дель ковзного середнього, екзогенний тип сигналів), NNOE (Neural Network Output Error - нейромережева модель помилки виходу).

Аналіз результатів комп'ютерного моделювання дозволяє зробити певні узагальнення у таких **висновках**.

Результати навчання інтелектуальної нейромережевої моделі типу NNARX якісно практично ідентичні, якщо їх відповідно групувати (кластерізувати) за однаковими методами навчання (GN, CG, LM).

З огляду швидкості збіжності та обчислювальної робастності найбільш перспективним виглядає метод Левенберга-Маркуардта (LM), але його ресурсомісткість найбільша. Стандартний метод навчання НМ, заснований на зворотному розповсюдженні похибки (BP), продемонстрував досить добру робастність, але його швидкість збігу достатньо повільна, а вимоги щодо ресурсів - завеликі. Приблизно однакові та достатньо збалансовані результати показали методи Гауса-Ньютона(GN) та сполученого градієнту (CG).

Зважаючи на наведені випробування можна рекомендувати застосовувати для апроксимації складних ТП рекурентні динамічні нейроструктури за умови можливості їх апаратної реалізації (наприклад, нейро-графічні процесори) або застосування паралельних та розподілених обчислень [9]. Саме останнє є найближчою перспективою для продовження подальших досліджень у цьому напрямі.

Список литературы

1. **Купін А.І.** Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології : Монографія / **А.І. Купін.** – Київ: Вид. «Корнійчук», 2008. - 204 с.

2. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / Под.ред. **Н.Д. Егупова**.– М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.– 744 с.

3. **Комашинский В.И.** Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / **В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов**.– М.:Телеком, 2002.– 94с.

4. Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез и оптимизация / Под ред. **Пупкова К.А., Егупова Н.Д.** – М.: МГТУ им. Баумана, 2007. – 632 с.

5. **Медведев В.С.** Нейронные сети. MATLAB6. / **В.С. Медведев, В.Г. Потемкин**.– М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002.– 496 с.

6. **Руденко О.Г.** Адаптивное управление многомерными нелинейными объектами на основе радиально-базисных сетей **/ О.Г.Руденко, А.А.Бессонов** // Кибернетика и системный анализ.- №2, 2005. - С. 9-18.

7. **Черноруцкий И.Г.** Методы оптимизации в теории управления / **Черноруцкий И.Г.**- СПб.: Питер, 2004. - 256 с.

8. **Купін А.І.** Узагальнений алгоритм нейромережевої ідентифікації ТП збагачення залізної руди / **А.І. Купін** // Вісник КТУ. - Вип.13. - Кривий Ріг: КТУ, 2006. – С.147-150.

9. **Купін А.І.** Паралельний алгоритм на-вчання багатошарових нейро-мережевих структур / **А.І. Купін, Д.І. Кузнєцов //** Збірник наукових праць НГУ. - №32. - Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2009. - С. 135-141.

Рукопись поступила в редакцию 22.07.12

УДК 622.271:622.684

А.В. ГАЛЬЧЕНКО, асистент, Ю.А. МОНАСТИРСЬКИЙ, А.В. ВЕСНІН, кандидати техн. наук, доценти, В.О. СІСТУК, аспірант, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

КОРИГУВАННЯ МІНІМАЛЬНОЇ ШИРИНИ ПЛОЩАДОК ДЛЯ МАНЕВРУВАННЯ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ ВІДПОВІДНО ДО ГІРНИЧОТЕХНІЧНИХ УМОВ

Досліджено зміну радіусу повороту великовантажних кар'єрних автосамоскидів від коефіцієнтів опору кочення опорних поверхонь маневрових площадок та встановлено коефіцієнт, що коригує розміри площадок для маневрування у відповідності до характеристик їх покриття.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Експлуатація кар'єрних автосамоскидів на кар'єрах Криворізького регіону характеризується складними гірничотехнічними умовами, що виражаються наявністю неукріпленого ґрунтового покриття з глибокими коліями на багатьох основних ділянках трас та особливо пухкого в пунктах навантаження-розвантаження гірничої маси, де від автосамоскидів вимагають максимальних показників маневреності. У той же час, при визначенні розмірів маневрових площадок у відповідності до норм технологічного проектування (НТП) [3], мінімальний радіус повороту кар'єрних автосамоскидів приймається з їх технічної характеристики, де зазначається його величина, яка отримана в умовах полігонних випробувань, без урахування характеристик опорних поверхонь конкретно-

© Гальченко А.В., Монастирський Ю.А., Веснін А.В., Сістук В.О., 2012

го кар'єру, що набагато гірші полігонних випробувань на рівному асфальтобетонному покритті з великим коефіцієнтом зчеплення (0,8-0,9) та низьким коефіцієнтом опору кочення (0,015) [2].

