

7. Червоний, І. Ф. Напівпровідниковий кремній: теорія і технологія виробництва [Текст]: монографія / І. Ф. Червоний, В. З. Куцова, В. І. Пожув, Є. Я. Швець, О. А. Носко, С. Г. Єгоров, Р. М. Воляр; під заг. ред. І. Ф. Червоного. — Вид. 2-е, допр. і перер. — Запоріжжя: ЗДІА, 2009. — 488 с.
8. ГОСТ 19658-81 Кремний монокристаллический в слитках. Технические условия [Текст]. — Переизд. Июль 1987. — Действ. с 01.01.83 до 01.01.93. — М.: Издательство стандартов, 1990. — 72 с.
9. Критская, Т. В. Исследование влияния кислорода и углерода на поведение бора и фосфора в кремнии [Текст]: тезисы докладов / Т. В. Критская, И. Ф. Червоний // Совещание по росту кристаллов, пленок и дефектам структуры кремния. «Кремний-2002», 9–12 июля 2002 г. — Новосибирск, 2002. — С. 30.
10. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. — Изд. 2-е перераб. и доп. — М.: Наука, 1976. — 280 с.

#### ВПЛИВ ДОМІШОК ТА УМОВ ВИРОЩУВАННЯ МОНОКРИСТАЛІВ КРЕМНІЮ МЕТОДОМ ЧОХРАЛЬСЬКОГО НА ВЕЛИЧИНУ ЧАСУ ЖИТТЯ НЕРІВНОВАЖНИХ НОСІВ ЗАРЯДУ

В роботі досліджується вплив таких домішок у монокристалічному кремнії, як кисень, вуглець, бор, а також швидкості

охолодження вирощуваного монокристала на час життя нерівноважних носіїв заряду. Встановлено, що підвищення концентрації кисню і бору сприяє збільшенню часу життя нерівноважних носіїв заряду, а збільшення концентрації вуглецю і швидкості охолодження монокристала кремнію веде до зменшення часу життя нерівноважних носіїв заряду.

**Ключові слова:** кремній, монокристал, напівпровідник, вирощування, метод Чохральського, домішка, швидкість охолодження.

*Воляр Роман Николаевич, доцент, кафедра металургії кольорових металів, Запорізька державна інженерна академія, Україна, e-mail: voron@meta.ua.*

*Воляр Роман Миколайович, доцент, кафедри металургії кольорових металів, Запорізька державна інженерна академія, Україна.*

*Volyar Roman, Zaporozhye State Engineering Academy, Ukraine, e-mail: voron@meta.ua.*

УДК 621.871.89

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.38185

**Рудь В. Д.,  
Самчук Л. М.,  
Савюк І. В.,  
Повстяна Ю. С.**

## АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ САПОНІТОВОЇ ГЛИНИ

*У статті проведено аналіз робіт, спрямованих на дослідження природного матеріалу — сапоніту. Проаналізовано властивості даного матеріалу. Проведено рентгеноструктурний та металографічний аналіз трьох шарів сапонітової глини. Визначено, що запропонований матеріал володіє хорошими сорбційними властивостями, що в подальшому зумовлює його використання для фільтрації питної та стічної води.*

**Ключові слова:** сапоніт, глина, сорбція, структура, металографія, рентгенограма, мінерал, фільтр.

### 1. Вступ

Хмельницька область — це єдиний регіон України, де є поклади сапонітових глин, які складають цілу провінцію бентонітової сировини з унікальними властивостями [1]. Найбільш відомі Ташківське і Варварівське родовища сапонітових глин, які мають запаси близько 60 млн. т.

Назва сапоніт походить від лат. sapo, родовий відмінок saponis мило, мильний камінь. Це мінерал з підкласу шарових силікатів, групи монтморилонітів з високим вмістом оксиду магнію, в якому іони алюмінію практично повністю замінені на іони магнію, а іони кремнію частково замінені на іони алюмінію. Сапоніт у вигляді ізоморфної домішки містить іони заліза, нікелю, інколи хрому. Потреба України в сапонітовій сировині на початку ХХІ ст. становить 4 млн. т. на рік [1].

