

О. В. Березюк, к. т. н., доц.

ОБҐРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ СКИДАННЯ У КАНАЛІЗАЦІЙНУ МЕРЕЖУ РІДИНИ, ОТРИМАНОЇ ЗНЕВОДНЕННЯМ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ПІД ЧАС ЇХНЬОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ У СМІТТЄВОЗ

В останні роки в Україні суттєво збільшилась сумарна площа полігонів твердих побутових відходів та сміттєзвалищ, що загрожує забрудненням навколишнього середовища шкідливими речовинами, тому числі високотоксичним фільтратом. Метою дослідження є обґрунтування за допомогою регресійного аналізу можливості скидання у каналізаційну мережу рідини, отриманої зневодненням твердих побутових відходів під час їхнього завантаження у сміттєвоз, що є актуальною науково-технічною задачею. Отримано адекватну регресійну експоненціальну залежність процентного співвідношення видаленої рідини з твердих побутових відходів до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації від чисельності населення міста. Побудовано графічну залежність процентного співвідношення видаленої рідини з твердих побутових відходів до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації від чисельності населення міста, що дозволяє наглядно проілюструвати дану залежність та показати достатню збіжність теоретичних результатів з фактичними. Встановлено, що в містах із чисельності населення неменше 200 тис. осіб є можливість скидання у каналізаційну мережу рідини, отриманої зневодненням твердих побутових відходів під час їхнього завантаження у сміттєвоз, оскільки процентне співвідношення видаленої рідини з твердих побутових відходів до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації не перевищує науково обґрунтоване значення 0,2%. Для міст із чисельністю населення менше 200 тис. осіб запропонована залежність для визначення процентного обсягу можливого безпечного зневоднення твердих побутових відходів із скиданням рідини у каналізаційну мережу, що є однією із складових для вирішення проблеми створення науково-технічних основ проектування вискоелективних робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів.

Ключові слова: сміттєвоз, сміттєзвалище, зневоднення, тверді побутові відходи, фільтрат, каналізаційна мережа, регресійний аналіз.

Вступ

Для безпеки навколишнього середовища та охорони здоров'я серйозну загрозу становлять тверді побутові відходи (ТПВ) [1, 2], яких щорічно в Україні утворюються більше 54 млн. м³. Основна частина вітчизняних ТПВ захоронюється на 6107 полігонах та сміттєзвалищах площею майже 7700 га та лише частково переробляються або утилізуються на сміттєспалювальних заводах, на відміну від високорозвинутих країн, відомих широким впровадженням сучасних технологій переробки та утилізації ТПВ [3]. Протягом 1999-2014 рр. в 3 рази збільшилась сумарна площа полігонів та сміттєзвалищ в Україні. Також майже в 2 рази зросла площа перевантажених та більше ніж в 3,1 рази тих полігонів і сміттєзвалищ, що не відповідають нормам екологічної безпеки, в тому числі й через забруднення ґрунтів високотоксичним фільтратом [4, 5], який може потрапляти до підземних вод, забруднюючи їх. Для зменшення темпів зростання площ полігонів виконується технологічна операція ущільнення ТПВ під час завантаження у сміттєвоз [6]. Високий коефіцієнт ущільнення ТПВ сприяє ефективнішому використанню площі полігона [7]. Перевезення ТПВ сміттєвозами до місця утилізації при мінімальній відстані 30 км (розмір санітарної зони), в Україні пов'язане зі значними фінансовими витратами, оскільки комунальними службами витрачається більше 45 тис. т пального в рік [8]. Зношеність автопарку сміттєвозів комунальних підприємств України при цьому досягає майже 70 % [9], що обумовлює необхідність у виробництві нових

СМІТТЕВОЗІВ.

