

Выводы. Существенное влияние дополнительного потока на скорость смешанного потока на выходе из разгонной трубки начинается со значений давлений основного потока 0,4 МПа и дополнительного 0,15 МПа. Наибольшее влияние дополнительный поток оказывает на увеличение скорости на выходе при $p_1 = 0,5$ МПа; $p_v = 0,21$ МПа.

Данная конструкция в заданных диапазонах значений давлений позволяет достичь максимальных скоростей смешанного потока на выходе из разгонной трубки в пределах от 180 м/с до 220 м/с.

Список литературы

1. Александров В.Ю., Климовский К. К. Оптимальные эжекторы (теория и расчет). – М.: Машиностроение, 2012. – 136 с.
2. Шевелёва А.М. Методы повышения качества готового продукта при струйном измельчении / Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 69 (110). – С. 86-94.
3. Панченко В.И., Бикбулатов Р.Р. Применение метода осреднения параметров неравномерного потока для расчета газового эжектора с цилиндрической камерой смешения / Изв. вузов. Авиационная техника, 2011. – №4. – С. 29-32.

© Шевелёва А.М., Игнатъев А.Д., 2019

*Надійшла до редколегії 29.06 2019 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*

УДК 622.7

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.21339.92962>

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук
(Україна, Харків, Харківський НТУ «Харківський політехнічний інститут»),
Ю.С. МІЩУК, Є.А. САПРИКІНА
(ТОВ «Науково-технічне підприємство «Бурова техніка»)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕМІШУВАЧА "ТУРБОТРОН" ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА SOLIDWORKS

Постановка проблеми і стан її вирішення. У ряді робіт, як на емпіричному так і на теоретичному рівні, в тому числі на основі моделювання, досліджується ефективний дво- або триімперний перемішувач «Турботрон» первинно застосований в кінці ХХ ст. в німецькому варіанті технології масляної агломерації вугілля «Oliflok» [1-4]. Надалі цей перемішувач використаний в українській технології масляної агломерації вугільних шлаків [5, 6]. В останні роки пропонується використовувати «Турботрон», зокрема, в системі регенерації бурових розчинів. Проведено його первинне моделювання за допомогою комп'ютерної системи Flow Simulation програмного середовища SolidWorks [8, 9] і отримано параметричні поля швидкостей для окремих різновидів імперів. Запропоновано і запатентовано вдосконалення конструкції перемішувача "Турботрон" –

його оснащено додатковими обертовими пластинами [7].

Продовження початих досліджень може бути результативним в напрямку підбору раціональних конструкцій імпелерів і відстані між ними на основі аналізу одержуваних параметричних полів швидкостей та турбулентності потоків пульпи.

Мета статті – продовження дослідження перемішувача "Турботрон" із застосуванням модуля Flow Simulation програмного середовища SolidWorks для вибору його раціональної конструкції.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

- побудувати 3D модель мішалки «Турботрон» у зборі та 3D моделі імпелерів різної конструкції;
- в ресурсі Flow Simulation програмного середовища SolidWorks одержати моделі параметричних полів швидкості і завихреностей потоків пульпи в мішалці при застосуванні різних конструкцій імпелерів.

Виклад основного матеріалу

В системі КОМПАС-3D (інтерактивний графічний редактор) створено 3D-модель мішалки «Турботрон» у зборі і окремо робочих органів – імпелерів. Цю модель кооптовано у систему SolidWorks для одержання параметричних полів пульпи у робочій мішалці. Задано розрахункову область у вигляді прямокутного паралелепіпеда (рис. 1).

