

УДК 621.923

**В.Д. КОВАЛЬОВ, Я.С. АНТОНЕНКО, Б.Ю. ВИГАНЯЙЛО****НАТУРНІ ВИПРОБУВАННЯ КРУТНОЇ ЖОРСТКОСТІ СТАНИН ВАЖКИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ**

Проведено дослідження крутної жорсткості станин важких токарних верстатів на натурних зразках. Об'єкти досліджень - литі чугунні станини важких токарних верстатів 1А665, 1А670, зварні сталеві станини глибокорозточувального верстата КЖ1910 з товщиною вертикальних стінок  $\delta = 12, 16, 18$  мм, зварна експериментальна станина верстата токарного типу. Отримано результати питомої крутної податливості досліджуваних станин. Надано рекомендації щодо проектування та модернізації станин важких токарних верстатів.

**Ключові слова:** важкі токарні верстати, станини, натурні зразки, обертальний момент, питома крутна податливість.

Проведено исследование крутящей жесткости станин тяжелых токарных станков на натуральных образцах. Объекты исследований - литые чугунные станины тяжелых токарных станков 1А665, 1А670, сварные стальные станины глубокорасточного станка КЖ1910 с толщиной вертикальных стенок  $\delta = 12, 16, 18$  мм, сварная экспериментальная станина станка токарного типа. Получены результаты удельной крутильной податливости исследуемых станин. Даны рекомендации по проектированию и модернизации станин тяжелых токарных станков.

**Ключевые слова:** тяжелые токарные станки, станины, натурные образцы, крутящий момент, удельная крутильная жесткость.

The researches of twisting stiffness of the stands of heavy lathes on the natural samples have been conducted. The objects of research are cast-iron stands of heavy lathes 1А665, 1А670, welded steel stands of deep-cutting machine КЖ1910 with thickness of vertical walls  $\delta = 12, 16, 18$  mm, welded experimental frame of machine-tools of turning type. The results of specific twisting pliability of the studied frames were obtained. The recommendations for designing and upgrading the stands of heavy lathes were given.

**Keywords:** heavy lathes, stands, natural samples, torque, specific twisting pliability.

**Постановка проблеми.** При проектуванні, експлуатації і модернізації металорізального обладнання виникає необхідність підвищення їх точностних характеристик. Особливо актуальним це питання являється для важких токарних верстатів, у яких силові деформації несучої системи призводять до значного зниження точності обробки та вимагають розробки спеціальних методів її забезпечення. Жорсткість несучих систем важких токарних верстатів багато в чому визначає точність обробки великогабаритних деталей. Тому, дослідження жорсткості несучої системи верстатів з точки зору підвищення точності важких токарних верстатів є актуальною проблемою сучасного машинобудування.

**Мета роботи** – отримання експериментальних даних по жорсткості станин для рекомендацій щодо проектування і модернізації важких токарних верстатів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У Донбаській державній машинобудівній академії (ДДМА) більш ніж 40 років проводяться роботи по дослідженню та розробці нових конструкцій верстатів, підвищенню їх точності, працездатності, ефективності. При створенні верстатів нового покоління проведено ряд науково-дослідних робіт по підвищенню точності, удосконаленню компонування верстатів, зниженню їх металоемності, оптимізації конструкції окремих вузлів, розробці нових адаптивних систем керування, розробці опорних вузлів.

Питанню вибору параметрів станин токарних верстатів за критерієм крутної жорсткості присвячено роботу [1], у якій запропоновано різні теоретичні рішення. Проведена авторами робота основана на реальних дослідженнях станин важких токарних верстатів в умовах виробництва і дозволяє зробити достовірний прогноз досяжної точності обробки як реалізації вимог завдання на проектування, що визначає її актуальність.

