

**В. О. МАЛАЩЕНКО, О. Р. СТРИЛЕЦЬ, В. М. СТРИЛЕЦЬ**

### **ОБГРУНТУВАННЯ БУДОВИ І ПРИНЦИПУ РОБОТИ ЗУПИННИКА ДЛЯ ЛАНКИ КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ЗУБЧАТОГО ДИФЕРЕНЦІАЛА**

Обґрунтована будова і принцип роботи зупинника ланки керування швидкістю зубчастого диференціала, який складається з шестеренчастого гідронасоса, трубопроводів, регулювального крана, зворотного крана і ємності для рідини. Всі деталі, у вигляді замкнутої гідросистеми, змонтовані на корпусі шестеренчастого гідронасоса, вал якого з'єднаний через циліндричну зубчасту передачу з ланкою керування швидкістю зубчастого диференціала – сонячним зубчастим колесом, або епіциклом, або водилом. При обертанні ланки керування, шестеренчастий гідронасос приводиться в роботу і перекачує рідину по відкритому колу гідросистеми, коли регулювальний кран відкритий. При закритому регулювальному крані шестеренчастий гідронасос зупинений і при цьому зупинена ланка керування швидкістю. Таким чином, за рахунок зміни швидкості ланки керування плавно змінюється швидкість веденої ланки зубчастого диференціала.

**Ключові слова:** зупинник, замкнута гідросистема, зубчастий диференціал, ланка керування швидкістю, сонячне зубчасте колесо, водило, епіцикл, сателіт.

**В. А. МАЛАЩЕНКО, О. Р. СТРИЛЕЦЬ, В. Н. СТРЕЛЕЦЬ**

### **ОБОСНОВАНИЕ СТРОЕНИЯ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ОСТАНОВА ДЛЯ ЗВЕНА УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ЗУБЧАТОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛА**

Обосновано строение и принцип работы останова звена управления скоростью зубчатого дифференциала, который состоит из шестеренчатого гидронасоса, трубопроводов, регулирующего крана, обратного клапана и емкости для жидкости. Все детали, в виде замкнутой гидросистемы, смонтированы на корпусе шестеренчатого гидронасоса, вал которого соединен через цилиндрическую зубчатую передачу с звеном управления скоростью зубчатого дифференциала – солнечным зубчатым колесом, или эпициклом, или водилом. При вращении звена управления, шестеренчатый гидронасос приводится в работу и перекачивает жидкость по открытому колу гидросистемы, когда регулирующий кран открыт. При закрытии регулирующего крана шестеренчатый насос останавливается и при этом останавливается звено управления скоростью. Таким образом, за счет изменения скорости звена управления плавно изменяется скорость ведомого звена зубчатого дифференциала.

**Ключевые слова:** останов, замкнутая гидросистема, зубчатый дифференциал, звено управления скоростью, солнечное зубчатое колесо, водило, эпицикл, сателлит.

**V. O. MALASHCHENKO, O. R. STRILETS, V. M. STRILETS**

### **JUSTIFICATION OF THE STRUCTURE AND PRINCIPLE OF OPERATION OF THE STOPPER FOR THE SPEED CONTROL UNIT OF THE GEAR DIFFERENTIAL**

The structure and principle of operation of the stopper of the speed control unit of the gear differentials, which consists of a gear hydraulic pump, pipelines, a regulating throttle, a reverse crane and a tank for a liquid, is substantiated. All parts, as closed circuit hydrosystem, are mounted on the frame of a gear hydraulic pump, whose shaft is connected through a cylindrical gear with a speed control link of the gear differential – a sun gear, an ring gear, or a carrier. When rotating the control unit, gear hydraulic pump is being driven and pumps fluid through the open hydraulic circle, when the regulating throttle is open. When the regulating throttle is closed, the gear hydraulic pump is stopped, and the speed control unit is stopped. Thus, due to the change in the speed of the control unit, the velocity of the driven link of the gear differential is gradually changing.

**Keywords:** stopper, closed circuit hydrosystem, gear differential, speed control unit, sun gear, carrier, ring gear, satellite.

