

### 3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ



Науковий вісник НЛТУ України  
Scientific Bulletin of UNFU

<http://nv.nltu.edu.ua>

<https://doi.org/10.15421/40280113>

Article received 22.01.2018 р.

Article accepted 28.02.2018 р.

УДК 631.364.7:621.869.4:528.7

ISSN 1994-7836 (print)

ISSN 2519-2477 (online)

@✉ Correspondence author

Ye. Yo. Ripetskyi

erip@i.ua

*Є. Й. Ріпецький, Р. Й. Ріпецький*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна*

#### ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРЕЙФЕРНИХ НАВАНТАЖУВАЧІВ НА ОСНОВІ ГЕОДЕЗИЧНИХ ДАНИХ ВІДЕОВИМІРІВ

Запропоновано методику визначення динамічних показників грейферних навантажувачів на основі геодезичних даних відеовимірів переміщень рами внаслідок деформації пружних опор як у статичному, так і в динамічному режимах. Зв'язок між зусиллями і деформаціями встановлено на основі визначених параметрів жорсткості елементів опор навантажувача – домкратами. Отримано модифікований вираз коефіцієнта динамічності, в якому здійснено заміну величин зовнішніх навантажень на величини переміщень рами під дією цих навантажень. Можливість використання модифікованого коефіцієнта динамічності обґрунтовано на основі аналізу коливних процесів за допомогою запропонованої розрахункової схеми, що знаходиться під дією збурювальної сили. Підтверджено, що перебіг динамічних процесів має коливний характер із власною частотою  $k = 0,75$  Гц і частотою вимушених коливань  $\omega = 0,25$  Гц. За  $\omega < k$  амплітуда коливань стає наближеною до рівня статичного відхилення, стан який може бути відтворений тільки в умовах моделювання. Це означає синхронізацію процесів зміни напружень у несних елементах з реакціями домкратів та переміщенням рами. Методика визначення динамічних характеристик грейферних навантажувачів на основі відеовимірів спрямована на реєстрацію абсолютних переміщень рами, що досягається вимірами їх у нерухомій системі координат методами прикладної геодезії. Геодезичний метод відеовимірів ґрунтується на комп'ютерному обробленні зображення об'єкта спостереження за стандартним відеосигналом. Методика застосовує сучасні відеокамери, які забезпечують частоту зміни кадру у 50 Гц. За один технологічний цикл роботи машини буде записано 500–750 кадрів. Точність виміру оцінюють середньою квадратичною похибкою лінійних вимірів, що не перевищує 1 мм. У наведеній схемі проведення експерименту показано розміщення приладів на машині та поруч. Наведено основні характеристики об'єктива та ПЗЗ-матриці модульної відеокамери. Фіксація переміщень рами навантажувача здійснюється на ПЗЗ-матрицю у піксельній системі координат. Розкрито процедури подальшого опрацювання отриманих зображень для визначення динамічних показників вантажопідійомних машин. Запропонований програмно-апаратний комплекс відеовимірів визначення динамічних показників грейферних навантажувачів ґрунтується на сучасних досягненнях у галузі електроніки та геодезії і комплектується обладнанням, яке випускається промисловістю, що знижує вартість та терміни його впровадження.

**Ключові слова:** грейферний навантажувач; коефіцієнт динамічності; домкрат; відеовиміри; модульна відеокамера; ПЗЗ-матриця; піксельна система координат.

**Вступ.** Грейферні навантажувачі циклічної дії набули широкого застосування у багатьох галузях національного господарства. Універсалізація навантажувачів призвела до обладнання їх змінними робочими органами для різноманітних вантажів. Серед них основним є грейфер для роботи із сипкими матеріалами, а також кігті, вила для зв'язних матеріалів, захват для круглих лісоматеріалів, гак для поштучних вантажів. Робочий орган кріпиться до маніпулятора, завдяки якому й здійснюється перенесення вантажів.

Технологічний цикл роботи таких машини полягає у стаціонарному розміщенні навантажувача з використанням опор, а вантажі переносяться завдяки циклічним рухам ланок маніпулятора. Внаслідок цього у техноло-

гічному циклі роботи грейферних навантажувачів переважають неусталені процеси: частий розгін і гальмування виконавчих ланок маніпулятора, що призводять до виникнення динамічних сил (Volkov & Tenenbaum, 1977).