У зв'язку з цим, можливе ускладнення процесів маневрування автосамоскидів при установці під екскаватор та в пунктах розвантаження при низьких величинах коефіцієнтів зчеплення та значному показнику опору кочення поверхні маневрових площадок, що виражається в зсуві передніх коліс і ковзанні задніх, та як слідство, в збільшенні радіусів повороту. У такому випадку, визначення розмірів маневрових площадок без урахування можливості зсуву та ковзання коліс автосамоскиду, що приводять до збільшення мінімального радіусу, може привести до помилок при проектуванні маневрових площадок та у подальшому бути причиною ще більшого погіршення умов експлуатації машин при невідповідності робочого простору фактичним характеристикам автосамоскидів.

Аналіз досліджень та публікацій. Безпосередньо величина коефіцієнту опору кочення та зчеплення в умовах конкретного кар'єру визначена експериментальним шляхом [2]. Крім того, регламентована рівність дорожнього покриття, ширина кар'єрних автодоріг залежно від швидкості руху, та відкоригована швидкість руху по кривим [2]. Однак поправочні коефіцієнти щодо визначення ширини маневрової площадки, які б враховували збільшення радіусу повороту автосамоскидів за відповідних характеристик опорної поверхні даних площадок, зараз відсутні.

Постановка задачі. Метою дослідження є встановлення коефіцієнту, що корегує вираз щодо визначення ширини маневрових площадок у відповідності до характеристик їх опорної поверхні.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити:

сили, що виникають на повороті кар'єрного автосамоскиду в контакті з опорною поверхнею за існуючими підходами;

вплив коефіцієнту опору кочення на величину мінімального радіусу повороту кар'єрного автосамоскиду;

вираз для коефіцієнту врахування характеристик опорної поверхні маневрових площадок, що викликають зсув передніх коліс на повороті.

Викладення матеріалу та результати. Мінімальна ширина площадки для маневрів автосамоскидів при подачі під навантаження в НТП визначається з виразу, що універсальним для всіх типів екскаваторних заходок [3]

$$p = \sqrt{(1{,}3 \cdot R_{\min})^2 - L^2} + L + B_n \qquad (1)$$

де $R_{\min}$ - мінімальний радіус повороту з технічної характеристики автосамоскиду, м; L - колісна база автосамоскиду, м; $B_{\text{п}}$ - величина переднього звису, м.

Отже, для визначення впливу опору кочення на мінімальну ширину маневрових площадок необхідно встановити вплив коефіцієнту опору кочення на величину радіусу повороту кар'єрного автосамоскиду. Для цього необхідно визначити сили, що виникають в контакті з опорною поверхнею на повороті, враховуючі, що рух кар'єрних автосамоскидів у пунктах навантаження та розвантаження при кутах повороту керованих коліс, що наближаються до максимальних, характеризується сталим режимом с радіусами та швидкостями близькими до мінімальних.

Існує декілька підходів щодо визначення сил, що діють на повороті колісної машини. Сили можуть бути представлені: у вигляді емпіричної залежності для нелінійного уводу (формула Песейки) [7], з урахуванням тертя часткового ковзання (модель МГТУ) [5], у функціях від координат миттєвих центрів швидкостей (МЦШ) кожного колеса [5], з рівнянь руху системи та пружних зв'язків [1].

Розглянемо останній підхід [1], тим більше, що він передбачає дотримання умов рівноваги.

За даною методикою, величину бокових сил, що діють на передню та задню вісь при сталому режимі повороту, після перетворень, може бути представлено

$$R_{y1} = mV_{X1}^2 \frac{b}{L^2} tg\gamma \sec\gamma + R_{k1} tg\gamma; \qquad R_{y2} = mV_{X1}^2 \frac{a}{L^2} tg\gamma \qquad (2)$$

де R_{y1}, R_{y2} - бокові сили, що діють на передню та задню вісь,Н; V_x - проекція вектору швидкості центра мас на повздовжню вісь, м/с; a, b - координати центру ваги, м; γ - середній кут повороту керованих коліс, град.; R_{k1} - поздовжня сила, що діє на колеса передньої вісі, Н.

