

О. О. ГРИЦИНА, кандидат технічних наук

М. В. БЛЯШИНА, кандидат технічних наук

Національний університет водного господарства та природокористування,
м.Рівне

В. С. ЖУКОВА, кандидат технічних наук

В. А. ВОЛОЩУК, кандидат технічних наук

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”

КОНЦЕПЦІЯ КОМПЛЕКСУ ТЕХНОЛОГІЙ З ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ТА ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛА СТІЧНИХ ВОД ЦИВІЛЬНИХ ОБ’ЄКТІВ ТА ОЦІНКА СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

В роботі на основі теоретичних вишукувань розроблена концепція комплексу технологій з очищення стічних вод та використання тепла стічних вод цивільних об’єктів. Оцінено системи очищення стічних вод автономних та місцевих систем водовідведення.

Ключові слова: очищення стічних вод, комплекс технологій, тепло стічних вод.

В работе на основе теоретических изысканий разработана концепция комплекса технологий по очистке сточных вод и использования тепла сточных вод гражданских объектов. Оценено системы очистки сточных вод автономных и местных систем водоотведения.

Ключевые слова: очистка сточных вод, комплекс технологий, тепло сточных вод.

The paper based on theoretical research developed the concept of complex technologies for wastewater treatment and use of sewage heat from civilian objects Estimation of small wastewater treatment.

Key words: wastewater treatment, complex technology, heat waste water.

Вступ та актуальність дослідження. Ефективне та раціональне використання води з природних джерел, мінімізація кількості забруднюючих речовин у воді, ефективно та енергозберігаюче очищення стічної води – одні з найважливіших проблем України як на державному рівні, так і на рівні міських та сільських громад. Значний дисбаланс між кількістю забраної води з природних джерел та скинутої води в поверхневі об’єкти України ще раз підкреслює актуальність досліджень. Крім того, використана вода містить забруднюючі речовини та теплоенергію. Дослідження даної проблеми потребує комплексного підходу в координатах: кількість води, кількість енергії, кількість забруднень, ресурсозбереження, ефективність.

Аналіз останніх досліджень. Розроблення концепції комплексу технологій з очищення стічних вод та використання тепла стічних вод є актуальне і знайшло своє відображення зокрема в програмах Департаменту Енергетики (США) так і, наприклад, в програмі Республіки Чехії “Утилізація тепла із стічних вод в комбінованих каналізаційних системах” [1]. Каліфорнійський комітет з контролю над водними ресурсами (США) провів огляд технологій з очищення стічних вод автономних та місцевих систем водовідведення [2]. Національний дослідницький інститут «Наука і технології в дослідженні навколишнього середовища та сільського господарства» (Франція) оцінив біологічні фільтри різних фірм-виробників та різні матеріали їх завантаження [3]. Результати цих авторів [1-3] будуть доповнені й адаптовані для комплексу технологій з очищення стічних вод та використання тепла стічних вод цивільних об’єктів України.

Постановка завдання. У населених пунктах, де відсутнє централізоване водовідведення (94,4 % від загальної кількості населених пунктів України), для скидання стічних вод населення в основному користується септиками або вигрібними ямами, використання яких спричиняє тенденцію погіршення екологічного стану джерел водопостачання, що призводить до їх забруднення патогенними бактеріями та вірусами [4]. Централізованими системами водовідведення забезпечено 1682 населених пунктів України, або 5,6% загальної їх чисельності (29815), з яких забезпечені: 443 міста або 96,5%, 512 селищ міського типу або 57,9% загальної кількості (885), 727 сільських населених пунктів або 2,6% загальної кількості (28471) [4].