Отже, на ланки маніпулятора, окрім статичних зусиль, додатково діють й динамічні сили. Досить часто динамічні сили перевищують рівень статичних у кілька разів. Тому розрахунок несних елементів машини на міцність доцільно проводити за реальним навантаженням, яке визначається сумарною дією як статичних сил, так і динамічних. Так, за часом тривалості технологічного циклу 15–20 с на частку динамічних процесів припадає у середньому 10–25 % часу. Однак, короткочасні

#### Інформація про авторів:

**Ріпецький Євгеній Йосипович**, д-р техн. наук, професор кафедри інженерної геодезії. Email: erip@i.ua

**Ріпецький Роман Йосипович**, канд. техн. наук, доцент кафедри вищої математики. Email: gomrip@i.ua

**Цитування за ДСТУ:** Ріпецький Є. Й., Ріпецький Р. Й. Обґрунтування методики визначення динамічних характеристик

грейферних навантажувачів на основі геодезичних даних відеовимірів. Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 1. С. 64–69.

**Citation APA:** Ripetskyi, Ye. Yo., & Ripetskyi, R. Yo. (2018). Verification of the Methodology to Determine Dynamic Indicators of Grab Loaders Based on Geodesic Data of Video Measuring. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(1), 64–69. <https://doi.org/10.15421/40280113>

динамічні навантаження мають визначальне значення і повинні бути враховані для забезпечення міцності несних конструкцій.

Динамічним показником вантажопідйомних машин у розрахунках на міцність є коефіцієнт динамічності, який характеризує відношення повного навантаження до статичного (Tauber, 1991). Для вантажопідйомних машин коефіцієнт динамічності становить 1,5–2,5, що свідчить про перевантаження несних елементів на неусталених режимах роботи. Тому в розрахунках машин на міцність передбачено використання коефіцієнта динамічності.

Динамічні розрахунки здійснюються шляхом введення коефіцієнта динамічності, який показує максимальне перевищення напружень у динамічному режимі до статичного рівня. Розрахунок несних елементів відбувається спочатку за номінальними напруженнями, а потім вводиться поправка з урахуванням коефіцієнта динамічності. Такі розрахунки називають квазідинамічними, бо вони використовують номінальні напруження зі збільшенням їх значення на коефіцієнт динамічності (Volkov & Tenenbaum, 1977).

Вважають, що його значення можна взяти на основі експериментальних даних за рівнем напружень у несних елементах. Недоліком наявних методик досліджень є те, що вони відривають процес поведінки несних систем від рівня навантаженості, оскільки не передбачають спостережень за переміщеннями самих несних елементів. У процесі роботи машини зусилля від різких рухів маніпулятора передаються на раму навантажувача, яка в цей час перебуває на висувних опорних домкратах. Пружні опори деформуються, внаслідок деформації яких рама зазнає як вертикальних, так і горизонтальних переміщень.

З огляду на те, що зміна навантаження має коливний характер (Volkov & Tenenbaum, 1977; Ripetskyi, 2011), то доцільно припустити, що й переміщення рами будуть синхронізовано змінюватися із напруженнями. У такому разі є змога визначити коефіцієнт динамічності не тільки за рівнем напружень, але й за даними переміщень рами, котрі повинні бути виміряні виключно в нерухомій системі координат. Маючи значення статичної та динамічної деформацій опор під час роботи на неусталених режимах, можна оцінити коефіцієнт динамічності за показниками переміщень рами.

Реєстрація таких коливань у нерухомій системі координат можлива за допомогою оптичних геодезичних приладів, технічний рівень і можливості яких нетлінно зростають (Bagan, 2012). Особливі можливості відкриває нова технологія відеовимірів, в якій розв'язана задача реєстрації даних переміщень та їх подальше автоматичне опрацювання з видачею отриманих даних про переміщення в нерухомій системі координат.

**Мета роботи** – обґрунтувати методіку реєстрації статичних, а головне, динамічних процесів вертикальних переміщень рами, з отриманням показників динамічної навантаженості машини з використанням методу геодезичних відеовимірів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Загальноприйнятим методом визначення динамічних показників вантажопідйомних машин є методи тензометрії за рівнем напружень. Превагою методів є можливість реєстрації сигналів швидкоплинних процесів на спеціальні носії від різноманітних давачів, що змонтовані в

різних точках машини. Сучасному методу тензометрії притаманна можливість реєстрації даних безпосередньо на ПК з одночасним їх автоматизованим опрацюванням у спеціальному програмному забезпеченні, що дає змогу відразу переглядати процес на екрані (Rybak et al., 2011).

