

doi: 10.33249/2663-2144-2019-78-5-105-111

УДК 639.3.06

**РОЗРОБКА БЛОК-СХЕМ УСТАНОВКИ ЗАМКНУТОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ  
ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ АКВАКУЛЬТУРИ****Г. А. Голуб<sup>1</sup>, О. А. Завадська<sup>1</sup>, В. В. Кухарець<sup>2</sup>***e-mail: gagolub@ukr.net*<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України  
вул. Героїв Оборони, 15В, м. Київ, 03041, Україна<sup>2</sup>Житомирський національний агроекологічний університет  
Старий бульвар, 7, м. Житомир, Україна, 10008

*Виробництво продукції аквакультури в установках замкнутого водопостачання набуває все більшого поширення, а обсяги вирощування, за допомогою таких систем прісноводних риб зростають. Використання установок замкнутого водопостачання – найбільш перспективна світова тенденція. При вирощуванні в установках замкнутого водопостачання всі параметри технологічного процесу підтримуються за допомогою автоматизованих пристроїв, а вплив природних факторів на хід технологічного процесу мінімальний. Однак такі системи потребують складного технологічного забезпечення, яке потребує постійно удосконалення. Під час роботи в установках замкнутого водопостачання утворюється осад, який потребує утилізації. Утилізацію цих осадів доцільно здійснювати методами, які дозволяють отримати додаткове тепло і електроенергію для потреб установок замкнутого водопостачання при виробництві аквакультури.*

*На основі узагальнення та аналізу літературних джерел встановлено, що середнє значення величини коефіцієнта конверсії комбікорму при відгодівлі свиней становить від 2,8 до 3,2 кг корму на один кг приросту маси. Середнє значення величини коефіцієнта конверсії комбікорму при відгодівлі ВРХ становить від 6,3 до 7,2 кг корму на один кг приросту маси. При вирощуванні бройлерів коефіцієнт конверсії корму становить від 1,6 до 2 кг, на один кг приросту маси. Середнє значення величини коефіцієнта конверсії комбікорму при вирощуванні форелі становило 1,6 кг корму на один кг приросту маси, а при годівлі сомів – 1,2 кг комбікорму на один кг приросту маси.*

*Наведено результати розроблення блок-схем установки замкнутого водопостачання для виробництва продукції аквакультури із забезпеченням часткової енергетичної автономності за рахунок тепла і електроенергії, отриманих при когенерації біогазу, який утворюється при метановому зброджуванні органічних складових осаду, що утворюється за функціонування установки замкнутого водопостачання.*

**Ключові слова:** коефіцієнт конверсії корму, парникові гази, біогаз, ракоподібні, двостулкові молюски, біомаса водоростей.

**Постановка проблеми**

Нині однією із глобальних проблем Ринок риби і морепродуктів в Україні значною мірою є залежним від імпорتنих поставок. Крім того, якість поверхневих вод не завжди відповідає нормам, прийнятим для розведення риби через їх забрудненість стічними водами міст та тваринницьких комплексів. Виходом з даної ситуації може стати використання установок замкнутого водопостачання (УЗВ) для аквакультури.

Виробництво продукції аквакультури в УЗВ набуває все більшого поширення, а обсяги вирощування за допомогою таких систем прісноводних риб (найчастіше вугра і сома) становлять в Європі декілька тисяч тонн. Зростає використання прісноводної аквакультури також в країнах Азії. Використання УЗВ – найбільш перспективна світова тенденція. При вирощуванні в УЗВ всі параметри технологічного процесу підтримуються за допомогою автоматизованих пристроїв, а вплив природних факторів на хід технологічного процесу мінімальний. Однак такі системи потребують складного технологічного забезпечення, яке потребує постійно удосконалення.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У сучасних умовах кліматичних змін людство має приділяти максимум уваги ефективному використанню енергії та природних ресурсів. Що стосується кормової бази, то ефективність використання корму характеризується коефіцієнтом конверсії (відношення кількості витраченого корму до одиниці отриманого приросту маси).

