

В.О. ВІКТОРОВА, аспірант

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗЕМЛЕРИЙНО-ТРАНСПОРТНОЇ МАШИНИ

Актуальність проблеми. З ростом об'ємів будівельних і дорожніх робіт все актуальнішою задачею стає забезпечення безвідмовної роботи техніки. При будівництві доріг переважно використовуються машини циклічної дії. Ці машини характеризуються більшою динамічністю, особливо автогрейдери, бульдозери, скрепери тощо. В якості об'єкту дослідження розглянемо автогрейдер. Автогрейдер – це складна динамічна система, яка працює в жорстких динамічних навантаженнях, які мають випадковий стахостичний характер. Сили інерції при цьому виступають як додаткові зовнішні навантаження на пружну систему. Взаємодія сил інерції та сил пружності при динамічному навантаженні породжують пружні коливання, які приводять до значного збільшення загального навантаження на вузли автогрейдера.

Під час роботи автогрейдери взаємодіють з ґрунтом своїм відвалом (навісне обладнання). Як свідчать дослідження [1], амплітуда сили різання міцних і мерзлих ґрунтів складає в середньому 0,7 середньомаксимальної величини і має випадковий характер. Вищенаведені коливання сили обумовлюють динамічні дії на робоче обладнання, що супроводжуються деформацією відвалу та несучою конструкції автогрейдера. В залежності від навантаження на робочий орган буде змінюватись і режим роботи двигуна, його температурний режим, детонація, ступінь вібрації двигуната інші показники. За сумарною оцінкою цих діагностичних параметрів необхідно приймати рішення про технічний стан ЗТМ в цілому.

Таким чином, можна зробити висновок про необхідність контролювання технічного стану землерийно-транспортних машин (ЗТМ) з урахуванням динамічних навантажень. Аналіз бортових систем діагностування технічного стану ЗТМ показав, що ці системи взагалі не враховують динамічні навантаження, які діють на раму та робочі органи машин. Цей недолік можна усунути, якщо в режимі реального часу по даним поточних вимірювань критичних параметрів, класифікувати динамічні навантаження, відповідні їм динамічні режими роботи і оцінювати технічний стан ЗТМ. Одним з варіантів розв'язання даної задачі є використання нечіткої логіки.

Аналіз публікацій. Роботи з ідентифікації нелінійних залежностей на основі нечітких множин і нечіткої логіки інтенсивно проводяться за кордоном з 90-х років. Серед російськомовних публікацій відзначимо серію статей професора А.П. Ронштейна [2, 3], в яких розроблено метод двоетапної ідентифікації нелінійних залежностей за допомогою нечітких баз знань.

Практичне застосування теорії нечітких множин передбачає представлення параметрів стану у вигляді лінгвістичних змінних. Формалізація лінгвістичних значень в рамках теорії нечітких множин здійснюється через функції належності (ФН). Найбільш розповсюджені методи побудови ФН ґрунтуються на статистичній обробці експертної інформації та на парних порівняннях [4]. Ці методи застосовуються переважно при розробці чистих експертних систем, які використовують лише експертні знання. В роботі [5] представлена методика побудови функцій належності інформативних параметрів динамічних режимів роботи дорожньої машини, яка дозволяє розпізнавати динамічні навантаження в залежності від їх стаціонарності.

Мета і постановка задачі. Метою роботи є обґрунтування, що довикористання нечіткої логіки для класифікації динамічних навантажень ЗТМ. Мета обумовлена необхідністю розв'язання ряду задач: обґрунтування вибору ФН та їх побудова; класифікація динамічних навантажень за ФН.

Основна частина. Формальне представлення нечіткої множини не накладає ніяких обмежень на вибір конкретної ФН для її представлення. Однак на практиці зручно використовувати ті функції, які допускають аналітичне представлення у вигляді деякої простої математичної функції. Це спрощує не тільки відповідні обчислення, але і скорочує розрахункові ресурси, які необхідні для зберігання окремих значень цих ФН. Зазвичай ФН має два, три або чотири параметри. Існує багато типів параметричних ФН, найбільш розповсюдженими серед яких є трикутна, трапецеїдальна та ФН Гаусівського типу.

