

УДК 504.054(064):502.5:628.515

*Олексій Семака***КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЧИЩЕННЯ ГЛИБИННИХ ШАРІВ ҐРУНТУ  
ВІД НАФТОПРОДУКТІВ***Алексей Семака***КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЧИСТКЕ ГЛУБИННЫХ СЛОЕВ ПОЧВЫ  
ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ***Oleksii Siemaka***A COMPREHENSIVE APPROACH CLEANING OF SOIL LAYERS FROM OIL**

*Розглянуто розробку пристрою для транспортування сорбентів (біопрепаратів) на необхідну глибину ґрунту з подальшою очисткою відомими методами і щодо збереження та відновлення природного середовища. Також розроблено технологію оборотної біоремедіації для забрудненого нафтопродуктами ґрунту, в яких є ризик потрапляння забруднювача у горизонт ґрунтових вод.*

**Ключові слова:** екосистема, екологічна безпека, сорбент, пристрій, суміш нафтопродуктів, забруднення довкілля.

*Рис.: 4. Табл.: 1. Бібл.: 11.*

*Рассмотрена разработка устройства для транспортировки сорбентов (биопрепаратов) на необходимую глубину почвы с последующей очисткой известными методами и по сохранению и восстановлению природной среды. Также разработана технология оборотной биоремедиации для загрязненного нефтепродуктами грунта, в которых есть риск попадания загрязнителя в горизонт грунтовых вод.*

**Ключевые слова:** экосистема, экологическая безопасность, сорбент, прибор, смесь нефтепродуктов, загрязнение окружающей среды.

*Рис.: 4. Табл.: 1. Библ.: 11.*

*In the article considered elaboration of a device for transporting sorbents (biologics) to the desired depth of soil followed by cleaning known methods and restoration of the environment. Also considered the technology for bioremediation of soil contaminated by oil products and risk of penetration a pollutant in horizon of groundwater.*

**Key words:** ecosystem, environmental safety, sorbents, device, oil products, pollution.

*Fig.: 4. Tabl.: 1. Bibl.: 11.*

**Постановка проблеми.** На сьогодні значна кількість об'єктів нафтопереробного виробництва, зберігання нафти і нафтопродуктів знаходиться в незадовільному стані. Техногенні аварії, що виникають на об'єктах нафтового комплексу під час розгерметизації ємностей або корозії металу з подальшим потраплянням частини нафтопродуктів у природне середовище, призводять до його забруднення, а також створюють загрозу для здоров'я та майна громадян, народногосподарських об'єктів, погіршують якість вод та ґрунтів.

Відомо [1], що в результаті господарської діяльності об'єкта «Нафтобаза» ВАТ «Чернігівнафтопродукт» на прилеглих територіях виникло малорухливе підземне озеро суміші нафтопродуктів (СН) і забруднило понад встановлені гранично допустимі концентрації (ГДК) землі (ґрунти) на глибинах від 2 до 30 метрів. У 2004 році ДП «Водземпроект» ВАТ «Чернігівводпроект» були визначені і розроблені основні рекомендації щодо запобігання розширенню меж ареалу забруднення і його ліквідації, які зводяться до організації перехвату потоку ґрунтових вод (над якими сформувалася «пляма» СН) системою дрен, що будуть почергово діяти залежно від його положення у вертикальній площині. Оскільки з економічних проблем цей попередній проект не було реалізовано, то залишається актуальним питання вибору оптимального із сучасних позицій нового проекту.

З урахуванням досягнень технологічного прогресу потрібно підвищувати рівень очищення природного середовища (води та ґрунту) до повної ліквідації наслідків техногенних аварій, особливе занепокоєння викликає забруднення підземних водних горизонтів та ґрунтів нафтопродуктами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Огляд літературних джерел свідчить, що значна увага приділяється розвитку існуючих різноманітних методів очищення вод і ґрунтів від нафтопродуктів [2–11]. На рис. 1 представлено класифікацію методів очищення нафтозабруднень у ґрунті.