Водночас методам тензометрії притаманні недоліки. Це необхідність попередньої підготовки машини до експерименту. Вона полягає у розміщенні на конструкціях машини спеціальних тензометричних давачів, підготовці перехідників для підключення до системи гідрравліки тензометричних давачів тиску та ін. Після закінчення експерименту необхідно від'єднати давачі від конструкції, а сама машина потребує надання їй попереднього товарного виду.

У цьому аспекті цікавими є методи прикладної геодезії, які дають змогу здійснювати візуальний контроль за допомогою оптичних геодезичних приладів. Такі методи отримали назву неруйнівного контролю, оскільки відпадає потреба змінювати конструкцію (Bagan, 2012; Burak, 2000). Методи пропонують стежити за переміщенням за спеціальними мітками, що розміщуються зовні на об'єкті спостереження. Характерною особливістю цих методів є використання оптичних геодезичних приладів, наявність оператора, що стежить за об'єктом, та необхідність у подальшому обробленні отриманих даних.

Геодезичні методи виправдали себе у замірах деформацій будівель та інших інженерних споруд. Встановлено, що середня квадратична похибка при цьому становить 0,03–0,05 мм (Deineka, 2006).

Розвиток прикладної геодезії привів до появи автоматизованих процесів оброблення даних. Це дало змогу стежити за інженерними об'єктами в режимі реального часу. Завдяки цьому прикладна геодезія дала змогу моніторити процеси крену висотних споруд, деформацій стінок конструкцій промислових об'єктів та ін. (Bagan, 2012; Burak, 2000; Deineka, 2006).

Водночас зазначимо, що геодезичні методи дають змогу стежити не тільки за осадкою будинків та споруд, але й мають практичне застосування до вантажопідйомних машин, однак тільки у статичних режимах експлуатації (Naugolnikov & Volkov, 2006). Оскільки зміна статичних процесів відбувається повільно, то це давало змогу досліджувати їх традиційними методами.

Динамічні процеси у вантажопідйомних машин характеризуються швидкоплинністю у часі і відбуваються з частотою 0,1–0,5 Гц (Volkov & Tenenbaum, 1977; Tauber, 1991). Вирішувати поставлені задачі традиційним геодезичними методами було неможливо, оскільки це не відповідало вимогам швидкодії та автоматизованому обробленню отриманих даних з видачею результатів у режимі реального часу.

Прикладна геодезія завдяки розвитку приладів розширює сфери своєї діяльності. Появилися нові засоби реєстрації даних за допомогою відеовимірів (Vuiukian, 2013). Геодезичний метод відеовимірів ґрунтується на комп'ютерному обробленні зображення об'єкта спостереження за стандартним відеосигналом. Цей метод дає змогу опрацювати дані зіставних зі швидкістю зйомки. Сучасні камери забезпечують частоту зміни відеокадру у 50 Гц. Точність вимірювання оцінюється середньою квадратичною похибкою лінійних вимірів і не перевищує 1 мм. Наведені параметри за частотою реєстрації

процесів і точності їх вимірів є достатнім для реєстрації динамічних процесів грейферних навантажувачів.

Для вимірювання переміщень рами потрібно розробити методичку геодезичних відеовимірів, яка дасть змогу визначати переміщення в абсолютних координатах, автоматизовано опрацювати дані з їх фіксацією на ПК. За отриманими даними можуть бути розраховані динамічні показники грейферних навантажувачів під час роботи із різними робочими органами. Окрім цього, можлива комплексна діагностика машин шляхом поєднання геодезичних вимірів з методами тензометрії.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Істотна особливість роботи грейферних навантажувачів полягає як у наявності кількох гармонік коливного процесу, так і в характері самих деформацій пружних домкратів навантажувача (Ripetskyi, 2011; Ripetskyi & Ripetskyi, 2015). Як вже було зазначено (рис. 1), маніпулятором 1 здійснюється перенесення вантажу із грейфером 2, одночасно відбуваються й перерозподіл реакцій між правим 3 та лівим 4 домкратами. Рух робочих ланок маніпулятора 1 та розгойдування грейфера 2 виступають збудовальними фактором, який виводить систему з її статичного стану. Наявність пружних елементів в домкратах 3, 4 надає перехідним процесам коливного характеру.