При виборі та побудові ФН будемо дотримуватись правила, яке визначається характером невизначеності, яка має місце при побудові конкретних ФН. Чим в більшій ступені значення діагностичного параметру $x \in X$ належить до властивостей, якими характеризується технічний стан ЗТМ, тим ближче до одиниці повинно бути значення істинності (коефіцієнта належності) відповідної ФН для даного діагностичного параметру. І навпаки, чим в меншому ступені значення діагностичного параметру $x \in X$ належить до властивостей, якими характеризується технічний стан ЗТМ, тим ближче до нуля повинно бути значення істинності цієї ФН. Якщо значення діагностичного параметру $x \in X$ взагалі не відповідає властивостям, якими характеризується технічний стан ЗТМ, тоді відповідно

коефіцієнт належності буде дорівнювати нулю. Якщо ж значення діагностичного параметру $x \in X$ відповідає властивостям, якими характеризується технічний стан ЗТМ, тоді відповідно коефіцієнт належності буде дорівнювати одиниці.

Найбільшого поширення при побудові ФН нечітких множин набули прямі і непрямі методи. Будемо використовувати прямий метод побудови ФН. Даний метод використовується для таких властивостей, які можна виміряти в деякій кількісній шкалі. Наприклад такі діагностичні параметри, як тиск, деформація, температура та інші, мають відповідні одиниці та еталони для свого вимірювання. При прямому методі побудови ФН необхідно враховувати ті обставини, що теорія нечітких множин не потребує абсолютно точного представлення ФН. Дуже часто буває достатньо зафіксувати тільки найбільш характерні значення і тип ФН.

Використовуючи рекомендації, які були розглянуті, визначимо тип ФН для лінгвістичних змінних, в якості яких виступають діагностичні параметри, які характеризують як динамічні навантаження, режим роботи так і технічний стан ЗТМ. Для цього перш за все необхідно визначити лінгвістичні змінні і відповідні терм-множини діагностичного параметру.

Розглянемо нечітку множину G , що характеризує деформацію рами ЗТМ ($G = \text{«деформація на рамі»}$) і відповідні терм-множини {мала, середня, велика, критична}. Для представлення властивостей нечіткої множини, яка характеризується невизначеністю типу: «мала кількість», «невелике значення», «незначна величина» зазвичай використовується Z-подібна крива (сплайн-функція). В загальному випадку дана функція може бути задана аналітично наступним виразом:

$$f_z(x; a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ 1 - 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2 \left(\frac{b-x}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} < x < b \\ 0, & b \leq x \end{cases}, \quad (1)$$

де a - числове значення діагностичного параметру, коефіцієнт належності якого до даної ФН дорівнює одиниці; b - числове значення діагностичного параметру, коефіцієнт належності якого до даної ФН дорівнює нулю. Повинна виконуватись умова $a < b$. Графік цієї функції для нечіткої множини G зображений на рис.1.

