

doi: 10.32620/oikit.2020.88.07

УДК 021.795.039

Є. А. Фролов¹, В. В. Муравльов²

Дослідження впливу нерівномірності цементованого шару на несучу здатність базових та опорно-корпусних деталей універсально-збірних пристосувань

1 Національний університет

«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

2 Полтавська державна аграрна академія

Робота присвячена дослідженню впливу нерівномірності цементованого шару на несучу здатність базових та опорно-корпусних деталей універсально-збірних зварних пристосувань. Це викликано відсутністю даних про контактні деформації, які необхідні для подальшого розрахунку похибок складання внаслідок термічних деформацій. Коливання глибини цементованого шару на одній і тій самій поверхні базової деталі негативно впливає на контактну взаємодію базових поверхонь пристосувань. Особливо гостро постає це питання при розширенні сфери застосування системи переналаджуваного технологічного оснащення багаторазового використання, яке було б економічно ефективним в умовах серійного багатонаменклатурного виробництва зварних конструкцій. Залежність мікротвердості від величини зішліфованого цементуючого шару визначалося експериментальним шляхом на зразках сталі 12 ХНЗА, цементованих на глибину 2,4 мм і загартованих до твердості HRC 60-62. Отримана залежність мікротвердості від товщини зішліфованого шару свідчить про те, що зі збільшенням зішліфованого шару мікротвердість зменшується. Це призводить до зниження критичного навантаження, при якому відбудеться перехід пружних деформацій нерівностей в пластичні. Відношення фактичних площин дотику, на яких відбувається при наближенні пружне деформування мікронерівностей та проникнення більш твердих нерівностей у м'які, буде пропорційно відношенню номінальних площин цементованого та сирого шарів. У результаті оброблення експериментальних даних отримано залежність критичного тиску від товщини цементованого шару, мікронерівності при меншому навантаженні будуть деформуватися, пластично знижуючи при цьому несучу здатність базових поверхонь, що є недопустимим для деталей пристосувань, і впливає на їх термін експлуатації. Таким чином, що нерівномірність по глибині цементуючого шару лицевих поверхонь базових і опорно-корпусних деталей є негативним явищем, що погіршує їх експлуатаційні параметри. Необхідне застосування технологічного процесу, який забезпечує мінімальне короблення деталі при термічній обробці та стабільну глибину цементуючого шару.

Ключові слова: цементований шар, мікротвердість, корпусні деталі, термічна обробка, універсально-збірні пристосування, мікронерівність

Вступ

Сучасне машинобудівне виробництво вийшло на новий складний етап розвитку. В основному це пов'язано з постійно ринковими відносинами. Розроблення та освоєння нових видів продукції, підвищення її якості та конкурентоспроможності стали основними засадами розвитку виробництва. Сьогодні для машинобудівного виробництва пріоритетним напрямком є впровадження нових прогресивних технологій та конструкцій.

Найбільш трудомісткою та важливою складовою технологічних процесів є зварювальне виробництво, де формується їх якість та конкурентна спроможність.

Для виготовлення зварних конструкцій високої якості першочергове значення має вірне складання деталей виробу, що зварюється, тобто їх вірне взаємного розташування та закріплення.

Постійне підвищення вимог до робочих параметрів виробів та їх якості викликає конструктивну зміну форм деталей, розмірів, матеріалу, маси та призводить до зростання обсягів робіт і витрат на технологічну підготовку виробництва.

У зв'язку з цим гостро постає питання розширення сфери застосування системи переналаджуваного технологічного оснащення багаторазового використання, яке було б економічно ефективним в умовах серійного багатомоделного виробництва зварних конструкцій, особливо при дискретно-нестабільних програмах випуску виробів [1 – 3].

Постановка проблеми

Понад 70 % УЗП (універсально-збірних пристосувань) отримують з використанням базових і опорно-корпусних деталей (рис. 1). Це найбільш складні, великогабаритні деталі, які дорого коштують, виготовляють зі сталі 12ХН3А, цементованої та загартованих до твердості HRC 58-62 [4].