Згідно з інформацією щодо використання води в Україні за даними державної статистичної звітності за формою 2-ТП [4] забезпечення валових потреб у воді у відсотках відбувається за рахунок: забору прісних вод з поверхневих джерел – 80,9; забору вод з підземних джерел – 13,3; забору морської води – 5,7. Використано води, млн. куб. м [4]: на господарсько-питні потреби – 1848; на виробничі потреби – 5681; на зрошення – 1759; на сільськогосподарське водопостачання – 160,9. Втрати при транспортуванні склали 2 286 млн. куб. м води (16 % від забраної).

За результатами узагальнення даних державного обліку водокористування у 2012 році у поверхневій водній об’єкти скинуто 7 788 млн. куб. м стічних вод, у тому числі: підприємствами промисловості – 4 751 млн. куб. м, житлово-комунальної галузі – 2 043 млн. куб. м та підприємствами сільського господарства – 952,9 млн. куб. м [4].

Разом із стічними водами до поверхневих водних об’єктів у 2012 році скинуто 44,9 тис. т завислих речовин; 0,4 тис. т нафтопродуктів; 837,6 тис. т сульфатів; 675,3 тис. т хлоридів; 9,5 тис. т азоту амонійного; 58,7 тис. т нітратів; 2,2 тис. т нітритів; 0,255 тис. т СПАР; 7,0 тис. т фосфатів тощо [4].

Фактичні витрати палива на виробництво окремих видів продукції і робіт за 2015 рік, тис. т. у.п. [5]: теплоенергія, вироблена і відпущена котельними – 9239,3; теплоенергія, вироблена і відпущена окремими котлами, не об’єднаними в котельню – 386. Теплоносієм в системах гарячого

водопостачання житлових будівель є вода. За відсутності даних приймають, що температура водопровідної води з поверхневих водних джерел в опалювальний та літній період становить відповідно +5 та +15°C. Для приготування гарячої води використовується теплоенергія, вироблена і відпущена котельними та окремими котлами, як результат – температуру води підвищують до +40...+60°C. Використана “гаряча” вода та “холодна” вода і внесені забруднення (господарські відходи) утворюють господарсько-побутові стічні води.

Аналіз принципової схеми кругообігу води з природних джерел (рис. 1) та фактичних витрат палива на виробництво теплоенергії для потреб гарячого водопостачання цивільних об’єктів показує, що стічна вода має значний потенціал низькопотенційної теплоти. В свою чергу населені пункти без централізованих систем водовідведення, житлові будинки, що розміщені в неканалізованих районах міст і селищ, потребують впровадження сучасних станцій очищення стічних вод, робота яких була б заснована на принципах комплексності, ресурсозбереження та енергоефективності.

