

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.57.165-178>

УДК 711.581-168

Банах Андрій Вікторович,

Кандидат технічних наук, доцент

Запорізького національного університету

andrew.banakh@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0002-0517-2157>

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ҐРУНТОВИХ ВОД НА ЗАБУДОВАНІЙ ТЕРИТОРІЇ

Анотація: обґрунтовано основний чинник антропогенної містобудівної системи – забудова (її вага), що з часом найбільш впливає на трансформацію природних умов. З’ясовано основний чинник природної містобудівної системи – рівень ґрунтових вод, який, в свою чергу, з часом змінює майже всі властивості ґрунтів основи та найбільш впливає на антропогенну систему у вигляді міської забудови. Визначена математична залежність і запропонована математична модель прогнозування змінення рівня ґрунтових вод на забудованій території в часовій області. Наведено спосіб застосування запропонованої моделі за допомогою обчислювального методу скінченних різниць. Результати використання даної моделі порівняні з даними, отриманими за існуючими методами визначення змінення рівня ґрунтових вод.

Ключові слова: математична модель, прогнозування, територія, забудова, рівень ґрунтових вод, потік ґрунтових вод, фільтрація, інфільтрація.

Постановка проблеми. В містобудівній практиці відбувається перехід від екстенсивного до інтенсивного методу розпланування та забудови міст, збільшується кількість типів територій, що підлягає забудові, в тому числі в залежності від гідрогеологічних особливостей природної території, що ускладнює процес містобудівного проектування.

Сучасний стан проблематики містобудівного проектування диктує необхідність вести мову про містобудівну оцінку території, що підлягає новій забудові або реконструкції, як про результат ретельного аналізу та прогнозування стану природної та антропогенної містобудівних систем та їх взаємодії.

Основні недоліки процесу проектування при містобудівному освоєнні нових та реконструкції забудованих територій полягають, зокрема, у дослідженні природного середовища як комплексу ресурсів життєдіяльності, що організовується на обраній території, та врахуванні природних факторів для періоду до забудови без їх змінення в процесі функціонування та реконструкції території в часовій області. Також, відсутнє прогнозування стану

містобудівного об'єкту як такого, що знаходиться на межі природної та антропогенної містобудівних систем, відсутній аналіз взаємного впливу змінних у часі природних процесів на забудову. Крім того, архітектурно-композиційна оцінка в повному обсязі здійснюється тільки для остаточного варіанта розпланувального рішення, тому в процесі містобудівного проектування важливо проводити корекцію та параметричну оптимізацію варіанту архітектурно-розпланувального рішення.

Таким чином, для детальної розробки та реалізації моделі взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем необхідно визначити номенклатуру антропогенних навантажень і впливів, характерних певним функціональним зонам і розпланувальним особливостям, типу й поверховості будівель, дослідити вплив факторів взаємодії природного та антропогенного походження з метою кількісної оцінки цього впливу, сформулювати оціночні критерії прийняття різних варіантів розпланування, забудови та інженерної підготовки території, формалізувати процес будівельного зонування – визначити місця розташування та поверховості будівель і комплексів різного призначення, – з максимальним економічним і екологічним ефектом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основи взаємодії містобудівних систем викладені в працях М. М. Дьоміна [1], природні та антропогенні чинники взаємного впливу деталізовані у А. П. Осітнянко [2], але увага приділялася тільки окремому типу території, так само окремі випадки природних і антропогенних умов досить детально дослідив Д. Е. Пруссов [3].

В той же час гостро постає проблема аналізу містобудівних проектів та прогнозування впливу природних і антропогенних факторів і взаємодії відповідних систем на будь-яких, в тому числі рівнинних територіях з міською забудовою, при її повільному розвитку та особливо при реконструкції. З часом, що вимірюється десятиліттями, але далеким від терміну експлуатації об'єктів забудови, закладеному в проектах, природні умови під впливом антропогенних чинників змінюються порівняно до початкових настільки, що їх можна вважати непроектними (надпроектними, позапроектними), і це відображається в роботах Ю. П. Єгорова, В. Б. Ткаченка та інших [4-6].