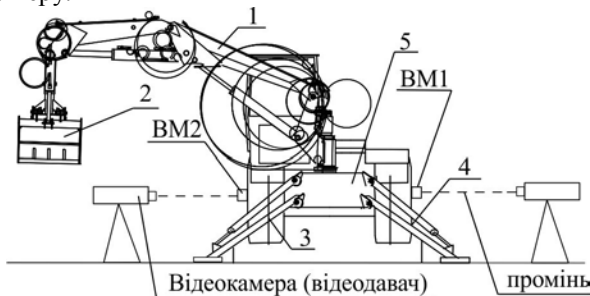


Рис. 1. Розміщення приладів для визначення коефіцієнта динамічності з використанням методу геодезичних відеовимірів

Отже, збудовальна сила навантажує як несні елементи металоконструкції, так і домкрати машини. Насамперед виникає згинальний момент  $M_{32}$ , який зумовлює напруження в металоконструкції несних елементів, у другому – реакції опор  $R$ . Цим самим останній фактор зумовлює деформацію опор, яку можна спостерігати за переміщеннями рами  $Z$  навантажувача.

Сучасні методи розрахунку грейферних навантажувачів визначають коефіцієнт динамічності за рівнем напружень у металоконструкції від згинаючого моменту  $M_{32}$ . Визначати динамічні показники за деформаціями опор та переміщенням рами  $Z$  можливо у тому випадку, якщо дві величини  $M_{32}$  та  $R$  будуть синхронізовані за зміною в динамічному процесі. Це дасть змогу записати модифіковану формулу для визначення коефіцієнта динамічності грейферних навантажувачів у такому вигляді

$$k_d = \frac{M_d}{M_{ст}} = \frac{R_d}{R_{ст}} = \frac{Z_d}{Z_{ст}} \quad (1)$$

Отже, у модифікованій формулі (1) для визначення коефіцієнта динамічності здійснено перехід від внутрішніх силових факторів згинальних моментів  $M_d$  і  $M_{ст}$  до вертикальних переміщень рами  $Z_d$  і  $Z_{ст}$  відповідно у динамічному та статичному режими.

Наявність коливних процесів у грейферному навантажувачі не заперечує застосування формули (1) для визначення коефіцієнта динамічності. Обґрунтування

такої можливості можна здійснити розглянувши коливні процеси грейферного навантажувача за допомогою розрахункової схеми (рис. 2).

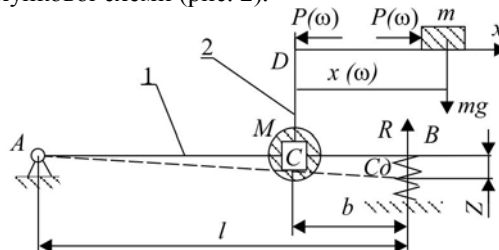


Рис. 2. Розрахункова схема коливних процесів грейферного навантажувача

Рама навантажувача 1 опирається з одного боку на шарнірну опору  $A$ , а з другого – на пружні домкрати  $B$  із жорсткістю  $c_0$ . На відстані  $b$  від опори  $B$  в точці  $C$  розміщена колона маніпулятора  $CD$ . У цю точку приведена маса навантажувача  $M$ . Маніпулятор навантажувача подано у вигляді жорсткої конструкції 2 зі зосередженою масою робочого органу  $m$ . Імітація зміни положення робочого органу у просторі задається відносною координатою  $x$  під дією збудовальної сили  $P$  з частотою  $\omega$ . Сила  $P$  створюється гідроциліндром, тому стосовно до системи є внутрішньою і замикається на механізмі приводу маніпулятора.

Перехідні процеси відбуваються так. Під дією збудовальної сили  $P$  робочий орган масою  $m$  змінює своє положення  $x$ , що спричиняє зміщення центру мас системи. Це створює додатковий згинальний момент  $M_{32} = mg \cdot x$ , який навантажує елемент  $AB$  металоконструкції рами. Одночасно динамічне навантаження передається домкрату, що зумовлює відповідну зміну реакції опори  $R$ . Отже, розрахункова схема ілюструє коливний процес системи із власною частотою  $k$  під дією збудовальної сили з частотою  $\omega$ .