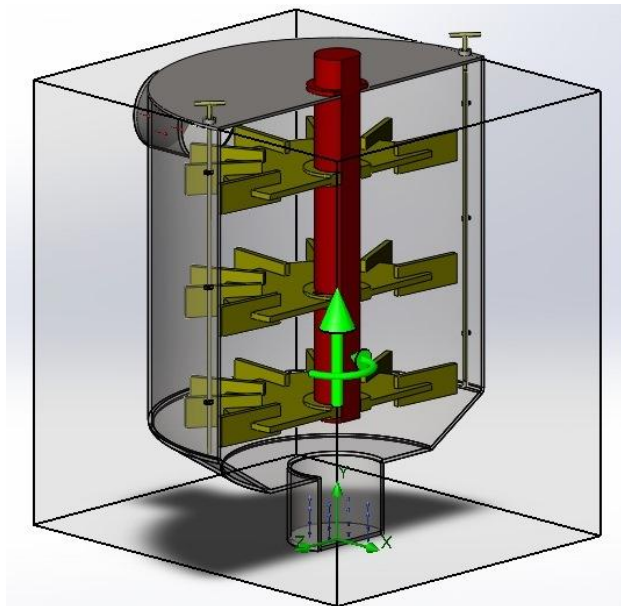


Рис. 1. 3D-модель розрахункової області для задання вихідних даних при моделюванні лопатевої мішалки типу "Турботрон" Flow Simulation

На рис. 2 подано 3D-моделі застосованих в досліді імпелерів.

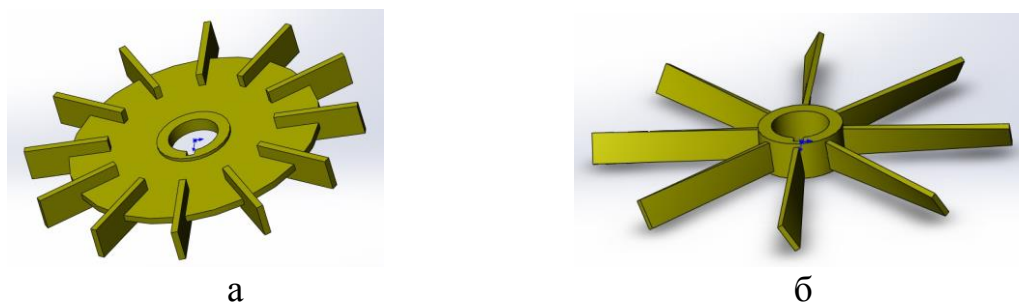


Рис. 2. 3D-моделі імпелерів:
а – однорядні вертикальні лопаті; б – лопаті пропелерного типу;

Вихідними фізичними характеристиками вибрано типи потоку – ламінарний і турбулентний, адіабатний процес. Задане значення кутової швидкості – 150 хв^{-1} . Через вхідний патрубок здійснюється подача пульпи (наприклад, бурового розчину, водо-вугільної суспензії тощо) густиною 1250 кг/м^3 зі швидкістю 10 л/с . Для вихідного патрубка термодинамічним параметром вказуємо статичний тиск 101325 Па (1 атм).

Розраховано поле швидкостей і завихреностей² у робочій зоні лопатевої мішалки типу "Турботрон" для декількох варіантів конструкції "Турботрона". Проаналізуємо одержані результати моделювання.

1. Імпелер з однорядними вертикальними лопатями

Результати моделювання представлені на рис. 2 і 3 та в табл. 1.