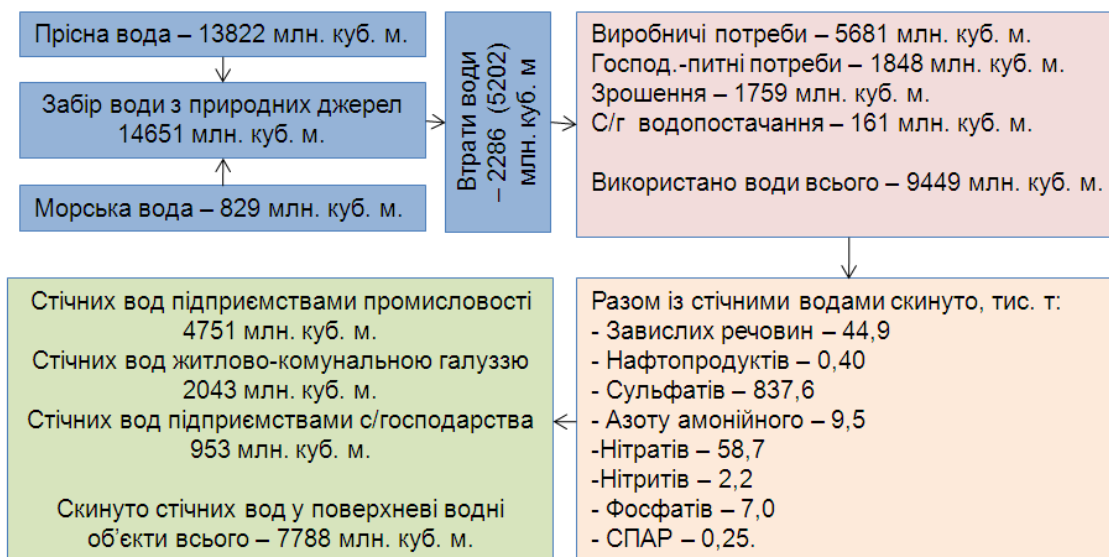


Рис. 1. Принципова схема кругообігу води з природних джерел України

Завданням досліджень є розроблення концепції комплексу технологій з очищення стічних вод та використання тепла стічних вод цивільних об’єктів та пошук і порівняння систем очищення стічних вод житлових будинків.

Результати досліджень. В основу комплексу ресурсозберігаючих технологій з очищення стічних вод та використання тепла стічних вод цивільних об’єктів покладена концепція, основою якої є очищення стічних вод, утилізація продуктів очищення та утилізація тепла стічних вод (рис.2).

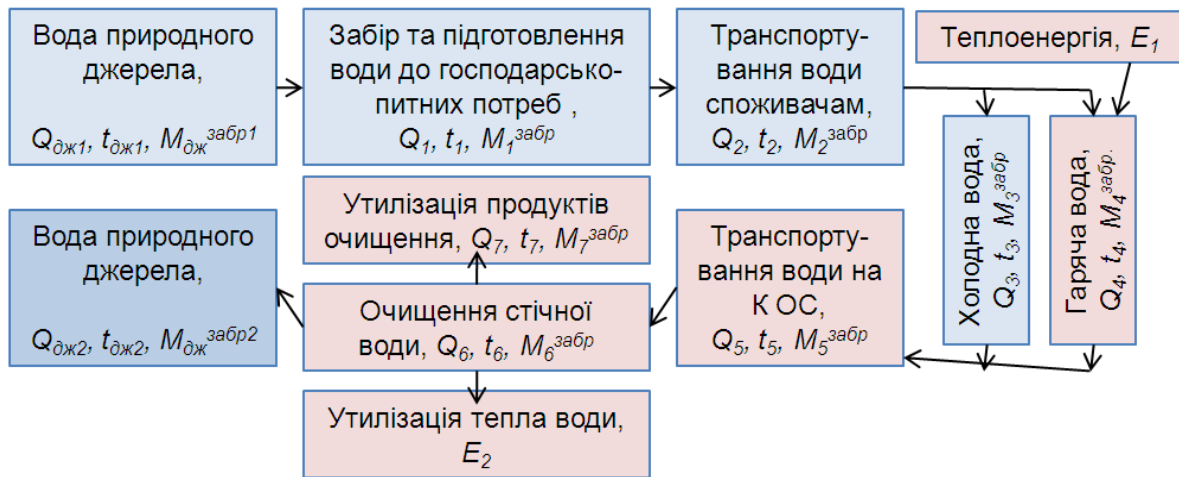


Рис. 2. Принципова схема концепції комплексу ресурсозберігаючих технологій з очищення стічних вод та використання тепла стічних вод цивільних об'єктів:
 Q_i – витрата i -ї води, t_i – температура i -ї води, $M_i^{\text{забр.}i}$ – маса i -х забруднень.

Тривалість такого циклу води з природного джерела може коливатися від одного дня до декількох тижнів. Проте основою концепції є принцип: маса забруднень та температура води з природного джерела і маса забруднень і температура скинутої стічної води повинні бути максимально близькими. За оцінкою фахівців така різниця температур ($t_6 - t_1$) може складати $+3...+5^\circ\text{C}$, що і буде становити потенціал стічної води, як джерела тепла для різних потреб споживача.