Оскільки

$$R_{k1} = fR_{z1} = fmg \cdot \frac{b}{L}$$

то

$$R_{y1} = m \cdot \frac{b}{L} \cdot tg\gamma \cdot (\frac{V_{X1}^2}{L} \sec\gamma + f \cdot g) \tag{3}$$

Вираз для радіусу повороту має вигляд

$$R_n = \frac{\frac{L}{tg(\gamma - \delta_{в1}) + tg(\delta_{в2})} + \frac{B_1}{2}}{\cos(\gamma - \delta_{в2})} \tag{4}$$

де $\delta_{в1}$, $\delta_{в2}$ - кути силового уводу передньої та задньої вісі, рад, B_1 - колія передніх коліс, м.

Малі швидкості маневрування та жорсткість шин кар'єрних автосамоскидів у боковому напрямку дозволяють зробити висновок про відсутність уводу на повороті, але при великих кутах повороту керованих коліс та великому опору коченні в сумі з низьким зчепленням може спостерігатися зсув передніх коліс та збільшення радіусу повороту. У нашому підході зсув коліс враховується через увід останніх, оскільки, незважаючи на деякі відмінності у фізичній природі описаних явищ, результат їх впливу буде однаковим з математичної точки зору.

Відомо, що в зоні чистого уводу величина бокової сили прямо пропорційна кутам уводу

$$\delta_{в1} = \frac{R_{y1}}{K_{\delta 1} + K_{\delta 2}}; \qquad \delta_{в2} = \frac{R_{y2}}{K_{\delta 3} + K_{\delta 4}} \tag{5}$$

де $K_{\delta i}$ - відкоригований коефіцієнт опору боковому уводу шини (Н/рад) за відомої з теорії руху колісних машин методики [4].

$$K_{\delta i} = K_{\delta н} \cdot q_{xi} \cdot q_{zi} \cdot q_{\varphi i} \tag{6}$$

де $K_{\delta н}$ - номінальний коефіцієнт опору боковому уводу шини (Н/рад); q_{xi}, q_{zi}, q_{φ} - коефіцієнти коригування номінального коефіцієнту опору боковому уводу за повздовжньою реакцією, вертикальною реакцією, зчіпними особливостями поверхні відповідно.

Оскільки дослідної та теоретичної інформації, яка б дозволяла чітко визначитись з виразом для номінального коефіцієнту опору боковому уводу шин великовантажних кар'єрних автосамоскидів, недостатньо, тому будемо використовувати наступні залежності для визначення його номінального значення

$$K_{\delta н} = 780(d + 2b_ш) \cdot_ш (p_ш + 98) \tag{7}$$

де d - посадочний діаметр шини, м; $b_ш$ - ширина профілю шини, м; $p_ш$ - внутрішній тиск шини, кПа;

Тоді залежність радіусу повороту від коефіцієнту опору кочення, враховуючи (2)-(7)

$$R = \frac{\frac{L}{tg\left(\gamma - \frac{m\frac{b}{L}tg\gamma\left(\frac{V_{X1}^2}{L}\sec\gamma + fg\right)}{\sum_{i=1}^{2} K_{qн} q_{x_i} q_{zi} q_{\varphi i}}\right) + tg\left(\frac{mV_x^2 \frac{a}{L^2} tg\gamma}{\sum_{i=3}^{4} K_{qн} q_{x_i} q_{zi} q_{\varphi i}}\right)} + \frac{B_1}{2}}{\cos\left(\gamma - \frac{mV_x^2 \frac{a}{L^2} tg\gamma}{\sum_{i=3}^{4} K_{qн} q_{x_i} q_{zi} q_{\varphi i}}\right)}$$

Коефіцієнт врахування зсуву передніх коліс представляє собою відношення мінімального радіусу повороту в залежності від коефіцієнту опору кочення до мінімального радіусу повороту з технічної характеристики машини

$$k_{зпк} = R_{min\varphi} / R_{min}$$

де $R_{min\varphi}$ - фактичний мінімальний радіус повороту автосамокиду, м; R_{min} - мінімальний радіус повороту з технічної характеристики автосамоскиду, м.