Загальновідомо, що, за 180 днів відгодівлі свиней до досягнення маси 110 кг, витрачається 321 кг повнораціонних комбікормів. Це говорить про те, що конверсія комбікорму становить 2,9 кг корму на один кг приросту маси (межі зміни від 2,81 до 3,03 кг корму на один кг приросту маси) [1].

Опубліковані багатьма авторами результати наукових досліджень свідчать про те, що молодняк ВРХ до 6 місяців на кілограм приросту маси потребував від 3,8 до 4,5 кормових одиниць, ВРХ від 6 до 12 місяців – від 5,6 до 6,7 кормових одиниць, а від 12 до 18 місяців на кілограм приросту маси потребувалось уже до 9 кормових одиниць. Крім того, відгодівля ВРХ від 15–20-денного віку до реалізації в 16 місяців живою масою 450 кг із середньодобовим приростом маси від 850 до 950 г потребує 30 ц кормових одиниць на весь період вирощування до реалізації на м'ясо. Середнє значення величини коефіцієнта конверсії корму при відгодівлі ВРХ становить від 7 до 8 кормових одиниць. Також відомо, що інтенсивна відгодівля ВРХ до віку від 15 до 18 місяців і ваги від 450 до 500 кг потребує від 7 до 8 кормових одиниць на 1 кг приросту маси за середньодобового приросту маси в межах від 0,8 до 1,2 кг [2].

За останні роки жива маса бройлерів збільшилася в 2,3 рази, термін відгодівлі до 2 кг скоротився із 63 до 37 днів. При цьому, коефіцієнт конверсії корму знизився із 2,5 до 1,67 кг корму на один кг приросту маси [3].

При годівлі форелі до повного насичення виявилось, що найбільший приріст маси був отриманий за температури води 14 °С. Межі зміни величини коефіцієнта конверсії комбікорму становили від 1,2 до 2 кг корму на один кг приросту маси, причому більші його значення відповідали більшій масі риби [4].

Серйозне значення на сучасному етапі розвитку людства мають також викиди парникових газів CO<sub>2</sub> у результаті виробництва продукції тваринництва. Так, викиди метану (CH<sub>4</sub>) за рахунок внутрішньої ферментації та під час збору і

зберігання гною та викиди оксиду азоту (N<sub>2</sub>O) під час збору і зберігання гною становлять відповідно 60 і 0,62 кг/рік на одну голову при відгодівлі ВРХ, 4,64 кг/рік і 0,33 кг/рік на одну голову при відгодівлі свиней та по 0,02 кг/рік під час збору і зберігання посліду на одну голову при відгодівлі бройлерів [5].

На думку спеціалістів ФАО, аквакультура набагато менше здійснює викидів парникових газів у порівнянні з виробництвом м'яса у тваринництві. Це означає, що розведення та споживання білка, отриманого із риби, може сприяти пом'якшенню наслідків зміни клімату.

Аквакультура – одна із галузей харчової індустрії, яка має значні темпи розвитку. Для забезпечення потреб людства у рибній продукції до 2030 року її річне виробництво повинно зрости до 120 млн т. В установках аквакультури виробляється більше половини рибної продукції.

Використання УЗВ – найбільш перспективна світова тенденція. Такі системи забезпечують низький рівень впливу на навколишнє середовище, а також зменшують потреби у воді та енергії. Вихід риби в таких системах є постійним і передбачуваним. Мають вони також суттєвий недолік – високі капітальні та експлуатаційні витрати.

УЗВ – це системи, у яких вода після механічної та біологічної очисток використовується повторно під час виробництва продукції аквакультури. Такі системи забезпечують низький рівень впливу на навколишнє середовище, а також зменшують потреби у воді. Вихід продукції в таких системах є постійним і передбачуваним. Головний їх недолік – високі капітальні та експлуатаційні витрати. Основні параметри, які впливають на процес розвитку та вирощування риби в таких система – температура і концентрація розчиненого кисню у воді.