1. ЛОКАЛІЗАЦІЯ НАФТОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ		
<u>Механічні методи</u> Обвалування забруднень	<u>Фізико-хімічні методи</u> Піно-, плівко-, геле-, структуруючі, сорбенти	
2. ЗБІР НАФТОПРОДУКТУ З ҐРУНТУ		
<u>Механічні методи</u> Збір в рідкому стані спеціальним обладнанням (насоси)	<u>Фізико-хімічні методи</u> Збір у зв'язаному стані сорбуючими матеріалами (сорбційний метод)	
3. ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ НАФТОПРОДУКТУ В ҐРУНТІ ДО ЗАЛИШКОВОГО РІВНЯ		
<u>Захоронення забрудненого ґрунту</u> Термічні методи	<u>Фізико-хімічні методи</u> Хімічний Екстракційний (очисні комплекси) Дренування ґрунту Пневматичне фракціонування	<u>Біологічні методи</u> Інтенсифікація природної біодеградації нафтопродуктів Агротехнічні заходи Біопрепарати (на основі бактерій або ПАР) Гумінові кислоти Фітомеліорація

Рис. 1. Класифікація методів локалізації та ліквідації нафтових забруднень у ґрунті  
Джерело: [2].

Особлива роль у ліквідації нафтозабруднень надається сорбентам (біопрепаратам). Для ліквідації розливів нафти використовують природні та синтетичні сорбційні матеріали, класифікацію яких подано на рис. 2. Перевагами використання сорбентів є їхня ціна, а недоліками – різна поглинальна здатність.

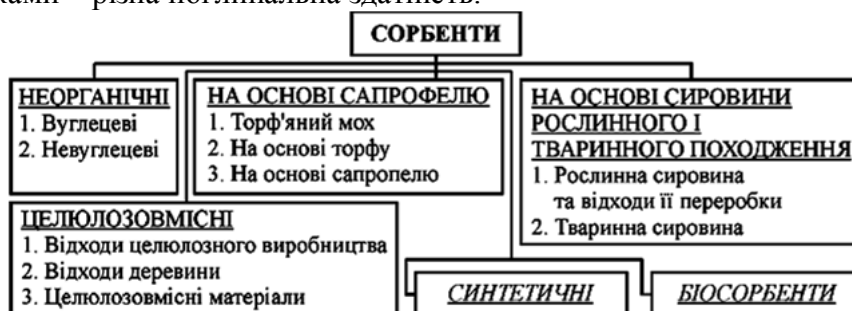


Рис. 2. Схема класифікації сорбентів

Джерело: [2].

Очистка сорбентами зводиться до локалізації аварійно небезпечної ділянки методом розсипання та обвалуванням, після чого виконується збір забруднювача (у рідкому або зв'язаному стані сорбуючими матеріалами) та відправка на подальшу переробку або очищення сучасними комплексами на основі внесення біопрепаратів до повного зниження вмісту забруднення та приведення до норм гранично допустимих концентрацій [3–10].

Відомі пристрої та способи, які застосовуються для знешкодження нафтопродуктів, базуються на окремих елементах або поєднані в один елемент, наприклад, комплексний носій – поєднання різних природних матеріалів, наприклад, торф, сіно, солома і т. ін., та секції капсули із сорбуючим елементом-біопрепаратом для сорбції і деструкції вуглеводнів.

Відомі публікації [3; 4; 8; 9], в яких враховується здатність окремих видів бактерій до знешкодження нафтопродуктів, що ініціює розробку пристроїв та способів очищення забрудненої нафтопродуктами поверхні води або поверхні ґрунту за допомогою торфу, сіна, соломи, природних матеріалів, на яких розташовані бактерії-деструктори. Однак вказані пристрої та способи неможливо використовувати для очищення глибинних шарів ґрунту від нафтозабруднень без рекультивациі або перемішування.

Відомі [5–8] пристрої у вигляді водопроникного корпусу з бактеріями-деструкторами для очищення поверхні води або поверхні ґрунту за допомогою сорбенту для поглинання та знешкодження вуглеводневих рідинних забруднень.

Проведений огляд літературних джерел [2–11] виявляє, що основна увага приділяється очищенню вод та поверхні ґрунту, і недоліком вказаних пристроїв та технологій є неможливість їх використання у товщі забрудненої нафтопродуктами землі. Таким чином, не всі наявні екологічні проблеми, створені забрудненням нафтопродуктами доквілля, охоплено увагою в існуючих літературних джерелах.

