька видів деформацій, які взаємопов'язані, зміна одного з них призводить до зміни інших. Однак для спрощення аналізу і визначення характеристик втрат доцільно деформації шини розглядати диференційовано, вважаючи їх незалежними за використання принципу суперпозиції.

Схема 1 - Втрати на радіальну деформацію шини. Потужність, яка витрачається на радіальну деформацію шини, за однакового навантаження, багато в чому визначається величиною тиску повітря. Зменшення тиску повітря викликає збільшення абсолютної і відносної деформації шини, зростання частки навантаження, яке сприймається каркасом; спостерігається прогресуюче збільшення гістерезисних втрат в шині, що призводить до нагрівання шини в процесі кочення колеса. Температура шини за інших рівних умов пропорційна гістерезисним втратам у ній. Для забезпечення мінімізації втрат необхідно витримуватися визначене співвідношення між навантаженням, тиском повітря і величиною вертикальної деформації шини.

Схема 2 - Втрати на кутову деформацію шини. Під час рушання форвардера, його розгону або гальмування в шині колеса виникають змінні в часі кутові деформації, які впливають на тягово-експлуатаційні властивості машини. У шині колеса виникає деформаційний момент пружних сил, що протидіє зовнішньому крутному моменту і зумовлює виникнення крутильних коливань та втрат енергії на скручування шини. Кутова деформація шини (податливість шини у коловому напрямку) дозволяє демпфувати змінне тягове зусилля, нівелювати явища резонансу, які виникають у трансмісії, а також запобігають додатковому зрізу ґрунту в процесі пробуксування. Зменшення часу роботи форвардера на неусталених і перехідних режимах, які для деяких умов руху машини складають до 60-65%, суттєво зменшують гістерезисні втрати на кутову деформацію шини.

Схема 3 - Втрати на деформацію у боковому напрямку. Бокову деформацію шин типу P (радіальні) можна розглядати як суму деформацій бокових стінок і протектора. Під дією бокового навантаження стінки шини зміщуються на певну величину. В свою чергу на величину деформації протектора суттєвими є глибина рисунку протектора, навантаження на шину і модуль зсуву протекторної гуми. Бокова жорсткість шин не є постійною, а збільшується з ростом бокової сили [5].

Схема 4 - Втрати в шині в тангенціальному напрямку. Потужність, яка витрачається на тангенціальну деформацію шин є результатом дії крутного моменту. Втрати в тангенціальному напрямку йдуть на стискання, відносний зсув елементів рисунку протектора і деформацію підканавкового шару протектора. У разі зминання (зміна форми плями контакту) шини частина роботи витрачається на тертя як в матеріалі шини, так і в співконтактній опорній поверхні. Частина роботи переходить в тепло і розсіюється. Інша її частина накопичується у вигляді енергії пружної деформації. У зоні відновлення енергія пружної деформації трансформується в кінетичну енергію кочення колеса.

Схема 5 - Втрати на зменшення тиску повітря в шині. Основне навантаження в шині (60-70% [6]) сприймає повітря. Зниження тиску повітря в шині викликає більше навантаження каркаса. Падіння тиску в шині відбувається внаслідок дифузійної проникності повітря через матеріал шини, що описується другим законом Фіка, а також через нещільності між шиною та диском. Інтенсивність таких процесів у пневматичній шині відбувається внаслідок експлуатаційних чинників, які впливають на роботу системи «колісний рушій – ґрунтова опорна поверхня». Зниження тиску повітря різко погіршує роботу шини. Невідповідність цього чинника оптимальним параметрам викликає збільшення радіального прогину шини, спотворення форми її профілю, збільшення деформації каркасу і, як наслідок призводить до надмірного нагрівання шини, зниження міцності матеріалів, з яких виготовлена шина, збільшення тертя та інтенсивного зношення.

Схема 6 - Втрати на зношення шини. Ступінь зношення шини виражається зменшенням висоти ґрунтозачепів на величину напрацювання. На зношення шини впливає багато керованих чинників (конструктивні і технологічні), частково-керованих і некерованих (дорожньо-кліматичні умови). Сумарна потужність на відривання частинок шини витрачається на: абразивне зношення, яке відбувається на шорсткуватих поверхнях за відносно високого коефіцієнта тертя; зношення за допомогою скочування виникає також у разі високого коефіцієнта тертя на відносно гладких поверхнях; втомне зношення викликається багаторазовою деформацією гуми на мікронерівностях опорної поверхні; зношення через термічну деструкцію - виникає у випадку високої температури в області контакту, що під час високої інтенсивності ковзання може відбуватись в реальних умовах експлуатації.

Інші втрати - Втрати на кутову деформацію шини (в горизонтальній площині); втрати енергії деформації ґрунтозачепів протектора за рахунок їхнього розтягу-стиску, згину і кручення; втрати на поглинання шиною енергії ударної дії тощо.

Практична необхідність у визначенні та оцінюванні втрат, які пов'язані зі взаємодією колеса та ґрунтовою поверхнею під час руху лісової машини (форвардера), визначається не тільки тим, що дозволяє визначити шляхи зменшення цих втрат, а також і тим, що зменшення витрат енергії на подолання зовнішніх опорів руху машини, забезпечить поліпшення його тягово-експлуатаційних властивостей та зменшення витрат пального. Запропонована класифікація енергетичних втрат враховує комплексно якісний характер впливу параметрів взаємодії системи «колісний рушій – ґрунтова опорна поверхня». Це дозволить в повній мірі охарактеризувати кількісно такі втрати і окреслити напрямки їх мінімізації.

Список літератури

1. Кнороз, В. И. Шины и колеса / В. И. Кнороз, Е. В. Кленников. – Москва: Транспорт, 1975. - 184 с.
2. Mowitz, D. and C. Finck. 1987. Putting power back into tractor performance, machinery management issue. *Successful Farming, the magazine of farm management*, February. Paper No: 9-15.
3. Коханенко, В. Б. Влияние работы трения автомобильной шины на расход топлива автомобиля / В. Б. Коханенко, Л. Н. Соколов, В. Г. Баркалов // *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы*. – 2013. – № 1(4). – С. 76-81.
4. Щупак, А. Л., Енергетичний підхід до оцінювання ефективності роботи колісної лісотранспортувальної машини / А. Л. Щупак, О. С. Мачуга // XXIV Міжнародна науково-технічна науково-технічна конференція «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці», Київ 27-30 травня 2019 р.: матеріали конференції. – Київ. - с. 99–101.
5. Скорняков, Э. С. Эксплуатация и ремонт крупногабаритных шин / Э. С. Скорняков, Э. Н. Кваша, А. А. Хоменя, В. П. Бойков. - М.: Химия, 1991. С. 128.
6. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей / Е.С. Кузнецов, В. П. Воронов, А. П. Болдин и др. // - М.: Транспорт, 1991. - 413 с.

Classification of energy losses in a pneumatic tire during the movement of a wheel forwarder

Shchupak Andriy

Abstract. The energy losses in the tire during the movement of the wheel forwarder are analyzed. It is determined that the amount of energy losses in the system "wheel drive - soil support surface" is influenced by the following factors: the amount of vertical load, tire pressure, characteristics and condition of the tire tread, the characteristics of the support surface and so on. The classification of hysteresis losses in pneumatic tires and the analysis of the factors that cause them are carried out. The proposed classification of energy losses takes into account the complex qualitative nature of the influence of the parameters of the interaction of the system "wheel drive - soil support surface". This will allow to fully quantify such losses and outline areas for minimizing losses.

Keywords. wheel forwarder; system "wheel drive - soil support surface"; hysteresis losses in the tire.