Загальна формула для коефіцієнту врахування зсуву передніх коліс

$$k_{зпк} = \frac{\frac{L}{tg\left(\gamma - \frac{m\frac{b}{L}tg\gamma_{max} \cdot \left(\frac{V_{X1}^2}{L}\sec\gamma_{max} + f \cdot g\right)}{\sum_{i=1}^{2} K_{qн} \cdot q_{x_i} \cdot q_{zi} \cdot q_{\varphi i}}\right) + tg\left(\frac{mV_x^2 \frac{a}{L^2} \cdot tg\gamma_{max}}{\sum_{i=3}^{4} K_{qн} \cdot q_{x_i} \cdot q_{zi} \cdot q_{\varphi i}}\right)} + \frac{B_1}{2}}{\cos\left(\gamma - \frac{m \cdot V_x^2 \cdot \frac{a}{L^2} \cdot tg\gamma_{max}}{\sum_{i=3}^{4} K_{qн} \cdot q_{x_i} \cdot q_{zi} \cdot q_{\varphi i}}\right)}}{R_{min}} \tag{8}$$

Отже, задаючись швидкістю маневрування автосамоскиду та коефіцієнтом опору кочення маневрової площадки можливо визначити, наскільки збільшиться мінімальний радіус повороту при маневруванні в реальних умовах кар'єру порівняно з умовами полігонних випробувань (ідеальними умовами).

Вираз для мінімальної ширини маневрової площадки, що відкоректований за допомогою запропонованого коефіцієнту, матиме вигляд

$$p = \sqrt{(1{,}3 \cdot R_{\min} \cdot \mathrm{k}_{\text{зпк}})^2 - L^2} + L + B_n$$

Чисельна реалізація методики була проведена для автосамоскидів виробництва БелАЗ серії 7513 вантажопідйомністю 136 т, що знаходились у ненавантаженому стані (маневрування зі швидкістю 3 км/год у пунктах навантаження) та при повністю завантаженій платформі (при русі на розвантажувальних пунктах), враховуючи, що коефіцієнт опору кочення в пунктах навантаження-розвантаження може змінюватися від 0,025 (ґрунтове покриття, що не зминається для прогину) до 0,2 (пухке ґрунтове покриття, зі зминанням шин до 300 мм), а коефіцієнт зчеплення для кар'єрного ґрунту становить 0,55. Розміри слідів передніх коліс визначалися заміром на відповідній техніці в умовах ГТЦ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Встановлено, що при збільшені коефіцієнту опору кочення з 0,025 до 0,2 мінімальний радіус повороту ненавантаженого автосамоскиду БелАЗ-75131 збільшується з 13,04 до 13,76 м, а повністю завантаженого - з 13,11 до 14,18 м (рис. 1), що свідчить про перехід із зони чистого уводу до зони уводу з ковзанням за даних умов.

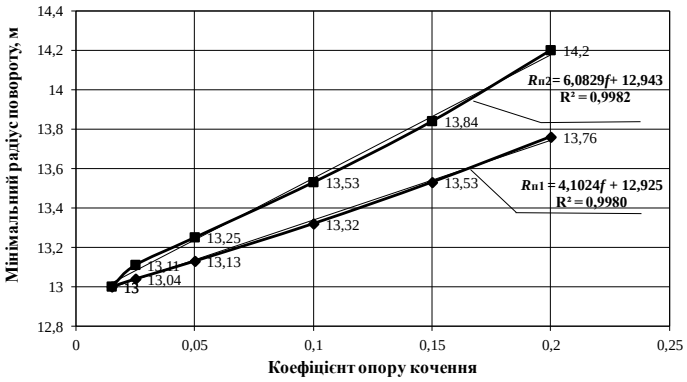

Рис. 1. Залежність мінімального радіусу повороту від коефіцієнту опору кочення: $R_{п1}$- для знарядженого автосамоскиду БелАЗ-75131; $R_{п2}$ – для завантаженого автосамоскиду БелАЗ-75131

Отже, при наявності граничного коефіцієнту зчеплення при максимальному куті повороту керованих коліс відбувається зсув передніх коліс та втрата керованості та маневреності, або ковзання задніх коліс, що приводить до втрати стійкості.

Зміна мінімального радіусу повороту та ширини маневрової площадки при зміні стану її покриття представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Необхідна мінімальна ширина маневрової площадки для автосамоскидів БілАЗ-75131 відповідно до стану її покриття

Стан опорної поверхні площадки	Коефіцієнт опору кочення, f	Коефіцієнт зчеплення, φ	Коригування коефіцієнту, $к_{зпк}$	Мінімальний радіус повороту а/с БілАЗ-75131, м	Ширина площадки для маневрів, м
Дуже тверде ґрунтове покриття	0,015	0,65	1,000	13,01	24,21
Ґрунтове покриття з прогином під навантаженням до 25 мм	0,04	0,55	1,008	13,11	24,35
Пухкий пісок або гравій	0,10	0,36	1,027	13,36	24,70
Ґрунтове покриття з глибокими коліями, з прогином до 200 мм	0,14	0,45	1,040	13,52	24,91
Ґрунтове покриття з глибокими коліями, з прогином до 300 мм	0,20	0,40	1,059	13,76	25,25

Отже, при погіршенні стану покриття маневрових площадок їх мінімальна ширина для автосамоскидів БілАЗ-7131 повинна збільшуватись з 24,2 до 25,25 м, що можливо враховувати при проектуванні кар'єру за допомогою запропонованого коефіцієнту.

