

УДК 621.187.121

Гарашенко В.І. к.т.н.  
Лук'янчук О.П. к.т.н.  
Скрипник І.Г. к.х.н.  
Гарашенко О.В.

## ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЛАСТИНЧАСТОЇ ПЕРФОРОВАНОЇ НАСАДКИ МАГНІТНИХ ФІЛЬТРІВ НА ВЕЛИЧИНУ ЇЇ ЩІЛЬНОСТІ

Національний університет водного господарства та природокористування

*Виконаний розрахунок щільності пластинчастої перфорованої насадки з використанням її геометричних параметрів. Проведені дослідження з визначення коефіцієнта осадження феродомішок при магнітному очищенні водно-дисперсної суспензії магнетиту.*

**Ключові слова:** феромагнітна насадка, магнітне очищення, осадження в магнітному полі, полі градієнтні фільтруючі матеріали.

### Вступ

Нові технології, що використовуються сьогодні для підвищення якості рідких середовищ, передбачають, перш за все, покращення одного з основних показників – ступеня їх чистоти. Це досягається за рахунок ефективного очищення рідких середовищ від забруднюючих домішок, на різних стадіях технологічних процесів. Внаслідок неперервної корозії, а також зносу елементів технологічного обладнання рідкі середовища забруднюються різного роду домішками, які в більшості випадків є залізомісткими [1,2,3,10]. В деяких технологічних процесах наявність цих домішок має вирішальний вплив на якість та сортність продукції, зменшуючи надійність та довговічність обладнання. Наприклад, наявність залізомістких домішок в рідкому аміаку всього 1-3 мг/л призводить до „отруєння” дорогіших платинових каталізаторів, які використовуються в апаратах виробництва азотної кислоти, а це призводить до зменшення ступені конверсії, перевитрат аміаку, зменшення виробництва кислоти. Залізомісткі домішки в конденсатах і живильних водах котельних агрегатів теплових і атомних електростанцій при концентрації 50-200мкг/л утворюють на парогенеруючих поверхнях „залізисті” відкладення, які збільшують термічний і гідравлічний опори, погіршують теплопередачу, призводять до перевитрати палива і теплової енергії, а в окремих випадках до розриву труб [2].

Встановлено, що залізомісткі домішки мають феромагнітні властивості [1,2]. Це є умовою використання магнітних фільтрів для ефективного очищення рідких середовищ від цих домішок. При здійсненні процесу магнітного очищення значна роль належить феромагнітним фільтраційним насадкам, через які проходять рідкі середовища. В порах намагнічених насадок створюються зони високо градієнтного магнітного поля, в яких відбувається процес осадження феромагнітних домішок [1,2].

### Аналіз останніх досліджень

Відомо використання феромагнітних фільтруючих насадок у вигляді феромагнітних кульок, дробу, сіток, гранул стружки, гранул фериту, стрижнів з не рифленою і рифленою поверхнею [2]. Вказані насадки використовуються для магнітного очищення з врахуванням їх особливих магнітних і фільтраційних властивостей. Наприклад, дріб з нержавіючої феромагнітної сталі [1,10] використовують для тонкого магнітного очищення конденсатів теплових і атомних електростанцій і середовищ хімічної технології.

### Мета роботи

Розробка, розрахунок і дослідження пластинчастої перфорованої насадки магнітних фільтр-осаджувачів для очищення рідких середовищ від феромагнітних домішок.

### Виклад основного матеріалу

Запропонована нова фільтраційна феромагнітна насадка з перфорованих пластин [4-9]. Кожна пластина такої насадки виготовлена з отворами, які утворені методом штампування з використанням матриці (рис.1). При розриванні металу (рис.1) навколо отвору утворюються трикутноподібні грані. В залежності від форми елемента штапу (трих-, чотирьох-, п'яти-,

шестигранної форми) відповідно утворюється така ж кількість трикутноподібних граней (рис.2).

Важливим параметром, що характеризує магніто-фільтраційні властивості насадки, є щільність пакування  $\Pi$ , в даному випадку перфорованих пластин. Величина  $\Pi$  залежить від діаметра описаного кола  $d$ , товщини пластин  $h$ , кутів  $\alpha$  та  $\gamma$  (рис.3,4). З геометрії малюнка (рис.3,4) видно, що при куті  $\gamma$  рівному  $\pi/2$ , щільність пакування насадки  $\Pi$  буде мати мінімальне значення.