Постановка проблеми

Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 265 серед пріоритетних напрямів поведіння з ТПВ в Україні є забезпечення застосування сучасних високоефективних сміттевозів [10]. Тому обґрунтування можливості скидання у каналізаційну мережу рідини, отриманої зневодненням твердих побутових відходів під час їхнього завантаження у сміттевоз є актуальною науково-технічною задачею як однієї із складових для вирішення проблеми створення науково-технічних основ проектування високоефективних робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботі [11] запропоновано схему гідроприводу зневоднення та ущільнення ТПВ у сміттевозі під час їхнього завантаження із відведенням рідини у каналізаційну мережу. В статтях [12, 13] встановлено, що зневоднення ТПВ дозволяє забезпечити збільшення коефіцієнта їхнього ущільнення та зменшення їхньої маси, що підлягає перевезенню, безпосередньо в місцях збору, здійснити попередню переробку відходів шляхом їхнього зневоднення та частково подрібнення, а також, за рахунок зменшення об'єму та маси ТПВ, суттєво скоротити приріст площі земель, відведених під полігони та сміттєзвалища, що призведе, в свою чергу, до зниження темпів погіршення екологічної ситуації. В статті [14] удосконалено математичну модель у вигляді логарифмічної залежності концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів ТПВ. Найпростіше задача знешкодження фільтрату при невеликому його обсязі може бути вирішена шляхом скидання в систему загальноміської каналізації, якщо концентрації забруднюючих речовин з урахуванням їх розведення не перевищують установлених нормативів [15]. Однак у більшості випадків фільтрат містить високотоксичні і біорезистентні компоненти, що приводить до значного ускладнення очищення міських стічних вод. Наприклад, у Німеччині таке спільне очищення фільтрату дозволяється, якщо його обсяг складає не більш 5% від загального обсягу стоків, що подаються на міські очисні споруди. Згідно п. 3.113 ДБН В.2.4-2-2005 [16] скидання фільтрату в міську каналізаційну мережу допускається тільки в тому випадку, якщо обсяг і склад фільтрату відповідають вимогам «Правил прийому стічних вод підприємств у комунальні й відомчі системи каналізації міст і селищ України», за узгодженням з місцевими установами санепідслужби. В роботі [17] довготривалими експериментальними та напівпромисловими дослідженнями доведена перспективність очищення на міських каналізаційних очисних спорудах фільтратів сміттєзвалищ за умови розведення їх міськими стоками перед подачею на очищення до співвідношення 1:500, тобто об'єм фільтрату не повинен перевищувати 0,2% від об'єму стічних вод, що каналізаційними мережами подаються на очисні споруди. За такого співвідношення для змішування потоків висококонцентровані фільтрати сміттєзвалища не чинять негативного впливу на діяльність мікроорганізмів активного мулу, а ефект очищення за амонійним азотом становить 92,6%, що майже дорівнює ефекту 95% очищення стічних вод без додавання фільтрату. Однак конкретних математичних залежностей процентного співвідношення видаленої рідини з ТПВ до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації від чисельності населення міста, в результаті аналізу відомих публікацій, автором не виявлено.

Мета і завдання статті

Метою цієї статті є обґрунтування за допомогою регресійного аналізу можливості скидання у каналізаційну мережу рідини, отриманої зневодненням твердих побутових відходів під час їхнього завантаження у сміттевоз, що є однієї із складових для вирішення

проблеми створення науково-технічних основ проектування вискоефективних робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів.

Методи і матеріали

Для визначення регресійної залежності процентного співвідношення видаленої рідини з ТПВ до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації від чисельності населення міста використано такі методи: регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей, комп'ютерного моделювання.

Результати досліджень

У таблиці 1 показані статистичні дані для визначення процентного співвідношення видаленої рідини з ТПВ до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації в містах України з різною чисельністю населення [18, 19]. На основі даних таблиці 1 планувалось отримати парну регресійну залежність процентного співвідношення видаленої рідини з ТПВ до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації від чисельності населення міста.

Таблиця 1

Статистичні дані для визначення процентного співвідношення видаленої рідини з ТПВ до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації в містах України з різною чисельністю населення [18, 19]

Місто	Київ	Одеса	Кривий Ріг	Вінниця	Рівне	Луцьк	Краматорськ	Бердичів
Чисельність населення, тис. осіб	2965,5	993,1	634,8	370,8	243,9	214,0	157,2	75,44
Фактична продуктивність очисних споруд каналізації, м ³ /добу [18]	725644	246301	201452	64110	60000	45963	21836	3918
Середньодобовий об'єм ТПВ, м ³ /добу [19]	15500	5479	4863	1954	1945	1699	1509	400
Орієнтовний денний об'єм видаленої рідини з ТПВ, м ³ /добу	817,9	289,1	256,6	103,1	102,6	89,66	79,63	21,11
Відсоток видаленої рідини з ТПВ до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації, %	0,1127	0,1174	0,1274	0,1608	0,1711	0,1951	0,3648	0,5388