**Виклад основного матеріалу.** Процеси обробки металів зі зняттям стружки є на сьогоднішній день найважливішими способами формоутворення. Основними завданнями, що стоять перед машинобудуванням сьогодні, є задачі збільшення точності, надійності та продуктивності верстатних систем з одночасним зниженням собівартості та часу виготовлення деталі. На сьогодні проблему досягнення потрібної точності можна вважати найбільш важливою при проектуванні нових моделей машинобудування, оскільки саме в цій області розробники стикаються з найбільшим числом непереборних труднощів, що заважають шукати обхідні шляхи, йти на компроміси, що, у кінцевому рахунку, позначається на загальній якості і конкурентоспроможності нової продукції. Потрібно враховувати реальну динамічну структуру верстата та її вплив на траєкторії формоутворюючих рухів, так як при цьому виникає необхідність аналізу багатьох факторів, таких як зміни жорсткості заготовки та несучої системи верстата, температури та явищ, пов'язаних з нею, зносу ріжучого інструменту та багато іншого. Несучі системи верстатів повинні забезпечувати і зберігати протягом необхідного терміну служби правильне розташування і можливість точних і плавних взаємних переміщень інструменту і виробів вхолосту і при різанні. Для забезпечення цих вимог конструювання станин і корпусних деталей в даний час підпорядковується критеріям жорсткості деталей і зносостійкості напрямних, а також умовам технологічності. Вплив жорсткості станин і корпусних деталей на роботу механізмів верстата визначається перерозподілом тисків в сполученнях і порушенням умов правильного контакту в результаті пружних деформацій елементів системи.

При виробництві базових деталей верстатів, основними з яких є станини, використовується ливарний чугун. Основними технологічними умовами виробництва таких конструкцій є простота виготовлення моделей, простота формовки, але для виготовлення

© В.Д. Ковальов, Я.С. Антоненко, Б.Ю. Виганяйло, 2017

великогабаритних станин важких токарних верстатів, ми стикаємось із рядом труднощів, таких як складність отримання відливки зі збереженням постійності властивостей матеріалу по всьому обсязі відливки; складність отримання тонкостінних перегородок, що значно знижує металоемність, висока складність виправлення дефектів виробництва. На відміну від литих, застосування зварних конструкцій особливо ефективно для деталей, розміри яких значною мірою визначаються допустимими прогинами під власною вагою.

До переваг зварних конструкцій у порівнянні із литими відносять: менша вага (до 2 разів) у наслідок більшого модуля пружності сталі, ніж чугуна, можливості застосування більш досконалих з точки зору жорсткості форм, менша трудомісткість механічної обробки, можливість виправлення дефектів конструкції, прискорення процесу виробництва, за рахунок чого підвищується конкурентоспроможність виготовленого верстата. Зварні станини, що мають однакові у порівнянні із литими габарити перетинів, при значно меншій, ніж у литих вазі, можуть бути виконані з більш високою жорсткістю.

З метою визначення оптимальної конструкції станини проведено дослідження на натурних зразках. Об'єктом досліджень були: литі чугунні станини важких токарних верстатів 1А665, 1А670, зварні сталеві станини глибокорозточувального верстата КЖ1910 з товщиною вертикальних стінок  $\delta = 12, 16, 18$  мм, зварна експериментальна станина верстата токарного типу.

Випробування проводилися на ПАТ КЗВВ у механоскладальних цехах №5, №6. У ході роботи було виміряно кути закруглення секцій станин при прикладанні до торця обертального моменту. Для прикладення до торця секції станини крутного моменту була виготовлена навантажувальна рама (рис. 1 і 2).

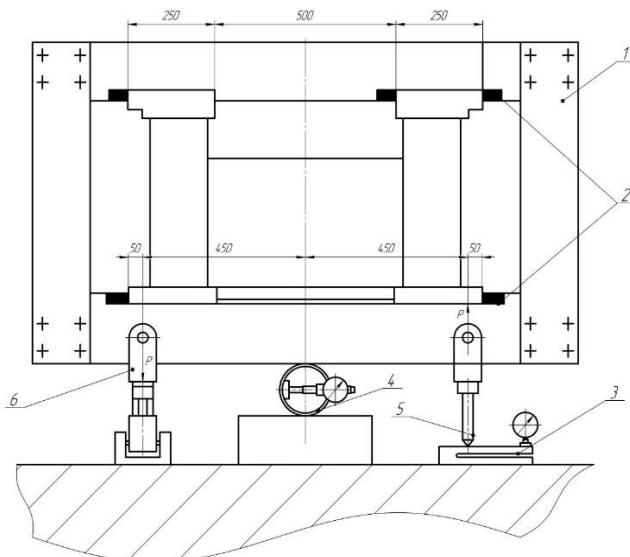


Рис 1 – Схема навантаження зварної станини крутним моментом: 1-навантажувальна рама; 2-компенсатори; 3,4-динамометри; 5-домкрат; 6-стяжка

Для запобігання спотворення навантажувального перетину станини на другому кінці застосовувалася аналогічна по конструкції рама.