**Вступ. Постановка проблеми.** В усій техніці у різних галузях промисловості, широко відомі ступінчасті і безступінчасті способи керування змінами швидкості та пристрої для їх реалізації [1]. Відомі способи і пристрої зміни швидкості мають багато недоліків. Основними недоліками ступінчастого керування швидкістю, наприклад, [2–4] є складність конструкцій пристроїв, їх велика матеріаломісткість, великі динамічні навантаження, які виникають при переході з однієї швидкості на другу та важкість автоматизації. Для безступінчастого керування швидкістю, наприклад, [5] характерне велике спрацювання деталей за рахунок використання фрикційних гальм і блокувальних фрикційних муфт. Як наслідок цього, зменшується довговічність і надійність деталей приводів і машин в цілому. Тому виникають задачі створення нових способів і пристроїв керування змінами швидкості, які б усували вказані недоліки. Проблема створення нових пристроїв для зміни швидкості машин, очевидна. Розробка на рівні винаходу вантажоупорного зупинника [6] у вигляді замкнутої гідросистеми і застосування його у зубчастих диференціалах, які в-

яються предметом особливої цікавості вчених світу, наприклад, [7–9], привело до створення нових пристроїв для керування змінами швидкості. Розроблені нові пристрої усувають вказані недоліки.

**Мета роботи.** Обґрунтувати будову і принцип роботи зупинника для ланок керування швидкістю зубчастого диференціала – сонячним зубчастим колесом, або епіциклом, або водилом.

**Виклад основного матеріалу.** На рис. 1 показана гідравлічна схема замкнутої гідросистеми, яка складається з гідронасоса 1, трубопроводів 2, регулювального крана 3, зворотного клапана 4 і ємності з рідиною 5.

Замкнута гідросистема працює наступним чином. При обертанні гідронасос перекачує рідину в замкнутій гідросистемі складеній з трубопроводів, зворотного клапана, ємності для рідини і регулювального крана – коли регулювальний кран відкритий. Якщо регулювальний кран закритий, тоді замкнута гідросистема закрита, тобто гідронасос зупинений і, при цьому, ланка на якій встановлений гідронасос буде зупинена.

Цей принцип роботи замкнутої гідросистеми використаний для керування кутовою швидкістю веденої ланки зубчастого диференціала через зміну швидкості однієї з ланок керування за рахунок пропускної здатності рідини, яка рухається в замкнутій гідросистемі, через регульовальний кран. Тобто кутова швидкість ланки керування  $\omega_k$  змінюється від 0 до  $\omega_{k \max}$ . Дозаповнення гідросистеми рідиною здійснюється із ємності 5 через зворотний клапан 4.

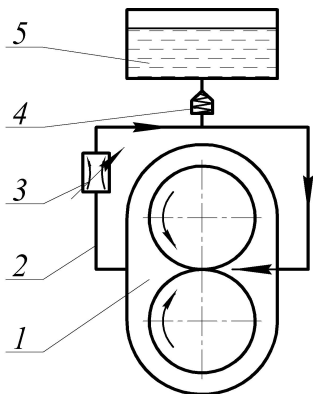


Рис. 1 – Гідравлічна схема зупинника

Розглянемо схеми установки замкнутої гідросистеми на ланках керування швидкістю зубчастого диференціала.

На рис. 2 показана схема зубчастого диференціала, де керування швидкістю виконується через сонячне зубчасте колесо. Зубчастий диференціал складається з сонячного зубчастого колеса 1, сателітів 2, опорного зубчастого колеса – епіцикла 3 і водила 4 розмішених у корпусі 5. На корпусі 5 розміщений зупинник 6 і зв'язаний з сонячним зубчастим колесом 1 зубчастою передачею 7. Гідравлічна схема зупинника 6 показана на рис. 1.