У зв'язку із великими запасами даного мінералу постає питання про розширення областей його застосування. Саме тому, подальше вивчення сапонітової глини є актуальним та вельми перспективним напрямком.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Вивченням властивостей сапонітової глини займалися такі вітчизняні вчені, як: Ганзюк А. Я. [1, 2], Гулієва Н. М. [3, 4], Луцюк І. В. [5], Погрідний В. Т. [6], Сорокіна К. Б. [7], Співак В. В. [8]. В попередніх роботах досліджено мікроелементарну складову сапоніту, сорбційні властивості. Вивчено фізико-хімічні процеси, що проходять в глинистих масах, встановлено хімічний склад трьох шарів сапоніту Ташківського родовища.

Природні мінерали, такі як сапоніт і його композити знаходять широке застосування в багатьох сферах народного господарства, використовуються в різних галузях відновлення земельних прошарків, виготовлення кормів для тварин, виробництві засобів захисту рослин, виготовленні аерозолів, виноробному виробництві, при консервації кормів, тощо. Однак як показує практика сапоніт можна використовувати як зв'язуюче з іншими матеріалами для виготовлення фільтрувальних елементів

для очистки питних та стічних вод [5]. Застосування даного матеріалу допоможе вирішити ряд проблем пов'язаних з фільтрацією та доочищенням стічних та питних вод.

### 3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — сапонітова глина Ташківського родовища Хмельницької області.

Мета роботи — аналіз праць, спрямованих на дослідження властивостей природного мінералу сапоніту з метою визначення придатності його для багатofункціонального використання.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Аналіз робіт, спрямованих на дослідження фізичних та механічних властивостей.
2. Опрацювання результатів попередніх досліджень.
3. Окреслення невизначених проблем.
4. Проведення досліджень задля визначення та порівняння хімічного складу трьох шарів глини.
5. Визначення мікроструктури трьох шарів сапоніту.

### 4. Результати аналізу досліджень властивостей сапонітової глини

За результатами багатoproфільних випробувань сапоніт характеризується як універсальна мінеральна сировина, використання якої в якості біостимулятора і сорбента, є високоефективним в багатьох галузях товарно-господарського виробництва і в екологічній сфері від застосування в агропромисловості як «каменю родючості» (Гурський, Білошапський, 1994) до очищення матеріалів і територій від техногенного та радіаційного забруднення [6].

К. Б. Сорочкіна дослідила, що сапонітова глина з Ташківського родовища вміщує 8–11 % MgO. Повний хімічний склад сапоніту наведено в декількох публікаціях (Грицик, 1987; Гурський, Білошапський та ін., 1994). За літературними даними (Мінерали, т. IV, вип. 2, 1992) коливання MgO в сапоніті знаходиться в межах 14,21–31,61 %. [7].

Аналіз розподілу класів гранулометричного складу анальцим-сапонітової товщі приведений в праці [3] показав, що 80–90 % обсягу породи припадає на класи розмірності 0,1+0,05 мм, 0,05+0,025 мм та 0,025+0,01 мм. Тонкодисперсна складова (–0,005 мм) становить 5–7%. Дифрактограмний аналіз монофракцій класів 0,25+0,16 мм і 0,16+0,05 мм показав високо інтенсивні базові міжплосинні відстані, як головні, що відповідають стандартним — 5,612 Å, 3,448 Å і 2,939 Å, так і допоміжні.

Дослідження мікроелементарної складової в моноінеральній наважці сапоніту, проведений В. В. Співак, показали, що в мінералі присутні такі компоненти (в %): барій — 0,07, хром — 0,005, нікель — 0,002, кобальт — 0,0005, мідь — 0,007, свинець — 0,005, цинк — 0,0015, титан — 0,2, марганець — 0,1, ванадій — 0,007, галій — 0,0005, олово — 0,0001. Співвідношення наведеного вмісту за нормативами гранично допустимих концентрацій (ГДК) для ґрунтів і максимально допустимих рівнів (МДР) для кормових добавок засвідчує, що жодного перевищення наявних елементів не спостерігається [8].

