

## MODELING OF WAVELET ANALYSIS OF VIBRATION SIGNALS OF DIESEL ENGINE TO DETECT EFFECTIVENESS

*L. L. Titova, O. V. Nadtochiy*

**Abstract.** *Considered the use of wavelet analysis of vibro-acoustic signal for diesel engine SMD-31A, as an element of the adaptive processing model of the vibration signal for the purpose of setting an accurate and definitive diagnosis. The cleaning of vibro-acoustic signal from the noise using wavelet transform the Daubechies wavelet db4 and proven effectiveness of this algorithm for the development of a program complex vibro-acoustic diagnostics of internal combustion engines. For modelling we used the mathematical package Mathcad 15.*

*The analysis of approaches to vibroacoustic diagnostics of internal combustion engines has shown the prospects of using windowed Fourier transform and wavelet transform. The use of wavelet transform for the analysis of vibro-acoustic signal of the internal combustion engine, this "microscope" for signals enables to identify more precisely not only to changes in the condition of internal combustion engine mechanisms related to wear and tear, and also the localization of the source of the change. This mechanism of processing of vibration signals should be based on a rose robco automated system diagnostics, which are already underway in our Department NULES of Ukraine.*

**Keywords:** *vibration spectrum, spectral analysis, Fourier transformation, wavelet, decomposition*

УДК 621.9.048.7:621.373.826:631.31

## ЛАЗЕРНЕ ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ ЗІ СТАЛІ 65Г

**Ю. О. Ковальчук, кандидат технічних наук**  
**Уманський національний університет садівництва**  
**e-mail: temp1405@mail.ru**

**Анотація.** *Встановлено залежність впливу різних режимів лазерної обробки на мікротвердість сталі 65Г. Показано розподіл мікротвердості по глибині ґартування зразків із даної сталі при обробці лазером безперервної дії. Визначено швидкість переміщення лазерного променя по поверхні зразка, при якій з'являється зона плавлення. Встановлено вплив режимів лазерної обробки на глибину ґартування зразків сталі 65Г. Виявлено значне підвищення якості зміцнених лазером шарів даної сталі шляхом використання високочастотного сканування лазерного променя.*

© Ю. О. Ковальчук, 2016

*Отже, значне підвищення міцності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин зі сталі 65Г може бути досягнуте завдяки використанню метода поверхневого лазерного зміцнення. Встановлено залежність глибини зони зміцнення та мікротвердості даної сталі від швидкості лазерної обробки.*

*Також якість зміцнених лазером шарів сталі можна підвищити шляхом використання височастотного сканування лазерного променя. Підтримка даних досліджень з боку держави дозволить забезпечити розробку та широке впровадження у виробництво технологій лазерного зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин.*

**Ключові слова:** *метод поверхневої лазерної обробки, лазерне випромінювання, зона лазерного впливу, зміцнення, гартування, сталь 65Г, зносостійкість, робочі органи ґрунтообробних знарядь*

**Постановка проблеми.** Перед виробниками ґрунтообробних машин однією із першочергових задач стоїть забезпечення підвищення зносостійкості їх робочих органів.

На даний момент метод поверхневої лазерної обробки ще не знайшов свого застосування в нашій країні, хоча він може успішно застосовуватися для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин. Для виготовлення даних робочих органів вітчизняні виробники в абсолютній більшості випадків використовують сталь 65Г, що показали проведені опитування.

Лазерне зміцнення сталі забезпечить тим вищу твердість матеріалу, чим більший вміст у сталі вуглецю. Серед сталей 45, Л53 та 65Г найбільшу мікротвердість за глибиною зміцненого шару має сталь 65Г, тому що в ній найбільше міститься вуглецю. Тому застосування лазерної поверхневої обробки сталі 65Г порівняно з іншими сталями є більш ефективним, а дослідження параметрів лазерного зміцнення даної сталі є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень.** Вплив методу поверхневої лазерної обробки на властивості матеріалів за останні роки досліджували в своїх працях такі науковці та вчені, як О. Г. Григор'янц, В. П. Вейко, В. С. Черненко, І. М. Шиганов, М. В. Кіндрачук, О. І. Дудка, В. С. Коваленко та інші, які детально займалися питаннями впливу лазерного випромінювання на поверхню сталевих зразків у різних випадках та для різних матеріалів [1–4].