Оцінюючи дану концепцію з точки зору індивідуальних житлових будинків та автономних і місцевих систем водовідведення, кінцевими продуктами такого комплексу технологій повинні бути технічна вода та теплова енергія і, можливо, мінеральні добрива. Отримана і знезаражена технічна вода може використовуватися, наприклад, для поливу газонів, що дозволить споживачу зекономити кошти, не використовуючи воду, підготовлену для питних потреб. Теплова енергія, отримана з стічної води, може бути використана для потреб гарячого водопостачання чи опалювання будівлі, що також дозволить зекономити кошти. Утилізація продуктів очищення і їх подальше оброблення може дати мінеральні добрива.

Для очищення стічних вод використовують методи механічного, біологічного і фізико-хімічного очищення, а також знезаражування. Предметом досліджень були споруди для очищення господарсько-побутових стічних вод автономних і місцевих систем водовідведення. Особливість роботи таких споруд [6, 7]: висока нерівномірність надходження стічних вод як по витраті, так і по концентрації забруднень; можливі перерви в роботі; високі вимоги до очищеної води; зведення до мінімуму об'єму осадів і наступна їх мінералізація.

Проведений аналіз показує, що у світовій практиці очищення стічних вод автономних і місцевих систем водовідведення найбільшого поширення мають системи:

- аноксидні системи очищення стічних вод (для видалення сполук азоту в комбінації з іншими системами (біофільтри, аеробні системи);
- анаеробні системи очищення стічних вод;
- системи з краплинними біофільтрами (неорганічне завантаження);
- системи з краплинними біофільтрами (органічне завантаження);
- системи з краплинними біофільтрами (синтетичне завантаження);
- аеробні системи очищення континуального типу з вільноплаваючими мікроорганізмами;
- аеробні системи очищення дисконтинуального типу з вільноплаваючими мікроорганізмами;
- системи очищення з мембранними біореакторами;
- аеробні системи очищення континуального типу з іммобілізованими мікроорганізмами;
- аеробні системи очищення континуального типу із зваженим шаром;
- системи з дисковими біофільтрами;
- аеробні системи очищення дисконтинуального типу з іммобілізованими мікроорганізмами;
- системи природного очищення.

Споруди очищення стічних вод автономних і місцевих систем водовідведення складно привести до однієї системи оцінювання. Багато фірм-виробників не наводять достатньої кількості технологічних параметрів процесів очищення стічних вод, що не дозволяє в повній мірі оцінити їх переваги та недоліки. Тому аналіз систем для еквівалентної кількості жителів 5-10 здійснювали за показниками, [2,3,8-14]:

1. залежності співвідношення площі споруди до еквівалентної кількості жителів від типу реалізованої системи (рис. 3);
2. залежності кількості органічних забруднень по БСК₅, що видаляється на 1 м² площі споруди за добу від типу реалізованої системи (рис. 4);
3. залежності кількості забруднень по N-NH₄, що видаляється на 1 м² площі споруди за добу від типу реалізованої системи (рис. 4).

Еквівалентна кількість жителів визначалася за виразом:

$$EH = L_{en,5} \frac{Q}{60}, \quad (1)$$

де $L_{en,5}$ – усереднене максимально добове сумарне забруднення за БСК₅, г O₂/м³; Q – витрата стічних вод, м³/добу; 60 – умовна норма БСК₅ на одного еквівалентного жителя, прийнятою в Директиві ради Європи № 91/271/ЄЕС.

Проаналізовані системи декларують високий ступінь очищення: БСК₅ – менше 10...20 мг/дм³; загальний азот – менше 20...30 мг/дм³; завислих речовин – менше 10...20 мг/дм³; загального фосфору – менше 2...5 мг/дм³. Компактність реалізованих процесів за рахунок конструктивних і технологічних особливостей систем очищення наведена на рис. 4. Окисна потужність системи на 1 м² площі наведена на рис. 5.