Значення частоти збудовальної сили  $\omega$  встановлено методами відеозйомки за переміщенням робочого органу відносно шарніру кріплення до маніпулятора. За кадрами відеозйомки визначено період одного коливання робочого органу, що дало змогу встановити частоту вимушених коливань, яка становила  $\omega = 0,25$  Гц. Частота власних коливань системи становила  $k = 0,75$  Гц.

Отже, для коливної системи за  $\omega < k$  справедливе твердження, що амплітуда коливань наближена до рівня статичного відхилення (Viderman, 1980), стан який може бути відтворений тільки в мовах моделювання. А це означає синхронізацію процесів зміни напружень у металоконструкції із реакціями домкратів. Очевидний зв'язок між реакціями і вертикальними переміщеннями у вигляді  $R = c_0 \cdot Z$  дає змогу стверджувати, що методика визначення динамічних показників грейферних навантажувачів за показником просідання рами  $Z$  здатна надати достовірні дані про динамічні характеристики навантажувача.

Внаслідок того, що домкрати навантажувача 3 та 4 (див. рис. 1) деформуються неоднаково, а з різним ступенем, то це призводить до того, що рама 5 на пружних опорах, окрім вертикальних та горизонтальних переміщень від нерівномірності деформацій домкратів, зазнає ще й нахил (крен). Тому методика повинна бути узгоджена зі ступенем вільності рами, що може бути досягнуто за умови одночасного виміру переміщень у двох її точках – правою  $Z_n$  та лівою  $Z_l$ , опорами.



Переміщення осі рами та її крен можна визначати за формулами:

$$\Delta Z = \frac{Z_l + Z_n}{2}, \quad \Delta \alpha = \frac{Z_l - Z_n}{l} \quad (2)$$

Методика відеовимірів переміщень рами навантажувача на основі відеовимірної системи виглядатиме так. Основним пристроєм методики відеовиміру є модульна відеокамера з координатно-чутливим матричним фотоприймачем на основі ПЗЗ-матриці (Neumeikin & Diachenko, 2010). Цей модуль виконує функції відеодавача  $ВД$ , характеризується незначними габаритами і масою, живленням від джерела струму (12В). Інформація по каналах зв'язку передається для опрацювання на комп'ютер  $ПК$ . За один технологічний цикл роботи машини буде записано 500–750 кадрів.

Дві візирні мітки  $ВМ_1$  та  $ВМ_2$  закріплюються на рамі навантажувача в районі кріплення домкратів з правого та лівого боків машини на відстані  $l_{\text{ноп}}$ . Для фіксації кожної мітки  $ВМ_1$  та  $ВМ_2$  у кадрі передбачено два відеодавачі  $ВД_1$  та  $ВД_2$ , що встановлюються поруч навантажувача так, щоб кожна візирна мітка перебувала у полі зору свого відеодавача (рис. 3).

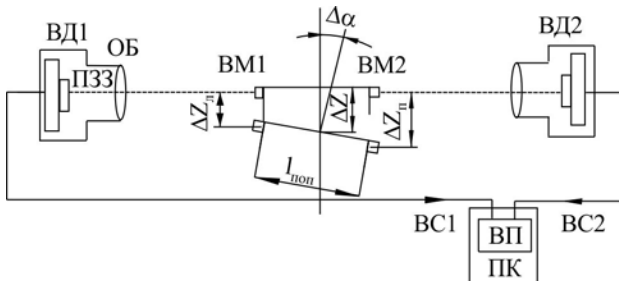


Рис. 3. Схема геодезичних відеовимірів для визначення коефіцієнта динамічності за переміщеннями рами

На виході з відеодавачів ( $ВД_1$ ,  $ВД_2$ ), кожен з яких складається із об'єктива  $ОБ$  та модуля відеокамери з ПЗЗ-матрицею, формуються відеосигнали  $ВС_1$  та  $ВС_2$ , які по своїх каналах зв'язку передаються через відеопроцесор  $ВП$ . Відеопроцесор перетворює відеосигнали з аналогової форми у цифрову та передає отриманий масив цифрових даних на  $ПК$ , де опрацьовується прикладною програмою (Giergie & Kohut, 2011).