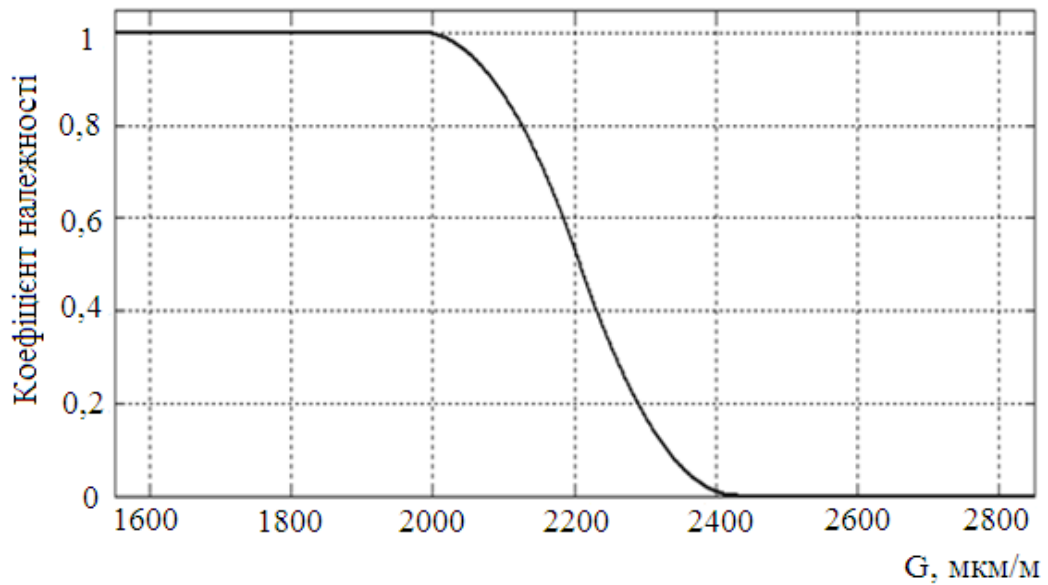


Рис.1. Z-образна ФН терм-множини «мала деформація» для значень параметр $a = 1985$ мкм/м, $b = 2431$ мкм/м.

Аналіз результатів досліджень динамічних навантажень на основну раму та робочій орган автогрейдера показав, що в залежності від величини навантаження необхідно використовувати різні ФН. Побудуємо ФН, які характеризують терм-множину «мала деформація» на рамі автогрейдера. Графіки цих ФН зображені на рис.2.

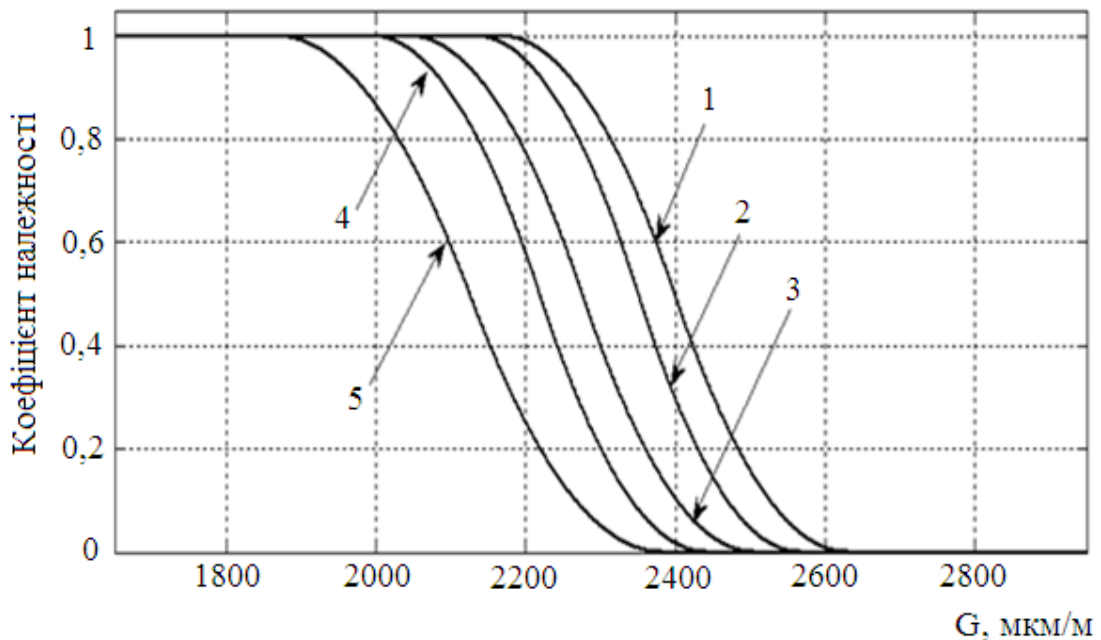


Рис.2. ФН терм-множини «мала деформація» з різними параметрами: 1 – $a = 2167$ мкм/м, $b = 2631$ мкм/м; 2 – $a = 2134$ мкм/м, $b = 2567$ мкм/м; 3 – $a = 2045$ мкм/м, $b = 2506$ мкм/м; 4 – $a = 1995$ мкм/м, $b = 2442$ мкм/м; 5 – $a = 1867$ мкм/м, $b = 2383$ мкм/м.