Сорбційні властивості на природному і кислотному активному сапоніті проведено А. Я. Ганзюком та О. І. Кулаковим показали, що кислотна активація приводить до суттєвого зростання адсорбції. Адсорбція збільшу-

ється з 12,9 моль/кг до 25,05 моль/кг або з 9,804 г/кг до 19,038 г/кг сапоніту. Тобто адсорбція збільшується в  $19,038/9,804 = 1,94$  рази для кислотно активованого сапоніту [2]. Таким чином, можна зробити висновки, що при кислотній активації збільшується кількість позитивно заряджених центрів, які сприяють збільшенню адсорбції від'ємних іонів. При цьому сапоніт не втрачає здатність до адсорбції позитивно заряджених іонів. Тобто кислотна активація приводить до суттєвого зростання адсорбційних властивостей сапоніту.

При дослідженні фізико-хімічних процесів, що проходять в глинистих масах з добавкою сапонітової породи при їх нагріванні, проведеними автором роботи [4] встановлено, що добавка сапонітової породи до глинистої маси змінює характер ходу кривих структурної в'язкості. Так, введення 10–50 % сапонітової породи супроводжується зниженням температури початку пластичних деформацій на 30–50 °С, а також спостерігається змінена аномальної ділянки на кривій в'язкості, характерній для глини, в область нижчих температур [9, 10]. Автор пояснює це активною взаємодією оксидів заліза з глинистими мінералами, що супроводжується руйнуванням їхньої структури [4]. Таким чином, глино-сапонітові маси мають низькі значення швидкості падіння структурної в'язкості з підвищенням температури, що забезпечує повніше утримання газоподібних продуктів, що виконують роботу спучення, їх рівномірний розподіл в об'ємі матеріалу.

Середній хімічний склад сапоніту Ташківського родовища було досліджено А. Я. Газнюком та І. О. Кулаковим на аналізаторі елементного складу Expert: Mg (магній) — 12,136 ± 1,470; Al (алюміній) — 7,613 ± 0,395; Si (кремній) — 31,164 ± 0,575; Ca (кальцій) — 11,974 ± 0,213; Ti (титан) — 1,778 ± 0,058; V (ванадій) — 0,051 ± 0,021; Cr (хром) — 0,041 ± 0,010; Mn (марганець) — 0,621 ± 0,023; Fe (залізо) 33,389 ± 0,591; Cu (мідь) — 0,073 ± 0,005; Zn (цинк) — 0,066 ± 0,004; Sr (стронцій) — 0,050 ± 0,004; Zr (цирконій) — 0,043 ± 0,004. Елементи-домішки в сапонітовій глині мають (%): Cr — 0,005; Li — 0,002; Ba, V, Ni по 0,0015; Cu, Zn, La по 0,0014; Sc, Ga по 0,0007; Pb — 0,0005. Фізико-хімічні властивості сапоніту: зовнішня питома поверхня (для фракції 0,053 мм) — 1037–1079,7 м<sup>2</sup>/кг; здатність до набрякання — 2,0 %; колоїдність — 11,7–12,7 %; сміність катіонного обміну — 54,8 мг. екв. на 100 г [2].

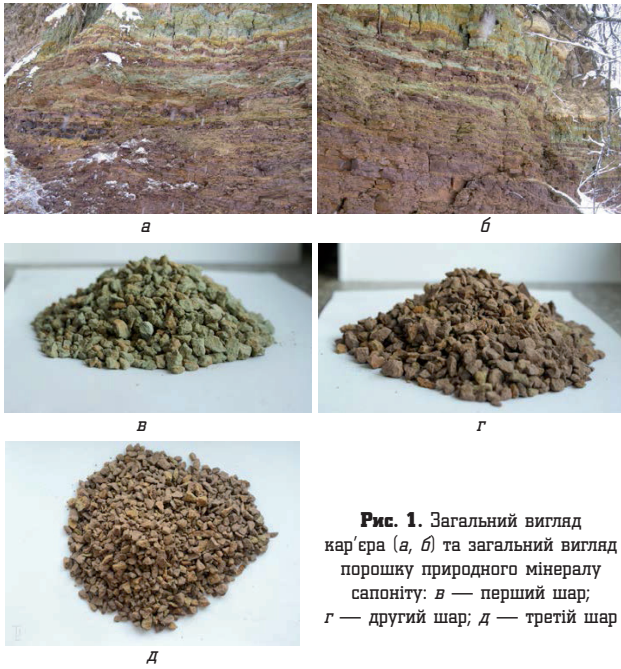
Хімічний склад трьох шарів сапоніту Ташківського родовища Хмельницької області визначений Гулівою Н. М.