Рибоводні системи з УЗВ, розташовані в закритих будівлях, використовують близько 0,2 м<sup>3</sup> свіжої води на кілограм виробленої риби, а під відкритим небом – до 3 м<sup>3</sup>. У той же час, традиційна проточна система для вирощування форелі зазвичай використовує близько 30 м<sup>3</sup> свіжої води на кілограм [6].

Підвищення попиту на рибу і морепродукти супроводжується стабільним зростанням обсягів виробництва аквакультури. Згідно з оцінками, середньорічні темпи зростання обсягів виробництва аквакультури за період із 1990 по 2005 рр. становив 8,5 %. Внесок аквакультури у забез-

печення населення рибними продуктами значно виріс, досягнувши майже половини (47 %) світового обсягу в 2008 році, у порівнянні із 8 % з 1970 роком. Згідно з прогнозами ця тенденція продовжиться, при цьому, внесок аквакультури у виробництво рибних продуктів досягне до 2020 року 60 % [7].

Собівартість виробництва товарного коропа в таких установках становила близько двох американських доларів, що приблизно в 4–5 разів вище вартості коропа, вирощеного в ставках і майже в 2 рази – в садкових господарствах. Тому установки такого типу найчастіше використовуються для вирощування делікатесної дорогої продукції, такої як осетрові, вугри, річкові раки та креветки. Інший шлях використання УЗВ – вирощування посадкового матеріалу різних видів риб. Подібні господарства можуть бути розміщені поблизу великих міст або в густонаселених зонах, звідки вони легко можуть поставляти свіжу рибу споживачам.

Знизити собівартість виробництва риби в УЗВ можна за рахунок підвищення продуктивності, використовуючи технологію безперервного вирощування у порівнянні з вирощуванням партій риби [8, 9]. У цьому випадку відбувається постійне і безперервне зариблення та збір риби, а сама система постійно працює за максимального навантаження, частота годування риби у кожній ємності підтримується на максимальному рівні. Цей принцип успішно реалізується на прикладі вирощування форелі [10].

Однак, під час роботи в УЗВ утворюється осад, який потребує утилізації. Утилізацію цих осадів доцільно здійснювати методами, які дозволяють отримати додаткове тепло і електроенергію для потреб УЗВ при виробництві аквакультури.

### Мета, завдання та методика досліджень

Метою досліджень є розробка блок-схем УЗВ для виробництва продукції аквакультури на основі аналізу існуючих та перспективних УЗВ.

Завдання досліджень:

- провести порівняльну оцінку середніх значень коефіцієнта конверсії корму при виробництві продукції тваринництва;
- провести порівняльну оцінку викидів парникових газів за виробництва продукції тваринництва;
- розробити блок-схеми установок замкнутого водопостачання для виробництва про-

дукції аквакультури із забезпеченням часткової енергетичної автономності за рахунок тепла і електроенергії, отриманих при когенерації біогазу, який утворюється за метанового зброжування органічних складових осаду, що утворюється при функціонуванні установки замкнутого водопостачання.

Методика досліджень базувалася на використанні порівняльного аналізу значень коефіцієнта конверсії корму та викидів парникових газів при виробництві продукції тваринництва, а розробка блок-схем УЗВ для виробництва продукції аквакультури проводилася на основі аналізу існуючих та перспективних УЗВ.

### Результати досліджень

На основі узагальнення та аналізу літературних джерел встановлено, що середнє значення величини коефіцієнта конверсії комбікорму при відгодівлі свиней (90 кг приросту маси) становить від 2,8 до 3,2 кг корму на один кг приросту маси. Враховуючи, що одну кормову одиницю можна перевести в 0,9 кг комбікорму, середнє значення величини коефіцієнта конверсії комбікорму при відгодівлі ВРХ становить від 6,3 до 7,2 кг корму на один кг приросту маси. У середньому значення коефіцієнта конверсії корму при вирощуванні бройлерів становить від 1,6 до 2 кг, на один кг приросту маси. Середнє значення величини коефіцієнта конверсії комбікорму при вирощуванні форелі становило 1,6 кг корму на один кг приросту маси. При годівлі сомів комбікормом для форелі середнє значення величини коефіцієнта конверсії комбікорму становило 1,2 кг корму на один кг приросту маси. Гістограму середніх значень коефіцієнта конверсії корму наведено на рис. 1.