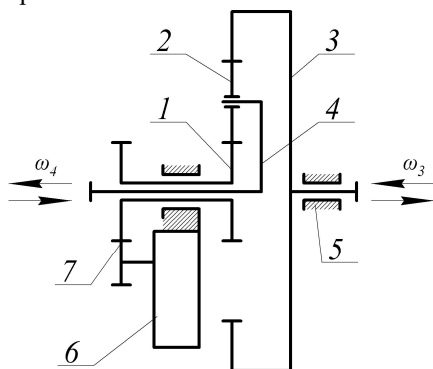


Рис. 2 – Схема зубчастого диференціала з керуванням через сонячне зубчасте колесо

Розглянемо випадок коли ведучою ланкою буде зубчасте колесо – епіцикл, а веденою – водило. Керування зміною веденої ланки – водила здійснюється через сонячне зубчасте колесо. Якщо прийняти кутову швидкість ведучої ланки (епіцикла)  $\omega_3 = \text{const}$ , тоді за рахунок зміни швидкості сонячного зубчастого колеса ( $\omega_1 = \text{var}$ ) за допомогою зупинника можна плавно змінювати швидкість веденої ланки – водила ( $\omega_4$ ). Тобто, маємо те, що сонячне зубчасте колесо через зубчасту передачу 7 приводить у рух гідронасос, який перека-

чує рідину в замкнутій гідросистемі зупинника – коли регульовальний кран відкритий. Якщо регульовальний кран закритий, тоді замкнута гідросистема закрита, тобто шестеренчастий гідронасос зупинений і, при цьому, зупинено сонячне зубчасте колесо ( $\omega_1 = 0$ ). Таким чином, в залежності від пропускної здатності регульовального крана, швидкість сонячного зубчастого колеса  $\omega_1$  змінюється від 0 до  $\omega_{1\max}$  і, при цьому, змінюється швидкість водила 4 ( $\omega_4$ ).

Аналогічно буде виконуватись зміна швидкості в зворотному напрямку, коли ведучою ланкою буде водило, а веденою ланкою буде епіцикл.

На рис. 3, показаний зубчастий диференціал як на рис. 2, тільки зупинник зв'язаний з валом епіцикла 3 зубчастою передачею 7.

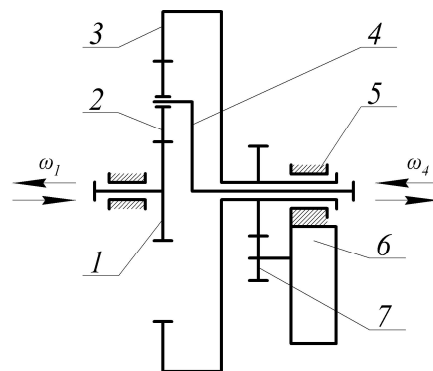


Рис. 3 – Схема зубчастого диференціала з керуванням через епіцикл

Розглянемо випадок коли ведучою ланкою буде сонячне зубчасте колесо, а веденою – водило. Керування зміною веденої ланки – водила здійснюється через епіцикл. Якщо прийняти кутову швидкість ведучої ланки за  $\omega_1 = \text{const}$ , тоді за рахунок зміни швидкості епіцикла ( $\omega_3 = \text{var}$ ) за допомогою зупинника можна плавно змінювати швидкість веденої ланки – водила ( $\omega_4$ ). Маємо те, що епіцикл через зубчасту передачу приводить у рух шестеренчастий гідронасос, який перекачує рідину в замкнутій гідросистемі, або зупинений, як пояснено у першому випадку. Таким чином, в залежності від пропускної здатності регульовального крана, швидкість епіцикла ( $\omega_3$ ) змінюється від 0 до  $\omega_{3\max}$  і, при цьому, змінюється швидкість водила ( $\omega_4$ ). Аналогічно буде виконуватись зміна швидкості в зворотному напрямку, коли ведучою ланкою буде водило, а веденою ланкою буде сонячне зубчасте колесо.

На рис. 4 знову показаний подібний зубчастий диференціал, тільки зупинник зв'язаний з валом водила 4 зубчастою передачею 7. Розглянемо випадок коли ведучою ланкою такого пристрою буде сонячне зубчасте колесо, а веденою – епіцикл. Керування зміною швидкості веденої ланки – епіцикла здійснюється через водило.