Дослідження щодо зміцнення різних деталей сільськогосподарської техніки за допомогою лазерного випромінювання наводились в наукових працях В. М. Бобрицького, І. Ф. Буханової, Т. С. Скобло, О. Й. Мажейка та інших [5–10]. Останні дослідження

щодо впливу лазерного випромінювання на сталь 65Г здійснювали науковці В. П. Бірюков та В. Ю. Наскевич [11, 12].

**Мета** – дослідження залежності глибини та мікротвердості зміцненого шару сталі 65Г від швидкості лазерної обробки та впливу скануючого лазерного променя на властивості сталі для забезпечення підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних знарядь.

**Результати досліджень.** Для підвищення міцності та зносостійкості конструкційних сталей можна використовувати лазерну обробку. Її перевагами є висока швидкість та якість обробки. Високі швидкості нагрівання й охолодження при лазерній обробці призводять до створення структур з високою мікротвердістю.

При зміцненні сталі 65Г твердість її поверхневих шарів може приймати значення більші 60 HRC.

При лазерній обробці з оплавленням зразків із даної сталі відбувається формування верхньої зони оплавлення, в якій основною структурою є мартенсит. Далі у приповерхневому шарі формується зона твердої фази з мартенситу і залишкового аустеніту, а у глибині шару присутні елементи вихідної структури, ферит і цементит. Наступною формується перехідна зона, або зона відпуску, що характеризується невисокою мікротвердістю.

На рис. 1 зображено зміну мікроструктури сталі 65Г при обробці лазером безперервної дії. Якщо в зоні без термообробки переважають елементи вихідної мікроструктури ферит і перліт, то в перехідній зоні – ферит і цементит, а в зоні гартування – мартенсит і залишковий аустеніт. Слід зазначити наявність зони плавлення з переважаючим мартенситом [12].

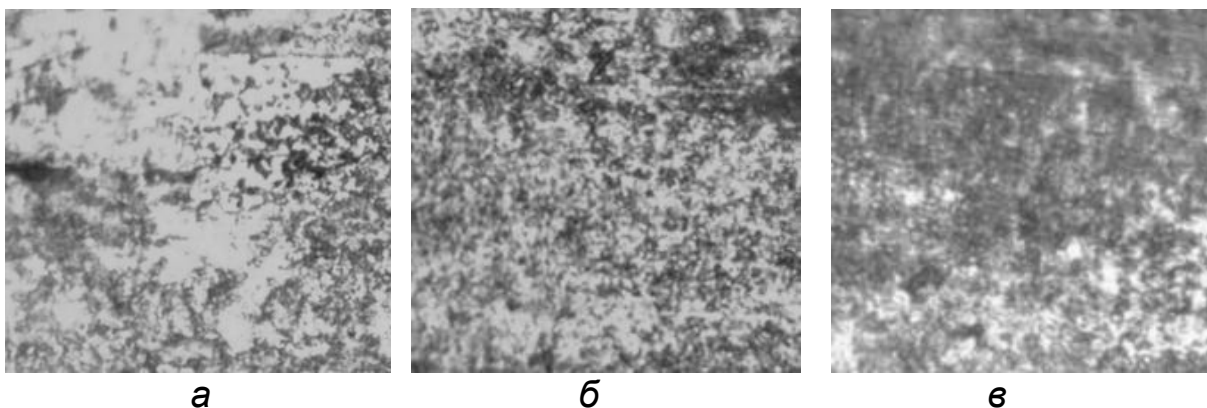


Рис. 1. Вплив лазерного випромінювання на мікроструктуру зразків сталі 65Г ( $\times 100$ ): а – зона без термообробки; б – перехідна зона; в – термооброблена лазером зона.

Мікротвердість зразків зі сталі 65Г зростає зі збільшенням швидкості переміщення лазерного променя в деякому інтервалі

невеликих швидкостей, але глибина загартованого шару знижується. Лазерне нагрівання поверхні зразків вище температури аустенітного перетворення забезпечує після зсуву променя високу швидкість охолодження й утворення в шарі мартенситної структури високої мікротвердості. Максимальна мікротвердість сталі 65Г після лазерної обробки досягає значень 55...65 HRC при глибині гартування до 1150 мкм.

Залежність глибини гартування сталі 65Г від швидкості переміщення лазерного променя при обробці зразка лазером безперервної дії показана на рис. 2 [12].