**Мета статті.** Метою є розробка технології очищення глибинних шарів ґрунту.

Для реалізації поставленої мети поставлені завдання:

1. Розробити пристрій для транспортування бактерій біодеструкторів на необхідну глибину ґрунту.

2. Розробити технологію оборотної біоремедіації для забрудненого нафтопродуктами ґрунту, де є ризик потрапляння забруднювача у горизонт ґрунтових вод.

**Методи дослідження.** Експериментальні методи використано для визначення концентрації забруднень згідно з загальновідомими методиками.

Аналітичні методи використано для створення пристрою транспортування бактерій-деструкторів та розробки комплексу очищення ґрунтів від нафтопродуктів.

**Виклад основного матеріалу.** У процесі досліджень при створенні пристрою було враховано необхідність транспортування біосорбенту у глибинні шари ґрунту, тому тверда оболонка виконана у вигляді перфорованої труби та має у нижній частині фланець у вигляді бура з ріжучими крайками, які виступають за зовнішню поверхню труби, що дозволяє транспортувати оболонку у глибинні шари ґрунту; від ріжучих крайок вгору розташований гвинтовий шнек, що забезпечує відвід ґрунту при заглибленні; оболонка виготовлена із двох частин перфорованої труби, які з'єднуються затискачами, що дозволяє відкривати оболонку, вивантажувати відпрацьований біопрепарат для транспортування на переробку і багаторазово використовувати оболонку (рис. 3).

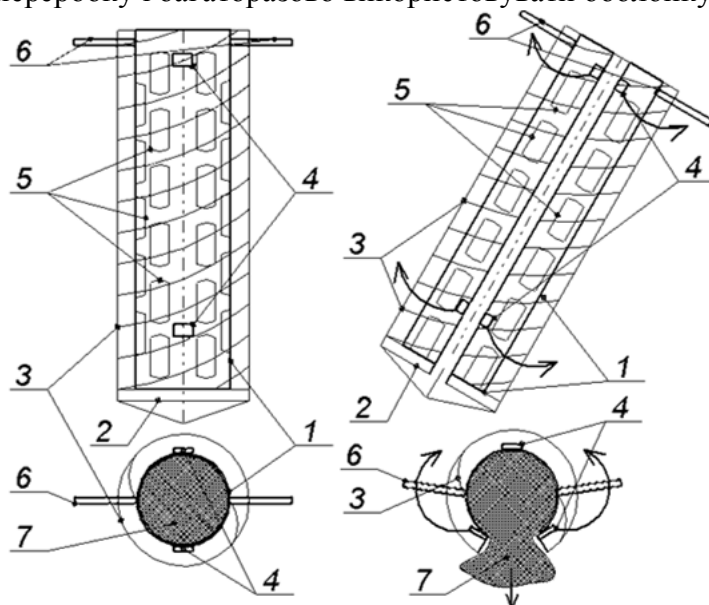


Рис. 3. Пристрій для очищення глибинних шарів ґрунту від нафтопродуктів:

1 – труба (оболонка); 2 – бур з ріжучими крайками; 3 – гвинтовий шнек; 4 – затискачі;

5 – перфорація (отвори у трубі); 6 – рукоятка для обертання; 7 – біопрепарат

Джерело: [10].

Технічна задача пристрою – забезпечення очищення глибинних забруднених нафтопродуктами шарів ґрунту.

Представлений пристрій працює таким чином. Буріння ґрунту здійснюється вручну чи із застосуванням спеціальної техніки. Оптимальними з огляду на експлуатаційні властивості є такі параметри конструкції: довжина  $h=1-2$  м, діаметр оболонки  $d=0,1-$

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

0,3 м. При досягненні пристроєм необхідної глибини, частина забрудненого нафтопродуктами ґрунту піднімається вгору завдяки гвинтовому шнеку та обробляється відомими способами на поверхні. Забруднення з зовнішнього боку оболонки потрапляють до внутрішньої частини оболонки через численні отвори перфорованої труби та знизу, де поглинаються адсорбентом і контактують з бактеріями-деструкторами, які розкладають забруднення. Приклади використання пристрою наведено у таблиці.