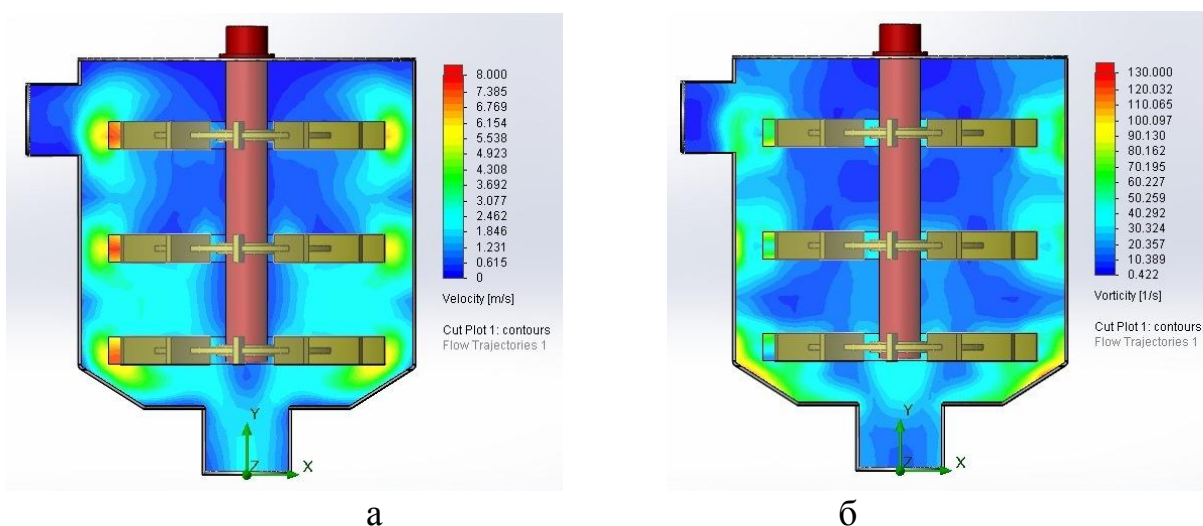


Рис. 2. Моделі поля швидкостей V , м/с (а) і поля завихреностей ω , 1/с пульпи у мішалці

² Завихреність – властивість руху рідини або газу, при якому в середовищі існують «вихори» – обертові елементи об'єму. Кількісною мірою завихреності служить ротор швидкості $\omega = \text{rot } V$

«Турботрон» з однорядними вертикальними лопатями

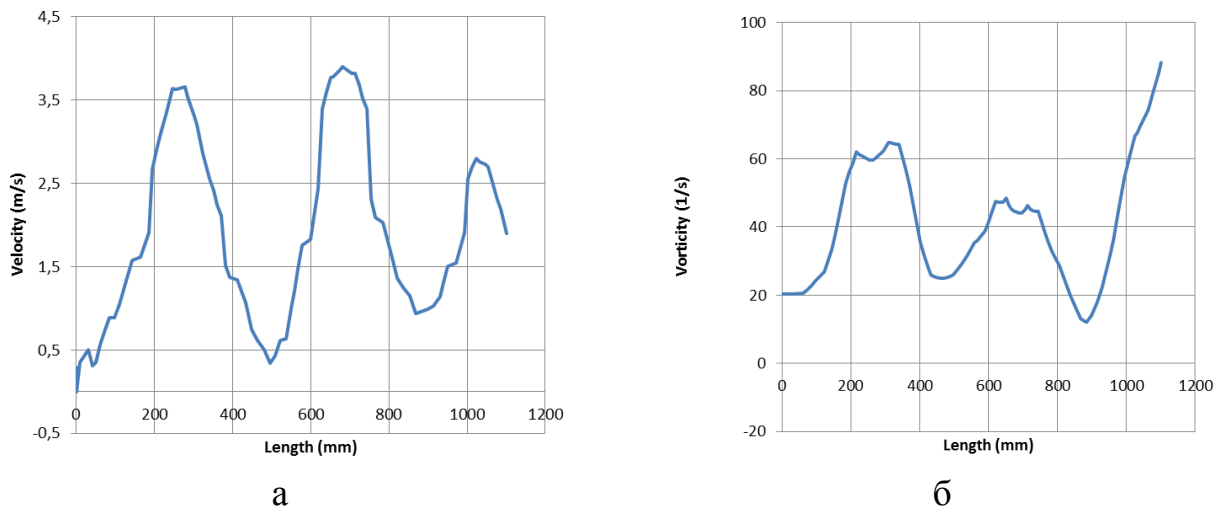


Рис. 3. Криві зміни швидкостей V , м/с (а) і завихреностей ω , 1/с (б) пульпи у мішалці «Турботрон» з однорядними вертикальними лопатями по її висоті

Таблиця 1

Максимуми і мінімуми швидкості і завихреності пульпи у мішалці «Турботрон» при імпелері з однорядними вертикальними лопатями

Назва	Мінімум	Максимум
Швидкість (Velocity) [m/s]	0	9,032
Завихреність (Vorticity) [1/s]	0,422	192,677