Для терм-множин «середня деформація» і «велика деформація» будемо використовувати трикутну ФН, яка характеризується невизначеністю типу: «приблизно дорівнює», «середнє значення», «розташована у інтервалі». В загальному випадку дана функція може бути задана аналітично наступним виразом:

$$f_{\Delta}(x; a, b, c) = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{array} \right\}, \quad (2)$$

де a, c - числові значення діагностичного параметру, які характеризують основу трикутника. Коефіцієнт належності значень до даної ФН дорівнює нулю; b - вершина трикутника, коефіцієнт належності для цього значення дорівнює одиниці. Повинна виконуватись умова $a \leq b \leq c$.

Побудовані ФН за результатами експериментальних досліджень, які характеризують терм-множину «середня деформація» та «велика деформація» представлені на рис.3 та рис.4.

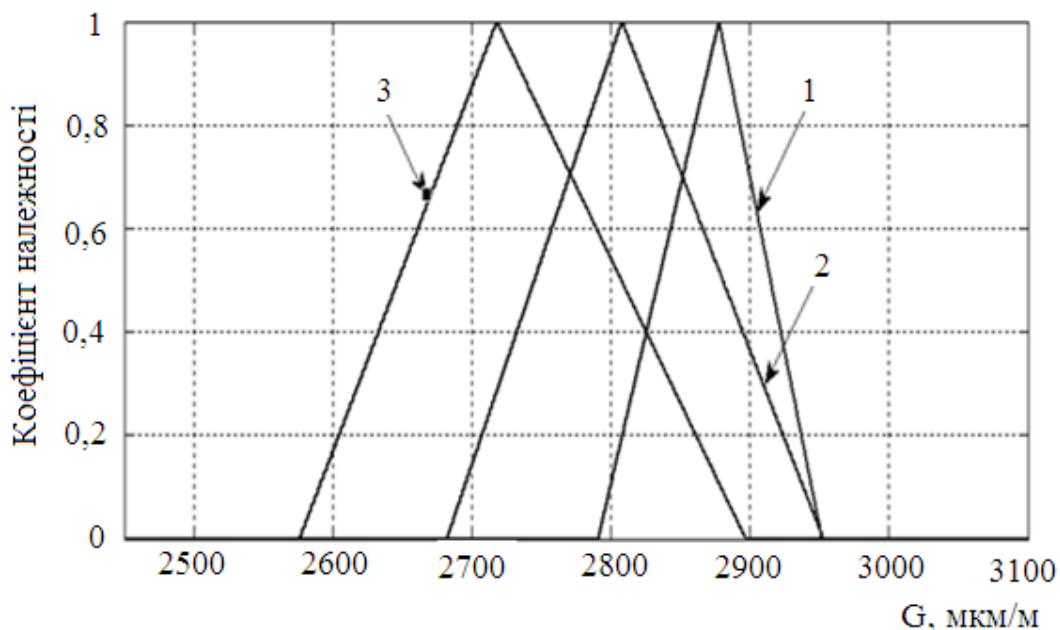


Рис.3. ФН терм-множини «середня деформація» з різними параметрами: 1 – $a = 2576$ мкм/м, $b = 2718$ мкм/м, $c = 2897$ мкм/м; 2 – $a = 2682$ мкм/м, $b = 2808$ мкм/м, $c = 2953$ мкм/м; 3 – $a = 2791$ мкм/м, $b = 2878$ мкм/м, $c = 2952$ мкм/м.

