

УДК 631.6:551.5

Громаченко С.Ю., аспірант, Рокочинський А.М., д.т.н., професор
(Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне)

**ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ Й РЕАЛІЗАЦІЇ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗНОЇ
ОЦІНКИ ВОДНОГО РЕЖИМУ СМІТТЄЗВАЛИЩ ТА ПОЛІГОНІВ ВІДХОДІВ
НА ДОВГОТЕРМІНОВІЙ ОСНОВІ Й ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ЇХ СКЛАДОВИХ**

Розглянуті моделі прогнозу режиму утворення фільтрату сміттєзвалищ та полігонів твердих побутових відходів на довготерміновій основі та принципи й підходи їх реалізації у комплексі інженерно-меліоративних природоохоронних заходів.

Ключові слова: моделі прогнозу, фільтрат, сміттєзвалища, полігони відходів, інженерно-меліоративні заходи.

The long-term simulation models of forecast the municipal solid waste dumps and landfills filtrate generation regime have been considered. The principles and approaches of the simulation models implementation within the complex of engineering land reclamation measures have been disclosed.

Key words: forecast models, filtrate, waste dumps, waste landfills, engineering land reclamation measures.

Рассмотрены модели прогноза режима образования фильтрата свалок мусора и полигонов твердых бытовых отходов на долгосрочной основе, а также принципы и подходы их реализации в комплексе инженерно-мелиоративных природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: модели прогноза, фильтрат, свалки мусора, полигоны отходов, инженерно-мелиоративные мероприятия.

У розвиток наших досліджень [2, 3, 4] щодо забезпечення достатнього рівня надійності й еколого-економічної ефективності застосування комплексу інженерно-меліоративних природоохоронних заходів з метою створення і підтримання екологічно безпечного стану довкілля у зоні розташування об'єктів складування відходів необхідно встановити об'єм та режим утворення фільтрату.

При цьому, науково-методичні підходи до визначення об'єму фільтрату сміттєзвалищ та полігонів твердих побутових відходів (ТПВ) на основі теоретично обґрунтованого та апробованого на практиці методу водного балансу розглянуто нами у [4 та ін.].

По аналогії з [1, 7], водний режим території складування відходів харак-

теризується складністю формування, і розглядається у межах сміттєзвалища або полігону ТПВ, які можуть бути повною мірою віднесені до складних природно-технічних систем (ПТС).

Загальновизнаною сучасною методологічною основою для розв'язування складних проблем взагалі і виникаючих в них міждисциплінарних ситуацій є системний аналіз і системний підхід як його методологічне ядро.

За системним підходом складовими створюваного комплексу інженерно-меліоративних природоохоронних заходів є імітаційні моделі щодо прогнозу водного режиму та кліматичних умов місцевості.

Сміттєзвалища та полігони ТПВ мають суттєві відмінності у конструкції та умовах експлуатації [4], а отже і різні сценарії перебігу фізико-хімічних процесів, що спонукає до розробки **розрахункової схеми** водного балансу та моделі водного режиму для обох вищезгаданих об'єктів.

Така схема може бути представлена, в загальному випадку, у трикомпонентному (сміттєзвалище) та двокомпонентному (полігон ТПВ) вигляді (рис. 1, 2).