Під час виконання відеовимірів обчислюються координати центру візирної мітки в координатній системі відеокадру, що надається в умовних дискретних одиницях – пікселях. Після чого, з урахуванням масштабних коефіцієнтів за напрямками осей координат, отримуємо істинні координати візирної мітки.

У результаті координатна система із площини об'єкта спостереження оптичним шляхом переводиться в координатну систему відеодавача  $ВД$  (ПЗЗ-матриці) і електричним шляхом – у координатну систему відеокадра. При цьому кожній точці у координатній системі відеокадра відповідає точка з абсолютними координатами у плоскій системі об'єкта спостереження, що є основою відеовимірів.

Запропонована відеовимірвальна система комплектується типовими вузлами: візирні мітки, об'єктив, модуль відеокамери з координатно-чутливим матричним фотоприймачем (ПЗЗ-матрицею), блок живлення, комп'ютер. У функції візирної мітки використовуються напівпровідниковий світлодіод, живлення якого здійснюється від постійного струму.

Для відеодавача перевагу варто надати об'єктивам типів LM3NC1M з фокусною відстанню  $f = 3,5$  мм. Такий об'єктив забезпечує роздільну здатність в центрі 120 ліній/мм. Як фотоприймач задіяно модуль відеокамери, з ПЗЗ-матрицею 1/3–1/2 дюйма. Такі ПЗЗ-матриці використовують у модульних відеокамерах LMB-210NB та WAT-902NB2/25 (Buiukian, 2013; Neumeikin & Diachenko, 2010).

Опрацювання даних передбачено здійснювати у спеціальній програмі (Giergie & Kohut, 2011). Під час перетворення сигналу програма дає змогу виділити місце розміщення візирної мітки у кадрі та розмістити її у піксельній системі координат. Її розміщення визначається за точкою центру світлового пучка автоматизованими методами. Для отримання абсолютних координат необхідно виконати перерахунки з використанням перехідних коефіцієнтів. Останні можуть бути визначені під час тарування відеодавача.

Отримані в такий спосіб переміщення рами як у статичному, так і в динамічному режимах з урахуванням (1) і (2) дають змогу оцінити динамічні показники рейферного навантажувача під час роботи з різними робочими органами, а також визначити дію з боку маніпулятора на раму навантажувача, на основі переміщення його осі.

Отже, запропонований програмно-апаратний комплекс відеовимірів ґрунтується на сучасних досягненнях у галузі електроніки та геодезії і комплектується обладнанням, яке випускається промисловістю, що знижує вартість його впровадження.

**Висновки.** Запропоновано методику визначення динамічних показників рейферних навантажувачів на основі геодезичних даних відеовимірів переміщень рами внаслідок деформації пружних опор як у статичному, так і в динамічному режимах. У модифікованому виразі коефіцієнта динамічності здійснено перехід від величин зовнішніх навантажень до величин переміщень рами під дією цих навантажень. Можливість використання модифікованого коефіцієнта динамічності підтверджено аналізом коливних процесів за допомогою запропонованої розрахункової схеми, що перебуває під дією збурювальної сили. Перебіг динамічних процесів має коливний характер із власною частотою  $k = 0,75$  Гц і частотою вимушених коливань  $\omega = 0,25$  Гц. За  $\omega < k$  відбувається синхронізація процесів зміни напружень у несних елементах з реакціями домкратів та переміщеннями рами.

Використання системи відеовимірів переміщень рами навантажувача ґрунтуються на реєстрації аналогового сигналу візирної мітки. Процедури опрацювання даних полягають у виділенні об'єкта спостереження у процесі переходу до цифрової форми зображення, розміщення його у піксельній системі координат та в автоматичному опрацюванні складних динамічних процесів переміщень рами, які характерні для рейферних навантажувачів, із визначенням показників їх динамічності.

Запропонований програмно-апаратний комплекс відеовимірів визначення динамічних показників рейферних навантажувачів ґрунтується на сучасних досягненнях у галузі електроніки та геодезії і комплектується обладнанням, яке випускається промисловістю, що знижує вартість та терміни його впровадження.