В роботі [3] також приведені дослідження густини — 3,05–3,15 кг/м<sup>3</sup>, насипної маси — 0,96 кг/м<sup>3</sup>, гранулометричного складу — >2 мм — 5 %; 1–2 мм — 32 %; 0,5–1,0 мм — 9 %; 0,25–0,5 мм — 14 %; 0,1–0,25 мм — 11 %; <0,1 мм — 9 %, колоїдності — 11,7–12,2 %, вологості — 10–12 %.

### 5. Обговорення результатів аналізу властивостей сапонітової глини

З результатів аналізу наведених у роботі [3] видно, що хімічний склад в тій чи іншій мірі збігається із дослідженнями всіх наведених прикладів, але більш подібний до результатів досліджень В. В. Співак [8].

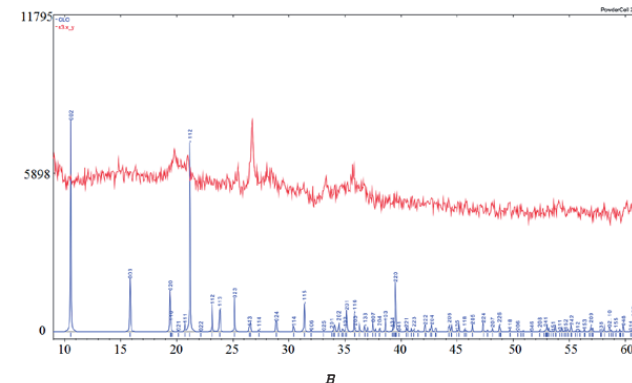
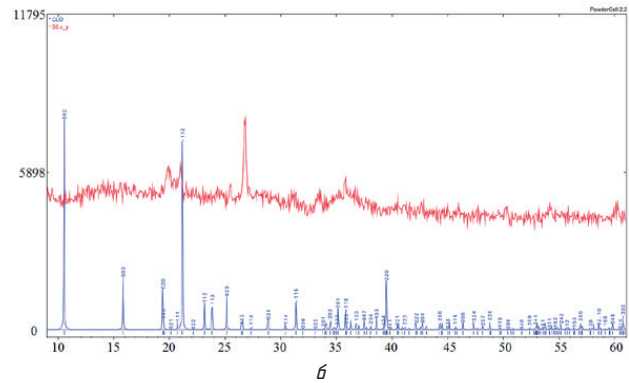
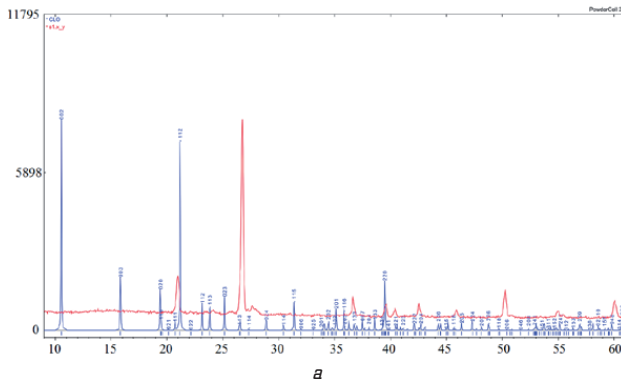
У попередніх дослідженнях майже нічого не сказано про металграфічний та рентгеноструктурний аналіз трьох шарів сапоніту Ташківського родовища. На рис. 1 наведено кар'єр і зразки глини з трьох шарів родовища.