Зміна швидкості досягається тим, що водило через зубчасту передачу приводить у рух зупинник подібно, як у перших двох прикладах. В залежності від пропускної здатності регульовального крана зупинника, швидкість водила ( $\omega_4$ ) змінюється від 0 до  $\omega_{4\max}$  і, при цьому, змінюється швидкість епіцикла ( $\omega_3$ ). Поді-

бно буде виконуватись зміна швидкості в зворотному напрямку, коли ведучою ланкою буде епіцикл, а веденою ланкою буде сонячне зубчасте колесо.

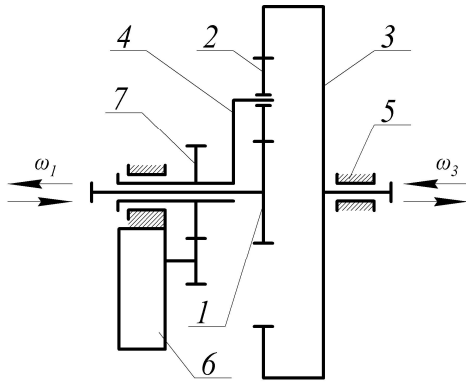


Рис. 4 – Схема зубчастого диференціала з керуванням через водило

Для розрахунку і вибору компонентів зупинника рекомендується визначати обертальний момент прикладений до вала гідронасоса зупинника.

$$T = T_{к1} u_7 \eta_7, \quad (1)$$

де  $T_{к1}$  – обертальний момент на ланці керування швидкістю (сонячному зубчастому колесі, або епіциклі, або водилі);

$u_7$  і  $\eta_7$  – передаточне відношення і коефіцієнт корисної дії зубчастої передачі, яка з'єднує зупинник з ланкою керування швидкістю.

Обертальний момент на ланці керування може бути рівний:

$$T_{к1} = T_1; \quad T_{к3} = T_3; \quad T_{к4} = T_4, \quad (2)$$

де  $T_1$ ,  $T_3$  і  $T_4$  – обертальні моменти, відповідно, на сонячному зубчастому колесі, епіциклі і водилі.

Зв'язок між обертальними моментами ланок наступний

$$T_3 = -T_1 u_{13}^{(4)} \eta_{13}^{\kappa}; \quad T_4 = -T_1 (1 - u_{13}^{(4)}) \eta_{13}^{\kappa}, \quad (3)$$

де  $u_{13}^{(4)}$  і  $\eta_{13}$  – відповідно, передаточне відношення і коефіцієнт корисної дії передачі з зупинним водилом;

$\kappa = \pm 1$  – показник у якому напрямку передається обертальний момент – від сонячного зубчастого колеса до епіцикла (+), якщо навпаки (-).

В якості насоса для замкнутої гідросистеми зупинника рекомендуються шестеренні гідронасоси зовнішнього зачеплення [10], як такі, що відрізняються простотою конструкції, компактністю, надійністю у роботі, довговічністю, нечутливістю до перевантажень, малою вартістю. Вітчизняною промисловістю випускаються шестеренні гідронасоси з прямозубим зовнішнім зачепленням НШ-4, НШ-6, НШ-10, НШ-32, НШ-50, НШ-71, НШ-100, НШ-125, НШ-150, де число у марці означає робочий об'єм у см<sup>3</sup>. Деякі параметри шестеренних насосів (за даними [11],) вибрані та подані у вигляді табл. 1.

Вибір гідронасоса для зупинника, у вигляді замкнутої гідросистеми рекомендується виконувати за

діаметром вихідного вала, який визначається за таким виразом

$$d = \sqrt{\frac{T}{0,2[\tau_k]}}, \quad (4)$$

де  $T$  – обертальний момент, прикладений до вала гідронасоса зупинника;

$[\tau_k] = 15 \dots 30$  МПа – занижені допустимі напруження кручення для матеріалу вала.