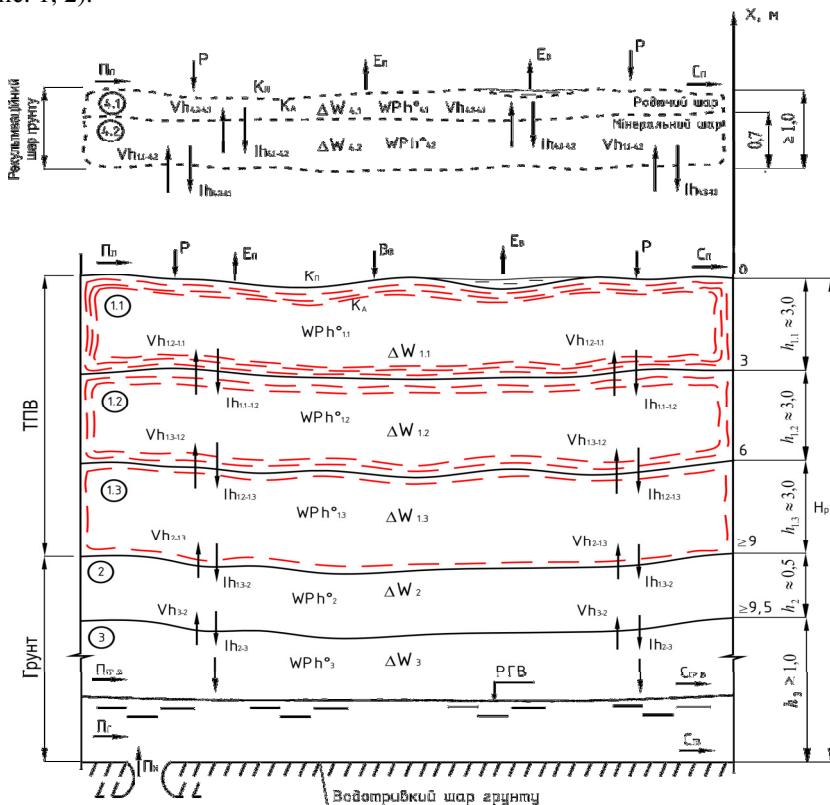


Рис. 1. Розрахункова схема водного балансу сміттєзвалища

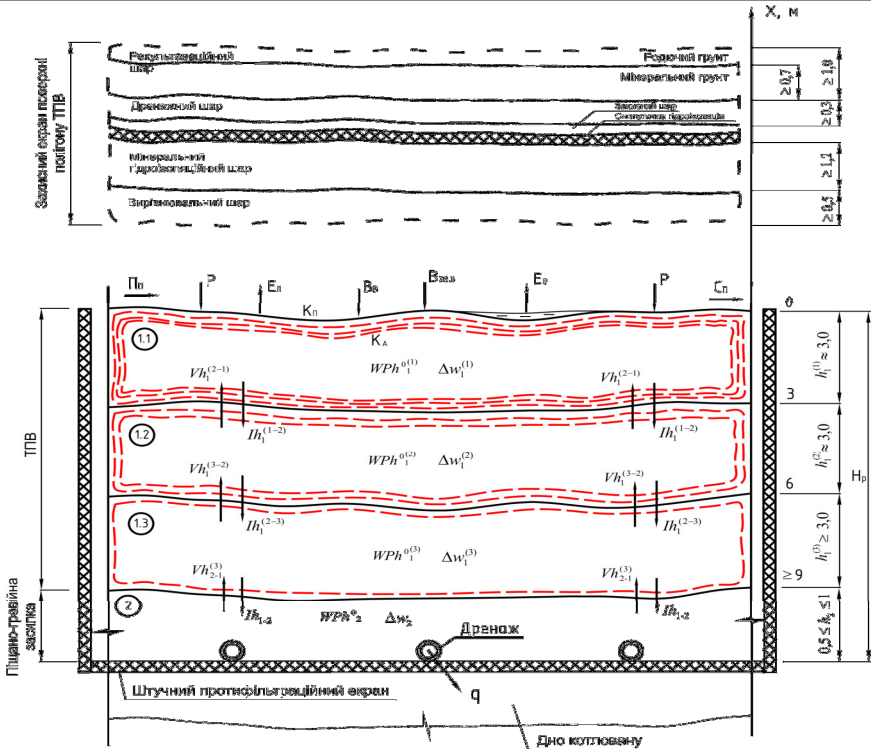


Рис. 2. Розрахункова схема водного балансу полігону ТПВ

При цьому, виходячи зі специфічних вимог до розробки загального комплексу інженерно-меліоративних заходів, разом з кліматичними складовими необхідно враховувати вологообмін з шарів техногенного ґрунту ділянки складування – відходів, ґрунту підстилаючої земної поверхні та рівня ґрунтових вод (сміттєзвалище), а також мінерального ґрунту засипки дна котловану (полігон ТПВ) тощо.

Інтегральна характеристика зміни вологозапасів $\Delta W^{(S)}$ за розрахунковим профілем сміттєзвалища за розрахунковий період згідно наведеної розрахункової схеми (рис. 1) буде визначатись як

$$\Delta W^{(S)} = \sum_{i=1}^4 \Delta w_i, \quad (1)$$

де Δw_i – зміна вологозапасів відповідно у конкретному розрахунковому шарі ґрунту (РШГ); i – кількість розрахункових шарів по профілю сміттєз-

лища, $i = \overline{1,4}$.