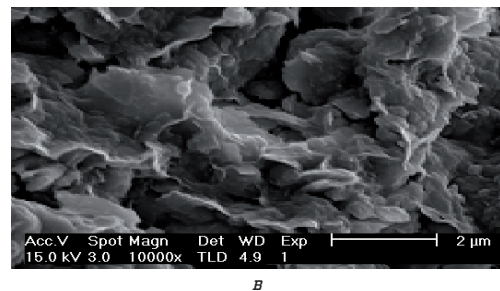
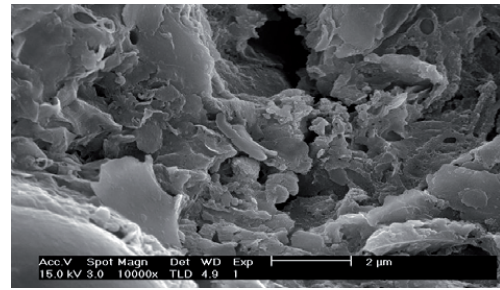
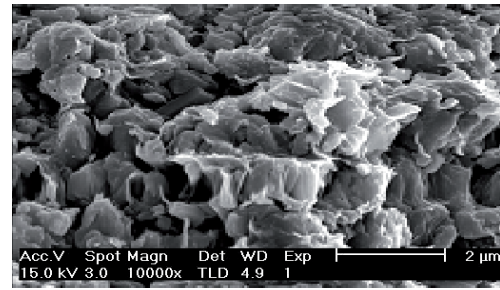
**Рис. 1.** Загальний вигляд кар'єра (а, б) та загальний вигляд порошку природного мінералу сапоніту: в — перший шар; г — другий шар; д — третій шар

З метою перевірки хімічного складу наведеного попередніми авторами було проведено рентгеноструктурний аналіз кожного шару, результати якого приведені на рис. 2.

Дослідження показали, що піки відповідають сполукам наведеним у роботі [3]. Додатково було проведено металографічний аналіз. Зі знімків видно, що сапоніт має велику кількість капілярів та пор мікронного розміру. Методом металографічного аналізу виконаного на рентгеновому стаціонарному апараті ДРОН-3, встановлено, що сапоніт має аморфну структуру. Металографічний аналіз трьох шарів сапоніту представлені на рис. 3.



**Рис. 2.** Рентгенограма відповідно верхнього (а), середнього (б), нижнього (в) шарів природного мінералу — сапоніту



**Рис. 3.** Структура шарів сапонітової глини при збільшенні у 450 разів: а — перший шар; б — другий шар; в — третій шар

На дифрактограмах представлено 2 графіки: нижній — стандартний, вибирається із міжнародної бази даних відповідно до певного матеріалу, а верхній — відображає результати проведення аналізу даного матеріалу. По осі  $X$  відображається кут повороту зразка  $2\Theta$ , по  $Y$  — інтенсивність відбивання рентгенівського проміння зразком.

## 6. Висновки

У результаті проведених досліджень:

1. Було проведено аналіз робіт про дослідження природного мінералу — сапоніту.

2. Проведено обробку вже відомих результатів досліджень, що дало змогу окреслити невирішені завдання у вивченні сапонітових глин.

3. Проведено рентгеноструктурний аналіз кожного шару для визначення достовірності результатів згідно трьох шарів глини по хімічному складі.

4. Визначено мікроструктуру трьох шарів глини з Ташківського родовища.

Виходячи з властивостей матеріалу, які були описані при дослідженнях встановлено, що запропонований матеріал володіє хорошими сорбційними властивостями і тому є припущення, що в подальших наукових розробках в поєднанні з іншими матеріалами його можна використовувати для фільтрації питної та стічної води.