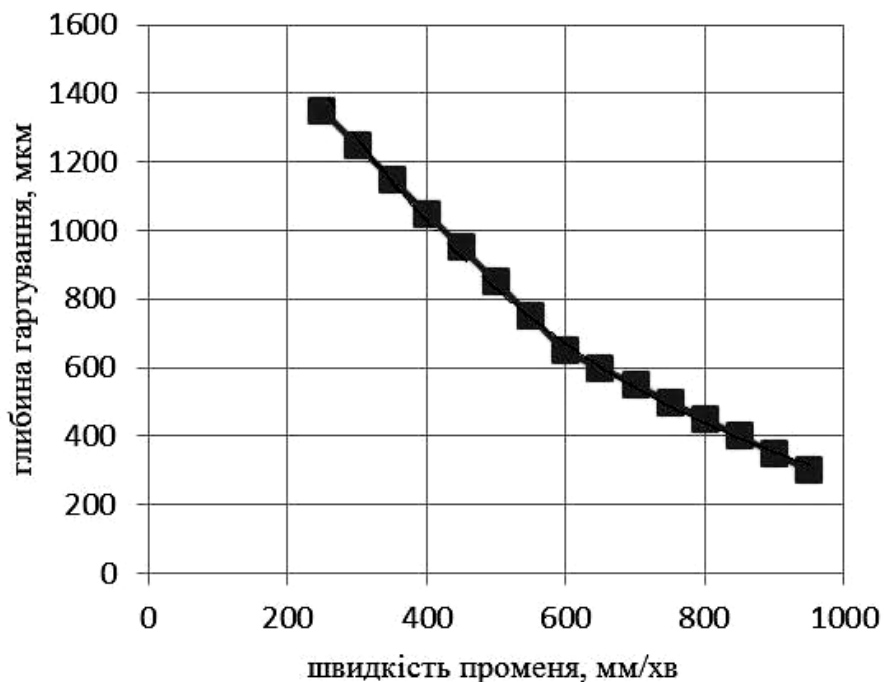


Рис. 2. Залежність глибини гартування від швидкості переміщення лазерного променя.

Глибина загартованого шару зменшується зі збільшенням швидкості переміщення лазерного променя по поверхні зразків зі сталі 65Г, що обумовлено скороченням часу впливу лазерного променя на поверхню обробки та, як наслідок, менш сильним термічним впливом на поверхню. При використанні CO<sub>2</sub>-лазера безперервного випромінювання потужністю 1,2 кВт для сталі 65Г зона плавлення з'являється при зменшенні швидкості переміщення лазерного променя нижче 550...490 мм/хв.

Залежність мікротвердості поверхні сталі 65Г від швидкості переміщення променя при обробці лазером безперервної дії показана на рис. 3 [12].

Мікротвердість оброблених лазерним випромінюванням зразків зі сталі 65Г збільшується зі збільшенням швидкості переміщення

лазерного променя в даному діапазоні невеликих швидкостей, що обумовлено зменшенням часу впливу лазерного променя на оброблювану поверхню, а отже більш високою швидкістю охолодження, у результаті чого утворюється мартенсит. Зміцнення сталі 65Г забезпечує загартування структури, що складається з мартенситу, карбідів і невеликої кількості залишкового аустеніту. Структура дрібнозернистого мартенситу забезпечується високою швидкістю охолодження, що значно перевищує критичну.