Оскільки тиск пресування ТПВ в існуючих конструкціях сміттєвозів не перевищує 0,1 МПа, що значно менше необхідних 10...60 МПа [12] для видалення з них вологи, то отримання статистичних даних щодо реальних об'ємів видаленої вологи з ТПВ не представляється можливим. Тому орієнтовний денний об'єм видаленої рідини з ТПВ за результатами експериментального дослідження [21], які пропонується реалізувати на практиці за допомогою нової конструкції гідроприводу зневоднення та ущільнення ТПВ у сміттєвозі [11] визначався за формулою

$$Q_{p.ТПВ} = \frac{(w_0 - w_1)Q_{ТПВ}\rho_0}{100\rho_{води}} \quad [\text{м}^3/\text{добу}], \quad (1)$$

де w_0 – початкова відносна вологість ТПВ [20], %; w_1 – орієнтовна відносна вологість ТПВ після зневоднення, визначена за залежністю, отриманою в статті [21], %; $Q_{ТПВ}$ – середньодобовий об'єм ТПВ, м³/добу; ρ_0 – насипна густина ТПВ [20], кг/м³; $\rho_{води} = 1000$ кг/м³ – густина води, кг/м³.

Відсоток видаленої рідини з ТПВ до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації визначався за формулою

$$\delta Q = \frac{Q_{p.ТПВ}}{Q_{Ф.кан.}} \cdot 100\% \quad [\%], \quad (2)$$

де $Q_{Ф.кан.}$ – фактична продуктивність очисних споруд каналізації, м³/добу.

Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівняння регресії здійснювалась методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір [22], і детально описана в роботі [23].

Результати регресійного аналізу наведені в таблиці 2, де сірим кольором позначено комірку з максимальним значенням коефіцієнта кореляції R .

Отже, за результатами регресійного аналізу на основі даних таблиці 1, як найбільш адекватну остаточно прийнято таку регресійну залежність

$$\delta Q = 0,1101e^{129,8/n} \pm 4,03\% \quad [\%], \quad (3)$$

де n – чисельність населення міста, тис. осіб.

Таблиця 2

Результати регресійного аналізу залежності процентного співвідношення видаленої рідини з ТПВ до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації від чисельності населення міста

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,48365	9	$y = ax^b$	0,87249
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,68724	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,79682
3	$y = a + b / x$	0,94998	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,79682
4	$y = x / (a + bx)$	0,94980	12	$y = a / (b + x)$	0,68724
5	$y = ab^x$	0,58520	13	$y = ax / (b + x)$	0,92223
6	$y = ae^{bx}$	0,58520	14	$y = ae^{b/x}$	0,95975
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,58520	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,95974
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,63042	16	$y = a + bx^n$	0,34991

Як видно із табл. 2, із збільшенням чисельності населення міста відсоток видаленої рідини з ТПВ до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації спадає за експоненціальною залежністю.

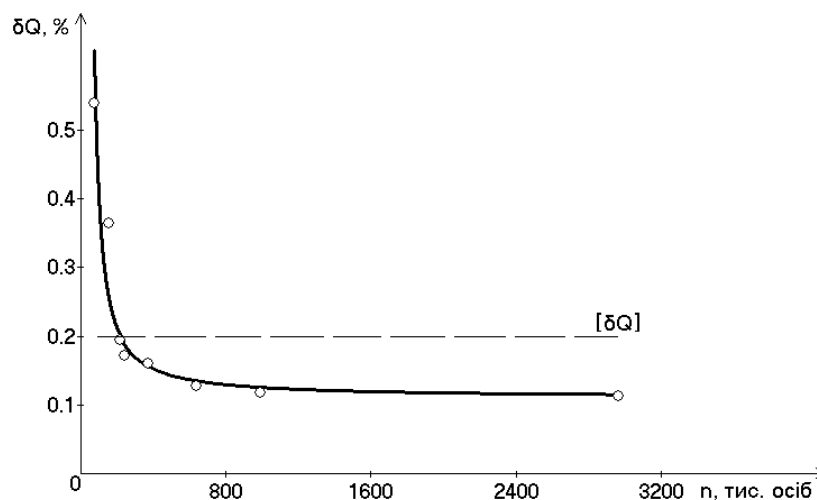


Рис. Залежність процентного співвідношення видаленої рідини з ТПВ до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації від чисельності населення міста: фактична \circ , теоретична —, допустима - - -

На рис. показана фактична та теоретична графічна залежності процентного співвідношення видаленої рідини з ТПВ до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації від чисельності населення міста.