Фактори взаємодії природної та антропогенної систем в процесі містобудівного освоєння територій та їх взаємний зв'язок досліджений у [7], але безвідносно до їх варіативності. Дана робота присвячена моделюванню взаємозв'язку окремих природних і антропогенних чинників.

Формулювання задачі дослідження. Одним з основних факторів взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем, що з часом змінює практично всі властивості ґрунтового масиву-основи міської забудови під дією ваги останньої, є рівень ґрунтових вод, тому задачею даного дослідження є

побудова математичної моделі впливу міської забудови на рівень ґрунтових вод у часовій області, визначення способу спрощення застосування такої моделі та апробація результатів її використання у вигляді порівняння з існуючими методами.

Мета дослідження. Побудова математичної моделі прогнозування змінення рівня ґрунтових вод на забудованій території.

Методи дослідження. У дослідженні використано методи системного аналізу, методи теорії моделювання, методи математичного моделювання, обчислювальні методи (метод скінченних різниць).

Наукова новизна. Обґрунтовано основний чинник антропогенної містобудівної системи – забудова (її вага), що з часом найбільш впливає на трансформацію природних умов. З'ясовано основний чинник природної містобудівної системи, що, в свою чергу, з часом змінює майже всі властивості ґрунтів основи та найбільш впливає на антропогенну систему у вигляді міської забудови. Визначена математична залежність і запропонована математична модель прогнозування змінення рівня ґрунтових вод на забудованій території в часовій області. Наведено спосіб застосування запропонованої моделі за допомогою обчислювального методу скінченних різниць. Результати використання даної моделі порівняні з даними, отриманими за існуючими методами визначення змінення рівня ґрунтових вод.

Викладення основного матеріалу та результатів дослідження.

Природні та антропогенні умови, при яких спостерігається підтоплення, досить різноманітні, тому для аналізу причин, побудови прогнозів, розрахунку захисних споруд необхідно систематизувати ці умови, виділити головні чинники, що визначають процес підтоплення, та відкинути другорядні, що слабо впливають на цей процес.

Моделюванню підлягають геометрична форма пластів або їх окремих частин у просторі, плані або розрізах, фільтраційна підпитка ґрунтових вод у просторі та часі, характеристики потоків ґрунтових вод (напрямок, потужність, швидкість режим), умови на межах області фільтрації, початкові умови та інше.

Фільтрація ґрунтових вод, що викликає підтоплення території у різних гідрогеологічних умовах, практично у всіх випадках може розглядатися як безнапірна фільтрація рідини, що не стискається, для якої рівняння нерозривності має вигляд [8]:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0, \quad (1)$$

де V_x , V_y , V_z – компоненти швидкості фільтрації V вздовж відповідних

осей координат.

При виконанні закону Дарсі:

$$V = -k \cdot \text{grad} (h). \quad (2)$$

Тоді рівняння (1) для анізотропного ґрунту набуває вигляду:

$$\frac{\partial \left(K_x \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(K_y \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \right)}{\partial y} + \frac{\partial \left(K_z \cdot \frac{\partial h}{\partial z} \right)}{\partial z} = 0, \quad (3)$$

де K_x, K_y, K_z – коефіцієнти фільтрації вздовж осей координат;

$h = z + (P / (\rho \cdot g))$ – напір ґрунтових вод.

У шаруватих ґрунтах з декількома водоносними горизонтами рівняння (3) складається для кожного шару окремо.

При безнапірному русі ґрунтові води мають вільну поверхню, на якій тиск можна вважати постійним і близьким до атмосферного. На такій поверхні виконується умова [8]:

$$\mu \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + (K_z + \omega) \cdot \frac{\partial h}{\partial z} - K_x \cdot \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 - K_y \cdot \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right)^2 = \omega, \quad (4)$$

де μ – коефіцієнт водовіддачі або нестачі насичення;

ω – інфільтрація.

Рівняння (3) або система таких рівнянь у випадку шаруватих водоносних пластів з умовою (4) визначає нестационарну фільтрацію ґрунтових вод з вільною поверхнею.

Задавання граничних умов на інших межах області фільтрації, в тому числі на межах окремих шарів у шаруватих водоносних пластах, і в початковий момент часу завершує постановку конкретної задачі.