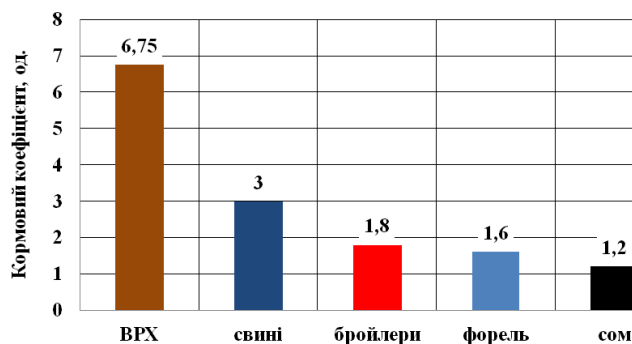


Рис. 1. Гістограма середніх значень коефіцієнта конверсії корму

Із урахуванням коефіцієнтів перерахунку викидів парникових газів в еквівалентні викиди

CO<sub>2</sub> (21 для метану та 310 для оксиду азоту) отримуємо значення еквівалентних викидів CO<sub>2</sub> за рахунок внутрішньої ферментації та під час збору і зберігання гною 1452,2 кг/рік на одну голову при відгодівлі ВРХ, 199,74 кг/рік на одну голову при відгодівлі свиней та 6,62 кг/рік на одну голову при відгодівлі бройлерів. У той же час, виробництво продукції аквакультури характеризується відсутністю викидів парникових газів, що робить таке виробництво надзвичайно перспективним, з точки зору збереження середовища.

Було встановлено, що, в більшості випадків, у ході попередньої обробки потоку циркулюючої води, яка надходить із центрального резервуара з рибою, вода відстоюється для видалення осаду, після чого надходить у біо-фільтр, де амоній, за допомогою бактерій, перетворюється на нітрат. Із потоку води, в по-альшому, видаляють надлишок вуглекислого газу і насичують воду киснем за допомогою обладнання для оксигена-

ції. Нарешті, потік води дезінфікується за допомогою УФ-стерилізації та озонування. Найбільшою мірою осад у таких установках утворюється за відстоювання води у біофільтрах. Для забезпечення виробництва біогазу при метановому зброджуванні органічних складових осаду, який утворюється при функціонуванні установки замкнутого водопостачання, систему очистки води доцільно дообладнати біогазовою установкою. Таке дообладнання дозволить забезпечити часткову енергетичну автономність УЗВ для виробництва аквакультури за рахунок тепла і електроенергії, отриманих при когенерації біогазу. Зброджений осад, після подальшого компостування, може бути утилізований в якості органічних добрив. На компостування подається також вода та осад після промивки фільтрів. Нами розроблена блок-схема виконання УЗВ для виробництва продукції аквакультури, яка приведена на рис. 2.