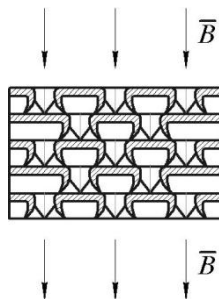


Рис.1. Схема пластинчастої перфорованої насадки.

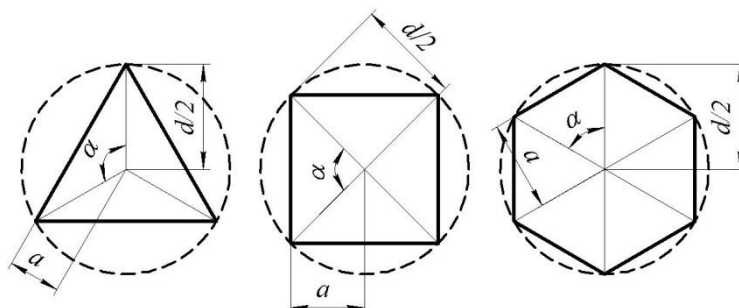


Рис.2. Схема утворення трикутноподібних граней у перфорованих пластинах.

При куті  $\gamma$  всього декілька градусів, величина  $\Pi$  набуває максимального значення. При накладанні пластин одна на одну (рис.1,4) та розміщенні їх в зовнішньому магнітному полі  $\bar{B}$ , в точках контакту А, В, С (рис.4) утворюються зони високоградієнтного магнітного поля, в яких осаджуються феромагнітні домішки рідких середовищ, що очищуються.

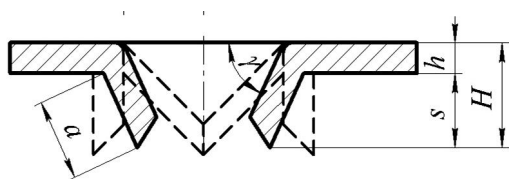


Рис.3. Елемент пластинчастої перфорованої насадки при різних кутах нахилу  $\gamma$

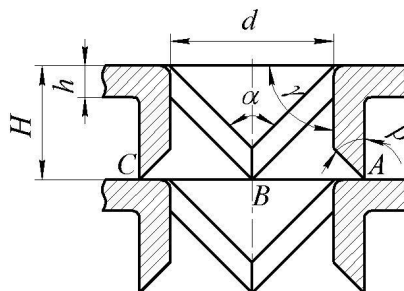


Рис.4. Зони А, В, С з високою неоднорідністю магнітного поля

Неоднорідність магнітного поля, а відповідно, і силовий фактор поля  $H_{grad}H$  визначається, окрім величин  $h$ ,  $d$ , кутів  $\alpha$  та  $\gamma$ , також величиною кута  $\beta$  (рис.4). Розрахунки показують, що величину кута  $\beta$  необхідно встановлювати  $\sim \pi/4$ . Використовуючи геометрію малюнків пластин (рис.2,3,4), знаходимо величину щільності  $\Pi$ :

$$\Pi = \frac{h}{h + \frac{d}{2} \cdot \cos \frac{\pi}{n} \cdot \sin \gamma} \tag{1}$$

$h$  – товщина пластини;  $d$  – діаметр описаного кола;  $r=d/2$  – радіус описаного кола;  $n$  – кількість трикутноподібних граней отвору;  $2\pi/n = \alpha$ ;  $\alpha$  – кут контакту,  $\gamma$  – кут нахилу граней. Пористість насадки  $\Pi = 1 - \Pi$ . Використовуючи (1) отримаємо:

$$\Pi = \frac{r \cdot \cos \frac{\pi}{n} \cdot \sin \gamma}{h + r \cdot \cos \frac{\pi}{n} \cdot \sin \gamma} \tag{2}$$

Кут нахилу  $\gamma$  з (1) визначимо як: 
$$\gamma = \arcsin \left[ \frac{h}{r \cdot \cos \frac{\pi}{n}} \left( \frac{1}{\Pi} - 1 \right) \right] \tag{3}$$

Залежність щільності  $\Pi$  пластинчастої перфорованої насадки від товщини  $h$  при різних значеннях  $n$  і  $d$  суттєво зростає при зміні  $h$  від 0 до 2 мм (рис.5). Так для  $n = 3$  ( $\alpha=120^\circ$ ),  $d=2$  мм при зміні  $h$  від 0 до 2 мм, щільність зростає до 0,8; при зміні  $h$  від 2 до 4 мм, величина  $\Pi$  зростає від 0,8 до 0,91; при зміні  $h$  від 4 до 6 мм, величина  $\Pi$  зростає від 0,91 до 0,93.

