

УДК 621.225:69.002.51

ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОЛІСНИХ РУШІВ ЗЕМЛЕРІЙНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН НА ПРИКЛАДІ АВТОГРЕЙДЕРА

ХМАРА Л. А.¹, д. т. н., проф.,
ХОЛОДОВ А. П.^{2*}, к. т. н., доц.

¹ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, +38067-585-26-59, E-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID 0000-0003-3050-9302

^{2*}Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Петровського, 25, Харків, 61002, Україна, +38050-206-36-44, E-mail: antonkholodov23@gmail.com, ORCID 0000-0002-4120-4654

Анотація. В сучасних умовах виконання земляних робіт неможливо уявити без широкого застосування засобів комплексної механізації праці в вигляді землерійних, землерійно-транспортних та навантажувальних машин. Серед них все більшого поширення набувають самохідні колісні машини, які мають ряд переваг в порівнянні з гусеничними машинами. Статтю присвячено вирішенню актуальної проблеми покращення експлуатаційних властивостей та енергоефективності колісних землерійно-транспортних машин. У роботі досліджено вплив експлуатаційних умов та параметрів ходового обладнання на енергонасиченість операції і величину тягового зусилля з урахуванням взаємозв'язків між машиною та зовнішнім середовищем. Розроблено віртуальну модель колеса автогрейдера із змінними параметрами, а також проведено експериментальні дослідження впливу параметрів колеса на тягові властивості машини.

Ключові слова: колесо, автогрейдер, тягове зусилля, колісний рушій, 3D модель, економія енергії

УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОЛЕСНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН НА ПРИМЕРЕ АВТОГРЕЙДЕРА

ХМАРА Л. А.¹, д. т. н., проф.,
ХОЛОДОВ А. П.^{2*}, к. т. н., доц.

¹ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49005, Украина, +38067-585-26-59, E-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID 0000-0003-3050-9302

^{2*}Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого, 25, Харьков, 61002, Украина, +38050-206-36-44, E-mail: antonkholodov23@gmail.com, ORCID 0000-0002-4120-4654

Аннотация. В современных условиях выполнение земляных работ невозможно представить без широкого применения средств комплексной механизации труда в виде землеройных, землеройно-транспортных и погрузочных машин. Среди них все большее распространение получают самоходные колесные машины. Рассматривается актуальная проблема улучшения эксплуатационных свойств и энергоэффективности колесных землеройно-транспортных машин. В работе исследовано влияние эксплуатационных условий и параметров ходового оборудования на энергонасыщенность операции и величину тягового усилия с учетом взаимосвязей между машиной и внешней средой. Разработан виртуальную модель колеса автогрейдера с переменными параметрами, а также проведены экспериментальные исследования влияния параметров колеса на тяговые свойства машины.

Ключевые слова: колесо, автогрейдер, тяговое усилие, колесный движитель, 3D модель, экономия энергии

IMPROVEMENT OF THE PERFORMANCE AND ENERGY EFFICIENCY OF EARTH-MOVING VEHICLES ON THE EXAMPLE OF THE GRADER

KHMARA L. A.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor
KHOLODOV A. P.^{2*}, Ph. D., assistant professor

¹ Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, str. Chernishevskogo, 24-a, Dnepr, 49005, Ukraine, +38067-585-26-59, E-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID 0000-0003-3050-9302

^{2*} Kharkiv National Automobile and Highway University, str. Petrovsky, 25, Kharkov, 61002, Ukraine +38050-206-36-44, E-mail: antonkholodov23@gmail.com, ORCID 0000-0002-4120-4654

Summary. In modern conditions, the implementation of earthworks cannot be imagined without the widespread use of tools for the integrated mechanization of labor in the form of earth-moving, earth-moving and loading machines. Among them, self-propelled wheeled vehicles are becoming more common. The actual problem of improving the performance and energy efficiency of wheeled earthmoving machinery is considered. The work investigated the influence of operating conditions and parameters of the running equipment on the energy saturation of the operation and the amount of tractive effort, taking into account the relationship between the machine and the external environment. A virtual model of a motor grader wheel with variable parameters was developed, and experimental studies of the effect of wheel parameters on the traction properties of the machine were also conducted.

Key words: wheel, motor grader, traction force, vehicle, 3d model, energy saving

Постановка проблеми. Значну частину загального обсягу робіт при зведенні об'єктів промислового, цивільного, дорожнього будівництва, а також добичі корисних копалин і меліорації земель становлять земляні роботи. В сучасних умовах виконання земляних робіт неможливо уявити без широкого застосування засобів комплексної механізації праці в вигляді землерійних, землерійно-транспортних та навантажувальних машин. Серед них все більшого поширення набувають самохідні колісні машини, які мають ряд переваг в порівнянні з гусеничними машинами.

До таких переваг можна віднести значно вищий ресурс колісного ходового пристрою, можливість реалізувати більш високі транспортні швидкості машин, що забезпечують їх мобільність при перебазування, істотне зниження металоємності конструкції, експлуатаційних витрат і т.д.

Застосування машин великої одиничної потужності при виконанні значиних обсягів земляних робіт дає суттєву економію коштів і енергоносіїв за рахунок більш ефективного використання потужності рухової установки, зниження показника питомої витрати енергоносія на одиницю об'єму розробленого ґрунту, збільшення продуктивності праці, скорочення термінів будівництва.

Однією з найважливіших тенденцій у розвитку конструкції перерахованих машин є збільшення їх енергонасиченості, що дозволяє істотно збільшити продуктивність, автоматизувати робочі процеси, підвищити якість виконуваних робіт.

Крім цього, в умовах природної обмеженості паливних ресурсів і постійного збільшення цін на енергоносії, застосування енергонасичених колісних машин з більшими техніко-економічними показниками набувають особливе значення.