Таблиця

*Технічні результати використання пристроїв для очищення від нафтопродуктів глибинних шарів ґрунту*

№ експерименту	Параметри оболонки, м	Об'єм біопрепарату на одну корисну модель, м <sup>3</sup>	Вага Біопрепарату, кг	Кількість вилучених нафтопродуктів, кг	Технічний результат очищення на глибині ґрунту, м
1. Запропонований пристрій	d=0,1 h=1,0	V=0,00785	1,18	4,7÷9,4	1,0
2. Запропонований пристрій	d= 0,2 h=1,5	V=0,04710	7,07	28,3÷56,6	1,5
3. Запропонований пристрій	d=0,3 h=2	V=0,14130	21,20	84,8÷169,6	2
4. Аналог UA№1746	-	залежно від виду біопрепарату			0÷0,2

Після закінчення терміну, необхідного для адсорбції і деструкції (залежно від виду адсорбенту і бактерій), розроблений пристрій виймається з ґрунту, розкривається для вивантаження відпрацьованого адсорбенту і готується для подальшої експлуатації. За необхідності блокування поширення нафтопродуктів у певному напрямку (наприклад, для захисту водних об'єктів), доцільно використовувати групу вказаних пристроїв, розташованих у вигляді подвійного паркану.

Проаналізувавши результати власних спостережень та експериментальних досліджень щодо забруднення ґрунтових вод [1; 11], а також результати дослідження ДП «Водземпроект» ВАТ «Чернігівводпроект», нами була розроблена схема оборотної біоремедіації. Блок-схема представлена на рис. 4.



*Рис. 4. Блок-схема очищення території від СН методом оборотної біоремедіації*

Відповідно до [1; 11] ліквідація ареалу поширення суміші нафтопродуктів над горизонтом ґрунтових вод відбувається через дренажну систему до колодязів, потім у резервуар. Знешкодження ґрунтово-водно-нафтопродуктової суміші потребувало допоміжних заходів щодо знешкодження небезпечних речовин, зокрема вивезення небезпечного забруднення на подальшу очистку.

Оскільки основний шар СН малорухливого підземного озера на території знаходиться на невеликій глибині (до двох метрів), було запропоновано поєднати подачу суміші води та сорбентів-біодеструкторів насосами у ґрунт (існуючі шурфи) після дренажу. Сорбент подається дозами (залежно від регулюючого об'єму резервуару) в перший період та подальше очищення. Насосне обладнання перекачує активну суміш із резервуара до кожного існуючого шурфу за допомогою системи трубопроводів з розприскувачами. Використавши природну гравітацію, просочення та ухил території ґрунтоводно-нафтопродуктова суміш потрапляє до дренажної системи утворюючи оборотну біоремедіацію. Також для пришвидшення процесу біоремедіації та створення напору води у шурфах є необхідність використання забруднених поверхневих водойм в процесі очищення.

Запропонована комплексна технологія ліквідації наслідків розливів нафти (рис. 4) дозволяє візуально побачити механізм якісного очищення забрудненої території від нафтопродуктів, не завдаючи шкоди навколишньому середовищу і не потребуючи допоміжних заходів щодо знешкодження небезпечних речовин.

Зважаючи, що приплив ґрунтових вод до приймального резервуару становить  $20,0 \text{ м}^3/\text{добу}$  з максимально виявленою концентрацією  $\text{СН}=13050 \text{ мг/дм}^3$  [11], а витрата існуючого загальнодоступного препарату становить  $1:4\div 1:8$ , то біопрепарат потрібно поповнювати приблизно по 33 кг щодобово до повного знешкодження забруднення, що є оптимальним вибором зважаючи на масштаби ареалу. Залежно від припливу забруднення, дозування може бути збільшено та зменшено, за умови стабілізації ситуації.

**Висновки і пропозиції.** 1. Розвинуто уявлення щодо оперативного відновлення екосистеми, реабілітації ґрунту і підземних вод від забруднення, пов'язаного з аварійними розливами нафтопродуктів на основі методу оборотної біоремедіації.