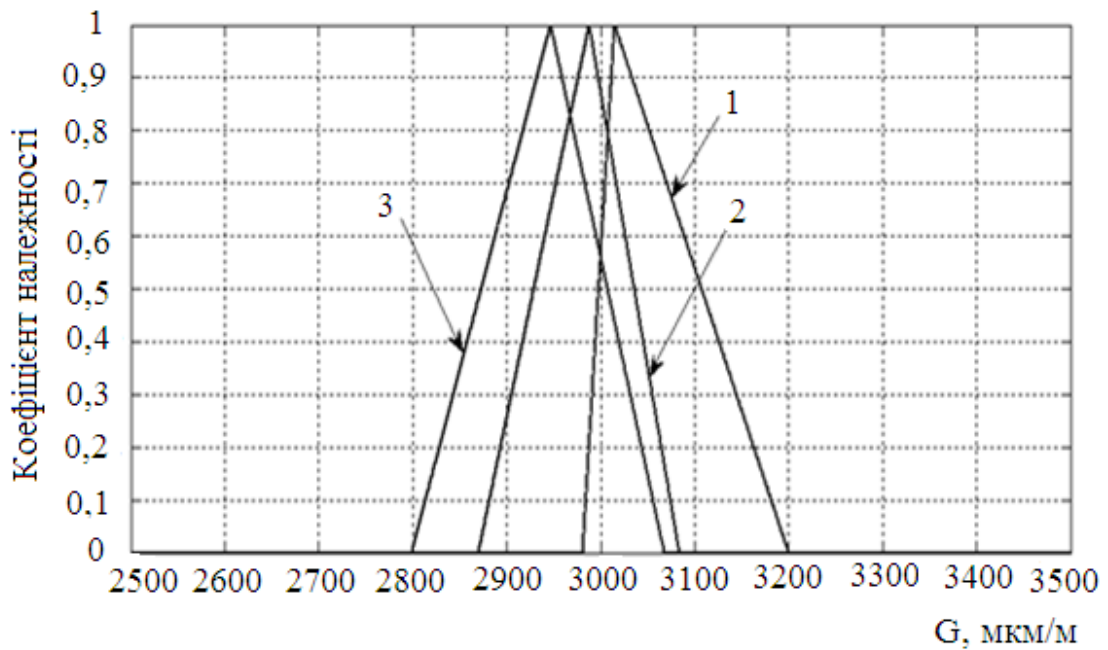


Рис.4. ФН терм-множини «велика деформація» з різними параметрами: 1 – $a = 2981$ мкм/м, $b = 3015$ мкм/м, $c = 3200$ мкм/м; 2 – $a = 2870$ мкм/м, $b = 2988$ мкм/м, $c = 3084$ мкм/м; 3 – $a = 2799$ мкм/м, $b = 2947$ мкм/м, $c = 3068$ мкм/м.

Проведені дослідження показали, що для представлення терм-множини «критична деформація» необхідно використовувати ФН, яка характеризується невизначеністю типу: «велика кількість», «велике значення». ФН, яка характеризує невизначеність даного типу є S-подібна функція. В загальному випадку дана функція задана аналітичним виразом:

$$f_s(x; a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{b-x}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} < x < b \\ 1, & b \leq x \end{cases}, \quad (3)$$

де a - числове значення діагностичного параметру, коефіцієнт належності якого до даної ФН дорівнює нулю; b - числове значення діагностичного параметру, коефіцієнт належності якого до даної ФН дорівнює одиниці. Повинна виконуватись умова $a < b$. Модель цієї функції для терм-множини «критична деформація» зображена на рисунку 5.

Процес знаходження значень ФН нечітких множин (термів) на основі початкових даних називається фазифікацією. Сукупність побудованих ФН формує свого роду базу даних цих функцій в системі нечіткого логічного висновку.