Таблиця 1 – Деякі дані для шестеренчастих насосів

Марка насоса	Габаритні розміри ( $l \times b \times h$ ), мм	Діаметр вихідного вала, $d$ , мм	Діаметр напірного отвору, $d_y$ , мм	Піковий тиск, $p_{\max}$ , МПа
НШ-4	133×93×115	16	12	25
НШ-6	138×93×115	16	12	25
НШ-10	93×93×115	16	14	28
НШ-32	126×124×155	25	16	28
НШ-50	149×148×159	30	25	28
НШ-71	198×210×202	32	27	28
НШ-100	180×184×206	34	40	28
НШ-125	189×184×206	34	50	28
НШ-150	218×184×206	34	60	28

В замкнутій гідросистемі розрахунку підлягають трубопроводи, по яких рухається рідина і вони є найбільш вразливими. Внутрішній діаметр трубопроводів вибираємо рівним напірному отвору гідронасоса. Товщина стінок труб  $s$ , як і всі види їх з'єднань розраховуються за максимальним тиском [12]. Небезпечним для труб є розрив по твірній. Тоді товщина стінки дорівнює

$$s = \frac{p_{\max} d_y}{2\phi[\sigma_p]} + c, \quad (5)$$

де  $p_{\max}$  – максимальний тиск рідини в трубах, який може створити гідронасос;

$\phi$  – коефіцієнт послаблення міцності труб зварюванням;

$[\sigma_p]$  – допустимі напруження на розтяг для матеріалу труб;

$c = 1 \dots 2$  мм – збільшення товщини стінки труби з урахуванням спрацювання;

$d_y$  – умовний прохід труби, приймається рівним діаметру отворів гідронасоса.

Піковий максимальний тиск  $p_{\max}$  рідини в трубах, який може створити гідронасос в замкнутій гідросистемі вибираємо із табл. 1 параметрів гідронасосів, або з каталогу [11].

#### Висновки:

1. Описана конструкція та принцип роботи нового зупинника у вигляді замкнутої гідросистеми може бути використана в різних засобах техніки.

2. Запропоновані аналітичні вирази для розрахунків компонентів зупинника у вигляді замкнутої

гідросистеми можуть бути використані під час його проектування та експлуатації.

3. Встановлено, що розглянутий зупинник у вигляді замкнутої гідросистеми доцільно застосовувати в інших схемах зубчастих диференціалів – одно- і багатоступінчастих, так як підвищується довговічність деталей і зменшуються матеріальні експлуатаційні витрати.

#### Список літератури

1. Малащенко В. О., Стрілець О. Р., Стрілець В. М. Класифікація способів і пристроїв керування процесом зміни швидкості у техніці. *Підйомно-транспортна техніка*. Одеса, 2015. № 1. С. 70–78.
2. Бочков В. М., Сілін Р. І., Гаврильченко О. В. *Металорізальні верстати*. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. 268 с.
3. Бизов В. Ф., Франчук В. П. *Гірничі машини*. Кривий Ріг: Мінерал, 2004. 468 с.
4. Хмара Л. А., Кравець С. В., Скоблюк М. П. та ін. *Машини для земляних робіт: підручник / за заг. ред.: Л. А. Хмари, С. В. Кравця*. Дніпропетровськ; Рівне; Харків: ХНАДУ, 2014. 546 с.
5. Харитонов С. А. *Автоматические коробки передач*. М.: Астрель АСТ, 2003. 280 с.
6. Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М. *Пристрій для керування змінами швидкості*. Пат. №108239 UA. МПК F16H1/28(2006.01) / заявник та патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. № 2016 00131; заявл. 04.01.2016; опубл. 11.07.2016, Бюл. №13.
7. Ganesh Babu K., Srihar K. *Design of Machine Elements. 2nd edition*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Education, 2010. 544 p.
8. Кіницький Я. Т. *Теорія механізмів і машин*. К.: Наук. думка, 2002. 660 с.
9. Гаврилов С. А., Ішин Н. Н., Гоман А. М., Скороходов А. С. Вібромоніторинг технічного стану зубчастих коліс планетарних редукторів. *Вісник НТУ "ХПІ" Серія: Проблеми механічного приводу*. Х.: НТУ "ХПІ", 2017. № 25 (1247). С. 25–28.
10. Стрілець О. Огляд і аналіз гідронасосів для замкнутих гідросистем у пристроях для керування змінами. *Матеріали 13-го міжнародного симпозиуму українських інженерів-механіків у Львові*. Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2017. С. 150–151.
11. *Насосы шестеренные. Каталог*. <https://www.hydrasila.com>
12. Дмитриев В. А. *Детали машин*. Л.: Судостроение, 1970. 792 с.