2. Вперше запропоновано технологію використання бактерій біодеструкторів у глибинних шарах ґрунту завдяки розробленому пристрою, що забезпечує очищення глибинних шарів ґрунту від вуглеводневої сировини.

3. Запропонована комплексна технологія та виявлена можливість очищення глибинних шарів ґрунту від нафтопродуктів з використанням комплексу споруд, що поєднує систему дренажів, колодязів з бактеріями біодеструкторами (сорбентом) та методом оборотної біоремедіації (подача водно-сорбентного розчину в ареал забруднення).

#### Список використаних джерел

1. *Семака О. М.* До питання дослідження міграції суміші нафтопродуктів після техногенної аварії в м. Чернігів / О. М. Семака // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – 2013. – Вип. 4 (64). – С. 143–149.

2. *Гринчишин Н. М.* Реабілітація ґрунтів, забруднених аварійними виливами нафтопродуктів / Н. М. Гринчишин, О. Ф. Бабаджанова // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – 2012. – Вип. 22.07. – С. 43–49.

3. *Патент* на винахід UA №95859 від 12.09.2011 р. Біопрепарат для сорбції і деструкції вуглеводнів і спосіб очищення води та/або ґрунту від забруднень нафтою та нафтопродуктами / Іваниця Володимир Олексійович (UA); Гудзенко Тетяна Василівна (UA); Беляєва Тамара Олексіївна (UA); Бобрешова Наталія Степанівна (UA); Кожанова Галина Андріївна (UA); Кривицька Тетяна Миколаївна (UA); Конуп Ігор Петрович (UA); Соловійов Валентин Іванович (UA); Філатов Кирило Дмитрович (UA); Баранов Олександр Опанасович (UA), патентовласники Одеський національний університет імені І. І. Мечникова (UA), С02F 3/34 (2006.01), B09C 1/10 (2006.01), заявл. № а201004765 від 21.04.2010 року, Бюл. № 17, 12.09.2011 р.

4. *Патент* на винахід UA №2270 від 15.01.2004 р. Сорбент для усунення вуглеводнів нафти / патентовласники Соловійов Валентин Іванович (UA), МПК С02F 1/40 (2006.01), С02F 3/34 (2006.01), заявл. № а2003054123 від 06.06.2003 року, Бюл. № 1 від 15.01.2004 р.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. *Патент* на винахід UA №1746 від 15.04.2003 р. Секція сорбуючого бона / патентовласники Кожанова Галина Андріївна, Солов'їв Валентин Іванович, 7C02F1/40, C02F3/34, заявл. № a2002086620 від 09.08.2002 року, Бюл. № 4 від 15.04.2003 р.

6. *US. Patent Application Publication*, Pub. No.: US 2012/0048811 A1, Pub. Date: Mar. 1, 2012., «Sub-surface hydrocarbon capture apparatus and method», Inventors Mark D. Shaw, J. Tad Heyman, Int. Cl. C02F1/40, E02B15/04, Appl. No.: 13/199,517, Filed: Sep. 1, 2011.

7. *US. Patent Application Publication*, Pub. No.: WO2010138583 A1, Pub. Date: 02.12.2010, «Method of producing naturally purified salt products», Inventors Matthew L. Bollinger, Nicole M. Durch, Robert Sung Lee, Int. Cl. C01F5/34, Appl. No.: PCT/US2010/036193, Filed: 26.04.2010.

8. *US. Patent Application Publication*, Pub. No.: US 2011/0203996 A1, Pub. Date: Aug. 25, 2011, «Process for the containment of oil spills», Inventors Carlos Felipe Forero Monsalve, Int. Cl. C02F 1/40 (2006,01), C02F 1/28 (2006,01), B01D 53/06 (2006,01), B08B 7/00 (2006,01), Appl. No.: 12/660,185, Filed: Feb. 22, 2010.

9. *US. Patent Application Publication*, Pub. No.: Pub. No.: US 2011/0170953 A1, Pub. Date: Jul. 14, 2011, «Method and system for removing liquid hydrocarbons from contaminated soil», Inventors Charles M. Diamond, Int. Cl. C01F5/34, Appl. No.: 12/975,468, Filed: Dec. 22, 2010.