Сучасні самохідні колісні землерійно-транспортні, вантажні машини і колісні трактори великої одиничної потужності оснащуються пневматичними шинами з зовнішнім діаметром від 1,4 до 2,8 м, що допускають вертикальне навантаження на колесо до 300 кН, які за класифікацією можуть бути віднесені до великогабаритним шинам. Слід зазначити ряд особливостей умов експлуатації та режимів навантаження колісного рушія вищезазначених машин. Перш за все, для них характерно виконання робіт технологічного циклу на ґрунтовій поверхні і, як правило, в умовах бездоріжжя.

Наступна відмінність полягає в тому, що значну частку часу технологічного циклу – від 25 до 70%

ЗТМ працюють в тяговому режимі. Це пов'язано з тим, що колісний рушій землерійно-транспортної або навантажувальної машини виконує функції не тільки опорного і направляючого механізму, але і служить для створення необхідних технологічних зусиль на її робочому органі. Причому крутний момент, що підводиться від рухової установки до колісного рушія, перетворюється в силу тяги за рахунок сил тертя і зсуву ґрунту елементами протектора, що виникають в області контакту пневматичної шини з опорною поверхнею. Перетворюють властивості колісного рушія, або інакше – його тягові якості, прийнято оцінювати за допомогою тягової характеристики, включаючи такі її показники, як максимальна величина тягового ККД, максимальна величина тягової потужності, максимальна сила тяги, мінімальне значення питомої витрати палива та ін. Крім цього, для комплексної оцінки тягових якостей колісного рушія додатково використовують залежності зміни перерахованих параметрів від виду і стану опорної поверхні, внутрішнього тиску повітря в шині і т. д.

Оскільки колісний рушій виявляється останньою ланкою в ланцюзі "двигун – трансмісія – рушій – опорна поверхня", його характеристики, значною мірою, визначають ефективність роботи машини в цілому.

Таким чином, подальше поліпшення характеристик енергонасичених колісних землерійно-транспортних машин і колісних тягачів нерозривно пов'язане з розвитком конструкції і поліпшенням характеристик колісного рушія, що оснащується великогабаритними шинами.

Питанням вивчення взаємодії класного рушія з опорною поверхнею присвячена велика кількість робіт, але, незважаючи на це, вони як і раніше привертають увагу дослідників. Такий інтерес продиктований, з одного боку, завданням поліпшення технічних характеристик створюваних машин, а з іншого різноманіттям і складністю фізичних процесів, що відбуваються в області контакту колісного рушія з опорною поверхнею. Історично склалося так, що найбільше число досліджень в цій області визначалося задачами розвитку автомобільного транспорту тобто присвячено вивченню взаємодії автомобільних коліс з удосконаленим дорожнім покриттям при роботі колеса в підпорядкованому, вільному, нейтральному, гальмівному і провідному режимах.

Мета роботи. Підвищення ефективності

автогрейдерів шляхом оптимізації параметрів ходового обладнання на підставі його взаємодії з опорною поверхнею при виконанні робочих операцій.

Сучасні землерийно-транспортні машини повинні відповідати головній вимозі – володіти високою ефективністю. Основними напрямками підвищення ефективності колісних ЗТМ є:

- створення колісних самохідних машин великої одиничної потужності і продуктивності;
- створення і впровадження високопродуктивних машин безперервної дії; автоматизація управління машиною на всіх стадіях робочого циклу;
- використання методів і засобів автоматизованого проектування та дослідження машин; застосування прогресивної технології та організації виробництва земляних робіт;
- застосування модульного принципу створення систем машин; підвищення надійності машин;
- скорочення частки ручної праці шляхом створення багатоцільових міні-машин;
- зниження питомої енергоємності та питомої витрати палива.

Величезні обсяги земляних робіт виконуються різними землерийними машинами, але, перш за все, це – скрепери, бульдозери, навантажувачі, екскаватори, автогрейдері. Помітне місце в парку землерийних машин займають колісні машини, що відрізняються високою мобільністю, низькою металоемністю, простотою конструкції. Характерно, що якщо в парку бульдозерів колісні машини складають 4,7%, то у навантажувачів – 56,3%, а такі машини як автогрейдері і скрепери виробляються тільки з колісним ходовим обладнанням.

Необхідно вказати, що ефективність виконання земляних робіт в умовах експлуатації в значній мірі визначається формуванням і використанням комплексів ЗТМ.

Аналіз характеристик колісних ЗТМ показує, що мінімальні розміри шин обмежуються розміром 12,00-20, а максимальні – 37,5-39 (скрепер ДЗ-107, навантажувач ТО-23), вертикальне навантаження, що діє на колеса ЗТМ, змінюється в межах від 15 кН до 250 кН. Найбільш характерними розмірами будівельних і дорожніх шин на найближче майбутнє є для: причіпних скреперів 18,00-25; 21,00-28; самохідних скреперів – 21,00-33; 29,5-29; 37,5-39; автогрейдерів – 14,00-20; 17,5-25; 20,5-25; бульдозерів – 20,5-25; 29,5-29 і 37,5-39.

Застосовувані на сучасних колісних ЗТМ великогабаритні пневматичні шини поза шляхового типу в значній мірі визначають техніко-економічні показники цих машин. Потреба в таких шинах постійно зростає. Найбільшу питому вагу 91 ... 92% в споживанні шин поза шляхового типу займають сільськогосподарські шини, проте, за темпами зростання споживання перевагу мають великогабаритні будівельні і дорожні шини.

Все це свідчить про актуальність питань, пов'язаних з пов'язаних з дослідженням роботи

колісного рушія, забезпеченого ВГШ, які, в кінцевому підсумку, спрямовані на підвищення ефективності колісних ЗТМ.