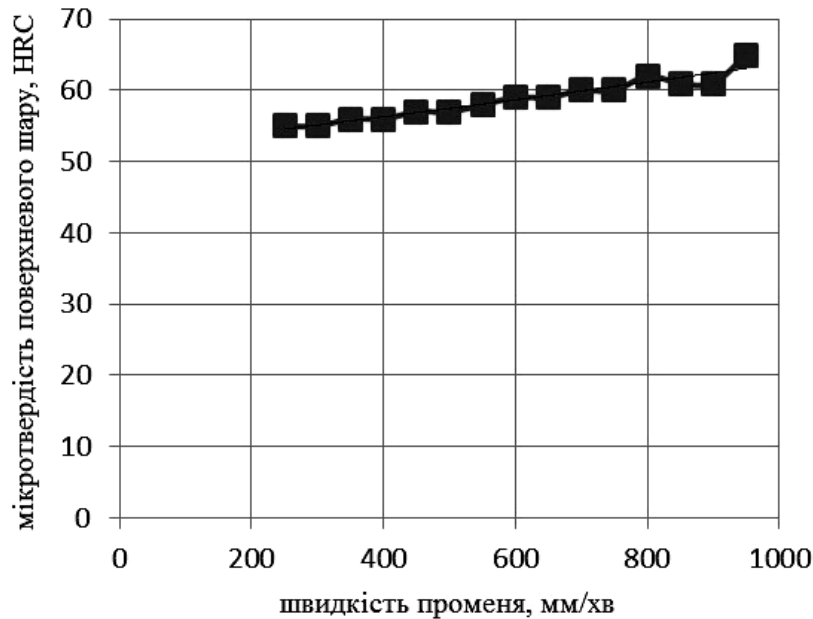


Рис. 3. Залежність мікротвердості поверхні від швидкості переміщення лазерного променя.

Поверхневий шар в основному складається з мартенситу. Характерна риса мартенситу – висока твердість, міцність і низька пластичність. Залишковий аустеніт вносить елементи пластичності.

Дані явища показують істотний вплив хімічного складу сталі на мікротвердість і глибину зміцнення. Шляхом металографічного дослідження встановлено, що лазерне гартування сталі 65Г забезпечує дрібнозернисту мартенситну структуру із глибиною загартованого шару до 1,35 мм і твердістю поверхні до значень 55..65 HRC.

Застосування високочастотного сканування лазерного променя по нормалі до траєкторії руху відповідної деталі значно підвищує якість зміцнених шарів в порівнянні з обробкою нерухомим розфокусованим променем. У разі скануючого променя відбуваються більш істотні структурні зміни в поверхневих шарах сталі, з'являються фрагменти з більш значним подрібненням елементів структури. В результаті гартування лазерним променем

культиваторних лап їх зносостійкість підвищилася в 4-5 разів, що підтвердили відповідні польові випробування [11].

### Висновки

1. Отже, значне підвищення міцності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин зі сталі 65Г може бути досягнуте завдяки використанню метода поверхневого лазерного зміцнення. Встановлено залежність глибини зони зміцнення та мікротвердості даної сталі від швидкості лазерної обробки.

2. Також якість зміцнених лазером шарів сталі можна підвищити шляхом використання високочастотного сканування лазерного променя. Підтримка даних досліджень з боку держави дозволить забезпечити розробку та широке впровадження у виробництво технологій лазерного зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин.

### Список літератури

1. Григорьянц А. Г. Технологические процессы лазерной обработки : учеб. пособие для вузов / Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. ; под ред. А. Г. Григорьянца. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 664 с.
2. Черненко В. С. Променеві методи обробки : Навч. посібник / В. С. Черненко, М. В. Кіндрачук, О. І. Дудка. – К.: Кондор, 2008. – 166 с.
3. Вейко В. П. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии». Введение в лазерные технологии / В. П. Вейко, А. А. Петров. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 143 с.
4. Упрочнение деталей лучом лазера / В. С. Коваленко, Л. Ф. Головкин, Г. В. Меркулов, А. И. Стрижак ; ред. В. С. Коваленко. – К.: Техника, 1981. – 131 с.
5. Бирюков В. П. Повышение износостойкости деталей сельскохозяйственной техники и почвообрабатывающих орудий лазерным упрочнением и наплавкой / В. П. Бирюков // Лазерные технологии в сельском хозяйстве : Тематический сборник. – М.: Техносфера, 2008. – С. 256–264.
6. Буханова И. Ф. Применение лазерного излучения для упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственного машиностроения / И. Ф. Буханова, В. В. Дивинский, В. М. Журавель // Лазерные технологии в сельском хозяйстве : Тематический сборник. – М.: Техносфера, 2008. – С. 264–270.
7. Мажейка О. Й. Модифікування технології лазерної обробки деталей сільськогосподарської техніки / О. Й. Мажейка // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 21. – Кіровоград: КНТУ, 2008. – С. 164–167.
8. Бобрицький В. М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» / В. М. Бобрицький. – К., 2007. – 20 с.
9. Бирюков В. П. Восстановление и упрочнение поверхностей лазерным излучением / В. П. Бирюков // Фотоника. – 2009. – № 3. – С. 14–16.
10. Разработка технологии восстановления с использованием лазерного луча / Т. С. Скобло, А. И. Сидашенко, А. В. Сайчук, В. Л. Манило // Научный вестник Луганского национального аграрного университета. Серия «Технические науки». – 2011. – № 30. – С. 257–265.