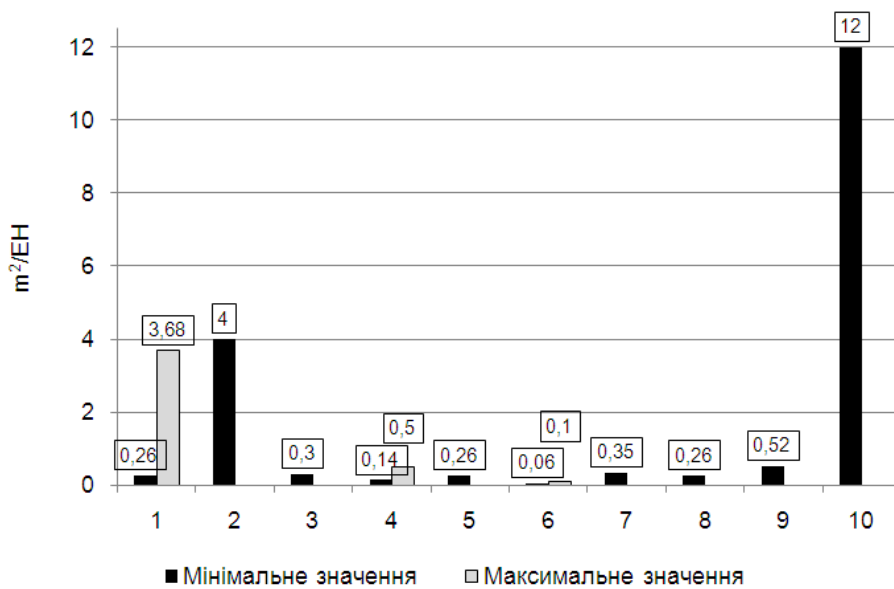


Рис. 3. Залежність співвідношення площі споруди до еквівалентної кількості жителів від типу реалізованої системи: **1** – системи з краплинними біофільтрами (неорганічне завантаження); **2** – системи з краплинними біофільтрами (органічне завантаження); **3** – системи з краплинними біофільтрами (синтетичне завантаження); **4** – аеробні системи очищення континуального типу з вільно плаваючими мікроорганізмами; **5** – аеробні системи очищення дисконтинуального типу з вільно плаваючими мікроорганізмами; **6** – системи очищення з мембранними біореакторами; **7** – аеробні системи очищення континуального типу з іммобілізованими мікроорганізмами; **8** – аеробні системи очищення континуального типу з зваженим шаром; **9** – системи з дисковими біофільтрами; **10** – системи природного очищення

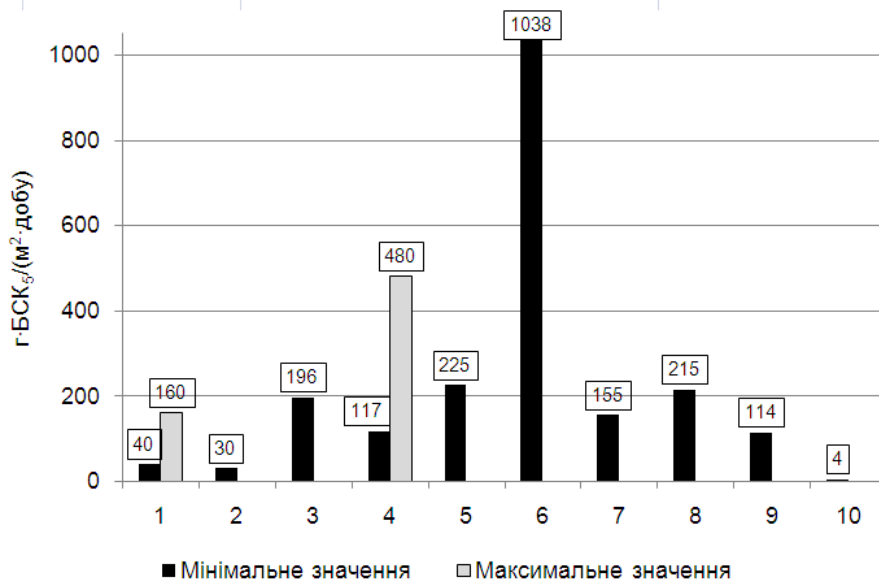


Рис. 4. Залежність кількості органічних забруднень за БСК₅, що видаляється на 1 м² площі споруди за добу від типу реалізованої системи (позначення **1-10** див. рис. 3)