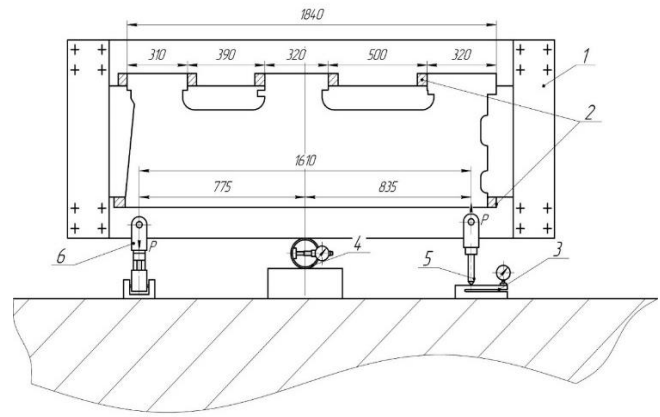


Рис. 2 – Схема навантаження станини верстата 1А665 крутним моментом: 1-навантажувальна рама; 2-компенсатори; 3,4-динамометри; 5-домкрат; 6-стяжка

Рами за допомогою компенсаторів 2 щільно замикали полки напрямних і підшву станини. Навантажувальна рама спиралася на кільцевий динамометр 4. Другий кінець станини закріплювався фундаментними болтами до тумби, а тумба до фундаменту. Навантаження станини крутним моментом за допомогою домкрата 5 і стяжки 6 одночасно проводилося таким чином, що показання індикатора на кільцевому динамометрі 4 залишалось незмінним. Величин, навантаження визначалася динамометром 3. Кут закручування секції станини визначався за допомогою високопрецизійного клінометра 3 (ТВ-90), встановленого на контрольній лінійці 4 (рис. 3).

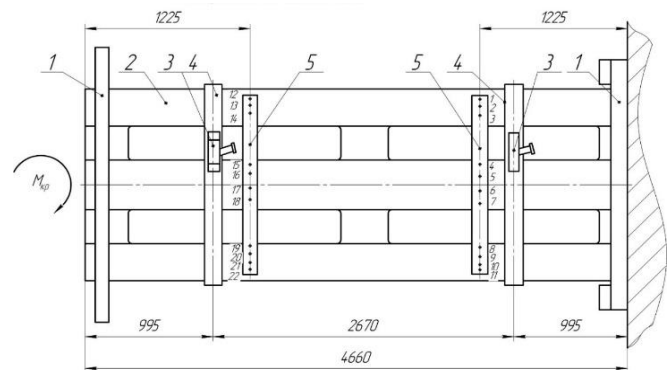


Рис 3 – Вимірювання кута закручування і спотворення дзеркала напрямних секції станини верстата 1А665: 1-навантажувальна рама; 2-секція станини; 3-високопрецизійний клінометр ТВ-90; 4-контрольна лінійка L=2м; 5-оптична лінійка ІС-36М

Для визначення зміни профілю дзеркала напрямних у вертикальній площині в поперечному напрямку поруч з клінометром встановлювалася оптична лінійка 5 (ІС-36М), за допомогою якої вимірювався профіль напрямних до і після прикладення навантаження. Заміри по номерах точки за схемою вимірювання (рис.3) показали, що зміни профілю при закручуванні практично не відбувалися. Кут закручування визначався як різниця кутів повороту перетину II і перетину I при кожному ступені навантаження. (табл. 1)

Таблиця 1

Зміна положень полук секції станини верстата 1А665 у розрізі І-І при її закручуванні у замірах оптичною лінійкою ІС-36М