У такому випадку, з використанням попередніх позначень, водний режим сміттєзвалища через його основні характеристики – вологозапаси масиву відходів $w_1 = f(\tau)$, зони верхнього шару ґрунту (аерації) $w_2 = f(\tau)$, зони ґрунтових вод $w_3 = f(\tau)$ і рекультиваційного шару $w_4 = f(\tau)$ – за фіксованих водно-фізичних властивостей середовища і скінчених відрізків часу $\{\tau\}$, $\tau = \overline{\underline{\tau}, \overline{\tau}}$ у межах розрахункового (p -го щодо вологозабезпеченості) періоду року схематично можна представити такою загальною моделлю у вигляді

$$F(w_1, w_2, w_3, w_4, \tau) = N_0 + \sum_{\tau=\underline{\tau}}^{\overline{\tau}} f_{\tau}(P_{\tau}, E_{\tau}, V_{\tau}, K_{\tau}, R_{\tau}, Mf_{\tau}), \quad (2)$$

де N_0 – початкові умови, P_{τ} – опади, E_{τ} – сумарне випаровування, $V_{\tau} = f_{\tau}(w_1, w_2)$ – функція вологообміну масиву відходів з зоною верхнього шару ґрунту (аерації), $K_{\tau} = f_{\tau}(w_2, w_3)$ – функція вологообміну зони верхнього шару ґрунту (аерації) з зоною РГВ, $R_{\tau} = f_{\tau}(w_4, w_1)$ – функція вологообміну рекультиваційного шару з масивом відходів, Mf_{τ} – показник водного балансу щодо об'єму інфільтрату для періоду часу $\tau = \overline{\underline{\tau}, \overline{\tau}}$, що змінюється від початку $\underline{\tau}$ до його закінчення $\overline{\tau}$.

За аналогією з (1) загальну зміну вологозапасів $\Delta W^{(P)}$ для розрахункового профілю полігону ТПВ (рис. 2) можна представити як

$$\Delta W^{(P)} = \sum_{l=1}^2 \Delta w_l, \quad (3)$$

де Δw_l – зміна вологозапасів відповідно у конкретному РШГ; l – кількість розрахункових шарів по профілю полігону ТПВ, $l = \overline{1,2}$.

Тому водний режим полігону ТПВ через його основні характеристики – вологозапаси масиву відходів $w_1 = f(\tau)$ та вологозапаси зони піщано-гравійної засипки $w_2 = f(\tau)$ – за фіксованих водно-фізичних властивостей середовища і скінчених відрізків часу $\{\tau\}$, $\tau = \overline{\underline{\tau}, \overline{\tau}}$ у межах розрахункового (p -го щодо вологозабезпеченості) періоду року у загальному вигляді схематично запишемо наступним чином:

$$F(w_1, w_2, \tau) = N_0 + \sum_{\tau=\bar{\tau}}^{\bar{\tau}} f_{\tau}(P_{\tau}, m_{\tau}, E_{\tau}, L_{\tau}, Mf_{\tau}), \quad (4)$$

де $L_{\tau} = f_{\tau}(w_1, w_2)$ – функція вологообміну масиву відходів з зоною піщано-гравійної засипки; m_{τ} – об’єм води, що подається на додаткове зволоження відходів згідно умов експлуатації полігону ТПВ (решта позначень аналогічні попереднім).

Згідно [1] рівняння водного балансу рекурентного типу, що представлені в інтегральній формі у формулах (2), (4) відповідають вимогам моделювання водного режиму складних ПТС.

Модель водного режиму об’єкту складування відходів у загальному неявному вигляді як модель дискретної за часом динамічної системи може бути представлена рівнянням

$$\vec{W}_{\tau} = W_{\tau}(W_{\tau-1}, q_{\tau}, a_{\tau}^g, \tau), \quad \tau = \overline{1, n_{\tau}}, \quad (5)$$

де \vec{W}_{τ} – вектор, що представляє стан вологозапасів у будь-який момент часу τ (де τ – крок дискретизації моделі), q_{τ} – вектор некерованих метеорологічних факторів, a_{τ}^g – параметри системи у момент часу τ , $W_{\tau-1}$ – вектор стану розвитку вологозапасів системи за попередній період.

Для прийнятої структури розрахунків і заданого кроку дискретизації τ , означена модель (5) матиме такий загальний вигляд:

$$Wh_{\tau} = Wh_{\tau-1} + P_{\tau} + m_{\tau} - E_{\tau} \pm Vh_{\tau} \pm Mf_{\tau}, \tau = \overline{1, n_{\tau}}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (6)$$

де Wh_{τ} , $Wh_{\tau-1}$ – відповідні запаси продуктивної вологи РШГ на кінець розрахункових поточного τ і попереднього ($\tau - 1$) інтервалів часу при заданому початковому значенні Wh_0 ; P_{τ} – величина опадів за час τ ; E_{τ} – відповідна величина сумарного випаровування; Vh_{τ} – величина вологообміну РШГ h з нижче розташованими шарами й РГВ у вигляді живлення (+) VVh_{τ} або інфільтрації (–) VIh_{τ} ; m_{τ} – об’єм води, що подається на додаткове зволоження відходів (тільки для варіанту розрахунку водного режиму полігону ТПВ); Mf_{τ} – показник водного балансу щодо об’єму інфільтрату.