Слід зауважити, що розрахована для характеристик твердої фази бурового розчину критична швидкість, при якій втрачається його седиментаційна стійкість і зерна твердої фази починають осідати на дно резервуара складає $1,57 \cdot 10^{-3}$ м/с. Ця швидкість є важливим критеріальним параметром мішалок, так як саме вона детермінує утворення зон можливого зашламування [10, 11]:

$$V_c = \frac{2r^2}{9\delta} (\rho - \rho_0) g. \tag{1}$$

$$V_c = \frac{2 \cdot (40 \cdot 10^{-6})^2}{9 \cdot 30 \cdot 10^{-4}} (2600 - 1250) \cdot 9,8 = 1,568 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Аналіз варіанту «Імпелер з однорядними вертикальними лопатями» показує, що швидкість турбулентних потоків пульпи у зоні можливого осідання твердої фази (внизу резервуара мішалки – глибина 800-1200 мм) складає 1-2,25 м/с, що суттєво перевищує критичну за умовами седиментації. Завихреності потоків пульпи в цій зоні – поблизу стінки днища резервуара – складають 12-80 1/с. Тому осідання твердої фази за зазначених умов: конструкції імпелера, характеристик пульпи та режимних параметрів перемішування практично не може відбуватися.

Підготовчі процеси збагачення

Характерні піки значень швидкості пульпи і її завихреності спостерігаються в проміжку «імпелер – стінка резервуара».

2. Імпелер з лопатями пропелерного типу

Результати моделювання представлені на рис. 4 і 5 та в табл. 2.

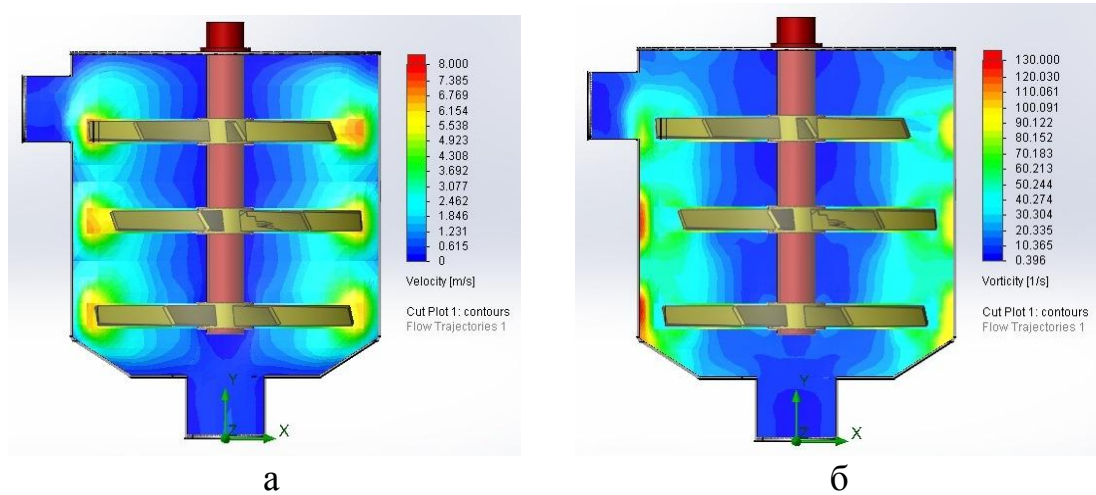


Рис. 4. Моделі поля швидкостей V , м/с (а) і поля завихреностей ω , 1/с пульпи у мішалці «Турботрон» з лопатями пропелерного типу