10. *Патент* на корисну модель №111261 від 10.11.2016 р. Пристрій для очищення глибинних шарів ґрунту від нафтопродуктів / патентовласники О. М. Семака, І. М. Іванова, А. Л. Котельчук, МПК (2016.01), E02B 15/10 (2006.01), B09C 1/00, C02F 101/32 (2006.01), заявл. № u 2016 03474 від 04.04.2016 року, Бюл. № 21 від 10.11.2016 р.

11. *Семака О. М.* Оборотна біоремедіація – комплексна технологія ліквідації наслідків розливів нафти / О. М. Семака // Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи : II Міжнар. наук.-практ. конф. (28-30 травня 2015 р., Львів) / М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка», Упр. магістрал. газопроводів «Львівтрансгаз», Акад. метрології України [та ін.]. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. – С. 171–172.

### References

1. Siemaka, O.M. (2013). Do pytan'nia doslidzhennia mihratsii sumishi naftoproduktiv pislia tekhnolohnoi avarii v m. Chernihiv [Research issue of migration oil after technological disaster in the city of Chernigov]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia – Proceedings of the National University of Water and Environment*, vol. 4 (64), pp. 143–149 (in Ukrainian).

2. Hrynchyshyn, N.M., Babadzhanova, O. F. (2012). Reabilitatsiia gruntiv, zabrudnenykh avariinymy vylyvamy naftoproduktiv [Rehabilitation of soil contaminated with petroleum products after emergency effusions]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy – Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, issue 22.07, pp. 43–49 (in Ukrainian).

3. Ivanytsia, V. O., Hudzenko, T. V., Bieliaieva, T. O., Bobreshova, N. S., Kozhanova, H. A., Kryvytska, T. M., Konup, I. P., Soloviov, V. I., Filatov, K. D., Baranov, O. O. (2011). *Biopreparat dlia sorbtzii i destruktzii vuhlevodniv i sposib ochyshchennia vody ta/abo gruntiv vid zabrudnen naftoiu ta naftoproduktamy [Biological product for sorption and degradation of hydrocarbons and method of cleaning water and / or soil pollution by oil and oil products]*. Patent UA №95859.

4. Soloviov, V. I. (2004). *Sorbent dlia usunennia vuhlevodniv nafty [Sorbent to remove petroleum hydrocarbons]*. Patent UA №2270.

5. Kozhanova, H. A., Soloviov, V. I. (2003). *Sektsiia sorbuiuchoho bona [Volumetric capacity with sorbent]*. Patent UA №1746.

6. Mark, D., Shaw, J., Tad Heyman (2012). *Sub-surface hydrocarbon capture apparatus and method*. Patent US 2012/0048811 A1.

7. Matthew, L., Bollinger, Nicole M. Durch, Robert, Sung Lee (2010). *Method of producing naturally purified salt products*. Patent US WO2010138583 A1.

8. Carlos Felipe Forero Monsalve (2011). *Process for the containment of oil spills*. Patent US 2011/0203996 A1.

9. Charles M. Diamond (2011). *Method and system for removing liquid hydrocarbons from contaminated soil*. Patent US 2011/0170953 A1.

10. Siemaka, O. M., Ivanova, I. M., Kotelchuk, A. L. (2016). *Prystrii dlia ochyshchennia hlybynnykh шарів hruntu vid naftoproduktiv [Device for cleaning of deep soil layers from oil]*. Patent UA №111261.

11. Siemaka, O. M. (2015). *Oborotna bioremediatsiia – kompleksna tekhnolohiia likvidatsii naslidkov rozlyviv nafty [Bioremediation – complex technology of elimination aftermath of oil spills]*. Proceedings from *Upravlinnia yakistiu v osviti ta promyslovosti: dosvid, problemy ta perspektyvy: II mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia – Quality management in education and industry: experience, problems and prospects: II International Scientific Conference* (Lviv, May 28–30, 2015). Lviv: Vyd-vo Lviv. politekhniky, pp. 171-172 (in Ukrainian).

**Семака Олексій Миколайович** – викладач, Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Семака Алексей Николаевич** – преподаватель, Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Oleksii Siemaka** – lecturer, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** oleksiisiemaka@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3211-709X>

**ResearcherID:** H-2859-2014