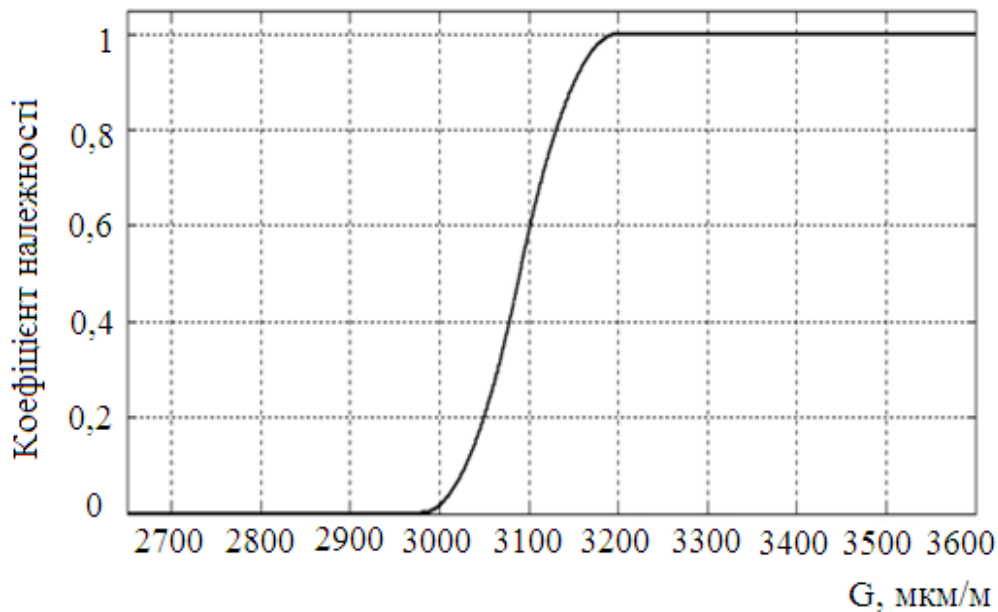


Рис.5. S-подібна ФН терм множини «критична деформація» для значень параметрів $a = 2980$ мкм/м, $b = 3200$ мкм/м.

Класифікація динамічних навантажень здійснюється за рахунок порівняння значень поточних вимірювань діагностичного параметру з ФН, за рахунок визначення коефіцієнтів належності даного значення до кожної ФН. Розрахунок вагових коефіцієнтів для кожної вимірюного значення діагностичного параметру визначається по формулах (1-3).

Для відображення здійснення етапу класифікації динамічного навантаження розглянемо приклад деформації рами автогрейдера. Припустимо, що поточна вимірюна деформація рами дорівнює 2654 мкм/м. Як бачимо з рис.6 деформація у 2654 мкм/м відповідає чотирьом значенням коефіцієнта належності: к ФН «мала деформація» він дорівнює 0; к ФН «середня деформація» – 0,9; к ФН «велика деформація» – 0; к ФН «критична деформація» – 0. За найбільшим значенням коефіцієнта належності приймається рішення про відношення вимірюного значення деформації до однієї з терм-множини {мала, середня, велика, критична}.

Таким чином, виходячи з отриманих розрахункових даних, можна зробити висновок, що деформація рами у 2654 мкм/м відповідає «середній деформації».