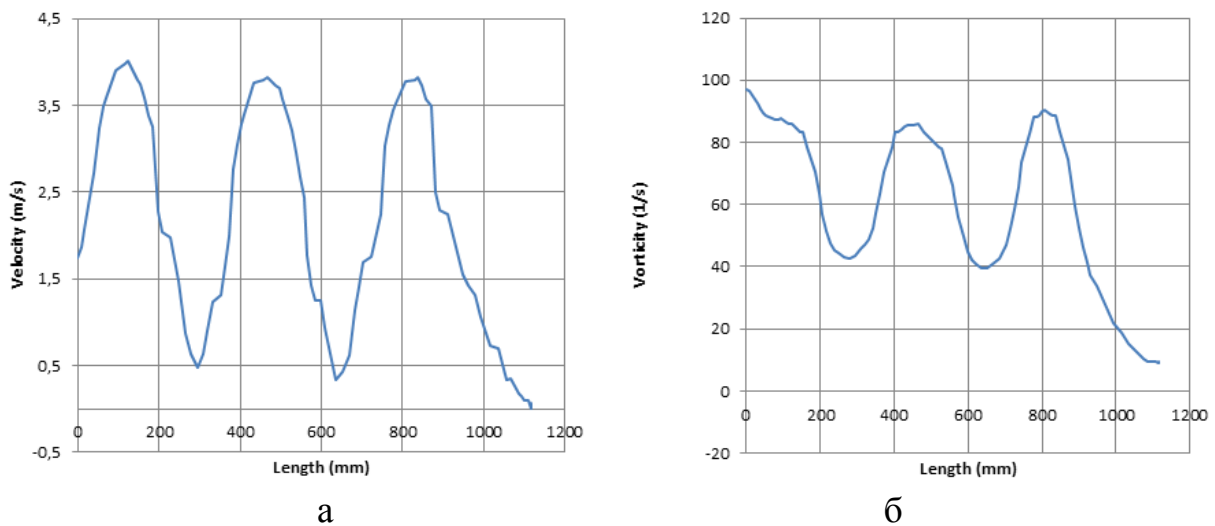


Рис. 5. Криві зміни швидкостей V , м/с (а) і завихреностей ω , 1/с (б) пульпи у мішалці «Турботрон» з лопатями пропелерного типу

Таблиця 2

Максимуми і мінімуми швидкості і завихреності пульпи у мішалці «Турботрон» при імпелері з лопатями пропелерного типу

Назва	Мінімум	Максимум
Швидкість (Velocity) [m/s]	0	8,492
Завихреність (Vorticity) [1/s]	0,396	488,543

Аналіз варіанту «Імпелер з лопатями пропелерного типу» показує, що швидкість турбулентних потоків пульпи у зоні можливого осідання твердої фази – внизу резервуара мішалки – глибина 800-1000 мм складає 1-3,8 м/с, що суттєво перевищує критичну за умовами седиментації. Завихреності потоків пульпи в цій зоні – 88-20 1/с. Разом з тим зона 1000-1200 мм для мішалки «Турботрон» з однорядними вертикальними лопатями і з лопатями пропелерного типу сильно відрізняються. Швидкість пульпи в цій зоні знижується до «0», а завихреність зменшується до 10 1/с (порожнина нижнього патрубку резервуара). Тому осідання твердої фази за зазначених умов можливе саме в області нижнього патрубку, розштибовувати який важко.

Характерні піки значень швидкості пульпи і її завихреності, як і у випадку з однорядними вертикальними лопатями, спостерігаються в проміжку «імпелер – стінка резервуара».

Зауважимо, що максимуми і мінімуми швидкості і завихреності пульпи у мішалці «Турботрон» показані в табл. 1 і 2 відповідають так званим «червоним» (екстремальним) точкам, які виділені червоним кольором (згідно шкали значень) на рис. 2 і 4 параметричних полів і не показані на усереднених кривих параметрів швидкості та завихреності рис. 3 і 5.

З одержаними даними кореспондується модель швидкості і траєкторій руху зерен твердої фази (рис. 6).

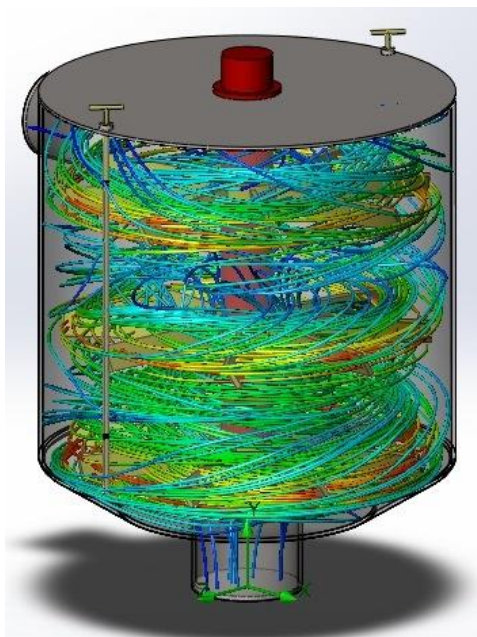


Рис. 6. Моделі швидкості і траєкторій руху зерен твердої фази одержані системою Flow Simulation (шкала швидкостей відповідає рис. 2)

Густота ліній (траєкторій руху) зерен твердої фази на моделі рис. 6 збільшується по місцю розташування імпелерів, що логічно і корелює з параметричними картинками рис. 2 і 4. Колір траєкторій також кореспондується з параметричних полів швидкості пульпи.