Якщо фільтрацію розглядати в однорідному пласті з підстильним слабкопроникним шаром $z = l(x, y)$ товщиною $\delta(x, y)$, під яким є водоносний горизонт із середовищем, що фільтрує добре, то на підшві такого шару виконується умова:

$$V_n = K_g \cdot \frac{h - h_0}{\delta}, \quad (5)$$

де V_n – модуль швидкості фільтрації вздовж нормалі до слабкопроникного шару;

K_g – коефіцієнти фільтрації слабкопроникного шару;

h_0 – напір під слабопроникним шаром.

Інтегрування рівняння (3) по z з урахуванням умов (4) і (5) після усереднювання призводить до рівняння [8]:

$$\mu \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = K_x \cdot \frac{\partial \left[(h-l) \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right]}{\partial x} + K_y \cdot \frac{\partial \left[(h-l) \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \right]}{\partial y} - K_z \cdot \frac{h-h_0}{\delta} + \omega \cdot \left[1 + K_x \cdot K_z^{-1} \cdot (h-l) \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \cdot K_z^{-1} \cdot (h-l) \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right]. \quad (6)$$

Враховуючи те, що ґрунтові води є одним з провідних чинників, що з часом впливає на суттєве змінення практично всіх властивостей ґрунтового масиву-основи міської забудови [9], та зокрема сприяє утворенню зсувів на територіях, що мають значний схил [10]; той факт, що ґрунти, які знаходяться під впливом ваги забудови, не мають проміжних водоупорів, отже їх коефіцієнти фільтрації вздовж осей x та y однакові й $K_z \gg \omega$; а також схематизуючи геологічну будову та гідрогеологічні умови, вважається можливим рух ґрунтових вод на забудованій території представити як планову нестационарну фільтрацію для одношарового безнапірного потоку ґрунтових вод, що в загальному випадку підстиляється довільно розташованим (не обов'язково горизонтальним) водоупором.

Така задача математично описується диференціальним рівнянням параболічного типу [8]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ K_0(x, y) \cdot [h(x, y, t) - H_B(x, y)] \frac{\partial}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ K_0(x, y) \cdot [h(x, y, t) - H_B(x, y)] \frac{\partial}{\partial y} \right\} + W(x, y, t) = \mu \cdot \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (7)$$

де $K_0(x, y)$ – коефіцієнти фільтрації водоносного горизонту;

$h(x, y, t)$ – абсолютна відмітка рівня ґрунтових вод;

$H_B(x, y)$ – абсолютна відмітка підшви водоносного горизонту;

$W(x, y, t)$ – характеристика витрат води, що надходить у водоносний пласт (інфільтрація атмосферних опадів, додаткова інфільтрація за рахунок витоків із водоносних комунікацій, випаровування і транспірація);

μ – коефіцієнт водовіддачі або нестачі насичення.

Враховуючи характер ґрунтів водоносної товщі та зони аерації забудованої території для визначення коефіцієнта водовіддачі можна застосувати формулу [11]:

$$\mu = 0,117 \cdot \sqrt[3]{K}, \quad (8)$$

де K – коефіцієнти фільтрації.

Згідно до емпіричних даних [11, 12], формулою (8) можна користуватися при $\mu \geq 1$.

Рішення вищенаведеної межової задачі геофільтрації можливо здійснювати математичними або обчислювальними методами, яким властива більша універсальність і які дозволяють реалізовувати складні розрахункові моделі та граничні умови найзагальнішого вигляду, а також досягати високої точності результатів розрахунку [13].

Використовуючи обчислювальний метод, що найбільш підходить для розв'язання рівняння (7), а саме – метод скінченних різниць, можна представити диференційне рівняння у вигляді:

$$h_{ij}^{t+\Delta t} = h_{ij}^t + \left[\frac{K_{i-1,j}^V \cdot \bar{h}_{ij}^t + K_{ij}^V \cdot \bar{h}_{ij}^t}{\Delta x} \cdot (h_{i-1,j}^t - h_{ij}^t) + \frac{K_{i+1,j}^S \cdot \bar{h}_{i+1,j}^t + K_{ij}^S \cdot \bar{h}_{ij}^t}{\Delta x} \cdot (h_{i+1,j}^t - h_{ij}^t) + \frac{K_{i,j-1}^T \cdot \bar{h}_{i,j-1}^t + K_{ij}^T \cdot \bar{h}_{ij}^t}{\Delta x} \cdot (h_{i,j-1}^t - h_{ij}^t) + \frac{K_{i,j+1}^R \cdot \bar{h}_{i,j+1}^t + K_{ij}^R \cdot \bar{h}_{ij}^t}{\Delta x} \cdot (h_{i,j+1}^t - h_{ij}^t) \right] \cdot \frac{\Delta t}{\mu \cdot \Delta x^2} + \frac{W_{ij}}{\mu} \cdot \Delta t - \frac{(1 - \psi_{ij}) \cdot W_0}{\mu} \cdot \Delta t - \frac{(1 - \psi_{ij}) \cdot W_S}{\mu} \cdot \Delta t, \quad (9)$$

де $h_{ij}^{t+\Delta t}$ – абсолютна відмітка рівня ґрунтових вод через проміжок часу Δt ;

h_{ij}^t – абсолютна відмітка рівня ґрунтових вод у початковий момент часу;

h_{ij}^t – товщина водоносного шару (ґрунтового потоку) в початковий момент часу;

K_{ij}^V – коефіцієнт фільтрації в точці (i, j) зверху;

K_{ij}^S – коефіцієнт фільтрації в точці знизу;

K_{ij}^T – коефіцієнт фільтрації в точці ліворуч;

K_{ij}^R – коефіцієнт фільтрації в точці праворуч;

Δx – розмір сітки (шаблону) системи;

μ – коефіцієнт водовіддачі або нестачі насичення, що визначається за формулою (8);

$W(i, j)$ – інфільтрація з водоносних інженерних комунікацій;

W_0 – інфільтрація атмосферних опадів;

W_S – випаровування з поверхні ґрунтових вод;

$\psi(i, j)$ – коефіцієнт стоку в точці (i, j) .

Всі коефіцієнти фільтрації приймаються з урахуванням антропогенних чинників: ваги забудови, типу та місця розташування будівель, розпланувальної побудови, конфігурації будівель і комплексів у плані, термоосмотичної фільтрації [14].

Однозначність рішення відповідного диференційного рівняння досягається його граничними умовами. Для рівняння (7) граничні умови включають початкову умову – абсолютні відмітки рівнів ґрунтових вод у початковий момент часу $t=0$ дорівнюють відміткам рівнів підземних вод на мапі гідроізогіпс для незабудованої території; а також граничні умови першого роду. Оскільки основною причиною підтоплення апріорі є антропогенні дії, прогнозування рівня ґрунтових вод ведеться для визначення впливу забудови, а також зазначивши, що бокові притік і відтік у природних умовах рівні, то у межах забудованої території приймається постійний рівень ґрунтових вод.

Рішення диференційного рівняння в кожній точці буде дорівнювати рішенню відповідного апроксимуючого різницевого рівняння з додачею похибки апроксимації [13]. При зменшенні Δt і Δx рішення різницевого рівняння наближається до рішення диференційного рівняння, і похибка прагне до нуля. Для того, щоб різницеве рівняння було стійким, необхідно виконати умову:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x^3 \cdot \mu}{K \cdot (4 \cdot \bar{h}_{ij}^t + \bar{h}_{i-1,j}^t + \bar{h}_{i+1,j}^t + \bar{h}_{i,j-1}^t + \bar{h}_{i,j+1}^t)}, \quad (10)$$

де всі позначення – як у формулі (9).

При врахуванні нелінійності рівняння (7), в якому водопровідність залежить від рівня ґрунтових вод, широко застосовуються алгоритми із «запізнюванням» і «випередженням». У першому випадку водопровідності визначаються по значенням рівня, одержаних на попередньому часовому кроці, а в другому – на поточному кроці, що вимагає організації ітераційного процесу розрахунку. В практичних задачах перерахунок фільтраційних показників виконується після змінення рівня ґрунтових вод на задану величину, тобто застосовується алгоритми із «запізнюванням» [8, 15]. Умова, що визначає необхідність перерахунку, має вигляд:

$$\frac{|h_{ij}^t - h_{ij}^{t+\Delta t}|}{|\bar{h}_{ij}^t|} \geq \varepsilon, \quad (11)$$

де ε – задана величина, яка зазвичай приймається у межах 5...15 %.