Аналіз публікацій. Тягово-зчіпні властивості колісних рушіїв будівельних і дорожніх машин, таких як бульдозери, скрепери, автогрейдері, навантажувачі, екскаватори та інші, обумовлюються взаємодією пневматичних шин з опорною поверхнею.

Серед робіт вітчизняних вчених можна виділити праці Я.С. Агейкіна, А.С. Антонова, Е. А. Чудакова, В. Ф. Бабкова, В. М. Бідерман, А. К. Бируля, Ю. А. Брянського, Р.В. Вірабова, В.П. Горячкина, В.В. Гуськова, Г.В. Зимелева, А.Ю. Ішлінського, В.І. Кнорозов, М.Н. Летошнева, А.С. Литвинова, П.І. Нікуліна, А.Ф. Полетаєва, М.О. Ульянова, Я.Е. Фаробіна та інших.

З робіт зарубіжних вчених можна відзначити дослідження М. Беккера, М. Леру, Д. Мура, Л. Сігела, Г. Фазекаш та інших.

Використовуючи закон деформації пневматичної шини М. О. Ульянов запропонував вираз для розрахунку коефіцієнта опору коченню колеса, у вільному режимі з урахуванням швидкості відновлення пружною деформації ґрунту при прямолінійній русі

$$f = \frac{vB_w}{G_k \cdot (r_0 - \lambda)} \left[\frac{C_1 \cdot K_1 \cdot a_1^4}{C_1 + K_1 \cdot 8 \cdot r_0} - \frac{C_2 \cdot K_2 \left(\frac{a_2^2 \cdot a_3^2}{4 \cdot r_0} - \frac{a_1^4}{8 \cdot r_0} \right)}{C_2 + K_2} \right], (1)$$

де B_w - ширина протектора шини; C_1, C_2 - коефіцієнти повної і пружною деформації ґрунту, відповідно; K_1, K_2 - коефіцієнти деформації пневматичної шини при стисненні і відновленні недеформованою форми; a_1 - довжина зони завантаження; a_2 - довжина зони розвантаження; a_3 - довжина зони відновлення ґрунту. На рис. 1 представлена схема розрахунку взаємодії колісного рушія по Н. А. Ульянову.

Теоретичні дослідження тягових показників автогрейдера. При взаємодії: пневматичної шини з деформується опорною поверхнею переважним видом деформації є радіальна деформація, пневматичної шини.

Прийmemo допущення, що пневматичні шини одноосного рушія с диференціальним приводом мають циліндричну форму з гладким протектором і в області контакту елементи протектора деформуються тільки в радіальному напрямку. Окружну (тангенціальну) і бічну деформації пневматичних шин не враховуємо, що обумовлено великим радіусом кривизни бігової доріжки великогабаритних шин і незначним впливом бічний і окружний деформації на площу контакту шин з опорною поверхнею допускаємо, що одновісний рушія котиться по горизонтальній поверхні з постійною кутовою швидкістю обертання коліс.

Особливістю кінематики руху одноосного колісного рушія є те що центральна опорна точка для системи коліс прийнято умовно. Додатковим параметром: в порівнянні з одиночним колесом, що впливає на кінематику руху одноосного колісного рушія, є значення $2B$, тобто колія машини, а також різна частота обертання внутрішнього і зовнішнього коліс ($\omega_{k1} \neq \omega_{k2}$), таким чином для моста з між колісному диференціалом і коефіцієнтом ковзання умовної центральної опорної точки $\theta_{oy} = 1$ матеріалів

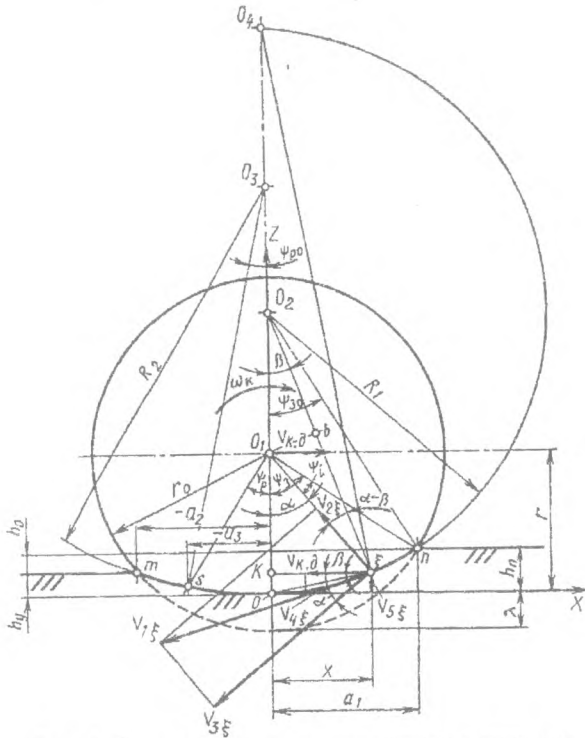


Рис. 1. Взаємодія пневматичної шини з ґрунтом
Fig. 1. Interaction of pneumatic tire with soil

шин як внутрішнього, так і зовнішнього колеса рухаються в області контакту з буксуванням і юзом, вершини парабол, що є геометричним місцем нековзних в поздовжньому напрямку елементів протектора, при цьому розташовуються в геометричному центрі області контакту кожного колеса.

Коефіцієнт проковзування умовної центральної опорної точки позначимо θ_{oy} . При наявності меж колісного диференціала положення нековзних в поздовжньому напрямку елементів шин в області контакту буде визначатися для кожного колеса своєї параболічної кривої (рис. 2.), т. к. частота обертання коліс різна, тобто ($\omega_{k1} \neq \omega_{k2}$).