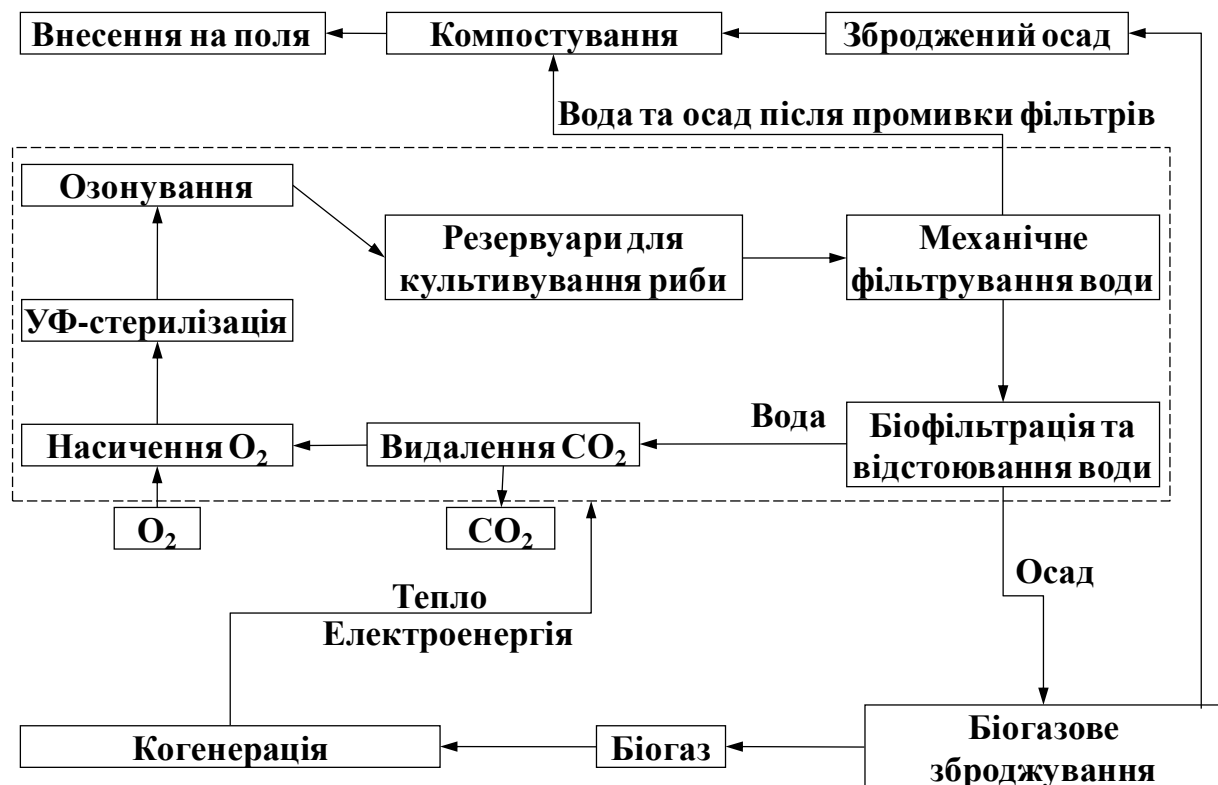


Рис. 2. Блок-схема установки замкнутого водопостачання для виробництва продукції аквакультури із виробництвом біогазу

Дана система культивування риби в УЗВ дозволяє забезпечити часткову енергетичну автономність за рахунок тепла і електроенергії, отриманих при когенерації біогазу, який

утворюється за метанового зброджування органічних складових осаду (залишки кормів, продукти метаболізму, відходи переробки риби

тощо), що відстоюється при функціонуванні системи.

Розроблена також блок-схема УЗВ (рис. 3), в якій, в ході обробки потоку циркулюючої води, що послідовно проходить резервуари із ракоподібними, рибою та двостулковими моллюсками і надходить у біофільтр, де очищається та відстоюється для видалення осаду. Із потоку води, в подальшому, за допомогою блоку для культивування водоростей, видаляють вуглекислий газ і насичують воду киснем. Надлиш-

кова біомаса водоростей та осад, що утворюється при відстоюванні води у біофільтрах, направляється у біогазову установку для забезпечення виробництва біогазу за метанового зброджування органічних складових осаду. Утворений біогаз направляється у когенераційну установку для виробництва тепла і електроенергії.

Зброджений осад, після подальшого компостування, може бути утилізований в якості органічних добрив. На компостування подається також вода та осад після промивання фільтрів.