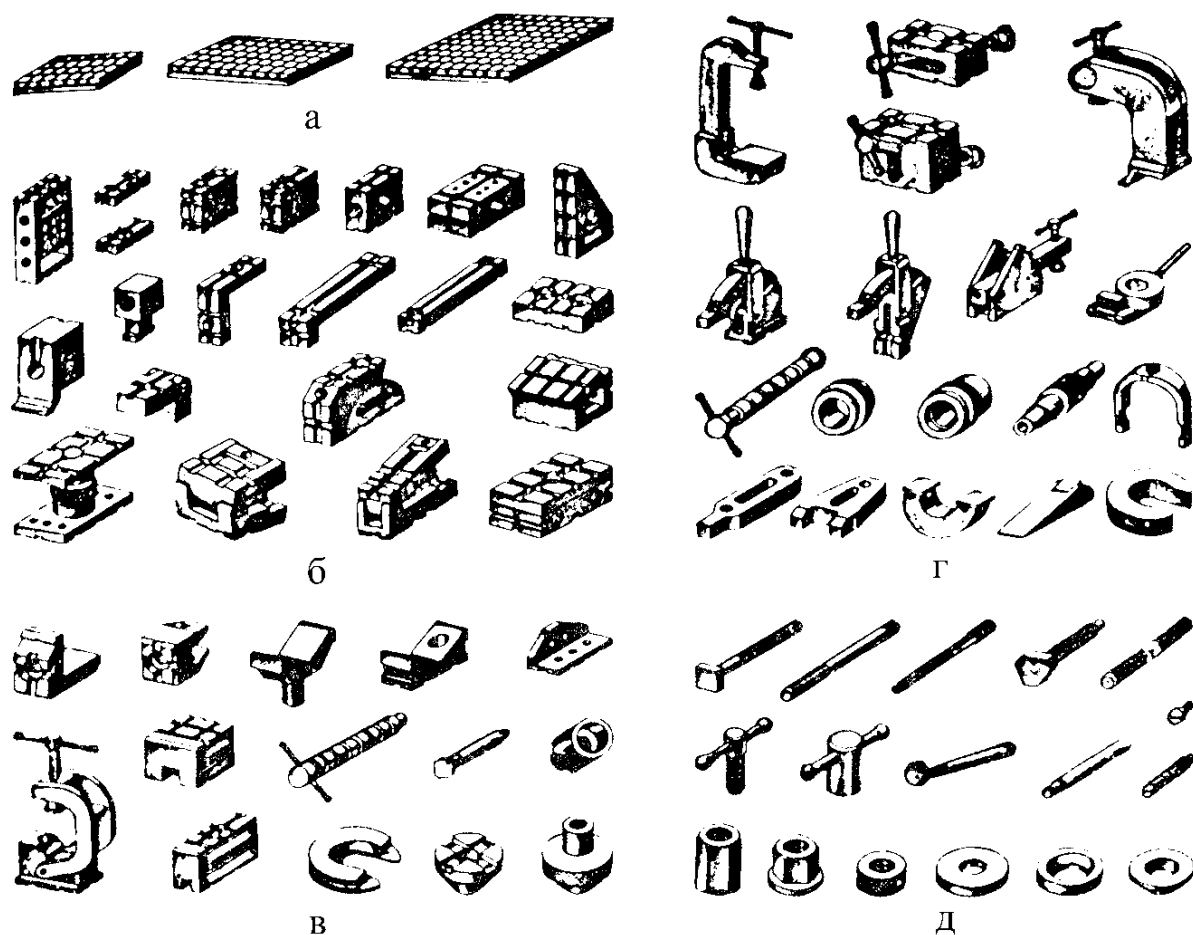


Рис. 1. Основні групи елементів УЗП:
а – базові; б – опорно-корпусні; в – фіксуючі;
г – притискні; д – кріпильні елементи

Вони поєднують всі конструктивно-технологічні особливості системи УЗП і складають значну частину вартості (до 14 %) заводських комплектів оснащення. Розраховані на довготривалу експлуатацію – 10-15 років.

У процесі виготовлення базових деталей неминучі термічні деформації (короблення) і, як наслідок, нерівномірна товщина поверхнево-зміцненого шару (цементзації) після механічної обробки.

Відсутність достовірних даних про контактні деформації, які необхідні для розрахунку похибок точності складання, звужує оперативні можливості використання УЗП.

Метою дослідження є визначення впливу нерівномірності цементуючого шару на несучу здатність базових та опорно-корпусних деталей УЗП.

Основний матеріал

Коливання глибини цементованого шару на одній і тій самій поверхні призводять до анізотропії фізико-механічних властивостей, яка негативно впливає на контактну взаємодію з'єднаних поверхонь УЗП.