Рівняння параболічних кривих для внутрішнього і зовнішнього коліс мають вигляд, відповідно:

$$y_1 = \frac{\theta_{o1} \cdot R_{o1}}{r_1^2} \cdot x_1^2 - R_{o1} \cdot (1 - \theta_{o1}); \quad (2)$$

$$y_2 = \frac{\theta_{o2} \cdot R_{o2}}{r_2^2} \cdot x_2^2 - R_{o2} \cdot (1 - \theta_{o2}), \quad (3)$$

де $\theta_{o1} = \frac{\omega_{k1} \cdot r_1}{\omega_n \cdot R_{o1}}$, $\theta_{o2} = \frac{\omega_{k2} \cdot r_2}{\omega_n \cdot R_{o2}}$ – коефіцієнти

прослизання центральною опорною точкою шини внутрішнього і зовнішнього колеса, відповідно; $R_{o1} = R_0 - B$ – радіус повороту внутрішнього колеса; $R_{o2} = R_0 + B$ – радіус повороту зовнішнього колеса; ω_{k1} , ω_{k2} – кутова швидкість обертання внутрішнього і зовнішнього колеса, відповідно; ω_n – кутова швидкість повороту моста.

Встановимо зв'язок між коефіцієнтами θ_{o1} , θ_{o2} , θ_{oy} , які визначаються з виразу:

$$\theta_{oy} = \frac{\omega_{ky} \cdot r}{\omega_n \cdot R_0}. \quad (4)$$

Знаходимо відношення:

$$\frac{\theta_{o1}}{\theta_{oy}} = \frac{\omega_{k1} \cdot r}{\omega_n \cdot R_{o1}} \cdot \frac{\omega_n \cdot R_0}{\omega_{ky} \cdot r} = \frac{\omega_{k1}}{\omega_{ky}} \cdot \frac{R_0}{R_{o1}}. \quad (5)$$

Через дійсні значення швидкостей руху внутрішнього колеса v_{k1} і центру моста v_{ky} знаходимо:

$$\frac{v_{k1}}{v_{ky}} = \frac{\omega_{k1} \cdot r_{k1}}{\omega_{ky} \cdot r_{ky}} = \frac{\omega_n \cdot R_{o1}}{\omega_n \cdot R_0} = \frac{R_{o1}}{R_0}, \quad (6)$$

приймаємо припущення, що $r_{k1} \approx r_{k2} \approx r_{ky}$ оцінку точності прийнятого допущення виконаємо при аналізі експериментальних досліджень.

Тоді

$$\frac{v_{k1}}{v_{ky}} = \frac{\omega_{k1}}{\omega_{ky}} = \frac{R_{o1}}{R_0}. \quad (7)$$

З урахуванням (5) з виразу (4) маємо $\frac{\theta_{o1}}{\theta_{oy}} = 1$ або

$$\theta_{o1} = \theta_{oy}.$$

Аналогічним чином можна довести, що $\theta_{o1} = \theta_{o2} = \theta_{oy}$. Виходячи з отриманого відношення, рівняння (2) і (3) записуються наступним чином:

$$y_1 = \frac{\theta_{o1} \cdot (R_0 - B)}{r_1^2} \cdot x_1^2 - (R_0 - B) \cdot (1 - \theta_{oy}); \quad (8)$$

$$y_2 = \frac{\theta_{0y} \cdot (R_0 + B)}{r_2^2} \cdot x_2^2 - (R_0 + B) \cdot (1 - \theta_{0y}) \cdot (9)$$

З використання рівнянь (6) і (7) виконано розрахунок і побудовані параболічні криві, представлені на рисунку 1.3, для шини Я-140.

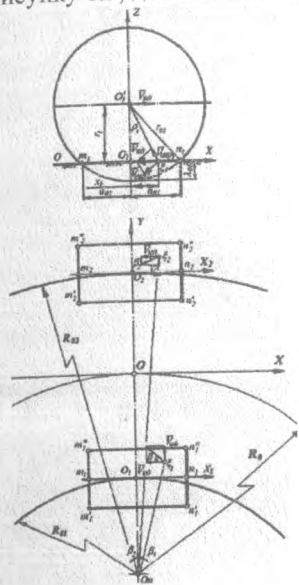


Рис. 2 Кінематика кочення колеса з між колісним диференціалом по поверхні що не деформується

Fig. 2 Kinematics of wheel with differential rolling on a non-deformable surface

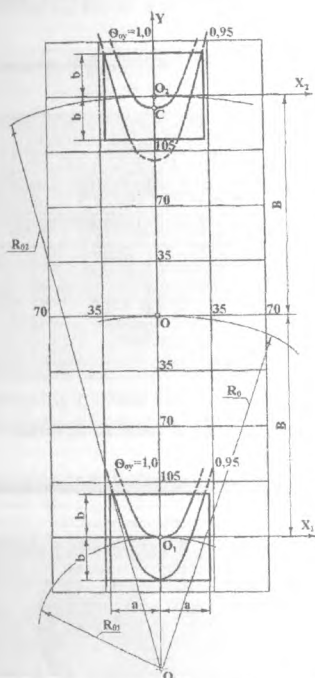


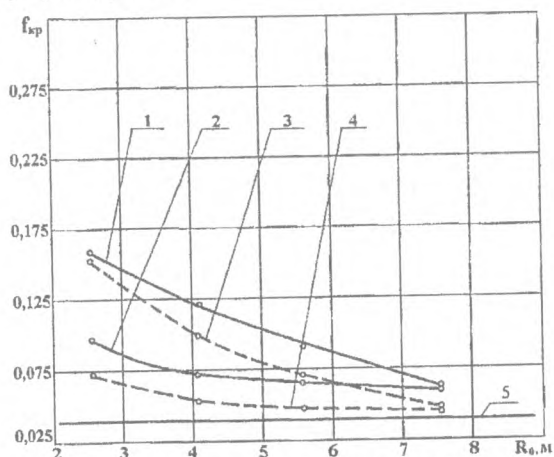
Рис. 3. Положення парабол в області контакту колеса з шиною Я-140

Fig. 3. The provisions of parabolas in contact with a tire wheel I-140

Слід зазначити, що при русі коліс моста з міжколісним диференціалом по поверхні, що

деформується і при $\theta_{0y} = 1$ елементи шин як внутрішнього, так і зовнішнього колеса рухаються в області контакту одночасно і з буксуванням, і юзом, вершини парабол при цьому розташовуються відповідно в точках O_1 і C (рис. 3).