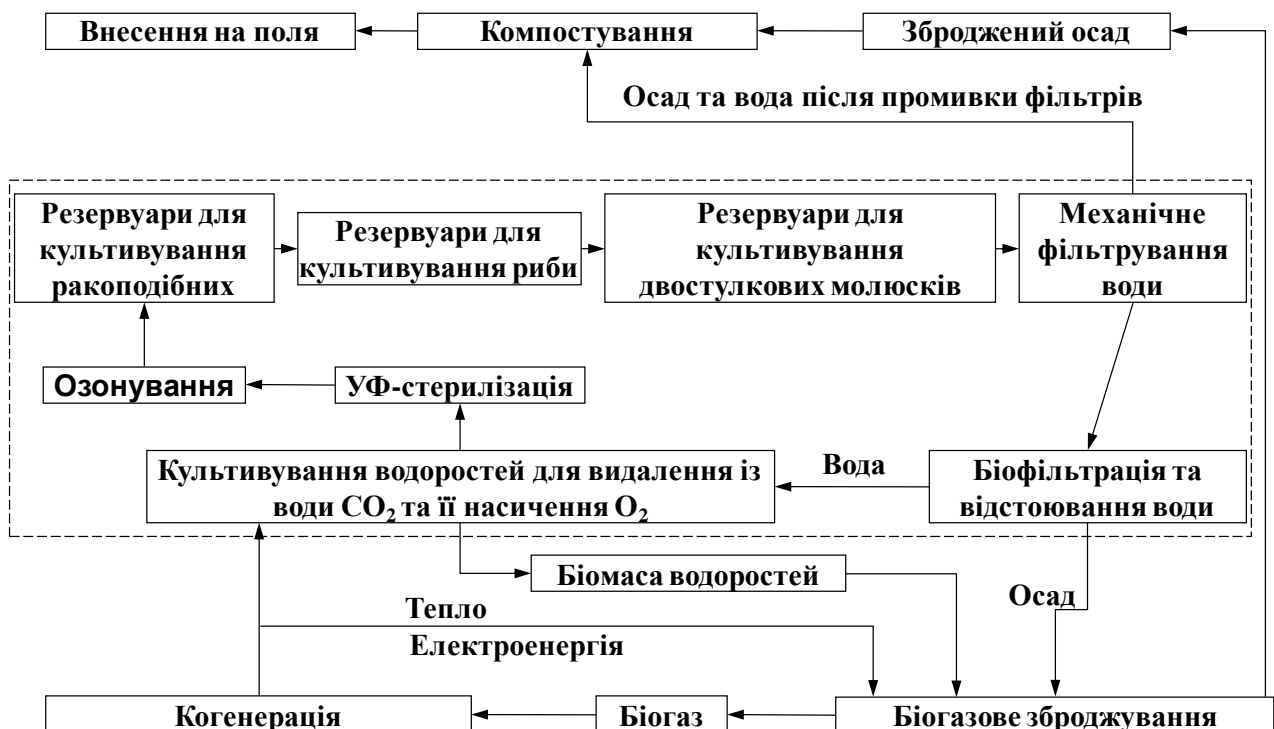


Рис. 3. Удосконалена блок-схема установки замкнутого водопостачання для виробництва продукції аквакультури (в т. ч. ракоподібних і двостулкових моллюсків) із виробництвом біогазу, в т. ч. із біомаси водоростей

### Висновки та перспективи подальших досліджень

Розроблені блок-схеми УЗВ для виробництва продукції аквакультури із забезпеченням часткової енергетичної автономності за рахунок тепла і електроенергії, отриманих при когенерації біогазу, який утворюється за метанового зброджування органічних складових осаду, дозволяють, із використанням надлишкової біомаси водоростей забезпечити можливість підвищення рівня енергетичної автономності УЗВ для виробництва аквакультури. У подальшому, на основі блок-схем установок замкнутого водопостачання для виробництва продукції

аквакультури, необхідно розробити технічну реалізацію цих систем, провести їх дослідження та випробування.