Відтік координати заміру за шкалою ІС-36М	0	5	10	60	65	70	76	14	14	15	15
Номер точки за сумісною вимірювання	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Навантаження на станину Мкр=0											
Середній (із 3-х вимірювань) показник ІС-36М в мкм	7	7	3,5	-6	-6	-8	-10	2	3	5,5	7
Відхилення від прямолінійності, мкм	0	0	-3,5	-13	-13	-15	-17	-5	-4	-1,5	0
Навантаження на станину Мкр=805 Нм											
Середній (із 3-х вимірювань) показник ІС-36М в мкм	8	8	8	-4	-6,5	-8,5	-11	2	5	5	8
Відхилення від прямолінійності, мкм	0	0	0	-12	-14,5	-16,5	-19	-6	-3	-3	0
Зміна положень полук по відношенню до початкового	0	0	3,5	1	-1,5	-1,5	-2	-1	1	-1,5	0
Навантаження на станину Мкр=5220 Нм											
Середній (із 3-х вимірювань) показник ІС-36М в мкм	4,5	3	1,5	-9	-11	-13,5	-14,5	2,5	4	4	4,5
Відхилення від прямолінійності, мкм	0	-1,5	-3	-13,5	-15,5	-18	-19	-2	0,5	0,5	0
Зміна положень полук по відношенню до початкового	0	-1,5	0,5	-0,5	2,5	-3	-2	3	3,5	1	0
Навантаження на станину Мкр=8850 Нм											
Середній (із 3-х вимірювань) показник ІС-36М в мкм	4,5	4	0,5	-11	-13	-15,5	-17,5	5	5	5	4,5
Відхилення від прямолінійності, мкм	0	-0,5	-4	-15,5	-17,5	-20	-22	0,5	0,5	0,5	0
Зміна положень полук по відношенню до початков.	0	0,5	-0,5	-2,5	-4,5	-5	-5	5,5	4,5	2	0

На рис. 4 представлена питома кругна податливість секції станини верстата 1А665.

Було отримано результати питомої кругної податливості зварних станин верстата КЖ 1910 з різною товщиною вертикальних стінок, зварної експериментальної станини токарного типу з відкритим та закритим профілем поперечних перемичок (рис. 5).

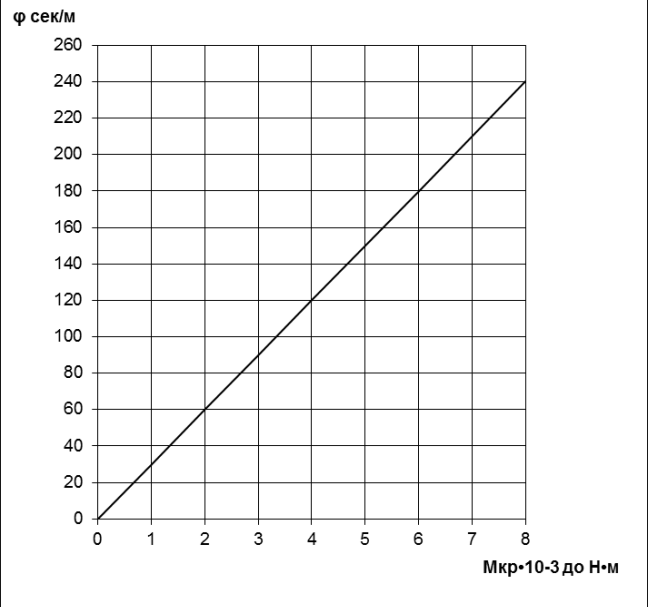


Рис 4. – Питома кругна податливість секції станини верстата 1А665

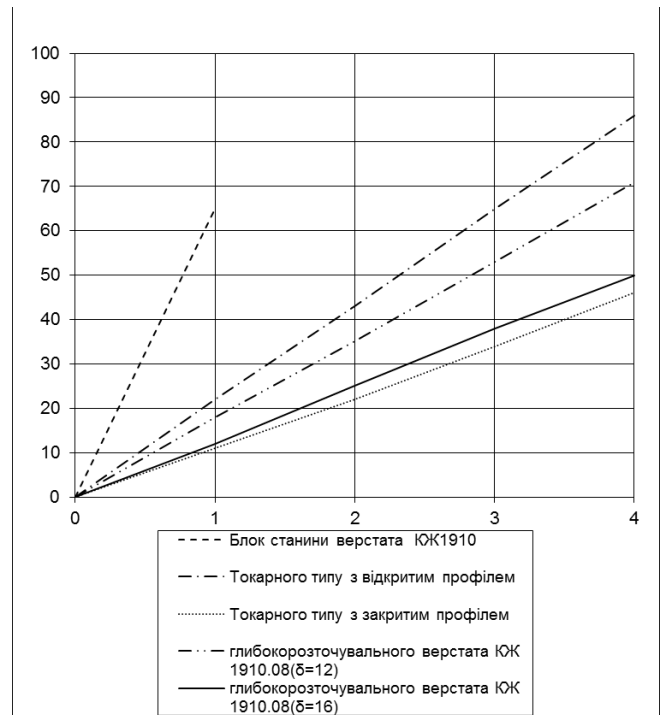


Рис. 5 – Питома кругна податливість зварних станин різного типу

Тут же представлена питома кругна податливість одного блоку станини верстата КЖ 1910. Експериментальна станина виконана з двох таких блоків.