11. Бирюков В. П. Изменение структуры и свойств сталей при лазерном упрочнении / В. П. Бирюков // Фотоника. – 2012. – № 3. – С. 22–26.
12. Наскевич В. Ю. Исследование влияния параметров лазерной обработки на поверхностный слой конструкционной стали / В. Ю. Наскевич / Вестник Гродзенского государственного университета имени Янки Купалы. Серия «Техника». – 2013. – № 4. – С. 59–65.

## References

1. Hryhor'yants, A. H., Shyhanov, Y. N., Mysyurov, A. Y. (2008). Tekhnolohycheskye protsessy lazernoy obrabotky. Ucheb. posobye dlya vuzov [Technological processes of laser processing : Textbook. manual for universities]. 2-e yzd., stereotyp, M.: Yzdvo MHTU ym. N. E. Baumana, 664.
2. Chernenko, V. S., Kindrachuk, M. V., Dudka, O. I. (2008). Promenevi metody obrobky [Radiation processing] : Navch. posibnyk. K.: Kondor, 166.
3. Veyko, V. P., Petrov, A. A. (2009). Oporniy konspekt lektsyy po kursu «Lazernie tekhnolohyy». Vvedeniye v lazernie tekhnolohyy [Basic abstract of lectures on "Laser technology". Introduction to laser technology]. SPb: SPbHU YTMO, 143.
4. Kovalenko, V. S., Holovko, L. F., Merkulov, H. V., Stryzhak A. Y. (1981). Uprochneniye detaley luchom lazera [Strengthening of parts by laser beam]. K.: Tekhnyka, 131.
5. Byryukov, V. P. (2008). Povisheniye yznosostoykosti detaley sel'skokhozyaystvennoy tekhniky y pochvoobrabativayushchykh orudy lazernim uprochnenyem y naplavkoy [Strengthening of parts by laser beam]. Laser technology in agriculture : case collection, M.: Tekhnosfera, 256–264.
6. Bukhanova, Y. F., Dyvynskyy, V. V., Zhuravel', V. M. (2008). Prymeneniye lazernoho yzlucheniya dlya uprochneniya y vosstanovleniya detaley sel'skokhozyaystvennoho mashynostroeniya [Application of laser radiation for hardening and restoration of details of agricultural engineering]. Laser technology in agriculture : case collection, M.: Tekhnosfera, 264–270.
7. Mazheyka, O. Y. (2008). Modyfikuvannya tekhnolohiyi lazernoyi obrobky detaley sil's'kohospodars'koyi tekhniky [The modification technology of laser machining agricultural technology]. Collection of scientific works Kirovo-town national technical University. Technology in agricultural production, industry machinery, automation, Vyp. 21, Kirovohrad: KNTU, 164–167.
8. Bobryts'kyy, V. M. (2007). Pidvyshchennya znosostiynosti rizal'nykh elementiv robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn [Improvement of wear resistance of cutting elements of the working bodies of tillage machines] : avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupeniya kand. tekhn. nauk : spets. 05.02.04 «Tertya ta znoshuvannya v mashynakh». K., 20.
9. Byryukov, V. P. (2009). Vosstanovleniye y uprochneniye poverkhnostey lazernim yzluchenyem [Restoration and hardening of surfaces by laser radiation]. Photonics, 3, 14–16.
10. Skoblo, T. S., Sydashenko, A. Y., Saychuk, A. V., Manylo, V. L. (2011). Razrabotka tekhnolohyy vosstanovleniya s yspol'zovanyem lazernoho luchy [Development of recovery technology using a laser beam]. Scientific Bulletin of Lugansk national agrarian University. Series "Technical Sciences", 30, 257–265.
11. Byryukov, V. P. (2012). Yzmeneniye struktury y svoystv staley pry lazernom uprochnenyy [Changes in the structure and properties of steels during laser hardening]. Photonics, 3, 22–26.
12. Naskevych, V. Yu. (2013). Yssledovaniye vliyaniya parametrov lazernoy obrabotky na poverkhnostniy sloy konstruktsyonnoy staly [Study of the influence of parameters of laser treatment on surface layer structural steel]. Bulletin Grodnenskogo state University named after Yanka Kupala. Series "Engineering", 4, 59–65.