Висновки. У результаті проведених досліджень по основному показнику статичної пово-

роткості великовантажного кар'єрного автосамоскиду та відповідній ширині площадки для маневрів встановлено:

бокові сили, що виникають на повороті кар'єрного автосамоскиду при швидкості 3 км/год та максимальному куті повороту керованих коліс мають невелике значення, але викликають часткове ковзання останніх з уводом при збільшенні коефіцієнту опору кочення опорної поверхні;

при збільшені коефіцієнту опору кочення з 0,025 до 0,2 мінімального радіусу повороту спорядженого автосамоскиду БелАЗ-75131 збільшується з 13,04 до 13,76 м, а повністю завантаженого - з 13,11 до 14,18 м;

встановлено коефіцієнт, що дозволяє враховувати характеристики опорної поверхні площадок для маневрування кар'єрних автосамоскидів при визначенні їх розмірів в умовах конкретних кар'єрів.

Список літератури

1. **Бобошко А.А.** Підвищення маневреності колісних тракторів і самохідних шасі: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.22.02 / **А.А. Бобошко.** - Харків, 2002. - 19 с.

2. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / **Мариев П. Л., Кулешов А. А., Егоров А. Н., Зырянов И. В.** – СПб: Наука, 2004. - С.146-152

3. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки корисних копалин. Київ, 2007.- 224 с.

4. **Смирнов А.Г.** Теория движения колесных машин: Учебн. для студ. машиностроит. спец. вузов. - 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Машиностроение, 1990. -320с.

5. **Трояновская И.П.** Методология моделирования движения тракторных агрегатов: автореф. дисс. доктора техн. наук: 05.05.03, 05.05.04 / **Трояновская Ирина Павловна**. - Челябинск, 2011. – 35с.

6. **Чернышев Н. В.** Комплексная система управления поворотом боевой колёсной машины 8х8 : автореферат дис. канд.тех. наук : 05.05.03 / **Чернышев Николай Васильевич**.- Москва, 2009.- 16 с.

7. **Pacejka H.B.** Tire and Vehicle Dynamics.-2nd edition, SAE International, 2005. 642 p.

Рукопис подано до редакції 22.03.12

УДК 621.67.004.6

С.С. ДУБРОВСКИЙ·, канд. техн. наук, доц., С.П. САМОШКИНА, ст. преподаватель,
Е.В. ОРЛОВ, студент, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ ПОЛУЧЕНЫХ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И МОНТАЖА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДЕТАЛЕЙ

В работе проведен анализ основных дефектов валов шламовых насосов. Рассмотрено влияния дефектов изготовления и монтажа на прочностные характеристики валов. с помощью моделирования в CAD/CAE системах «SolidWorks» и «Компас 3D».

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Обеспечение требуемых качественных показателей изделий является актуальной задачей. При этом дефекты на поверхности материала, полученные в процессе изготовления и монтажа, относятся к числу факторов, существенно влияющих на многие характеристики качества изделий. Большой опыт эксплуатации изделий в различных областях техники и многочисленные эксперименты показывают, что поверхностные дефекты существенно влияют на износостойкость, коррозионную стойкость, усталостную прочность и долговечность изделий.

Анализ исследований и публикаций. Проведенный анализ литературных источников [1-3] показал что, качественное и количественное влияние поверхностных дефектов на целый ряд функциональных свойств изделий ещё не в полной мере раскрыто. Основным недостатком является то, что не учитывается сложный характер влияния состояния поверхностного слоя на зарождение и развитие дефектов под действием статических и динамических нагрузок в процессе эксплуатации, о чем свидетельствуют частые случаи преждевременного выхода из строя высоконагруженных деталей машин. Одной из причин этого является отсутствие простых, надежных и приемлемых по стоимости средств измерений и контроля этих дефектов.

Постановка задачи. В связи с изложенным, требуется дальнейшее исследование влияния дефектов изготовления и монтажа валов шламовых насосов, с помощью CAD/CAE систем «Solid Works» и «Компас 3D», на прочностные характеристики деталей.

Изложение материала и результаты. Вал является несущей деталью роторной части мно-

· © Дубровский С.С., Самошкина С.П., Орлов Е.В., 2012