## Перелік використаних джерел

- Baran, P. I. (2012). *Inzhenerna heodeziia: monohrafiia*. Kyiv: Vyd-vo PAT "VIPOL". 618 p. [In Ukrainian].
- Biderman, V. L. (1980). *Teoriia mekhanicheskikh kolebanii. Ucheb-nik dlia vuzov*. Moscow: Vysshiaia shkola. 408 p. [In Russian].
- Buiukian, S. P. (2013). Videokontrolnoe ustroistvo. *Izv. vuzov. Geodeziia i aerofotosemka*, 3, 13–16. Moscow. [In Russian].
- Burak, K. O. (2000). Z dosvidu heodezychnoho monitorynhu eksploatatsiinoi nadiinosti tekhnolohichnoho obladnannia AES. *Rozrobka i rozvidka naftovykh i hazovykh rodovyshch. Seriya: Tekhnohenna bezpeka*, 37, 107–109. [In Ukrainian].
- Deineka, Yu. (2006). Vyznachennia krenu dymaria v promyslovykh umovakh. Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. *Zbirnyk naukovykh prats Zakhidnoho heodezychnoho tovarystva UTHK, I(II)*, 74–80. Lviv: Vyd-vo NU "Lvivska politekhnika". [In Ukrainian].
- Giergie, M., & Kohut, P. (2011). Analysis of Dynamics of Vibratory Machines Applying Vision Based Measurements. *Mechanics and Mechanical Engineering Technical University of Lodz*, 15(4), 43–51. Lodz. [In Poland].
- Naugolnikov, V. A., & Volkov, A. V. (2006). Issledovanie sistemy "kran-podkranovoe sooruzhenie". *Mashinostroenie i tekhnosfera XX veka. Sbornik trudov XIII mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*, 3, 98–102. Donetsk. [In Ukrainian].
- Neumeikin, O. S., & Diachenko, S. M. (2010). PZZ-matrysi. *Visnyk KPI. Seriia radiotekhnika. Radioaparaturobuduvannia*, 41, 182–190. Kyiv. [In Ukrainian].
- Ripetskyi, Ye. Y. (2011). Zastosuvannia heodezychnykh vymiriv v eksperymentalnykh doslidzhenniakh peremishchen ramy navantazhuvacha. *Scientific Bulletin of UNFU: collection of scientific and technical labours*, 21(17), 128–132. [In Ukrainian].
- Ripetskyi, Ye. Y., & Ripetskyi, R. Y. (2015). Metody opratsiuvannia eksperymentalnykh danykh eksploatatsiinoho navantazhennia chasotnoi struktury pry otsyntsi dovhovichnosti. *Visnyk KhNTUSH "Tekhnichniy servis mashyn dlia roslinnytstva"*, 159, 12–18. Khar-kiv. [In Ukrainian].
- Rybak, T. I., Pidhurskyi, M. I., Ripetskyi, Ye. Y., Stashkiv, M. Ia., & Palamarchuk, P. V. (2011). Metrolohichne zabezpechennia eksperymentalnykh doslidzen dynamiky hreifernykh navantazhuvachiv. *Visnyk LNAU. Inzhenerni doslidzhennia*, 15, 151–158. Lviv: AGRO. [In Ukrainian].
- Tauber, B. A. (1991). *Podemno-transportnye mashyny: uchebnyk dlia vuzov*. Moscow: Ekologiya. 528 p. [In Russian].
- Volkov, P. M., & Tenenbaum, M. M. (1977). *Osnovy teorii i rascheta selskokhoziaistvennykh mashin na prochnost i nadezhnost*. Moscow: Mashinostroenie. 310 p. [In Russian].

**Е. Й. Рипецкий, Р. Й. Рипецкий**

*Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, Украина*

## ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГРЕЙФЕРНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ НА ОСНОВЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ВИДЕОИЗМЕРЕНИЙ