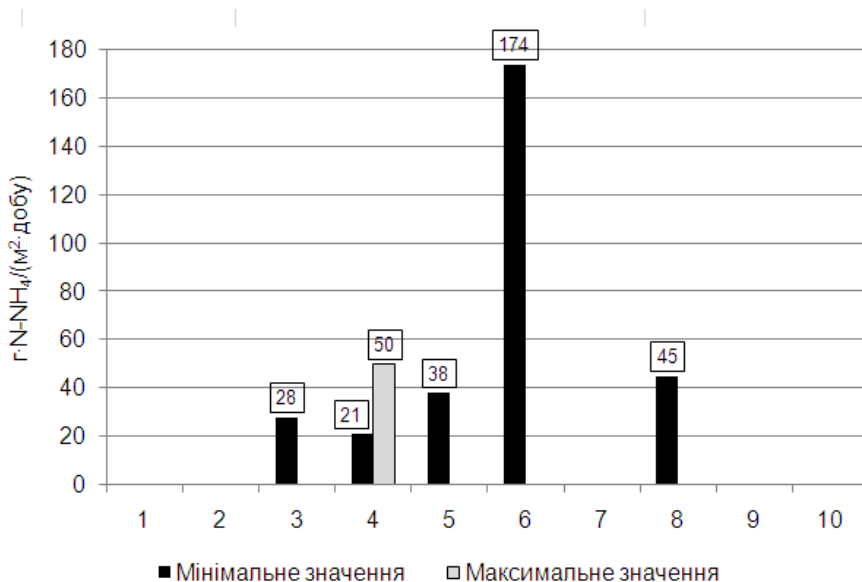


Рис. 5. Залежність кількості забруднень за $N-NH_4$, що видаляється на 1 м² площі споруди за добу від типу реалізованої системи (позначення 1-10 див. рис. 3)

Залежність співвідношення площі споруди до еквівалентної кількості жителів від різного фільтрувального матеріалу біофільтра та фірми-виробника наведена на рис. 6 та залежність кількості органічних забруднень за БСК₅, що видаляється на 1 м² площі споруди за добу від різного фільтрувального матеріалу біофільтра та фірми-виробника наведена на рис. 7, [3].