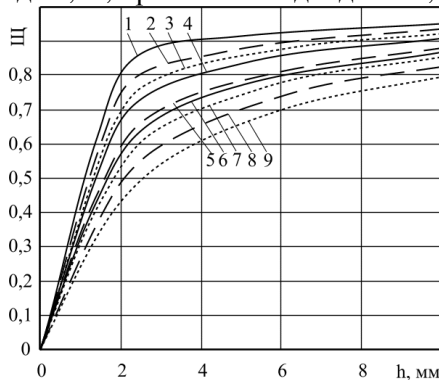


Рис. 5. Залежність щільності ( $\Pi$ ) феромагнітної пластинчастої перфорованої насадки від товщини ( $h$ ) пластин, при різних значеннях кількостей ( $n$ ) граней отвору і діаметра ( $d$ ) описаного кола:  
1 –  $n=3$  ( $\alpha=120^\circ$ ),  $d=2$  мм; 2 –  $n=4$  ( $\alpha=90^\circ$ ),  $d=2$  мм;  
3 –  $n=6$  ( $\alpha=60^\circ$ ),  $d=2$  мм; 4 –  $n=3$  ( $\alpha=120^\circ$ ),  $d=4$  мм;  
5 –  $n=4$  ( $\alpha=90^\circ$ ),  $d=4$  мм; 6 –  $n=3$  ( $\alpha=120^\circ$ ),  $d=6$  мм;  
7 –  $n=6$  ( $\alpha=60^\circ$ ),  $d=4$  мм; 8 –  $n=4$  ( $\alpha=90^\circ$ ),  $d=6$  мм;  
9 –  $n=6$  ( $\alpha=60^\circ$ ),  $d=6$  мм.

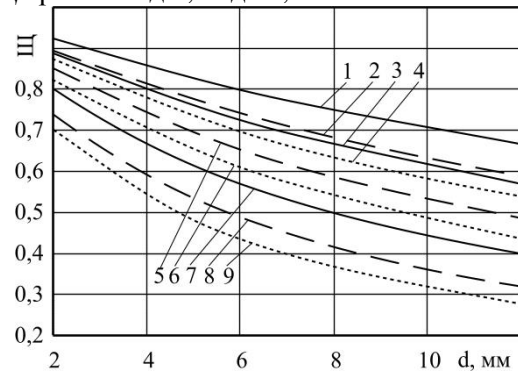


Рис. 6. Залежність щільності ( $\Pi$ ) феромагнітної пластинчастої перфорованої насадки від діаметра ( $d$ ) описаного кола, при різних значеннях товщини ( $h$ ) пластин і кількостей ( $n$ ) граней отвору:  
1 –  $n=3$  ( $\alpha=120^\circ$ ),  $h=6$  мм; 2 –  $n=4$  ( $\alpha=90^\circ$ ),  $h=6$  мм;  
3 –  $n=3$  ( $\alpha=120^\circ$ ),  $h=4$  мм; 4 –  $n=6$  ( $\alpha=60^\circ$ ),  $h=6$  мм;  
5 –  $n=4$  ( $\alpha=90^\circ$ ),  $h=4$  мм; 6 –  $n=6$  ( $\alpha=60^\circ$ ),  $h=4$  мм;  
7 –  $n=3$  ( $\alpha=120^\circ$ ),  $h=2$  мм; 8 –  $n=4$  ( $\alpha=90^\circ$ ),  $h=2$  мм;  
9 –  $n=6$  ( $\alpha=60^\circ$ ),  $h=2$  мм.

Особливістю пластинчастої перфорованої насадки є те, що технологія виготовлення такої насадки дозволяє встановлювати щільність  $\Pi$  пакування пластин від мінімального значення до 0,95-0,98. В той же час, при очищенні сильноконцентрованих водних суспензій, забруднених домішками з яскраво вираженими феромагнітними властивостями, необхідно використовувати феромагнітну фільтраційну насадку з невисоким значенням щільності пакування, наприклад, 0,1-0,3.