Модель водного режиму у вигляді рівняння (6) описує квазістаціонарний процес, коли всі зміни досліджуваного складного явища відбуваються миттєво наприкінці розрахункового терміну часу τ . Вона дозволяє виконувати водобалансові розрахунки при моделюванні в динаміці зміни водного режиму і визначальних його складових на сміттєзвалищі або полігоні ТПВ [1].

Серед основних режимно-технологічних параметрів складових моделей водного режиму сміттєзвалища та полігону ТПВ слід виділити такі: кліматичні складові, випаровування та вологообмін.

Кліматичні складові. Загально визнано, і як це було показано у попередніх наших публікаціях [4, 5], кліматичні (метеорологічні) умови мають визначальний вплив на формування водного і загального природно-екологічно-меліоративного режимів об'єктів складування відходів.

Метеорологічний режим є складним стохастичним процесом, тому з огляду на рівень задачі, що розглядається, мета метеорологічного прогнозу буде полягати в отриманні типових схем метеорологічних режимів у вигляді розподілу сукупності головних метеофакторів у багаторічному та річному перебігах [1, 6].

Такий розподіл значень метеорологічних величин \bar{X}_{fp} , сукупності метеофакторів $f = \overline{1, n_f}$, всередині розрахункових періодів p -ї ймовірності перевищення $p = \overline{1, n_p}$ за розрахункові проміжки часу $\{\tau\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$ можна представити кривими Фур'є n -го порядку за такою загальною моделлю у векторно-матричному вигляді [6]

$$\bar{x}_{fp} = a_{0_{fp}} + \sum_{n=1}^n \left(a_{n_{fp}} \cos nC \cdot \tau + b_{n_{fp}} \sin nC \cdot \tau \right), \quad f = \overline{1, n_f}; \quad p = \overline{1, n_p}; \quad \tau = \overline{1, n_\tau}, \quad (7)$$

де \bar{x}_{fp} – вектор стану (розрахункові значення) f -го метеофактора за розрахунковий інтервал часу всередині розрахункового періоду p -ї ймовірності перевищення; C – константа, яка дорівнює $360^\circ / N_x$ (де N_x – кількість розрахункових інтервалів часу в циклі); n – порядок періодичної кривої; a, b – емпіричні коефіцієнти рівняння періодичної кривої.

Проведені дослідження показали, що застосування кривих Фур'є 2-го порядку в цілому забезпечує достатню для практики відповідність фактичних і розрахункових даних. Вони також свідчать про загальний, досить високий рівень ефективності застосування розглянутої моделі формалізації внутрішньорічного розподілу метеофакторів [1, 5, 6].

Потенційна величина сумарного випаровування $EV_{op\tau}$ при реалізації вихідної моделі водного режиму (6) може бути визначена за такою загальною формулою

$$EV_{op\tau} = 0,61 \cdot \sum d_{op\tau}, \quad (8)$$

де $\sum d_{op\tau}$ – сума дефіцитів вологості повітря за розглядуваний інтервал часу τ в межах відповідного адміністративного району $\omega = \overline{1, n_\omega}$; 0,61 – біокліматичний коефіцієнт (позначення індексів аналогічні попереднім).

Тоді ефективне значення випаровування $EP_{\omega p \tau}$ знаходиться як

$$EP_{\omega p \tau} = EV_{\omega p \tau} \cdot \lambda_{\omega p \tau}^w, \quad (9)$$

де $\lambda_{\omega p \tau}^w$ – коефіцієнт, аналогічний за своїм змістом коефіцієнту редукції (за В.П.Остапчиком) [7, 1], що характеризує ефективність реалізації потенційного випаровування відносно наявного вологовмісту активного шару техногенного ґрунту.

Визначення потенційно можливого та ефективного значення **вологообміну** техногенного ґрунту відходів з нижче розташованими шарами й РГВ є найбільш складним, оскільки цей процес може відбуватися залежно від співвідношення між опадами і сумарним випаровуванням стосовно акумулюючої здатності ґрунту практично у протилежних напрямках і, тим самим, формувати відповідну реалізацію загальної моделі.