Проведений аналіз кінематики руху з міжколісним диференціалом по дузі кола показує, що процес прослизання залежить від коефіцієнта проковзування умовної центральної опорної точки, радіуса повороту, розмірів області контакту шин з опорною поверхнею, відстані між колесами рушія $2B$, типу приводу коліс.



Криві: 1, 2 – діагональна; 3, 4 – радіальна комбінована; 1, 3 – внутрішнє колесо; 5 – радіальна комбінована при прямолінійному русі

Рис. 4. Залежність коефіцієнта кочення коліс одноосного колісного рушія з шинами розміром 21,00-33 моделі ВФ166А різних конструкцій від радіуса повороту при $p_w = 0,6$ МПа, $G_m = 130,4$ кН

Fig. 4. Dependence of the wheels rolling coefficient with tires of size 21,00-33 model VF166A of various designs from the radius of rotation at $p_w = 0,6$ МПа, $G_m = 130,4$ кН

Вплив конструкції шини. Конструкція шини надає істотний вплив на опір коченню, як одноосного рушія, так і машини в цілому. Розглянемо вплив наступних конструктивних параметрів: каркаса покришки і ширини бігової доріжки протектора. Конструкція каркаса покришки (радіальна і діагональна), надає неоднаковий вплив на опір коченню колеса. При коченні моста по цементобетонні з шинами розміром 21,00-33 різних конструкцій встановлено, що на всьому діапазоні зміни радіуса повороту M_f у шин радіальної конструкції вище, ніж у діагональної.

Таким чином, при $R_0 = 2,65$ м, $p_w = 0,6$ МПа, $G_m = 130,4$ кН величина M_f у шині 21,00-33Рт мод на 35,5% вище, ніж у діагональної, а при $R_0 = 7,65$ м та інших рівних умов це підвищення становить 10,8%.

При русі одноосного колісного рушія по твердій

поверхні ґрунта величина крутного моменту для радіальних шин менша, ніж для діагональних на всьому діапазоні виміру радіусу повороту, що зумовлено меншою деформацією ґрунта в наслідок зниження нормальних контактних напружень в зоні контакту у шин типу «Р». Наприклад, значення M_f при $R_0 = 7,65$ м, $p_\omega = 0,6$ МПа, $G_m = 130,4$ кН, для діагональної шини розміром 21,00-33 на 35,2% більше, чим для радіальної комбінованої шини того ж розміру.

На основі вище наведених досліджень запропоновано модель удосконаленого рушія автогрейдера (рис.5), в якому наявність нових конструктивних елементів забезпечує підвищення ефективності процесу переміщення рушія за рахунок використання декількох балансирних підвісок з різними діаметрами пневмоколісних шин.

Означена задача вирішується тим, що автогрейдер, що містить самохідне шасі з рамою 1, балансир 10 з мостами 3, 4, 5, пневмоколісні шини 6, 7, 8, 9 різного діаметру, кабіну 14, грейдерний 15 та бульдозерний відвали 16, відповідно до корисної моделі, балансир 10 додатково оснащений балансирною рамою 11, у якій встановлена пара мостів 4 і 5, причому пневмоколісні шини 6, 7, 8, 9 кожного з послідовно встановлених мостів 2, 3, 4, 5 автогрейдера починаючи від бульдозерного відвала 16, задовольняють умові $D_1 < D_2, D_2 < D_1, D_3 < D_2, \dots, D_n < D_{n-1}$, де D_1, D_2, D_3, \dots - діаметри послідовно встановлених пневмоколісних шин від бульдозерного відвала 16, відповідно, першої, другої та третьої; D_n - діаметр крайньої пневмоколісної шини встановленої від бульдозерного відвала 16.

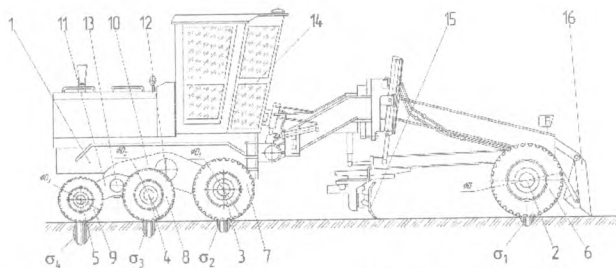


Рис. 5. Модель удосконаленого рушія автогрейдера
Fig. 5. Improved model of autograder

Для дослідження характеристик колеса на тягові характеристики автогрейдера створено 3D модель і проведено віртуальні експериментальні дослідження. За прототип було взято шину для важкого автогрейдера Дз98 – Я-140 яка представлена на рисунку (6)

Наступним етапом було створено 3D моделі колеса на нерухомій поверхні в програмі «AUTODESK Inventor», яка зображена на рисунках (7)...(9).

Розрахунок створеної 3D моделі методом кінцевих елементів в програмі «ANSIS». В програмі «ANSIS» було проведено розрахунок методом кінцевих елементів (МКЕ) вже підготовленої 3D

моделі рис. (10), шляхом накладання відповідних навантажень, а зокрема: сили тяжіння, результуюча сила що діє на колесо рис.(11), тиск у шині рис. (12).