Користуючись графіками (рис.6,7), в залежності від виду рідкого середовища, що очищується, розраховується величина щільності  $\Pi$  при певних значеннях  $h$  і  $d$ .

Змінюючи величини  $h$ ,  $d$ ,  $n$ ,  $\alpha$  та  $\gamma$ , можна виготовити пластинчасту перфоровану насадку з необхідною щільністю  $\Pi$ , прогнозованою величиною середньої індукції магнітного поля  $B$  в об'ємі насадки та необхідною густиною точок контакту трикутноподібних граней з поверхнею суміжних пластин, а це визначає густину зон високоградієнтного магнітного поля  $N_{grad}H$  і, відповідно, ефективність процесу магнітного очищення рідких середовищ.

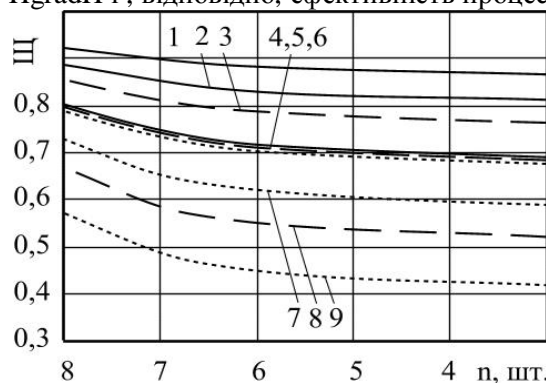


Рис.7. Залежність щільності ( $\Pi$ ) феромагнітної пластинчастої перфорованої насадки від кількості граней отвору, при різних значеннях товщини ( $h$ ) пластин і діаметра ( $d$ ) описаного кола:  
1 –  $h=6$  мм,  $d=2$  мм; 2 –  $h=4$  мм,  $d=2$  мм;  
3 –  $h=6$  мм,  $d=4$  мм; 4 –  $h=2$  мм,  $d=2$  мм;  
5 –  $h=4$  мм,  $d=4$  мм; 6 –  $h=6$  мм,  $d=6$  мм;  
7 –  $h=4$  мм,  $d=6$  мм; 8 –  $h=2$  мм,  $d=4$  мм;  
9 –  $h=2$  мм,  $d=6$  мм.

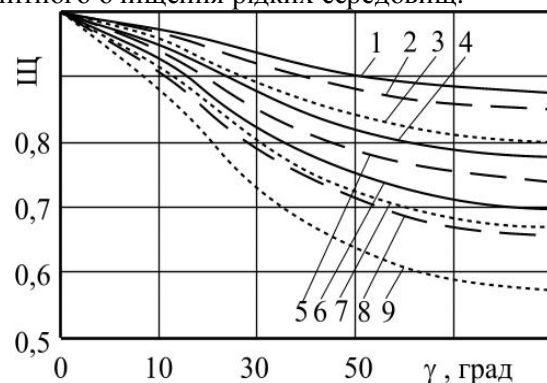


Рис. 8. Залежність щільності ( $\Pi$ ) феромагнітної пластинчастої перфорованої насадки від кута ( $\gamma$ ), при різних значеннях товщини ( $h$ ) пластин і діаметра ( $d$ ) описаного кола:  
1 –  $n=6$ ,  $h=6$  мм,  $d=2$  мм; 2 –  $n=4$ ,  $h=4$  мм,  $d=2$  мм;  
3 –  $n=3$ ,  $h=2$  мм,  $d=2$  мм; 4 –  $n=6$ ,  $h=6$  мм,  $d=4$  мм;  
5 –  $n=4$ ,  $h=4$  мм,  $d=4$  мм; 6 –  $n=6$ ,  $h=6$  мм,  $d=6$  мм;  
7 –  $n=3$ ,  $h=3$  мм,  $d=4$  мм; 8 –  $n=4$ ,  $h=4$  мм,  $d=6$  мм;  
9 –  $n=3$ ,  $h=2$  мм,  $d=6$  мм.