#### Referances (transliterated)

1. Malashchenko V., Strilets O., Strilets V. *Klasyfikatsiya sposobiv i prystroyiv keruvannya protsesom zminy shvydkosti u tekhnitsi* [Classification of methods and devices for speed change process management in engineering] *Pidymno-transportna tekhnika* [Hoisting and transportation machines]. Odesa Publ., 2015, no. 1. pp. 70–78.
2. Bochkov V. M., Silin R. I., Havrylchenko O. V. *Metalorizalni verstaty* [Metal-cutting machine tools]. Lviv, LPNU Publ., 2009, 268 p.
3. Byzov V. F., Franchuk V. P. *Hirnychi mashyny* [Mining machinery]. Kryvyi Rih, Mineral Publ., 2004. 468 p.
4. Khmara L. A., Kravets S. V., Skobliuk M. P. and others. *Mashyny dlya zemljanyh robot: pidruchnyk* [Machines for earthworks: textbook]. Dnipropetrovsk; Rivne; Kharkiv, KhNADU Publ., 2004. 546 p.
5. Kharitonov S. A. *Avtomaticheskiye korobki peredach* [Automatic transmissions]. Moscow, Astrel AST Publ., 2003. 280 p.
6. Strilets O. R., Malashchenko V. O., Strilets V. M. *Prystryi dlya keruvannya zminamy shvydkosti* [Device for managing speed changes]. Patent UA, no. 108239, 2016.
7. Ganesh Babu K., Srihar K. *Design of Machine Elements. 2nd edition*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Education Publ., 2010. 544 p.
8. Kinytsky Y. T. *Teoriya mekhanizmv i mashyn* [Theory of mechanisms and machines]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 2002. 660 p.
9. Havrylov S. A., Ischyn N. N., Homan A. M., Skorokhodov A. S. *Vibromonitorynh tekhnichnoho stanu zubchastykh kolis planetarnykh reduktoriv* [Vibromonitoring of technical condition of gear wheels of planetary gearboxes]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Problemy mekhanichnoho pryvodu* [Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Problems of Mechanical Drive]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2017. No. 25 (1247). pp. 25–28.
10. Strilets O. *Ohlyad i analiz hidronasosiv dlya zamknytykh hidrosystem u prystroyakh dlya keruvannya zminamy shvydkosti* [Review and analysis of hydraulic pumps in speed changes management devices]. *XIII Mizhnarodnyi sympozium ukrayinskykh inzheneriv-mekhanikov u Lvovi: tezy* [13<sup>th</sup> Int. Symp. of Ukrainian Mechanical Engineers in Lviv: Abstracts]. Lviv, KINPATRI LTD Publ., 2017, pp. 150–151.
11. *Pumps gear. Catalog*. <https://www.hydrasila.com>
12. Dmitriev V. A. *Detali mashyn* [Machine Elements]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1970. 792 p.

Надійшла (received) 14.03.2018

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

**Малащенко Володимир Олександрович (Малащенко Владимир Александрович, Malashchenko Volodymyr Oleksandrovych)** – доктор технічних наук (Dr. habil. of Eng. S.), професор, Національний університет "Львівська політехніка", завідувач кафедри технічної механіки і динаміки машин; м. Львів, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7889-7303>; e-mail: [volod.malash@gmail.com](mailto:volod.malash@gmail.com)

**Стрілець Олег Романович (Стрилец Олег Романович, Strilets Oleh Romanovych)** – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), Національний університет водного господарства та природокористування, доцент кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства; м. Рівне, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3834-7176>; e-mail: [o.r.strilets@nuwm.edu.ua](mailto:o.r.strilets@nuwm.edu.ua)

**Стрілець Володимир Миколайович (Стрилец Владимир Николаевич, Strilets Volodymyr Mykolaiovych)** – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), доцент, Національний університет водного господарства та природокористування, професор кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства; м. Рівне, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2098-2315>; e-mail: [v.m.strilets@nuwm.edu.ua](mailto:v.m.strilets@nuwm.edu.ua)