Величина вологообміну визначається як

$$Vh_{\tau} = WPh_g^0 - WPh_{\tau-1} - P_{\tau} + EV_{\tau} \quad (11)$$

Можливі два таких випадки: якщо за (11) отримуємо $Vh_{\tau} > 0$, то в балансовій моделі (6) відбувається трансформація $Vh_{\tau} \rightarrow VVh_{\tau} \rightarrow VPh_{\tau}$. А якщо $Vh_{\tau} < 0$, то $Vh_{\tau} \rightarrow VIh_{\tau}$, що має місце, як правило, коли $P_{\tau} > (Wh_{\tau} + EV_{\tau})$ і виникає інфільтрація опадів через РШГ.

У такому разі ефективне значення вологообміну знаходиться як

$$VIh_{\tau} = WPh_g^0 - WPh_{\tau-1} - P_{\tau} + EV_{\tau}, \quad (12)$$

Виходячи з прийнятої структури прогнозного розрахунку за моделлю водного режиму для визначення ефективної величини живлення РГВ $VIh_{\omega p \tau}$ з вище розташованих шарів ТПВ з урахуванням змінних природно-еколого-меліоративних умов, нами апробована і пропонується для використання залежність, що ґрунтується на загально визнаній моделі С.І. Харченка [8]

$$VIh_{\omega p \tau} = 10\mu_g \Delta H_{gp \tau}, \quad (13)$$

де μ_g – коефіцієнт водовіддачі техногенного ґрунту відходів g в зоні зміни рівня ґрунтових вод $\Delta H_{gp \tau}$.

Якщо навпаки, має місце живлення шару ТПВ із рівня РГВ, то його потенційно можлива величина $VVh_{\omega p \tau}$ визначається за формулою [8]

$$VVh_{\omega p \tau} = EV_{\omega gp \tau} \cdot e^{-m_g \bar{H}_{gp}}, \quad (14)$$

де $EV_{\omega gp \tau}$ – потенційне сумарне водоспоживання; e – основа натураль-

ного логарифма; m_g – коефіцієнт, що враховує водно-фізичні властивості ґрунту g ; $\bar{H}_{g_{gp}}$ – глибина залягання РГВ залежно від виду ґрунту g .

У подальших розрахунках, потенційно можлива величина VVh_{opt} , визначена за (14), коректується до її ефективного значення VPh_{opt} з урахуванням реального співвідношення між прибутковими й витратними складовими рівняння водного балансу стосовно акумулюючої ємкості розрахункового шару техногенного ґрунту відходів.

Таким чином, розглянуті методи і моделі дозволяють досить простим та ефективним способом визначати величини основних метеофакторів, зокрема опадів, температури і дефіцитів вологості, розраховувати потенційно можливі й ефективні величини випаровування та вологообміну техногенного ґрунту відходів з нижче розташованими шарами й РГВ при реалізації моделі водного режиму об'єктів складування відходів для подальшої розробки комплексу інженерно-меліоративних природоохоронних заходів.

1. А.М. Рокочинський. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах: монографія / за редакцією академіка УААН Ромащенко М.І. – Рівне: НУВГП, 2010. – 35 с.
2. А.М. Рокочинський, С.Ю. Громаченко. Защита почв и водных объектов от техногенных загрязнений на основе комплекса инженерно-мелиоративных мероприятий. Роль мелиорации в обеспечении продовольственной и экологической безопасности России: сб. материалов Международной научн.-практ. конф. – Ч.1. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2009. – С. 124-128.
3. А.М. Рокочинський, С.Ю. Громаченко. Обґрунтування необхідності розробки комплексу інженерно-меліоративних заходів для запобігання забруднення природних екосистем полігонами та звалищами відходів. Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво, вип. 34, міжвідомчий науково-технічний збірник. – Рівне: НУВГП, 2009. – 372 с.
4. С.Ю. Громаченко. Водобалансові розрахунки природно-техногенних об'єктів. Еколого-збалансоване управління меліорованими ландшафтами: Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених. – Херсон: РВВ «Колос», 2010. – 160 с.
5. А.М. Рокочинський, С.Ю. Громаченко. Метеорологічне забезпечення водобалансових розрахунків при обґрунтуванні комплексу інженерно-меліоративних природоохоронних заходів // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпропетровськ, Дніпропетровський державний аграрний університет, 2010. – 157 с.
6. Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем. Посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди». – Київ, 2008. – 64 с.
7. Информационно-советующая система управления орошением / В.П. Остапчик, В.А. Костромин, А.М. Коваль и др.: под ред. В.П. Остапчика. – Киев: Урожай, 1989. – 248 с.
8. С.И. Харченко. Гидрология орошаемых земель. Изд. 2-е, перераб. и доп., Л., Гидрометеоздат, 1975. – 373 с.

Рецензент: д.т.н., професор Рокочинський А.М. (НУВГП)