Для реалізації методики, наведеної вище, був застосований один з

математичних програмних комплексів, що реалізує зазначений обчислювальний метод. Для визначення достовірності запропонованої методики прогнозування змінення рівня ґрунтових вод виконані наступні перевірки.

У природних умовах (незабудована територія, відсутність антропогенних чинників) рівень ґрунтових вод зазнає тільки сезонних коливань. Проведено аналіз динаміки змінення рівня ґрунтових вод на території, в геологічній будові ділянки якої беруть участь четвертинні відкладення делювіального походження, що залягають на поверхні напівскельних порід верхньокрейдяних утворень, підпитка водоносного горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів. Сезонні коливання рівня ґрунтових вод (глибин залягання) незабудованої території за прогнозами та за даними вишукувань у окремих точках території відрізнялися на 2...12 %, що можна пояснити неоднорідністю четвертинних відкладень. Середньоквадратичні відхилення значень коефіцієнтів фільтрації та пористості, відповідно, складають 0,11 і 0,09.

Результати прогнозування змінення рівня ґрунтових вод на забудованій території, одержані згідно до запропонованої методики, можна порівняти з результатами розрахунку по відомим методикам [16, 17]:

$$h(r, t) = h_e(x) + \frac{W \cdot R_0^2}{T} \cdot R(\bar{r}, F_0), \quad (12)$$

де $h(r, t)$ – підвищення рівня ґрунтових вод за час t від початку фільтрації на відстані r від центру кола інфільтрації;

$h_e(x)$ – первісна глибина ґрунтового потоку;

T – водопровідність пласту:

$$T = K \cdot h_{cp}, \quad (13)$$

K – коефіцієнт фільтрації;

h_{cp} – середня глибина ґрунтового потоку;

W – інфільтрація після виникнення джерела обводнення (сумарна);

$$F_0 = \frac{a \cdot t}{R_0^2}, \quad (14)$$

a – коефіцієнт рівнепровідності:

$$a = K \cdot h_{cp} \cdot \mu, \quad (15)$$

μ – нестача водонасичення;

$$\bar{r} = \frac{r}{R_0}, \quad (16)$$

$$R_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}, \quad (17)$$

F – площа, що передбачається під забудову.

Функція $R(r^-, F_0)$ визначається по значенням, представленим у [16, 17]. Така методика обрана тому, що вона корелює з емпіричними даними для природних умов території України, а також тому, що додаткова інфільтрація, що враховується, та характер її проявлення – велике коло додаткової інфільтрації, – відповідає розплануванню міської забудови сельбищних територій. Порівняння проводилося для декількох варіантів ґрунтових умов з різними товщинами ґрунтового потоку та фільтраційними параметрами K і μ у характерних точках кола додаткової інфільтрації, при цьому період прогнозу складав 10 років і більше. Результати відрізняються в середньому на 4...12 %. Менші похибки результатів відповідають товщинам ґрунтового потоку більше 10 м, більші – товщинам ґрунтового потоку менше 5 м.

Висновки та рекомендації щодо подальших досліджень.

Моделювання взаємодії складових природної та антропогенної систем і кількісна оцінка станів та ефективності території, що зазнала містобудівного освоєння, дозволить скласти алгоритм містобудівного проектування нових та реконструкції існуючих комплексів забудови як на рівнинних територіях, так і на таких, що мають ухил. Дослідження впливу різних розпланувальних варіантів комплексів забудови на територію з природним рельєфом дозволяють змоделювати та кількісно оцінити логічні зв'язки між природними та антропогенними факторами взаємодії відповідних містобудівних систем, зокрема впливу міської забудови на рівень ґрунтових вод у часовій області.

Аналіз впливу забудови на рівень ґрунтових вод є складовою частиною системи містобудівного освоєння природної території, тому для прогнозування змінення рівня ґрунтових вод обрана скінчено-різницева апроксимація диференційного рівняння параболічного типу. Методика прогнозування порівняна з існуючими методиками прогнозування рівня ґрунтових вод і показала добру збіжність результатів.