## Література

- Ганзюк, А. Я. Дослідження адсорбційних властивостей сапоніту, модифікованого катіонами багатомірних металів [Текст] / А. Я. Ганзюк, Ю. О. Яфінович // Вісник Хмельницького національного університету. — 2010. — № 1. — С. 230–235.
- Ганзюк, А. Я. Дослідження сорбційних процесів на природному і кислотно активованому сапоніті [Текст] / А. Я. Ганзюк, О. І. Кулаков // Вісник Хмельницького національного університету. — 2009. — № 2. — С. 85–90.
- Гулієва, Н. М. Хімічний аналіз та фізичні властивості природного мінералу — сапоніту [Текст] / Н. М. Гулієва // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». — Луцьк, 2014. — № 44. — С. 78–82.
- Спосіб вилучення дисперсійних домішок із водних систем [Електронний ресурс]: Патент України на корисну модель № 90393 / Рудь В. Д., Гулієва Н. М., Самчук Л. М., Савюк І. В. — опубл. 26.05.2014. — Режим доступу: <http://www/URL: http://uapatents.com/4-90393-sposib-viluchennya-dispersijnikh-domishok-iz-vodnikh-sistem.html>
- Луцьок, І. В. Вплив сапонітової породи на зміну структурної в'язкості легкотопких глин при нагріванні [Текст]: зб. наук. пр. / І. В. Луцьок // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Хімія, технологія речовин та їх застосування. — 2000. — № 414. — С. 52–55.
- Погрібний, В. Т. Аналіз сапонітової горизонти в родовищах магнезійних бентонітів Славута-Ізяславської площі як перспективні об'єкти мінеральних сорбентів багаторазового використання [Електронний ресурс] / В. Т. Погрібний, Л. В. Липчук, Л. Ф. Однороженко // Міжнародна науково-практична конференція «Перший Всеукраїнський з'їзд екологів». — 2006. — Режим доступу: <http://eco.com.ua/content/analtsim-saponitovi-gorizonti-v-rodovishchakh-magnievikh-bentonitiv-slavuta-izyaslavskoi-plo>

- Сорокіна, К. Б. Застосування природних дисперсних мінералів і їх модифікованих аналогів для покращення процесів очищення та доочищення питної води [Текст] / К. Б. Сорокіна // Комуніальне господарство міст. — 2007. — № 74. — С. 158–164.
- Співак, В. В. Регулювання фізико-хімічних та адсорбційних властивостей українських сапонітів [Текст] / В. В. Співак, І. М. Астрелін, Н. М. Толстопалова, І. В. Атаманюк // Доповіді Національної Академії наук. — 2012. — Вип. 10. — С. 142–148.
- Suquet, H. Swelling and Structural Organization of Saponite [Text] / H. Suquet // Clays and Clay Minerals. — 1975. — Vol. 23, № 1. — P. 1–9.
- Suquet, H. Variation Du Parametre b Et De La Distance Basale d001 Dans Une Serie De Saponites A Charge Croissante: I. Etats Hydrates [Text] / H. Suquet // Clay Minerals. — 1981. — Vol. 16, № 1. — P. 53–67. doi:10.1180/claymin.1981.016.1.04

## АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ САПОНИТОВЫХ ГЛИН

В статье проведен анализ работ, направленных на исследование природного материала — сапонита. Проанализированы свойства данного материала. Проведено рентгеноструктурный и металлографический анализ трех слоев сапонитовой глины. Определено, что предложенный материал обладает хорошими сорбционными свойствами, что в дальнейшем приводит к его использованию для фильтрации питьевой и сточной воды.

**Ключевые слова:** сапонит, глина, сорбция, структура, металлография, рентгенограмма, минерал, фильтр.

*Рудь Віктор Дмитрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерного проектування верстатів та технологій машинобудування, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна, e-mail: vikdmrud@rambler.ru.*

*Самчук Людмила Михайлівна, кандидат технічних наук, старший викладач, кафедра комп'ютерного проектування верстатів та технологій машинобудування, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна, e-mail: samchuk04@yandex.ua.*

*Савюк Ігор Віталійович, аспірант, кафедра комп'ютерного проектування верстатів та технологій машинобудування, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна, e-mail: igor-saviuk@mail.ru.*

*Повстяна Юлія Славомирівна, асистент, кафедра комп'ютерних технологій, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна, e-mail: yuliapovstyana@ukr.net.*

*Рудь Віктор Дмитрієвич, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерного проектування станків та технологій машиностроєння, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна.*

*Самчук Людмила Михайлівна, кандидат технічних наук, старший преподаватель, кафедра комп'ютерного проектування станків та технологій машиностроєння, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна.*

*Савюк Ігорь Віталієвич, аспірант, кафедра комп'ютерного проектування станків та технологій машиностроєння, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна.*

*Повстяная Юлия Славомирівна, асистент, кафедра комп'ютерних технологій, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна.*

*Rud' Viktor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, e-mail: vikdmrud@rambler.ru.*

*Samchuk Ludmila, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, e-mail: samchuk04@yandex.ua.*

*Saviuk Ihor, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, e-mail: igor-saviuk@mail.ru.*

*Povstyana Yulia, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, e-mail: yuliapovstyana@ukr.net*