Порівняння фактичних та теоретичних даних показало, що теоретична залежність процентного співвідношення видаленої рідини з ТПВ до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації від чисельності населення міста, розрахована за допомогою рівняння регресії (3), несуттєво відрізняється від даних, наведених в табл. 1 [18, 19], що підтверджує визначену раніше достатню точність отриманої залежності.

Як видно із рис., в містах із чисельності населення неменше 200 тис. осіб є можливість скидання у каналізаційну мережу рідини, отриманої зневодненням ТПВ під час їхнього завантаження у сміттєвоз, оскільки процентне співвідношення видаленої рідини з ТПВ до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації не перевищує науково обґрунтоване в роботі [17] значення $[\delta Q] = 0,2\%$. Для міст із чисельністю населення менше 200 тис. осіб можливим є лише часткове скидання у каналізаційну мережу рідини, отриманої зневодненням ТПВ під час їхнього завантаження у сміттєвоз, а процентний обсяг можливого безпечного зневоднення ТПВ для таких міст може бути визначений за залежністю

$$P_{знев.} = \frac{[\delta Q]}{\delta Q} 100\% \pm 4,03\% = \frac{[\delta Q]}{0,1101e^{129,8/n}} 100\% \pm 4,03\% = \frac{908,3[\delta Q]}{e^{129,8/n}} \pm 4,03\% \quad [4]$$

Наприклад, для міст Бердичів та Краматорськ процентний обсяг можливого безпечного зневоднення ТПВ із скиданням рідини у каналізаційну мережу, розрахований за залежністю (4), складає $32,51 \pm 4,03\%$ та $79,55 \pm 4,03\%$, відповідно.

Висновки

1. Визначено, що із збільшенням чисельності населення міста відсоток видаленої рідини з твердих побутових відходів до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації спадає за експоненціальною залежністю.

2. Побудовано графічну залежність процентного співвідношення видаленої рідини з твердих побутових відходів до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації від чисельності населення міста, що дозволяє наглядно проілюструвати дану залежність та показати достатню збіжність теоретичних результатів з фактичними.

3. Встановлено, що в містах із чисельності населення неменше 200 тис. осіб є можливість скидання у каналізаційну мережу рідини, отриманої зневодненням твердих побутових відходів під час їхнього завантаження у сміттєвоз, оскільки процентне співвідношення видаленої рідини з ТПВ до фактичної продуктивності очисних споруд каналізації не перевищує науково обґрунтоване в роботі [17] значення $[\delta Q] = 0,2\%$.

4. Для міст із чисельністю населення менше 200 тис. осіб запропонована залежність для визначення процентного обсягу можливого безпечного зневоднення ТПВ із скиданням рідини у каналізаційну мережу, що є однією із складових для вирішення проблеми створення науково-технічних основ проектування вискоефективних робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Qdais Abu H. Kinetics of solid waste biodegradation in laboratory lysimeters / H. Abu Qdais, A. Alsheraideh // Jordan Journal of Civil Engineering. – 2008. – Vol. 2, № 1. – P. 45 – 52.
2. Hamer G. Solid waste treatment and disposal : effects on public health and environmental safety / G. Hamer // Biotechnology advances. – 2003. – Vol. 22, № 1 – 2. – P. 71 – 79. – <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2003.08.007>
3. Мороз О. В. Економічні аспекти вирішення екологічних проблем утилізації твердих побутових відходів : монографія / О. В. Мороз, А. О. Свентух, О. Т. Свентух. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 110 с.
4. Воронкова Т. В. Система управління образованием фильтрата полигонов ТБО / Т. В. Воронкова, С. Ю. Чудинов // Твердые бытовые отходы. – 2013. – № 8. – С. 36 – 40.