Список використаних джерел

1. Демин Н.М. Управление развитием градостроительных систем: монографія. К.: Будівельник, 1991. 184 с.

2. Осітнянко А.П. Планування розвитку міста. К.: КНУБА, 2005. 386 с.
3. Прусов Д.Е. Теорія та методологія прогнозування наслідків інженерної підготовки перетворення міських територій зі щільною забудовою та складними геологічними умовами : дис. ... докт. техн. наук : 05.23.20. К.: КНУБА, 2015. 429 с.
4. Банах А.В. Фактори взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування* : науково-технічний збірник. К.: КНУБА, 2017. Вип. 49. С. 251-257.
5. Єгоров Ю.П., Савін В.О., Галич В.Г. та ін. Вплив антропогенних факторів на деформації будівель, що експлуатуються впродовж тривалого часу. *Містобудування та територіальне планування* : науково-технічний збірник. К.: КНУБА, 2017. Вип. 65. С. 71-85.
6. Ткаченко В.Б., Вазі-Мукахаль В.Б., Гальченко О.В. та ін. Обґрунтування необхідності застосування додаткових заходів забезпечення надійності об'єктів міської забудови, що експлуатуються, в комплексі інженерної підготовки нового будівництва. *Наукові вісті Давіського університету*. Сєверодонецьк: Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2018. № 14. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu_2018_14_5 (дата звернення: 2020-05-15).
7. Банах А.В. Причинно-наслідковий зв'язок факторів взаємодії природної та антропогенної систем в процесі містобудівного освоєння територій. *Проблеми розвитку міського середовища* : науково-технічний збірник. К.: Національний авіаційний університет, 2018. Вип. 1 (20). 251 с. С. 13-23.
8. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. М.: Недра, 1977. 664 с.
9. Банах А.В. Параметри взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування* : науково-технічний збірник. – К.: КНУБА, 2018. Вип. 52. С. 160-164.
10. Осітнянко А.П. Влияние застройки на устойчивость склоновых территорий. К.: УкрНИИТИ, 1983. 17 с.
11. Бецинский П.А. Новый метод определения водоотдачи водоносных пластов. Гидротехника и мелиорация. 1960. № 6. С. 13-22.
12. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики. М.: Недра, 1974. 296 с.
13. Бабушка И., Витасек Э., Прагер М. Численные процессы решения дифференциальных уравнений. М.: Мир, 1969. 368 с.
14. Банах А.В., Полтавець М.О. Багатофакторна регресивна модель взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин* : збірник

наукових праць. К.: КНУБА, 2019. Вип. 39. Ч. 1. С. 165-171.

15. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. М.: МГУ, 1979. 368 с.

16. Анпилов В.Е. Формирование и прогноз режима грунтовых вод на застраиваемых территориях. М.: Недра, 1984. 160 с.

17. Рекомендации по прогнозам подтопления промышленных площадок грунтовыми водами. М.: ВНИ ВодГео 1976. 324 с.

18. Казакова И.Г., Слинко О.В. О подтоплении как техногенном гидрогеологическом процессе. *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. 1996. № 3. С. 83-89.

19. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука, 1989. 430 с.

20. Гальперин А.М., Зайцев В.С., Нарватов Ю.А. Гидрогеология и инженерная геология. М.: Недра, 1989. 382 с.

References

1. Dëmyn N.M. Upravlenye razvytyem hradostroytelnykh system: monohrafiia. K.: Budivelnyk, 1991. 184 s. (in Russian)

2. Ositnianko A.P. Planuvannia rozvytku mista. K.: KNUBA, 2005. 386 s. (in Ukrainian).

3. Prusov D.E. Teoriia ta metodolohiia prohnozuvannia naslidkiv inzhenernoi pidhotovky peretvorennia miskykh terytorii zi shchilnoi zabudovoio ta skladnymy heolohichnymy umovamy : dys. ... dokt. tekhn. nauk : 05.23.20. K.: KNUBA, 2015. 429 s. (in Ukrainian).