## **ЛАЗЕРНОЕ УПРОЧНЕНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ ИЗ СТАЛИ 65Г**

**Ю. О. Ковальчук**

**Аннотация.** Установлено зависимость влияния различных режимов лазерной обработки на микротвердость стали 65Г. Показано распределение микротвердости по глубине закалки образцов из данной стали при обработке лазером непрерывного действия. Определена скорость перемещения лазерного луча по поверхности образца, при которой появляется зона плавления. Установлено влияние режимов лазерной обработки на глубину закалки образцов стали 65Г. Выявлено значительное повышение качества упрочненных лазером слоев данной стали путем использования высокочастотного сканирования лазерного луча.

Следовательно, значительное повышение прочности и износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин из стали 65Г может быть достигнуто благодаря использованию метода поверхностного лазерного упрочнения. Установлена зависимость глубины зоны упрочнения и микротвердости данной стали от скорости лазерной обработки.

Также качество упрочненных лазером слоев стали можно повысить путем использования высокочастотного сканирования лазерного луча. Поддержка данных исследований со стороны государства позволит обеспечить разработку и широкое внедрение в производство технологий лазерного упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин.

**Ключевые слова:** метод поверхностной лазерной обработки, лазерное излучение, зона лазерного воздействия, упрочнение, закалка, сталь 65Г, износостойкость, рабочие органы почвообрабатывающих орудий

## **LASER STRENGTHENING OF WORKINGS ORGANS OF SOIL-CULTIVATING INSTRUMENTS OF STEEL 65G**

**Yu. O. Kovalchuk**

**Abstract.** The dependence of the effect of different laser processing conditions on the microhardness of steel 65G. The distribution of microhardness hardening depth from the steel samples treated at continuous laser. Determined moving speed of the laser beam on the sample surface, at which there is a melting zone. The effect of laser treatment regimes 65G steel samples hardened depth. A significant increase in quality of a laser-hardened steel of this layer revealed through the use of high-frequency scanning of the laser beam.

Consequently, a significant increase in the strength and durability of the working bodies of tillage machines from steel 65G can be achieved through the use of the method of surface laser hardening. The dependence of the depth of the hardening zone and the microhardness of the steel of the speed of laser processing.



*The quality of laser-hardened layers of steel can be increased by using high-frequency scanning of the laser beam. Support for these studies from the state will ensure the development and dissemination of production technology laser hardening of the working bodies of tillage machines.*

**Keywords:** *method of surface laser treatment, laser radiation, zone laser treatment, hardening, tempering, steel 65G, wear, workings organs of soil-cultivating instruments*

УДК 621.7.002

## **МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА НАВАНТАЖЕНЬ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕХАНІЗМІВ ПІДЙОМУ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МАШИН ПУСКУ**

**Ю. В. Човнюк, І. М. Сівак, кандидати технічних наук  
e-mail: sivakim@ukr.net**

**Анотація.** *Запропонована математична модель для аналізу динамічних процесів та навантажень пружних елементів (канатів) механізмів підйому вантажу кранів у режимах їх пуску, яка враховує дискретно-континуальні властивості подібних систем.*

*У процесі моделювання динаміки та навантажень пружних елементів (канатів) механізму підйому вантажопідйомних машин останні зазвичай розглядають як системи із зосередженими параметрами, проте такий підхід не дозволяє правильно оцінити й розрахувати навантаження на пружній елемент (особливо у випадках його значної довжини) та врахувати процеси хвиле утворень, коливань, що виникають у ньому. Тому розрахунки навантажень на пружній елемент вантажопідйомної машини вимагають зміни й суттєвого нормування існуючих підходів (та інженерних методів розрахунку) у оцінці та аналізі явищ, що виникають у канаті, як системі із розподіленими параметрами (особливо у режимах пуску гальмування машини, коли розвиваються значні навантаження на всі її складові).*

*Запропонована адекватна математична модель динамічних процесів та навантажень пружних елементів (канатів) механізмів підйому вантажу кранів у режимах їх пуску.*

*Знайдені точні аналітичні розв'язки вказаної моделі, які правильно відображають її (системи) дискретно-континуальні властивості.*

© Ю. В. Човнюк, І. М. Сівак, 2016