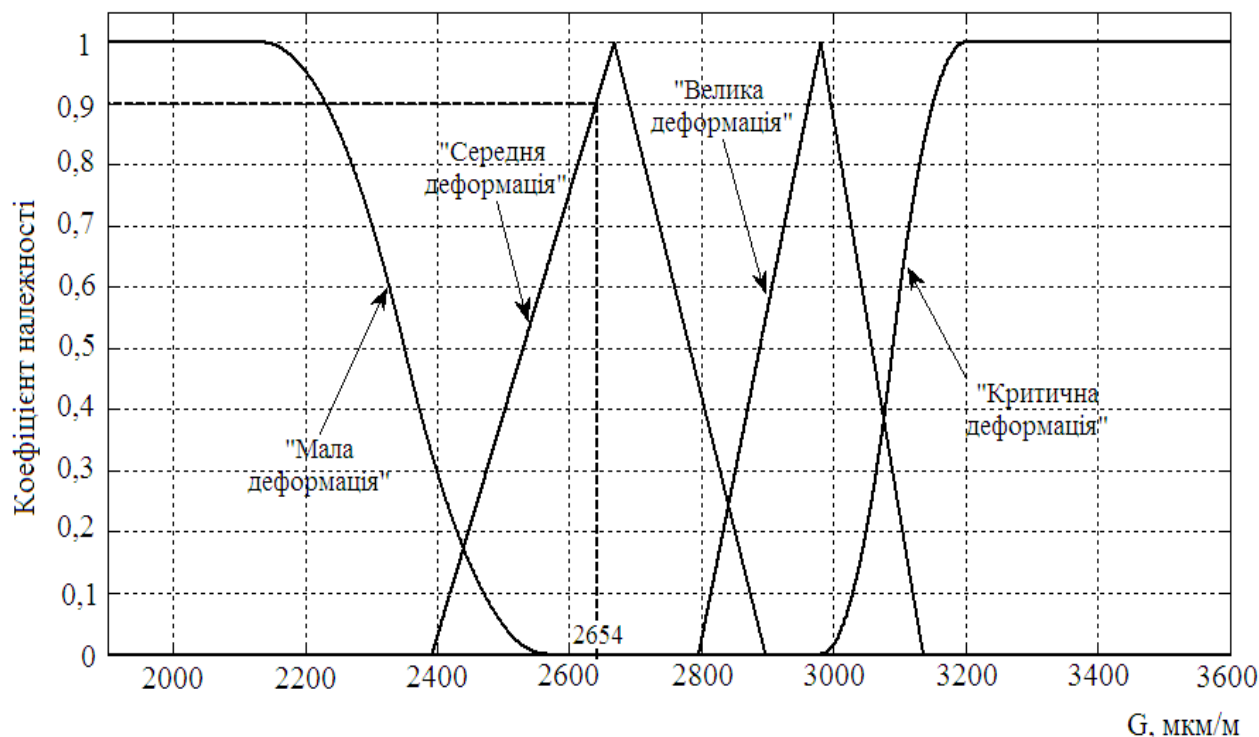


Рис.6. Приклад знаходження коефіцієнта належності лінгвістичної змінної «деформація рами» для чотирьох ФН.

Побідні ФН будуються для кожного діагностичного параметру, що характеризує, як динамічні навантаження, режими роботи так і технічний стан ЗТМ: температури двигуна, тиску у гідроциліндрах, кількості оборотів колінчастого валу, вібрації рами, тощо. Таким чином проводиться багато параметрична класифікація як динамічних навантажень так і режимів роботи окремих агрегатів та модулів ЗТМ. За результатами класифікації, в основі якої лежать нечіткі логічні висновки, в подальшому можна побудувати багаторівневу бортову діагностичну систему ЗТМ.

Висновки. Запропонований підхід до класифікації динамічних навантажень є практично цінним, тому що в масштабі реального часу в робочому процесі ЗТМ можна діагностувати її технічний стан. Ідентифікація динамічних навантажень за допомогою нечіткої логіки є ефективним методом, що враховує невизначеність об'єкту діагностування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пелевін Л. Є. Визначення працездатності робочих органів землерийних машин / Л. Є. Пелевін, М. О. Пристайло // ГБДММ. – 2011. – №77. – С. 96-100.

2. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ–Винница, 1999. – 320 с.

3. Митюшкин Ю. И. Soft-Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокин, А. П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ–Винница, 2002. – 145 с.

4. Яхьяева Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети: учеб. пособие / Г. Э. Яхьяева. – М.: Интернет-Университет Информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 316 с.

5. Вікторова О. В. Методика побудови функцій приналежності інформативних параметрів динамічних режимів роботи дорожньої машини / О. В. Вікторова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. - №5/3(53). – С.11-15.

УДК 621.869.68

В.Н. КРАСНОКУТСКИЙ, канд. тех. наук,

С.Г. КОВАЛЕВСКИЙ, ст. преп., М.М. БЕССОНОВ, студент.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛУПРИЦЕПНОГО СКРЕПЕРА

Цель статьи. Изучение влияния различных факторов на режим нагружения скрепера для разработки путей и средств снижения динамических нагрузок в металлоконструкции скрепера.

Основная часть. Для скрепера является характерным разделением рабочего процесса на два существенно отличающихся этапа – копание и транспортировку. Разгрузку ковша по характеру действующих сил можно отнести к этапу транспортировки. Каждому из этих двух этапов свойственна своя гамма внешних нагрузок и соответствующие деформации конструкции.

Задачи динамики процесса копания грунта скрепером впервые были решены при помощи линейной двухмассной модели (рис. 1), включающей массы тягача, ковша и соединяющее их упругое звено – тяговую раму. Такой подход позволил сравнительно простым путем получить величины нормальных и максимальных динамических нагрузок, действующих на скрепер при копании [1].