4. Banakh A.V. Faktory vzaiemodii pryrodnoi ta antropohennoi mistobudivnykh system. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia: naukovy-tekhnichniy zbirnyk. K.: KNUBA, 2017. Vyp. 49. S. 251-257. (in Ukrainian).

5. Yehorov Yu.P., Savin V.O., Halych V.H. ta in. Vplyv antropohennykh faktoriv na deformatsii budivel, shcho ekspluatuiutsia vprodovzh tryvaloho chasu. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: naukovy-tekhnichniy zbirnyk. K.: KNUBA, 2017. Vyp. 65. S. 71-85. (in Ukrainian).

6. Tkachenko V.B., Vazi-Mukakhal V.B., Halchenko O.V. ta in. Obgruntuvannia neobkhidnosti zastosuvannia dodatkovykh zakhodiv zabezpechennia nadiinosti obiektiv miskoi zabudovy, shcho ekspluatuiutsia, v kompleksi inzhenernoi pidhotovky novoho budivnytstva. Naukovi visti Dalivskoho universytetu. Sievierodonetsk: Skhidnoukrainskyi natsionalnyi universytet imeni Volodymyra Dalia, 2018. № 14. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvdu_2018_14_5 (data zvernennia: 2020-05-15). (in Ukrainian).

7. Banakh A.V. Prychynno-naslidkovyi zviazok faktoriv vzaiemodii pryrodnoi ta antropohennoi system v protsesi mistobudivnoho osvoiennia terytorii. Problemy rozvytku miskoho seredovyscha : naukovy-tekhnichniy zbirnyk. K.: Natsionalnyi

aviatsiinyi universytet, 2018. Vyp. 1 (20). 251 s. S. 13-23. (in Ukrainian).

8. Polubarinova-Kochina P.Ya. Teoriya dvizheniya gruntovykh vod. M.: Nedra, 1977. 664 s. (in Russian)

9. Banakh A.V. Parametry vzaiemodii pryrodnoi ta antropohennoi mistobudivnykh system. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya: naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. K.: KNUBA, 2018. Vyp. 52. S. 160-164. (in Ukrainian).

10. Osytnianko A.P. Vliyanye zastroiky na ustoichyvost sklonovykh terrytoryi. K.: UkrNYYNTY, 1983. 17 s. (in Russian)

11. Betsynskyi P.A. Novyi metod opredeleniya vodootdachi vodonosnykh plastov. Hidrotekhnika i melioratsiya. 1960. № 6. S. 13-22. (in Russian)

12. Mironenko V.A., Shestakov V.M. Osnovy hydrogeomekhaniki. M.: Nedra, 1974. 296 s. (in Russian)

13. Babushka I., Vitasek E., Prager M. Chislennye protsessy resheniya differentsialnykh uravneniy. M.: Mir, 1969. 368 s. (in Russian)

14. Banakh A.V., Poltavets M.O. Bahatofaktorna rehressyvna model vzaiemodii pryrodnoi ta antropohennoi mistobudivnykh system. Shliahy pidvyschennia efektyvnosti budivnytstva v umovah formuvannya rynkovykh vidnosyn: zbirnyk naukovykh prats. K.: KNUBA, 2019. Vyp.39. Ch.1. S. 165-171. (in Ukrainian).

15. Shestakov V.M. Dinamika podzemnykh vod. M.: MGU, 1979. 368 s. (in Russian)

16. Anpilov V.Ye. Formirovaniye i prognoz rezhima gruntovykh vod na zastraivaemykh terrytoriyah. M.: Nedra, 1984. 160 s. (in Russian)

17. Rekomendatsii po prognozam podtopleniya promyshlennykh ploshchadok gruntovymi vodfmi. M.: VNI VodGeo 1976. 324 s. (in Russian)

18. Kazakova I.G., Slinko O.V. O podtoplenii kak tehnogennom gidrogeologicheskom protsesse. Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka. 1996. № 3. S. 83-89. (in Russian)

19. Samarskiy A.A., Gulin A.V. Chislennye metody. M.: Nauka, 1989. 430 s. (in Russian)

20. Galperin A.M., Zaytsev V.S., Narvatov Yu.A. Hidrogeologiya i inzhenernaya geologiya. M.: Nedra, 1989. 382 s. (in Russian)

Аннотация

К.т.н., доцент **Банах Андрей Викторович**, Запорожский национальный университет.