Зміну величини середньої індукції  $\bar{B}$  в об'ємі пластинчастої перфорованої насадки при фіксованих значеннях  $h, d, n, \alpha$  можна здійснювати змінюючи кут  $\gamma$  (рис.8), відповідно, буде змінюватись і величина щільності  $\Pi$ . При  $\gamma=90^\circ, h, d, n, \alpha = \text{const}$  для даної насадки величини  $\Pi$  та  $\bar{B}$  будуть мати мінімальне значення і, навпаки, при  $\gamma=(0-5)^\circ$  величини  $\Pi$  і  $\bar{B}$  будуть мати максимальне значення.

Проводились дослідження фільтраційних властивостей перфорованої пластинчастої насадки при магнітному очищенні водної суспензії магнетиту від дисперсних часток заліза. Паралельно, для порівняння, з використанням магнетитової суспензії проводились дослідження стружкової насадки (рис.11), яка представляла собою відходи металообробки з корозійно-стійких феромагнітних сталей (0X13-40X13). Еквівалентний діаметр гранул стружки складав 3-5мм. Результати досліджень представлені на рис.9 (а,б,в) і на рис.10.

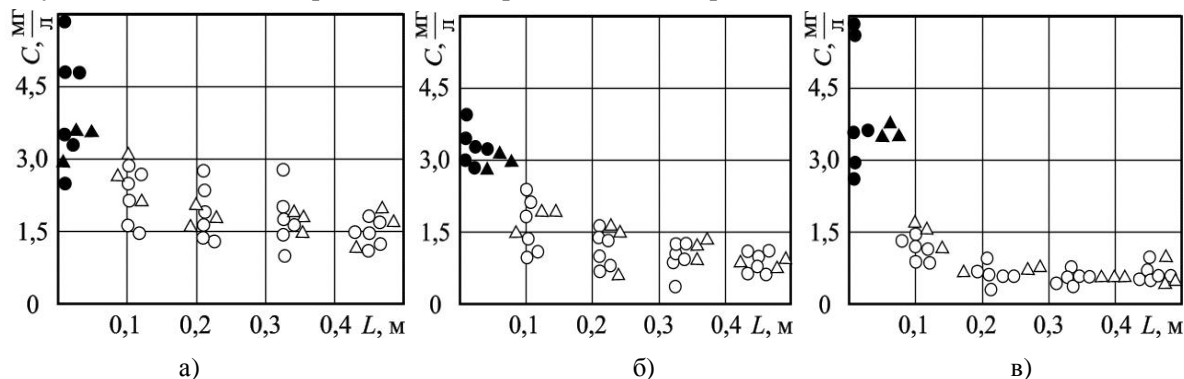


Рис. 9. Вплив висоти шару намагніченої насадки при  $V=100\text{м/год}$  і  $\Pi=0,112$  на вміст заліза у водно-дисперсній суспензії магнетиту; а)- $H=5\text{кА/м}$ ; б)- $H=19\text{кА/м}$ ; в)- $H=52\text{кА/м}$ . ●, ▲ – вихідна концентрація заліза при випробуванні відповідно пластинчастої і стружкової насадок; ○, △ - те ж після фільтра

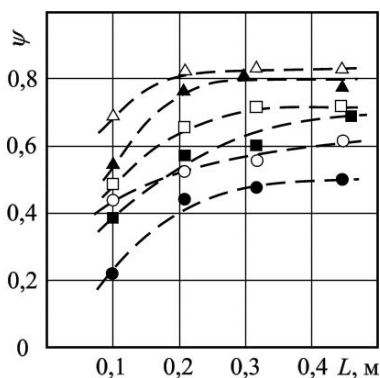


Рис.10. Залежність коефіцієнта очищення від висоти шару намагніченої насадки при  $V=100\text{м/год}$  і  $\Pi=0,112$  ○, □, △ - перфорована пластинчаста, ●, ■, ▲ – стружкова насадка відповідно при  $H=5, 19, 52\text{кА/м}$ .