Для оцінки точності вимірювання деформацій станини в вертикальній площині було вироблено вимір прямолінійності дзеркала напрямної однієї секції станини верстата 1А665 довжиною 4,66 м двома методами оптичною лінійкою ІС-36М кроковим методом і приладом контролю прямолінійності ПКП-1М. Ціна ділення вимірювальної шкали обох приладів - 2 мкм. Отримані результати вимірювання зображені на

рис.6. Максимальна розбіжність величин відхилення від прямолінійності складала 16 %.

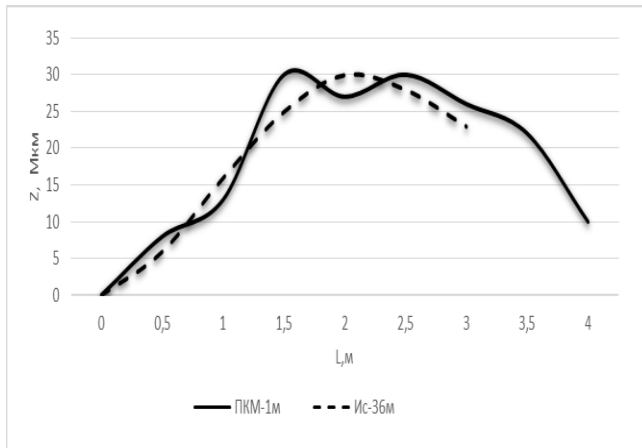


Рис.6 – Порівняння точності методів вимірювання прямолінійності поздовжнього профілю напрямних станини

### Висновки.

Жорсткість базових деталей істотно впливає на стабільність процесу різання. Це особливо важливо у зв'язку із зростаючим випуском верстатів з ЧПК, що дозволяють вести обробку на підвищених режимах різання.

В результаті випробувань було заміряно зміни профілю дзеркала напрямних литої станини верстата 1А665 при крутінні в реальних виробничих умовах, заміри показали, що зміни профілю практично не відбувались. Максимальне відхилення положення полиць по відношенню до початкового складало 7,5 мкм. Проаналізовано питому крутильну податливість тождних по формі литої та зварної станини. Виявлено, що жорсткість на кручення зварної станини у станини у 3-3,5 рази вище, що позитивно впливає на продуктивність різання і точність обробки, але ступінь демпфування у порівнянні із литою - нижче.

Аналізуючи вплив окремих параметрів на податливість несучої системи важкого токарного верстата, можна встановити оптимальну з точки зору жорсткості, ваги, форми і конструкції компоновку. Раціональні

області застосування литих та зварних базових деталей у важких верстатах визначаються залежно від їх маси, обсягу виробництва, трудомісткості виготовлення. Планується проведення подальших досліджень станин важких верстатів у умовах виробництва, з метою отримання вичерпних даних щодо жорсткості несучої системи, та її впливу на точність виготовлення виробів на важких токарних верстатах.

Підвищення продуктивності, точності продукції можливо при реалізації комплексу заходів, спрямованих на раціоналізацію методів розрахунку (у тому числі за допомогою методу кінцевих елементів) та проектування зварних конструкцій з урахуванням вимог уніфікації та стандартизації

### Список литературы

- 1 Шульдешов А.С. Выбор параметров станин токарных станков по критерию максимальной крутильной жесткости дис. канд.техн. наук. Ростов-на-Дону, 2003.
- 2 Еникеев Х.М. Методы повышения жесткости станин токарных станков. М.: Труды ЭНИМС, вып. 1, ЦБТИ МС, 1948.
- 3 Peters E., Neue Versteifungsbauart für Werkzeugmaschinenbetten/Werkstattstechnik Н.16. 1920 (Петере Е. Конструкции элементов жесткости для станин станков)
- 4 В.В. Каминская, З.М. Левина, Д.Н. Решетов. Станины и корпусные детали металлорежущих станков/ Под ред. Д.Н. Решетова. – М.:Машгиз, 1960. – 365с.