### Refereces

1. Topikha, V. S., Lykhach, V. Ia., Luhovyi, S. I., Lykhach, A. V. & Kramarenko S. S. (2016). *Osnovy normovanoi hodivli svynei: vyrobnycho-praktychni rekomendatsii* [Basis of normalized feeding of pigs: production-practical recommendations]. Mykolaiv : MNAU [in Ukrainian].
2. Busenko, O. T., Stoliuk, V. D., Mohylnyi, O. I., Shtompel, M. V., Nozdrin, M.T., Umanets, V. D. & Brovarskyi, V. D. (2005). *Tekhnolohiia vyrobnytstva produktsii tvarynnytstva* [Technology

of livestock production]. Kyiv : Vyshcha osvita [in Ukrainian].

3. Iehorov, B. V. & Vorona, N. V. (2013). Suchasni problemy na shliakhu vyrobnytstva vysokoiakisnykh kombikormiv dlia molodniaka silskohospodarskoi ptytsi [Modern problems on the way of production of high quality fodder for young birds of farm birds]. *Zernovi produkty i kombikormy*, 1 (49), 42–44 [in Ukrainian].

4. Goduvannya Foreli 1 [Walking forline 1] (2019). Retrieved from <http://jak.magey.com.ua/articles/goduvannja-foreli-1.html> [in Ukrainian].

5. Iggleston, Kh. S., Buendia, L., Miva, K., Ngara, T. & Tanabe K. (Eds.) (2006). Rukovodyashchiye printsipy natsionalnykh inventarizatsiy parnikovykh gazov [Guidelines for national inventories of greenhouse gases]. Hayama : IGES [in Russian].

6. Brainballe, Ya. (2010). Rukovodstvo po akvakulture v ustanovkakh zamknutogo vodosnabzheniya. Vvedeniye v novyye ekologicheskiye i vysokoproduktivnyye zamknutyie rybovodnyye sistemy [Guide to aquaculture in installations of closed water supply. Introduction to new ecological and highly productive closed aquaculture systems]. Kopenhagen : AKVA group Denmark [in Russian].

7. Vashington, S. & Ababush, L. (2013). Chastnyye standarty i sertifikatsii v rybolovstve i akvakulture. Sovremennaya praktika i vznikayushchiye problemy [Private standards and certification in fisheries and aquaculture. Current practice and emerging issues]. Ankara [in Russian].

8. Watten, B. J. (1992). Modeling the effects of sequential rearing on the potential production of controlled environment fish-culture systems. In *Private standards and certification in fisheries and aquaculture* (pp. 33–46). Rome : FAO.

9. Summerfelt, S. T., Hankins, J. A., Summerfelt, S. R. & Heinen, J. M. (1993). Modeling continuous culture with periodic stocking and selective harvesting to measure the effect on productivity and biomass capacity of fish culture systems. In *Techniques for Modern Aquaculture* (Proc.) (pp. 581–593). Spokane, WA : American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph.

10. Heinen, J. M., Hankins, J. A., Weber, A. L. & Watten, B. J. (1996). A semiclosed recirculating-water system for high-density culture of rainbow trout. *Prog. Fish-Cult.*, 58, 11–22.

## DEVELOPMENT OF BLOCK-SCHEME OF INSTALLATION OF CLOSED WATER SUPPLY FOR PRODUCTION OF AQUACULTURE PRODUCTS

G. Golub<sup>1</sup>, O. Zavadska<sup>1</sup>, V. Kukharets<sup>2</sup>

e-mail: gagolub@ukr.net

<sup>1</sup>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroyiv Oborony Street, 11, Kyiv, 03041, Ukraine

<sup>2</sup>Zhytomyr National Agroecological University, Stary Boulevard, 7, Zhytomyr, 10002, Ukraine

*The production of aquaculture products in closed water supply plants is becoming more widespread, and the volume of cultivation with such systems of freshwater fish is increasing. The use of closed water supply plants is the most promising global trend. When growing in closed water supply facilities, all parameters of the technological process are supported by automated devices, and the influence of natural factors on the process of the process is minimal. However, such systems require complex technological support, which needs constant improvement.*