Коефіцієнт очищення перфорованої пластинчастої насадки, рис.10, при зміні  $L$  від 0,1 до 0,45 і  $H=5,19,52\text{кА/м}$  в порівнянні з стружковою насадкою більший в 1,1-1,3 рази. Це можна пояснити тим, що трикутноподібні гострі грані (рис.2,4) в точках контакту А, В, С з поверхнями суміжних пластин створюють високо градієнтні зони захвату феромагнітних домішок. Так, наприклад, для пластини  $\varnothing 100\text{мм}$  при  $n=6$  ( $\alpha=60^\circ$ ),  $d=4\text{мм}$ , рис.5 розрахунок показує, що кількість трикутноподібних граней для однієї пластини складе 1660, а для висоти шару 0,45м пластин кількість точок контакту складе  $\approx 300000$ . При накладанні зовнішнього магнітного поля ці точки контакту перетворюються в зони неоднорідного магнітного поля, які забезпечують процес магнітного очищення.

**Висновки**

Визначені геометричні параметри, які визначають щільність пакування пластинчастої перфорованої насадки. Виконані порівняльні фільтраційні дослідження пластинчастої

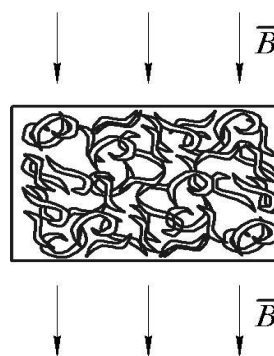


Рис.11. Схема стружкової феромагнітної насадки

перфораційної і стружкової насадок. Показано, розрахунками, що пластинчасту перфоровану насадку, в залежності від виду середовища, що очищується (сильноконцентроване або слабкоконтроване), можна виготовляти з щільністю пакування від міні значення до величини 0,95.

#### Список літературних джерел

1. Гаращенко В.І. Магніто-сорбційні властивості гранульованих фільтруючих насадок / Гаращенко В.І., Скрипник І.Г., Лук'янчук О.П., Гаращенко О.В. // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування – 2008.-№3-с.184-191.
2. Сандуляк А.В., Гаращенко В.І. Электромагнитные фильтр-осадители. Монография. Львов. „Вища школа” 1982.-70с.
3. Гаращенко В.І. Екологічно безпечний метод очистки текучих середовищ в намагнічених полі градієнтних насадках /Гаращенко В.І./Проблеми фундаментальної і прикладної екології, екологічної геології і раціонального природокористування: IV Міжнародна науково-практична конференція., 19-21.03.2009р.: тези доп. – Кривий Ріг 2009р. – с.125-127.
4. А.С. 1152618 СССР „МКИ” В01D35/06. Магнитный железоотделитель. / В.И.Гаращенко, А.В.Сандуляк, И.В.Волков. (СССР).-№3665227/23-26; заявл.17.11.83; опубл.30.04.85, бюл№16.
5. А.С. 1492521 СССР „МКИ” В01D35/06. Устройство для магнитной очистки жидких и газовых сред. / В.И.Гаращенко, И.В.Волков, И.А.Супрунюк, А.Г.Михальчук (СССР).-№4283500/30-26; заявл.15.06.87; опубл.30.04.85, ДСП.
6. А.С. 1690820 СССР „МКИ” В01D35/06. Магнитный отделитель ферросодержащих частиц от текучих сред. / В.И.Гаращенко, И.В.Волков, А.В.Сандуляк. (СССР).-№3935233/23-26; заявл.23.07.85; опубл.15.11.91, бюл№42.
7. А.С. 1504870 СССР „МКИ” В03 1/00. Магнитный фильтр-сепаратор для очистки жидкостей и газов от примесей. / В.И.Гаращенко, А.В.Сандуляк, И.В.Волков. (СССР).-№3877702/23-26; заявл.22.04.85; ДСП.
8. Patent of USA №5.089.128 В01D35/06. Apparatus for separation of ferromagnetic materials from fluid media/ V.I.Garaschenko, A.V.Sandulyak, I.V.Volkov (U.S.S.R) – 460.907. May 25. 1988. Pub.Date. Nov.30.1989
9. Гаращенко В.І., Дубчак В.А., Волков И.В.. Новая полиградиентная пластинчатая фильтрующая насадка. Информационный листок №49-85. Ровенский межотраслевой территориальный центр научно-технической информации и пропаганды. 1985г. 4с. Серия 17.00. Охрана окружающей среды.
- 10.Гаращенко В.І. Поліградієнтні феромагнітні матеріали для очистки водно-дисперсних середовищ. / Гаращенко В.І. //Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів: VII Всеукраїнська науково-технічна конференція., 7-9.11.2008р.: тези доп. Кременчук. 2008р. с.137