Висновки

1. Виконано моделювання перемішувача "Турботрон" з використанням модуля Flow Simulation програмного середовища SolidWorks і одержано моделі параметричних полів швидкості і завихреностей потоків пульпи в мішалці при застосуванні різних конструкцій імпелерів.

2. Аналіз одержаних результатів показує суттєві переваги імпелера з однорядними вертикальними лопатями, який у всьому робочому прості мішалки забезпечує суттєве перевищення швидкості пульпи критичних значень за умовами седиментації. Завихреність потоків пульпи теж висока по всьому робочому простору резервуара мішалки при застосуванні імпелера такої конструкції. Таким чином, осідання твердої фази за зазначених умов: конструкції імпелера з однорядними вертикальними лопатями, характеристик пульпи та режимних параметрів перемішування практично не може відбуватися.

3. На основі результатів виконаних досліджень для використання у мішалці типу «Турботрон» рекомендується імпелер з однорядними вертикальними лопатями. Імпелери з лопатями пропелерного типу можна використовувати обмежено – наприклад, у випадку постійної подачі вихідної пульпи через нижній патрубок, висота якого повинна бути мінімізована.

Список літератури

1. Bogenschneider В. Die betriebliche Erprobung des Oliflok-verfahrens bei der Ruhrkohle A.G. / В. Bogenschneider, W. Erdman // Aufbereitungs – Technik. – 1981. – № 4. – S. 188-198.

2. Экспериментальная установка для исследования процессов углемаляной агломерации / А.Т. Елишевич, В.С. Белецкий, Т.В. Карлина // Экспериментальные стенды и установки для отработки параметров гидротранспорта твердых материалов : сб. науч. тр. / М-во стр-ва предприятий нефтяной и газовой пром.-сти, Науч.-произв. об-ние "Гидротрубопровод". – М., 1989. – С. 116-120

3. В. Білецький, П. Сергеев, Ю. Папушин. Теорія і практика селективної масляної агрегації вугілля. – Донецьк, 1996. – 264 с.

4. Білецький В.С., Міщук Ю.С. Застосування модуля Flow Simulation програмного середовища SolidWorks для дослідження і проектування гідро– та аеромеханічних пристроїв // Збагачення корисних копалин // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2017. – Вип. 65(106). – С. 86-94.

5. Разработка и внедрение технологии обогащения высокозольных угольных шламов методом масляной селекции / А.Т. Елишевич, П.В. Сергеев, В.С. Белецкий. – Тезисы научно-технической конференции Донецкого политехнического института. – Донецк. – 1991. – С.74.

6. Сергеев П. В. Полігонні і промислові випробовування технології селективної флокуляції вугільних шламів / П. В. Сергеев, В. С. Білецький // Збагачення корисних копалин. – 2009. – Вип. 35 (76). – С.124–131.

7. Патент на корисну модель №109125 Україна, МПК В01F7/18. Лопатева мішалка / Білецький В.С. (UA), Міщук Ю.С. (UA), Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка (UA). № u 2016 01985; заявл. 29.02.2016; опубл. 10.08.2016, Бюл. №15.

8. Darin Grosser. The Future of SolidWorks Has 'Always' Been. 2011. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://blog.dasisolutions.com/2011/09/27/the-future-of-solidworks-has-always-been-in-your-hands/>

9. SOLIDWORKS Flow Simulation. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.solidworks.com/sw/products/simulation/flow-simulation.htm>

10. Ходаков Г.С., Юдкин Ю.П., Седиментационный анализ высокодисперсных систем, М., 1981. – 192 с.

11. В.С. Білецький, Ю.С. Мішук, О.О. Жиленков Дослідження і модернізація мішалок для пульп із застосуванням програмного середовища SolidWorks // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2017. – Вип. 68(109). – С. 12-22.

© Білецький В.С., Мішук Ю.С., Саприкіна Є.В., 2019

*Надійшла до редколегії 26.07 2019 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Л.Ж. Горобець*