5. Попович В. В. Екологічна небезпека фільтрату сміттєзвалищ / В. В. Попович // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи», 4-6 листопада 2015 р. – Львів, 2015. – С. 165 – 166.
6. Berezyuk O. V. Dynamics of hydraulic drive of hanging sweeping equipment of dust-cart with extended functional possibilities / O. V. Berezyuk, V. I. Savulyak // *TEHNOMUS – New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies*. – Suceava, Romania, 2015. – № 22. – P. 345 – 351.
7. Berezyuk O. Approximated mathematical model of hydraulic drive of container upturning during loading of solid domestic wastes into a dustcart / O. Berezyuk, V. Savulyak // *Technical Sciences*. – 2017. – № 20 (3). – P. 259 – 273.
8. Савуляк В. І. Технічне забезпечення збирання, перевезення та підготовки до переробки твердих побутових відходів : монографія / В. І. Савуляк, О. В. Березюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 217 с.
9. Попович В. В. Ефективність експлуатації сміттєвозів у середовищі "місто-сміттєзвалище" / В. В. Попович, О. В. Придатко, М. І. Сичевський // *Науковий вісник НЛТУ України*. – 2017. – Т. 27, № 10. – С. 111 – 116.
10. Кабінет Міністрів України. Постанова № 265 "Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами" [Електронний ресурс] 4 березня 2004. Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF>
11. Патент № 109036 У Україна, МПК (2016.01) B65F 3/00. Гідропривід зневоднення та ущільнення твердих побутових відходів у сміттєвозі / Березюк О. В. ; заявник і власник Березюк О. В. – u201601154 ; заявл. 11.02.2016 ; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15.
12. Березюк О. В. Шляхи підвищення ефективності пресування твердих побутових відходів у сміттєвозах / О. В. Березюк // *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві : Науково-технічний збірник*. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – № 1 (6). – С. 111 – 114.
13. Березюк О. В. Привод зневоднення та ущільнення твердих побутових відходів у сміттєвозі / О. В. Березюк // *Вісник машинобудування та транспорту*. – 2016. – № 2. – С. 14 – 18.
14. Березюк О. В. Удосконалення математичної моделі концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів твердих побутових відходів / О. В. Березюк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2016. – № 4. – С. 28 – 31.
15. Анфимова Ю. В. Фильтрат: технологии очистки / Ю. В. Анфимова, И. С. Глушанкова // *Твердые бытовые отходы*. – 2008. – №. 2. – С. 26 – 31.
16. ДБН В.2.4-2-2005. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/85.1.%20%D0%94%D0%91%D0%9D%20%D0%92.2.4-2-2005.%20%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%96%D0%B3%D0%BE%D0%BD%D0%B8%20%D1%82%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B4%D0%B8%D1%85%20%D0%BF%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%85%20%D0%B2%D1%96%D0%B4%D1%85.pdf>
17. Шандрович В. Т. Підвищення рівня екологічної безпеки шляхом удосконалення роботи міських очисних споруд : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 / Шандрович Віра Тарасівна. – Національний університет "Львівська політехніка", 2015. – 178 с.
18. Міністерство розвитку громад та територій України. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2018 році. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/11/Projekt-Nats.-dop.-za-2018.pdf>
19. Міністерство розвитку громад та територій України. Впровадження роздільного збирання твердих побутових відходів (ТПВ) станом на 04.09.2017 [Електронний ресурс] 4 вересня 2017. Режим доступу : <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/10/2017.pdf>
20. Масленников А. Ю. Характеристика твердых бытовых отходов [Электронный ресурс] / А. Ю. Масленников // *Отраслевой портал. Вторичное сырье*. – Режим доступа : <http://www.recyclers.ru>
21. Березюк О. В. Експериментальне дослідження процесів зневоднення твердих побутових відходів шнековим пресом / О. В. Березюк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2018. – № 5. – С. 18 – 24. – <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2018-140-5-18-24>.
22. Березюк О. В. Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz") / О. В. Березюк // *Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 49486*. – К. : Державна служба інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації : 03.06.2013.
23. Березюк О. В. Встановлення регресій параметрів захоронення відходів та потреби в ущільнювальних машинах на основі комп'ютерної програми "RegAnaliz" / О. В. Березюк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2014. – № 1. – С. 40 – 45.

Стаття надійшла до редакції 14.06.2020 р.

Стаття пройшла рецензування 21.06.2020 р.

Березюк Олег Володимирович – к. т. н., доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки.
Вінницький національний технічний університет.