Критичне зближення, що відповідає початку пластичних деформацій мікроступів, може бути визначено із залежності [5]

$$y_{кр} = \frac{n_6}{2 \sum K} \left(\pi \cdot n_a \cdot n_b \cdot K_1 \frac{H_{\mu пов}}{H_{\mu исх}} \cdot C \cdot \sigma_T \right)^2, \quad (1)$$

де K_1 – пружна стала тіл, що стискаються;

n_a, n_b, n_6 – коефіцієнти, які залежать від головних кривизн дотичних тіл у місцях контакту та кута між площинами головних кривизн;

C – коефіцієнт стиснення, що враховує умови стискування мікронерівностей;

σ_T – межа текучості матеріалу;

$H_{\mu исх}, H_{\mu пов}$ – мікротвердість поверхневого шару вихідного та зміцненого матеріалу відповідно;

$\sum K$ – сума головних кривизн дотичних верхів мікронерівностей.

Залежність мікротвердості від величини зішліфованого цементованого шару визначали експериментально на зразках сталі 12ХН3А, цементованих на глибину $h = 2,4$ мм і загартованих до твердості HRC 60-62. Після зняття шліфуванням (з шагом варіювання по глибині шару $h = 0,4$ мм) потрібної товщини цементованого шару за технологією, прийнятою при виготовленні базових деталей, проводили заміри мікронерівностей. Результати вимірів відображені на рис. 2.

У результаті оброблення експериментальних даних за методом найменших квадратів було отримано залежність мікротвердості від товщини зішліфованого цементованого шару

$$H_{\mu пов} = 835,2 - 130,7h. \quad (2)$$

З наведеної залежності слідує, що зі збільшенням зішліфованого шару мікротвердість зменшується. Це приведе до зниження критичного навантаження, при якому відбудеться перехід пружних деформацій нерівностей в пластичні.

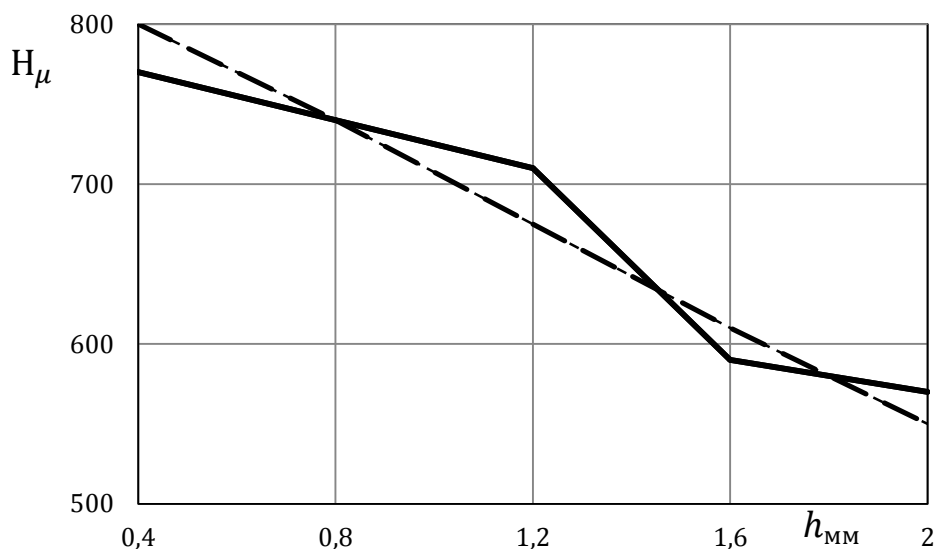


Рис. 2. Зміна мікротвердості за глибиною цементованого шару

На величину критичного зближення також суттєво впливає коефіцієнт C . Значення коефіцієнта C за літературними джерелами змінюється в широких межах [6], тому з метою отримання більш достовірних даних його значення було визначено експериментальним шляхом. У результаті математичної обробки експериментальних даних було отримано залежність критичного тиску від товщини цементованого шару:

$$q = \frac{0,01018 - 0,00309h}{0,00008 - 0,00003h}, \quad (3)$$

де q – критичний тиск, МПа

Коефіцієнт C був визначений із залежності [2], що регламентує появу пластичних деформацій у центрі площадки контакту окремої мікронерівності при навантаженні

$$q = C \cdot \sigma_T, \text{ звідки } C = \frac{q}{\sigma_T}.$$

Після обчислень було отримано при $h = 0$, $C = 2,83$; а при $h = 1$ мм $C = 1,8$. У процесі складання УЗП можлива ймовірність сполучення установочних елементів з однією з ділянок поверхні базової плити:

- 1) цементований шар має рівномірну товщину по всій площі контакту;
- 2) цементований шар повністю відсутній (тобто він був зішліфований внаслідок короблення деталі);
- 3) площадка контакту являє собою перехідну зону (проміжний варіант).