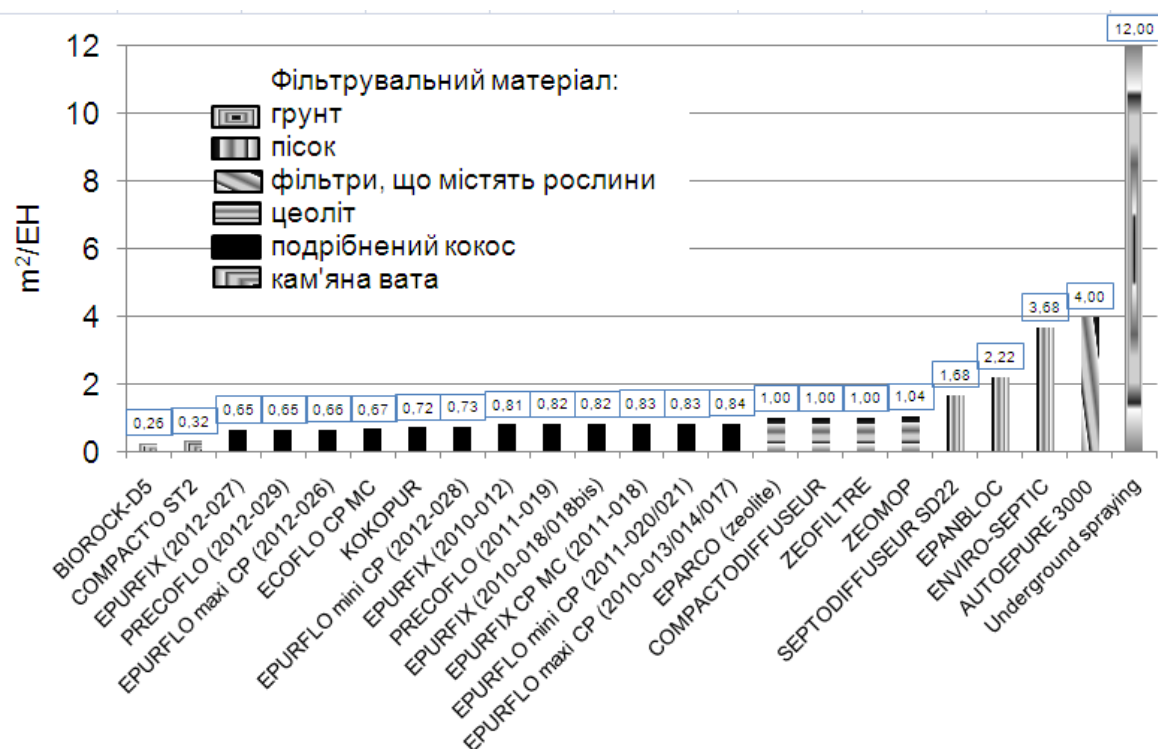


Рис. 6. Залежність співвідношення площі споруди до еквівалентної кількості жителів від фірми-виробника біофільтра