### Bibliography (transliterated)

1. Shuldeshov A.S. Vybory parametrov stanin tokarnich stankov po kriteriyu maksimalnoy krutilnoy ghestkosti [Selection of parameters of frames of lathes by the criterion of maximum torsional stiffness] dis. cand. techn. nauk Rostov-na-Donu, 2003.
2. Enikeev H.M. Metody povisheniya ghestkosti stanin tokarnich stankov. [Methods of increasing the rigidity of frames of lathes machines.] Moscow. Trudy ENIMS, Issye. 1, TsBTI MS, 1948.
3. Peters E., Neue Versteifungsbauart für Werkzeugmaschinenbet-ten / Werkstattstechnik Н.16. 1920 [Petere E. Konstrukcii elementov ghestkosti dlya stanin stankov].
4. V.V. Kaminskaya, Z.M. Levina, D.N. Reshetov. Staniny i korpusniye detaili metalloregushich stankov [Structures and main parts of metal-cutting machines]. Moscow. Mashgiz, 1960. 365 p.

Поступила (received) 17.04.17

### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Натурні випробування крутної жорсткості станин важких токарних верстатів / В.Д. Ковальов, Я.С. Антоненко, Б.Ю. Виганяйло // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 26 (1248). – С. 94–98. – Библиогр.: 4 назв. – ISSN 2079-004X.**

**Натурные испытания крутящей жесткости станин тяжелых токарных станков / В.Д. Ковалев, Я.С. Антоненко, Б.Ю. Виганяйло // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 26 (1248). – С. 94–98. – Библиогр.: 4 назв. – ISSN 2079-004X.**

**Full-scale tests of the stiffening rigidity of heavy-duty lathe lathes / V. Kovalev, Y. Antonenko, B. Viganailo // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Techniques in a machine industry. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 26 (1248). – P.94–98. – Bibliogr.: 4. – ISSN 2079-004X**

### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Ковальов Віктор Дмитрович** - доктор технічних наук, професор, ректор Донбаської державної машинобудівної академії, Краматорськ; тел.: (06264) 41-47-82; e-mail: viktor.kovalov@gmail.com;

**Ковалев Виктор Дмитриевич** - доктор технических наук, профессор, ректор Донбасской государственной машиностроительной академии, Краматорск; тел.: (06264) 41-47-82; e-mail: viktor.kovalov@gmail.com;

**Kovalov Viktor Dmitrovich** - Doctor of Technical Sciences, Full Professor, rector of Donbass state machinebuilding academy, Kramatorsk; tel.: (06264) 41-47-82; e-mail: viktor.kovalov@gmail.com;

**Антоненко Яна Сергіївна** – асистент кафедри комп’ютеризованих мехатронних систем, інструменту і технологій ДДМА, Краматорськ; тел.: (06264) 41-47-82; e-mail: yana.s.antonenko@gmail.com;

**Антоненко Яна Сергеевна** – ассистент кафедры компьютеризированных мехатронных систем, инструментов и технологий ДДМА, Краматорск; тел.: (06264) 41-47-82; e-mail: yana.s.antonenko@gmail.com;

**Antonenko Yana Sergiyivna** - assistant of the Department of Computer Mechatronic Systems, Engineering and Technology DDMA, Kramatorsk; tel.: (06264) 41-47-82; e-mail: yana.s.antonenko@gmail.com;

**Выганяйло Богдан Юрійович** – магістр кафедри комп’ютеризованих мехатронних систем, інструменту і технологій ДДМА, Краматорськ; тел.: (06264) 41-47-82; e-mail: kенаа06@gmail.com;

**Выганяйло Богдан Юрьевич** – магистр кафедры компьютеризированных мехатронных систем, инструментов и технологий ДДМА, Краматорск; тел.: (06264) 41-47-82; e-mail: kенаа06@gmail.com;

**Viganyailo Bogdan Yuriovich** – master of the Department of Computer Mechatronic Systems, Engineering and Technology DDMA, Kramatorsk; tel.: (06264) 41-47-82; e-mail: kенаа06@gmail.com.