Вплив зміни мікротвердості на зближення на 1-й і 2-й ділянках враховується формулою (1). Більш складним є третій випадок, оскільки при одному і тому ж навантаженні мікровиступи, що знаходяться в контакті і розташовані на ділянках з максимальною мікротвердістю, можуть деформуватися пружно, а на ділянках з меншою мікротвердістю – пластично.

Відношення фактичних площин дотику, на яких відбувається при наближенні пружне деформування мікронерівностей та проникнення більш

твердих нерівностей у м'які, буде пропорційно відношенню номінальних площин цементованого та сирого шару

$$\frac{A_{r_{пл}}}{A_r} = \frac{A_{a_{пл}}}{A_a}, \quad (4)$$

де $A_{r_{пл}}, A_r$ – фактичні площі дотику в зоні контакту площин зі знятим шаром цементациї і таких, що мають цей шар;

$A_{a_{пл}}, A_a$ – номінальні площі контакту поверхонь без цементованого та з цементованим шаром відповідно.

З виразу (4) фактична площа контакту в зоні зі знятим шаром цементациї становить

$$A_{r_{пл}} = \frac{A_r \cdot A_{a_{пл}}}{A_a}. \quad (5)$$

Подібним чином можемо знайти і фактичну площу контакту в перехідній зоні (тобто на межі переходу цементованої поверхні контакту в сиру):

$$A_{r_{пер}} = \frac{A_r \cdot A_{a_{пер}}}{A_a}. \quad (6)$$

Залежності (5) та (6) дозволяють визначати фактичну площу контакту, яка може бути розрахована за відомими формулами Е. В. Рижова або М. Б. Демкіна [6, 7], для кожного з трьох можливих випадків контактної взаємодії встановлювальних і базових елементів. Зі зменшенням товщини цементованого шару мікронерівності при меншому навантаженні будуть деформуватися пластично, внаслідок чого зменшиться несуча здатність поверхонь базових плит.

Експериментальні дослідження двох шорстких хвилястих поверхонь, виготовлених на спеціальному пристрої, продемонстрували, що зменшення товщини цементованого шару в одному із зразків (нижньому, що моделює базову плиту) до повного його видалення на величину зближення впливає незначною мірою. Верхній зразок, який являє собою встановлювальний елемент УЗП – квадратну опору перерізом 60 на 60 мм, мав у зоні контакту постійний за глибиною цементований шар – 0,8 мм, а в нижньому зразку цементований шар знімався після кожного експерименту на 0,4 мм. Випробувані зразки шліфувалися попарно на одному станку і з одного посаду. Середньоквадратичне відхилення профілю знаходилося в межах 0,26 ... 0,33 мкм. Тиск на зразки змінювали у діапазоні від 0 до 3500 МПа. Наближення стиків вимірювали з точністю до 0,25 мкм. Результати вимірювань зближень поверхонь наведені у таблиці.

Аналіз профілограм поверхонь з повністю видаленим цементованим шаром після їх багаторазового навантаження свідчить про проникнення мікроступів верхнього зразка в них та про пластичний характер деформацій в зоні контакту. Таке явище є недопустимим для базових і корпусних деталей УЗП, термін придатності яких 12 – 15 років.

Таблица 1

Експериментальні значення зближень залежно від глибини цементації на досліджуваній поверхні

Глибина цементації нижнього зразка, мм	Величина зближення, мкм, при тиску в стиках, МПа			
	4,9	14,8	24,7	34,6
0	2,07	2,42	2,51	2,99
0,4	2,00	2,40	2,47	2,88
0,8	1,95	2,38	2,43	2,87
1,2	1,88	2,36	2,45	2,80
1,6	1,90	2,30	2,40	2,80

Висновки

1. Встановлено, що «плямистість» за глибиною цементованого шару на лицьових поверхнях базових і корпусних деталей, що виникає внаслідок нерівномірності припусків цих поверхонь, що знімаються в результаті термічних деформацій, є шкідливим явищем, що погіршує експлуатаційні параметри.
2. Необхідно застосовувати технологічний процес, що забезпечує стабільну по всій поверхні глибину цементованого шару та мінімальні термічні деформації (короблення).