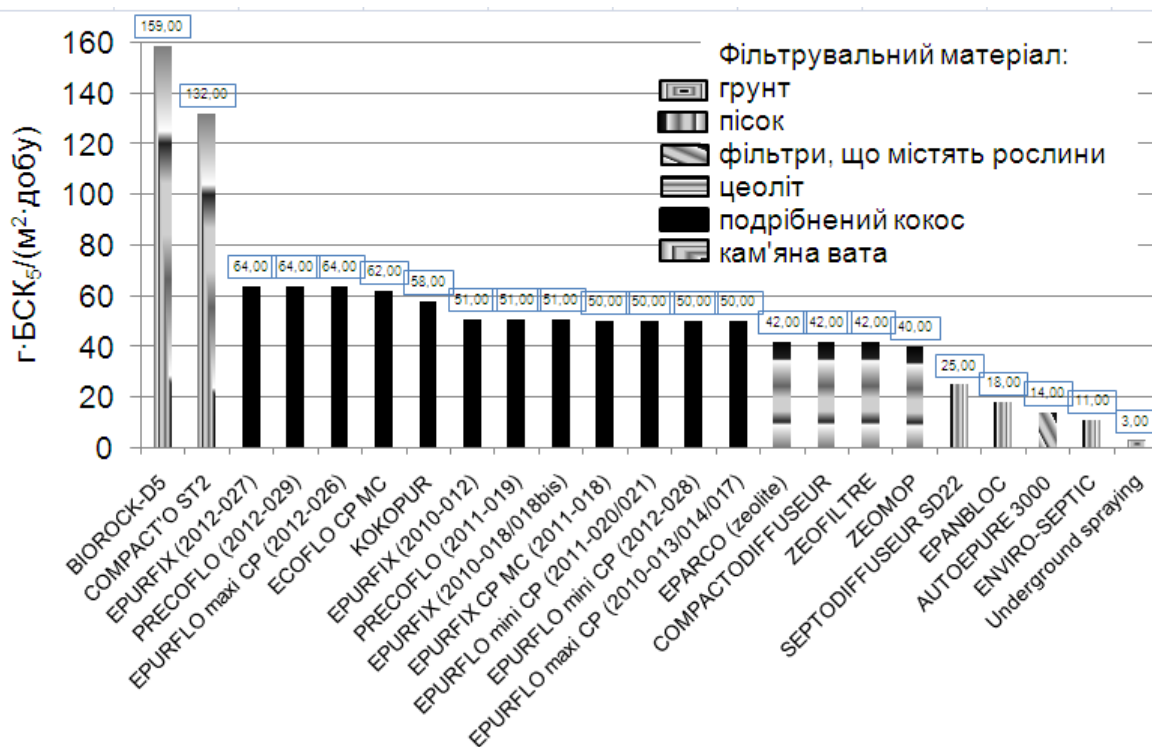


Рис. 7. Залежність кількості органічних забруднень за БСК₅, що видаляється на 1 м² площі споруди за добу від фірми-виробника біофільтра

Подяки. Стаття підготовлена в рамках виконання проекту “Комплекс ресурсозберігаючих технологій з очищення стічних вод та використання тепла стічних вод цивільних та військових об’єктів” (номер державної реєстрації НДР 0116U007384).

Висновки. 1. Розроблена концепція комплексу технологій з очищення стічних вод та використання тепла стічних вод цивільних об’єктів. 2. Оцінено системи очищення стічних вод автономних та місцевих систем водовідведення. Раціональними системами для комплексу технологій можуть бути системи з: мембранними біореакторами; іммобілізованими мікроорганізмами; біофільтрами.

Список літератури

14. *Stransky David*. Suitability of combined sewers for the installation of heat exchangers / David Stransky, Ivana Kabelkova, Vojtech Bare, Gabriela Stastna, Zbigniew Suchorab // *ECOL CHEM ENG S*. 2016;23(1):87-98 DOI: 10.1515/eces-2016.

15. *Harold Leverenz*. Review of technologies for the onsite treatment of wastewater in California / Harold Leverenz, George Tchobanoglous, Jeannie L. Darby // California State Water Resources Control Board. 2002. 250 P.

16. *Catherine Boutin*. Comparaison théorique de dispositifs d'ANC / Catherine Boutin, Vivien Dubois, Colin Lassabliere// Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture. 2013. 104 p.

17. *Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні в 2012 році*. К., 2013. С.23-24, 447.

18. *Результати* використання палива, теплоенергії та електроенергії за 2015 рік. Державна служба статистики. 2016. С. 45.

19. *Проектування* систем водовідведення, очищення та утилізації стічних вод в малих населених пунктах та сільській місцевості /За заг. Ред.. д.т.н., проф..завідувача кафедри ВТГВ Гіроля М.М. і к.т.н. Проценка С.Б.// Монографія. Рівне: НУВГП, 2013. 65с.

20. *Тетеря А. И.* Моделирование процессов удаления азота из сточных вод на малогабаритных установках биологической очистки воды / А. И. Тетеря, А. Я. Олейник // Прикладна гідромеханіка. 2001. Т.3 (75), №3, С.59-65.

21. *Установки* глибокої біологічної очистки стічних вод BIOTAL [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. URL: <http://www.biotal.ua/ua/node/263>

22. *JET Wastewater Treatment Solutions* [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. URL: <http://jetincorp.com/catalog.php>

23. *Orenco Wastewater Solution* [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. URL: <http://www.orengo.com/>

24. *Consolidated Treatment Systems* [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. URL: <http://www.consolidatedtreatment.com/>

25. *Wastewater Treatment Systems* [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. URL: <http://aqua-o2.com/>

26. *Kubota Submerged Membrane Unit* [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. URL: <http://env.kubota.co.jp/>

27. *KingSpan Environmental* [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. URL: www.kingspanenviro.com

Надійшло до редакції 3.11.2016