Представлена методика определения динамических показателей грейферных погрузчиков на основе данных геодезических видеоизмерений о перемещениях рамы вследствие деформации упругих опор, как в статическом, так и в динамическом режимах. Установлена зависимость между внешними нагрузками и деформациями на основании параметров жёсткости элементов опор погрузчика – домкратов. Получено модифицированное выражение коэффициента динамичности, в котором осуществлена замена величин внешних нагрузок на величины перемещения рамы под воздействием этих нагрузок. Возможность использовать модифицированного коэффициента динамичности подтверждена анализом колебательных процессов с помощью расчетной схемы, которая находится под воздействием возмущающей силы. Подтверждено, что колебание динамических процессов носит колебательный характер с собственной частотой  $k = 0,75$  Гц и частотой вынужденных колебаний  $\omega = 0,25$  Гц. При  $\omega < k$  амплитуда колебаний становится близкой к уровню статического отклонения, состояние которого может быть воспроизведено только в условиях моделирования. Это означает синхронизацию процессов изменения напряжений в несущих элементах с реакциями домкратов и перемещениями рамы. Методика определения динамических показателей грейферных погрузчиков на основе видеоизмерений направлена на регистрацию абсолютных перемещений рамы, что осуществляется их измерениями в неподвижной системе координат методами прикладной геодезии. Геодезический метод видеоизмерений основан на компьютерной обработке перемещений изображение объекта на стандартным видеосигналам. Методика использует современные видеокамеры, которые обеспечивают частоту изменения кадра до 50 Гц. За один технологический цикл работы погрузчика будет записано 500–750 кадров. Точность измерения оценивается средней квадратичной ошибкой линейных измерений и не превышает 1 мм. В предлагаемой схеме проведения эксперимента показано размещение приборов на машине и возле нее. Указаны основные параметры объектива и ПЗС-матрицы модульной видеокамеры. Фиксация перемещения рамы машины в кадре осуществляется на ПЗС-матрицу в пиксельной системе координат. Раскрыты процедуры последующей обработки полученных изображений для определения динамических показателей грейферных погрузчиков. Предложенный программно-аппаратный комплекс видеоизмерений для определения динамических показателей грейферных погрузчиков основан на современных достижениях в отраслях электроники и геодезии и комплектуется оборудованием, выпускаемым промышленностью, что снижает стоимость и сроки его внедрения.

**Ключевые слова:** грейферный погрузчик; коэффициент динамичности; домкрат; видеоизмерения; модульная видеокамера; ПЗС-матрица; пиксельная система координат.

**Ye. Yo. Ripetskyi, R. Yo. Ripetskyi**

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine*

## VERIFICATION OF THE METHODOLOGY TO DETERMINE DYNAMIC INDICATORS OF GRAB LOADERS BASED ON GEODESIC DATA OF VIDEO MEASURING

The paper provides the methodology to determine dynamic indicators of grab loaders based on data collected from geodesic video measuring of frame movement both in static and dynamic modes. The relation between load and deformations has been identified based on determined stiffness parameters of loader bearing parts – jacks. The modified expression for dynamic coefficient with substitution of external load values for values of frame movement under these loads has been received. The possibility to use modified dynamic coefficient has been proved by analysis of oscillatory processes with the use of introduced calculation scheme, which is influenced by the disturbing force. It is proved that dynamic processes resemble oscillation with its the frequencies of eigen oscillations  $k = 0.75$  Hz and frequency of forced oscillation  $\omega = 0.25$  Hz. When  $\omega < k$ , oscillatory amplitude approaches static deflection which state can be reproduced only in modelling circumstances. It means synchronizing of stress excursion processes in carrying systems with jack action and frame movement. Methodology to determine dynamic features of grab loaders based on video measure-

ments is aimed to register absolute frame movement, which is reached by its measurement in a static coordinate system with the use of applied geodesy methods. Geodesic method of video measurement is based on digital processing of image of the object by standard video signal. The method uses modern video cameras, which ensure frequency of frame change 50 Hz. Around 500–700 frames will be recorded during one operation cycle of the machine. Precision of measurement is evaluated by quadratic mean error of lineal measurements and doesn't exceed 1mm. The provided scheme of conducted experiment has shown placement of the equipment on the machine and near it. The paper indicates main features of lens cap and CCD sensors of modular cameras. The CCD sensors capture the movement of the machine frame in the pixel coordinate system. The paper shows the procedures of the follow-up processing of the obtained images to determine dynamic indicators of loading machines. The suggested complex of hardware and software for video measurements to determine dynamic features of grab loaders is based on modern achievements in the field of electronics and geodesy and is assembled by the equipment produced by the industry, which decreases cost and terms of its implementation.

**Keywords:** grab loader; dynamic coefficient; jack; video measuring; modular camera; CCD sensors; pixel coordinate system.