Список літератури

1. Жолткевич, Н.Д. Отраслевая система переналаживания технологической оснастки для ускоренной технологической подготовки производства/ Н.Д. Жолткевич и др. – М.: ЦНИИ информ., 1988. – 248 с.
2. Филатов, Л.С. Разработка и внедрение переналаживаемой технологической оснастки для сборочно-сварочного производства/ Л.С.Филатов // Сборник трудов ХПГУ. – Харьков, 2000. – С.63-67.
3. Мовшович, А.Я. Конструкции универсальных сборно-разборных приспособлений для сборочно-сварочных работ (УСРП-С)/ А.Я.Мовшович, К.А. Изотова, Ю.А.Черная, О.В.Бондарь // Машинобудування: зб.наук.пр./ Укр.інж.-пед.акад. – Харьков, 2012. – Вип.9. – С.148-161.
4. Фролов, Е.А. Исследование условий эксплуатации универсальных сборных переналаживаемых крупногабаритных сварных приспособлений/ Е.А. Фролов, А.М. Пирнат, Кравченко С.И., Е.С. Дерябкина // Машинобудування: зб.наук.пр./ Укр.інж.-пед.акад. – Харків, 2016. – Вип.17. – С.149-157.
5. Суслов, А.Г. Технологическое обеспечение контактной жесткости соединений/ А.Г. Суслов.– М.: Наука, 1977. – 240 с.
6. Демкин, Н.Б. Контактное шероховатых поверхностей/ Н.Б. Демкин. – М.: Наука, 1970. – 187 с.
7. Рыжков, Э.В. Контактная жесткость деталей машин/ Э.В. Рыжков. – М.: Машиностроение, 1966. – 148 с.

References

1. Zholtkevich, N. D. 1988. Otrazlevaya sistema perenalazhivayemoye tekhnologicheskoy osnastki dlya uskorennoye tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva, Moskva, 248 p.
2. Filatov L.S. Razrabotka i vnedrenie perenalazhivaemoy tekhnologicheskoy osnastki dlja sborochno-svarochnogo proizvodstva / L.S.Filatov // Sbornik trudov HPGU. – Har'kov, 2000. – pp.63-67.
3. Movshovich, A. Ya., Izotova, K. A., Chernaya, U. A., Bondar, O. V. 2012. Konstruktsii universalnykh sborno-razbornykh prispособleniy dlya sborochnosvarochnykh rabot. Zbirnyk Ukrayinskoyi inzhenerno-pedahohichnoyi akademyy «UIPA», no. 9, pp. 148-161.
4. Frolov E.A., Pirnat A.M., Kravchenko S.I., Derjabkina E.S. Issledovanie uslovij jekspluatacii universal'nykh sbornykh perenalazhivaemykh krupnogabaritnykh svarnykh prispособlenij [Tekst]/ E.A. Frolov, A.M. Pirnat, Kravchenko S.I., E.S. Derjabkina // Mashinobuduvannja: zb.nauk.pr./ Ukr.inzh.-ped.akad. – Har'kov, 2016. – Vol.17. – pp.149-157.
5. Suslov A.G. Tehnologicheskoe obespechenie kontaktnoj zhestkosti soedinenij. Moskva, «Nauka», 1977. – 240 p.
6. Demkin N.B. Kontaktirovanie sherohovatykh poverhnostej. Moskva, «Nauka», 1970. – 187 p.
7. Ryzhkov Je.V. Kontaktnaja zhestkost' detalej mashin. Moskva, «Mashinostroenie», 1966. – 148 p.

Поступила в редакцию 20.09.2020, рассмотрена на редколлегии 20.09.2020

Исследование влияния неравномерности цементированного слоя на несущую способность базовых и опорно-корпусных деталей универсально- сборных приспособлений

Работа посвящена исследованию влияния неравномерности цементированного слоя на несущую способность базовых и опорно-корпусных деталей универсально-сборных сварных приспособлений. Это вызвано отсутствием данных о контактных деформациях, которые необходимы для дальнейшего расчета погрешностей сборки вследствие термических деформаций. Колебания глубины цементирующего слоя на одной и той же поверхности базовой детали негативно влияет на контактное взаимодействие базовых поверхностей приспособлений. Особенно остро стоит этот вопрос при расширении сферы применения системы переналаживаемой технологической оснастки многократного использования, которое было бы экономически эффективно в условиях серийного многономенклатурного производства сварных конструкций.