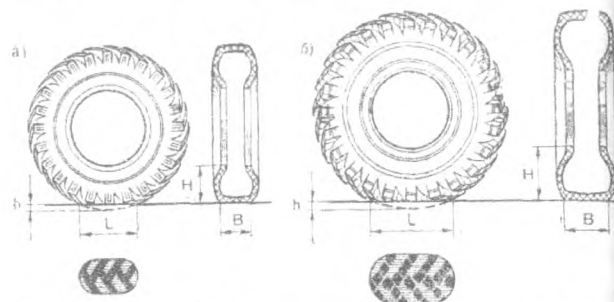


Рис. 6. Шина Я-140 та поверхні контакту цієї шини без урахування зовнішніх навантажень
Fig. 6. Tire Ya-140 and contact surface of this tire without external loads

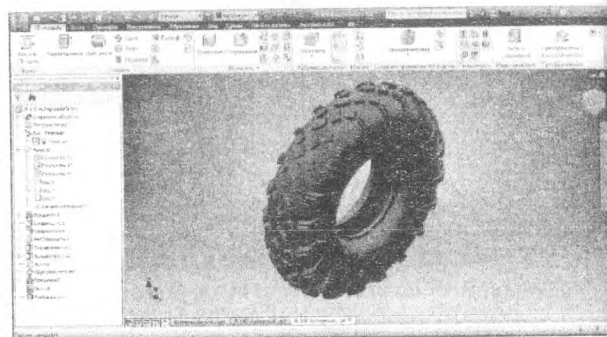


Рис. 7. Загальний вид шини в середовищі для 3D моделювання «AUTODESK Inventor»
Fig. 7. 3D model of the tire in «AUTODESK Inventor»

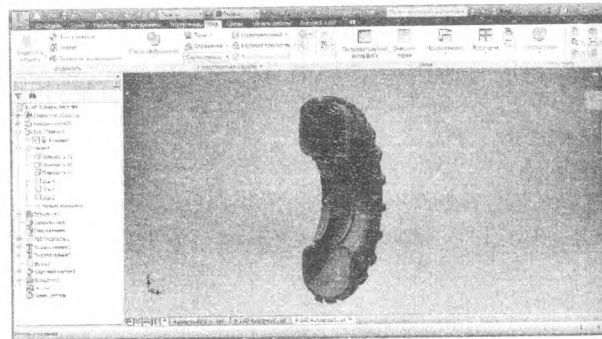


Рис. 8. Вигляд шини у розрізі
Fig. 8. Tire view in section

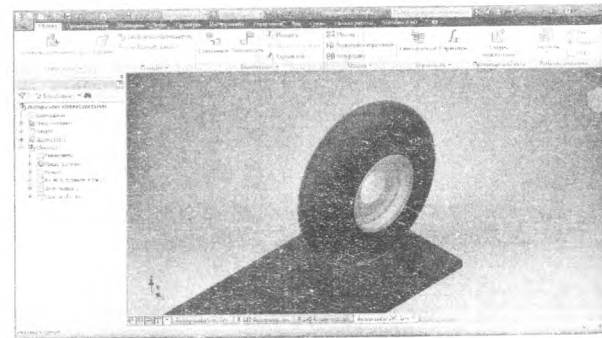


Рис. 9. 3D модель для подальшого розрахунку
Fig. 9. 3D model for further calculation



Рис. 10. Результирующая сила, действующая на колесо
Fig. 10. Resulting force acting on a wheel

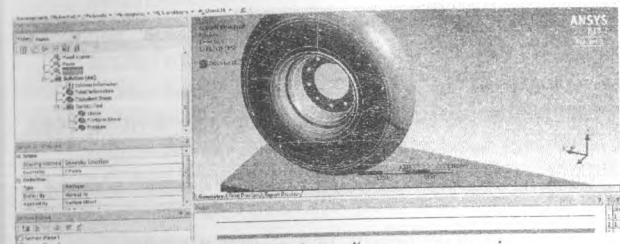


Рис. 11. Накладенный тиск в шине
Fig. 11. Tire pressure imposed

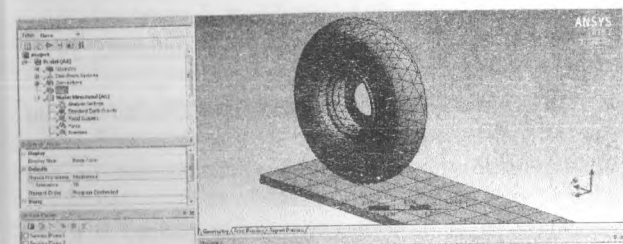


Рис. 12. Загальна геометрія та створена сітка колеса
Fig. 12. General geometry and wheel set up

Отримані результати розрахунку представлені на рис. (13)...(15)

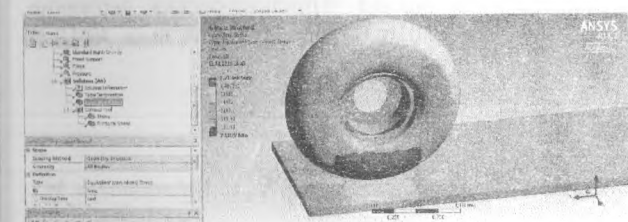


Рис. 13. Еквівалентні напруження в зоні контакту колеса
Fig. 13. Equivalent stresses in the wheel contact area

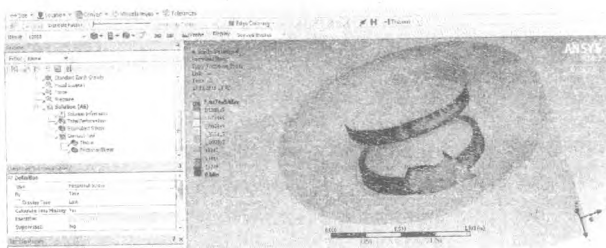


Рис. 14. Зони контакту шини з диском і шини з нерухомою поверхнею (умовним дорожнім покриттям)