*When working in closed water supply plants, a precipitate is formed that needs to be recycled. It is expedient to utilize these sediments using methods that allow to receive additional heat and electricity for the needs of closed water supply plants in the production of aquaculture.*

*On the basis of generalization and analysis of literary sources, it was found that the average value of the coefficient of conversion of mixed fodder during fattening of pigs is from 2.8 to 3.2 kg of feed per kg of weight gain. The average value of the coefficient of conversion of mixed fodder during fattening cattle is from 6.3 to 7.2 kg of feed per kg of weight gain. When growing broilers, the feed conversion rate is from 1.6 to 2 kg per kg of weight gain. The average value of the coefficient of conversion of mixed fodder during the cultivation of trout was 1.6 kg of feed per kg of weight gain, and at feeding sows – 1.2 kg of feed per kg of weight gain.*

*The results of the development of block diagrams for the installation of closed water supply for the production of aquaculture with the provision of partial energy autonomy due to heat and electricity generated during the cogeneration of biogas generated during methane digestion of organic constituents of the sediment formed during the operation of the closed water supply system are presented.*

**Key words:** *feed conversion rate, greenhouse gases, biogas, crustaceans, bivalve molluscs, biomass of algae.*

### РАЗРАБОТКА БЛОК-СХЕМ УСТАНОВКИ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ АКВАКУЛЬТУРЫ

Г. А. Голуб<sup>1</sup>, О. А. Завадская<sup>1</sup>, В. В. Кухарець<sup>2</sup>  
*e-mail: gagolub@ukr.net*

<sup>1</sup>Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,  
ул. Героев Оборонь, 12В, г. Киев, 03041,  
Украина

<sup>2</sup>Житомирский национальный агроэкологический университет  
Старый бульвар, 7, г. Житомир, Украина, 10008

*Производство продукции аквакультуры в установках замкнутого водоснабжения приобретает все большее распространение, а объемы выращивания, с помощью таких систем, пресноводных рыб растут. Использование установок замкнутого водоснабжения – наиболее перспективная мировая тенденция. При выращивании в установках замкнутого водоснабжения все параметры технологического процесса поддерживаются с помощью автоматизированных устройств, а влияние природных факторов на ход технологического процесса минимален. Однако такие системы требуют сложного технологического обеспечения, которое требует постоянного совершенствования.*

*Во время работы в установках замкнутого водоснабжения образуется осадок, который требует утилизации. Утилизацию этих осадков*

*целесообразно осуществлять методами, которые позволяют получить дополнительное тепло и электроэнергию для нужд установок замкнутого водоснабжения при производстве аквакультуры.*

*На основе обобщения и анализа литературных источников установлено, что среднее значение величины коэффициента конверсии комбикорма при откорме свиней составляет от 2,8 до 3,2 кг корма на один кг прироста массы. Среднее значение величины коэффициента конверсии комбикорма при откорме КРС составляет от 6,3 до 7,2 кг корма на один кг прироста массы. При выращивании бройлеров коэффициент конверсии корма составляет от 1,6 до 2 кг, на один кг прироста массы. Среднее значение величины коэффициента конверсии комбикорма при выращивании форели составил 1,6 кг корма на один кг прироста массы, а при кормлении сомов – 1,2 кг комбикорма на один кг прироста массы.*

*Приведены результаты разработки блок-схем установки замкнутого водоснабжения для производства продукции аквакультуры с обеспечением частичной энергетической автономности за счет тепла и электроэнергии, полученных при когенерации биогаза, образующегося при метановом сбраживании органических составляющих осадка, образующегося при функционировании установки замкнутого водоснабжения.*

**Ключевые слова:** *коэффициент конверсии корма, парниковые газы, биогаз, ракообразные, двусторчатые моллюски, биомасса водорослей.*