Зависимость микротвёрдости от величины сошлифованного цементирующего слоя определялась экспериментальным путем на образцах стали 12 ХН3А, цементируемых на глубину 2,4 мм и закалённых до твердости HRC 60-62. Полученная зависимость микротвёрдости от толщины шлифованного слоя свидетельствует о том, что с увеличением

сошлифованного слоя микротвёрдость уменьшается. Это приводит к снижению критической нагрузки, при которой происходит переход упругих деформаций неровностей в пластические. Соотношение фактических плоскостей контакта, на которых происходит упругая деформация микронеровностей при сближении и проникновение более твердых неровностей в мягкие, будет пропорционально отношению номинальных плоскостей цементированного и сырого слоев. В результате обработки экспериментальных данных получена зависимость критического давления от толщины цементированного слоя, микронеровности при меньшей нагрузке будут деформироваться пластически, снижая при этом несущую способность базовых поверхностей, что недопустимо для деталей приспособлений и влияет на их срок эксплуатации.

Таким образом, неравномерность по глубине цементующего слоя лицевых поверхностей базовых и опорно-корпусных деталей является негативным явлением, что ухудшает их эксплуатационные параметры. Необходимо применение технологического процесса, который обеспечивает минимальное коробление детали при термической обработке и стабильную глубину цементующего слоя.

Ключевые слова: цементированный слой, микротвёрдость, корпусные детали, термическая обработка, универсально-сборные приспособления, микронеровность.

Analysis of effect of cemented layer unevenness upon bearing capacity of base and supporting parts of versatile prefabricated work tools

The article contains analysis of the uneven cemented layer effect upon the bearing capacity of the base and supporting parts of versatile prefabricated welded work tools. The issue was studied as there is a lack of data on contact deformations, which are necessary for further calculation of assembly errors due to thermal deformations. Fluctuations of the cemented layer depth along the base part surface negatively affect the contact of the tool base surfaces. This issue is especially acute when expanding the scope of application of reconfigurable reusable technological equipment, which would be cost-effective in terms of serial multi-item production of welded structures.

The relation between microhardness and the value of the polished cemented layer was determined during testing of 12 XH3A steel samples, cemented to a depth of 2.4 mm and hardened to a hardness of HRC 60-62. Obtained relation between the microhardness and polished layer thickness has shown that with increasing polished layer, the microhardness decreases. This leads to a decrease in the critical load, under which recoverable deformations of irregularities transit into plastic deformations. The ratio of the actual planes of contact, where the recoverable deformation of microroughnesses appears when approaching and penetration of harder irregularities into soft ones occurs, will be proportional to the ratio of the nominal planes of the cemented and raw layers.

As a result of processing the test data, the relation between critical pressure and cemented layer thickness has been got. Microroughnesses at lower loads will be deformed plastically, reducing the bearing capacity of base surfaces, which is unacceptable for parts of tools and affects their service life. It follows from the above that the unevenness of the cemented layer depth of the front surfaces of the base

and supporting parts is a negative phenomenon that impairs their performance. It is necessary to use a process that ensures minimal distortion of the part during heat treatment and a stable depth of the cemented layer.

Key words: cemented layer, microhardness, body parts, heat treatment, versatile prefabricated tools, microroughness.

Відомості про авторів:

Фролов Евгений Андреевич – доктор технічних наук, професор, кафедра будівельних машин та обладнання, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна; e-mail: frolov.polntu@gmail.com; ORCID:0000-0002-2691-5386.

Муравльов Володимир Вячеславович – кандидат технічних наук, доцент, кафедра галузеве машинобудування, Полтавська державна аграрна академія, Полтава, Україна, e-mail: mvv02021975@ukr.net; ORCID: 0000-0002-3221-0411

About the Authors:

Frolov Evgeniy Andreevych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction Machinery and Equipment National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine; e-mail: frolov.polntu@gmail.com; ORCID:0000-0002-2691-5386.

Muravlov Volodymyr Vycheslavovich, Ph.D, Associate Professor, Department of of Sectoral Engineering, Poltava State Agrarian Academy, Poltava, Ukraine, e-mail: mvv02021975@ukr.net; ORCID: 0000-0002-3221-0411