Fig. 14. Contact zones of the tire with a disc and a tire with a stationary surface (conventional road cover)

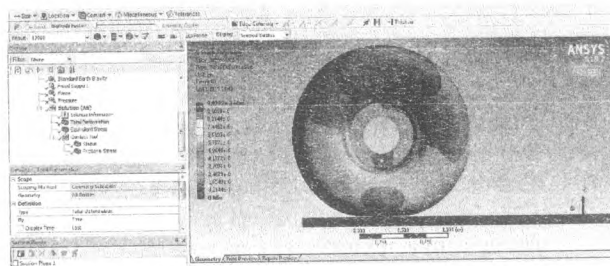


Рис. 15. Деформація шини під дією накладених сил
Fig. 15. Deformation of the tire under the influence of imposed forces

Висновки. Проаналізовані існуючі дослідження впливу параметрів ходового обладнання колісного рушія на тягове зусилля машини, була доведена актуальність теми, представлені теоретичні і експериментальні дослідження тягових показників автогрейдеру, розроблена 3D модель колеса для зображення взаємодії пневматичних шин з опорною по-поверхнею і проведені розрахунки за допомогою МКЕ, був описаний вплив конструкції шини на опір коченню, отримані теоретичні залежності кінематики кочення і ковзання пневматичних шин по не деформуючій опорній поверхні і проведені розрахунки на основі яких можна дати рекомендації щодо вибору параметрів колеса автогрейдера для підвищення ефективності його роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Автомобильные шины: Конструкция, расчет, испытание, эксплуатация / под общ. ред. В. Л. Бидермана. - М.: Госхимиздат, 1963". - 384 с.
- 2 Агейкин, Я. С. Вездеходные колесные и комбинированные движители (теория и расчет) / Я. С. Агейкин. - М.: Машиностроение, 1972. - 184 с.
- 3 Агейкин, Я. С. Проходимость автомобиля / Я. С. Агейкин. - М.: Машиностроение, 1981.-232 с.
- 4 Аксенов, П. В. Многоосные автомобили / П. В. Аксенов,; - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1989. - 280 с.
- 5 Алексева, Т. В. Дорожные машины: ч. 1. - Машины» для земляных работ / Т. В. Алексева, Н. А. Ульянов; - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1972. - 504 с.
- 6 Антонов, А. С. Силовые передачи колесных и гусеничных машин: Теория-и расчет / А. С. Антонов. - М. - Л. : Машиностроение, 1975. - 480 с.

- 7 Антонов, В. Н. Улучшение эксплуатационных качеств шин ведущих колес сельскохозяйственных тракторов, путем задания рациональных параметров рисунка протектора : дис. канд. техн. наук : защищена 22.03.91 : утв. 03.09.91 / Ан-тонов Владимир Николаевич. - Днепропетровск, 1991. - 171 с.
- 8 А. с. 1057792 СССР, МКИ³ G 01 M 17/02. Устройство для измерения деформаций пневматической-шины / А. Г. Аржаев, А. В. Василенко, П. И. Никулин, А. Г. Смирнов (СССР); - № 3350684/25-08 ; заявл. 24.04.82 ; опубл. 15.09.83, Бюл. № 44. -4с: ил.
- 9 Ахназарова, С. Л., Кафаров, В. В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии : учеб. пособие для хим.-технол. спец. вузов / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров ; - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1985. -327 с.
- 10 Бабков, В. Ф. Основы грунтоведения и механики грунтов / В. Ф. Бабков, В. М. Безрук ; -М.: Высш. шк., 1976. - 243 с.
- 11 Баловнев,- В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В. И. Баловнев. - М. : Высш.
- 12 Баладинский В.Л. Динамическое разрушение грунтов. – Киев: КГУ, 1971. – 226 с.
- 13 Баладинский В.Л. и др. Расчетные методы при проектировании строительных машин. – К.: КИСИ, 1986. – 72 с.
- 14 Баловнев В.И. Методы физического моделирования рабочих процессов дорожно-строительных машин. – М.: Машиностроение, 1974. - 232 с.
- 15 Баловнев В.И. Оптимальный уровень энергонасыщенности землеройно-транспортных машин. – В кн.: “Развитие строительных машин, механизации строительства и открытых горных работ” под. ред. Д.П. Волкова. – М.: МГСУ, 1996.- С. 8-9.
- 16 Баловнев В.И., Кудайбергеров Р.К. Статистические модели грунтовых условий как основа для определения технических параметров землеройных машин. – Строительные и дорожные машины, 1977. № 2.- С.19-21.
- 17 Машини для земляних робіт: Підручник / Л.А. Хмара, С.В. Кравець, М.П. Скоблюк та ін. Під загальною редакцією проф. Л.А. Хмари та проф. С.В. Кравця. – Х.: ХНАДУ, – 2014 -548 с.
- 18 Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве. – М.: Транспорт, 1983. – 183 с.
- 19 Баловнев В.И., Хмара Л.А. Повышение производительности машин для земляных работ. – Київ: Будівельник, 1988. – 152 с.
- 20 Беренгард Ю.Г., Гайцгори М.М. Исследование динамических нагрузок в гидросистеме рабочего оборудования погрузчика. – Строительные и дорожные машины, 1983, № 11, с.21-22.
- 21 Беренгард Ю.Г., Гайцгори М.М., Малиновский Е.Ю. Автоматизированная система динамического анализа механических и гидромеханических передач. – М.: Машиноведение, 1982, № 5.-С.31-37.
- 22 Пат. 128556 Україна, МПК F15B 1/00 Атогрейдер / Хмара Л. А., Холодов А. П. Хожило М.Е., Пішίδα С.В.; заявник и патентовласник Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури". – № u 2018 03171; заявл. 27.03.2018; опубл. 5.09.2018, Бюл. № 18

REFERENCES

1. Avtomobil'nye shiny: Konstrukciya, raschet, ispytanie, ehkspluataciya / pod obshch. red. V. L. Bidermana. - M.: Goskhimizdat, 1963". - 384 s.
2. 2 Agejkin, YA. S. Vezdekhodnye kolesnye i kombinirovannye dvizhiteli (teoriya i raschet) /YA. S. Agejkin. - Mi: Mashinostroenie, 1972. - 184 s.
3. 3 Agejkin, YA: S. Prohodimost' avtomobilya / YA. S. Agejkin. - M.: Mashinostroenie, 1981.-232 s.
4. 4 Aksenov, P. V. Mnogoosnye avtomobili / P. V. Aksenov;; - 2-e izd., pererab. i dop. - M;; Mashinostroenie, 1989. - 280 s.
5. 5 Alekseeva, T. B. Dorozhnye mashiny: ch. 1. - Mashiny» dlya zemlyanyh rabot / T. V. Alekseeva, N. A. Ul'yanov; - 3-e izd., pererab. i dop. - M: : Mashino-stroenie, 1972. - 504 s.
6. 6 Antonov, A. S. Silovye peredachi kolesnyh i gusenichnyh mashin: Teoriya-i raschet / A. S. Antonov. - M. - L.: Mashinostroenie, 1975. - 480 s.
7. 7 Antonov, V: N. Uluchshenie ehkspluatacionnyh kachestv shin vedushchih koles sel'skohozyajstvennyh traktorov, putem zadaniya racional'nyh parametrov risunka protektora : dis. kand. tekhn. nauk : zashchishchena 22.03.91 : utv. 03.09.91 / An-tonovgVladimir Nikolaevich. - Dnepropetrovsk, 1991: - 171 s.
8. 8 A. s. 1057792 SSSR, MКИ3 G 01 M 17/02. Ustrojstvo dlya izmereniya.defor-macij pnevmaticheskoy-shiny / A. G. Arzhaev, A. V. Vasilenko, P. I. Niku-lin, A. G. Smirnov (SSSR); - № 3350684/25-08 ; zayavl. 24.04.82 ; opubl. 15.09.83, Byul. № 44. -4s: il.

9. Ahnazarova, S. L., Kafarov, V. V. Metody optimizacii ehksperimenta v himicheskoj tekhnologii : ucheb. posobie dlya him.-tehnol. spec. vuzov / S. L. Ahnazarova, V. V. Kafarov ; - 2-e izd., pererab. i dop. - M.: Vyssh. shk., 1985. -327 s.
10. Babkov, V. F. Osnovy gruntovedeniya i mekhaniki gruntov / V. F. Babkov, V. M. Bezruk ; -M.: Vyssh. shk., 1976. - 243 s.
11. Balovnev, V. I. Modelirovanie processov vzaimodejstviya so sredoj rabo-chih organov dorozhno-stroitel'nyh mashin / V. I. Balovnev. - M. : Vyssh.
12. Baladinskij V.L. Dinamicheskoe razrushenie gruntov. – Kiev: KGU, 1971. – 226 s.
13. Baladinskij V.L. i dr. Raschetnye metody pri proektirovanii stroitel'nyh mashin. – K.: KISI, 1986. – 72 s.
14. Balovnev V.I. Metody fizicheskogo modelirovaniya rabochih processov dorozhno-stroitel'nyh mashin. – M.: Mashinostroenie, 1974. - 232 s.
15. Balovnev V.I. Optimal'nyj uroven' ehnergonasyshchennosti zemlerojno-transportnyh mashin. – V kn.: “Razvitie stroitel'nyh mashin, mekhanizacii stroitel'stva i otkrytyh gornyh rabot” pod. red. D.P. Volkova. – M.: MGSU, 1996.- S. 8-9.
16. Balovnev V.I., Kudajbergerov R.K. Statisticheskie modeli gruntovyh uslovij kak osnova dlya opredeleniya tekhnicheskikh parametrov zemlerojnyh mashin. – Stroitel'nye i dorozhnye mashiny, 1977. № 2.- S.19-21.
17. Mashiny dlya zemlyanih robIt: Navchalnij posIbnik / Khmara L. A., Kravets S. V., NIchke V. V., Nazarov L. V., Skoblyuk M. P., NIKItIn V. G. PId zagalnoyu redaktsIEyu prof. Khmara L. A. ta prof. Kravtsya S. V. RIvne – DnIpropetrovsk-Kharkiv. – 2010 -557 s.
18. Balovnev V.I., Khmara L.A. Intensifikaciya zemlyanyh rabot v dorozhnom stroitel'stve. – M.: Transport, 1983. – 183 s.
19. Balovnev V.I., Khmara L.A. Povyshenie proizvoditel'nosti mashin dlya zemlyanyh rabot. – Kiiv: Budivel'nik, 1988. – 152 s.
20. Berengard YU.G., Gajcgori M.M. Issledovanie dinamicheskikh nagruzok v gidrosisteme rabocheho oborudovaniya pogruzchika. – Stroitel'nye i dorozhnye mashiny, 1983, № 11, s.21-22.
21. Berengard YU.G., Gajcgori M.M., Malinovskij E.YU. Avtomatizirovannaya sistema dinamicheskogo analiza mekhanicheskikh i gidromekhanicheskikh peredach. – M.: Mashinovedenie, 1982, № 5.-S.31-37.
22. Pat. 128556 Ukraïna, MPK F15B 1/00 Atogrejder / Khmara L. A., Holodov A. P. Hozhilo M.E., Pishchida S.V.; zayavnik i patentovlasnik Derzhavnij vishchij navchal'nij zaklad "Pridniprovs'ka derzhavna akademiya budivnictva ta arhitekturi". – № u 2018 03171; zayavl. 27.03.2018; opubl. 5.09.2018, Byul. № 18