Математическая модель прогнозирования уровня грунтовых вод на застроенной территории.

Обоснован основной фактор антропогенной градостроительной системы – застройка (ее вес), наиболее влияющий со временем на трансформацию

природных условий. Выяснен основной фактор природной градостроительной системы – уровень грунтовых вод, который, в свою очередь, со временем изменяет почти все свойства грунтов основания и создает наибольшее влияние на антропогенную систему в виде городской застройки. Определена математическая зависимость и предложена математическая модель прогнозирования изменения уровня грунтовых вод на застроенной территории во временной области. Приведен способ применения предложенной модели с помощью численного метода конечных разностей. Результаты использования данной модели сравнены с данными, полученными с помощью существующих методов определения изменения уровня грунтовых вод.

Ключевые слова: математическая модель, прогнозирование, территория, застройка, уровень грунтовых вод, поток грунтовых вод, фильтрация, инфильтрация

Ph.D., as.prof. **Andrii Banakh**, Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia.

Mathematical model of ground water levels forecasting in a developed area.

The main factor of the anthropogenic urban system is justified – it is the development (its weight), which most influences over time on the transformation of natural conditions. The main factor of the natural urban system is clarified – is the groundwater level, which, in turn, changes almost all the properties of base soils over time and creates the greatest impact on the anthropogenic system in the form of urban development. Natural and anthropogenic conditions under which flooding is observed are quite diverse, so to analyze the causes, forecast, calculate the protective structures, it is necessary to systematize these conditions, identify the main factors determining the flooding process and reject secondary ones that weakly affect this process. The geometric shape of layers or their separate parts in space, plan or sections, filtration of groundwater in space and time, characteristics of groundwater flows (direction, power, speed mode), conditions on the boundaries of the filtration area, initial conditions and more are the subject to modeling. Filtration of groundwater, which causes flooding of the territory in different hydrogeological conditions, in almost all cases can be considered as pressureless filtration of non-compressible fluid. The mathematical dependence is determined and a mathematical model for predicting changes in the groundwater level in the developed area in the time domain is proposed. A method for applying the proposed model using the numerical method of finite differences is given. The results of using this model are compared with data obtained using existing methods for determining the change in groundwater level. Analysis of the impact of development on the groundwater level is an integral part of the system of urban development of the natural area, so to predict

changes in the groundwater level chosen finite-difference approximation of the differential equation of parabolic type. The forecasting technique is comparable to the existing groundwater level forecasting methods and shown good result convergence.

Keywords: mathematical model, forecasting, territory, development, groundwater level, groundwater flow, filtration, infiltration.

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.57.178-189>

УДК 72.017

Кузьмич Василь Ілліч

старший викладач кафедри дизайну та основ архітектури

Національний університет «Львівська політехніка»

vasyl.i.kuzmych@lpnu.ua <http://orcid.org/0000-0002-6783-0602>

ГАРМОНІЙНИЙ ПІДБІР КОЛЬОРІВ В АРХІТЕКТУРНОМУ ПРОЕКТУВАННІ

Анотація: у статті обґрунтовується необхідність гармонізації кольорів в процесі проектування та реставрації архітектурних будівель та споруд. Запропоноване дослідження звертає увагу на можливі способи отримання гармонійності кольорів у архітектурному проектуванні. В статті описана методика використання гармонійного підбору кольорів із застосуванням спектральних кольорів у проектах архітектурного спрямування. Автором зроблено акцент на отримання позитивних результатів на різних стадіях реалізації проекту. Встановлено, що дотримання певних закономірностей і підпорядкувань буде успішним, з огляду збереження конкретних параметрів колористичних передумов та завдань.

Ключові слова: гармонізація кольорів; візуальний аспект; побудова гармонійних рядів; схема гармонійних акордів; октавна система підбору кольорів.

Постановка проблеми. Якщо на стадії формотворення чи об'ємотворення, загальна кількість архітекторів здатна вирішити проблеми гармонійності, то у кольорі ситуація трохи складніша. Для кольору потрібна спеціальна підготовка в галузі теорії, так і в прикладних аспектах володіння барвами. Поважний фактор володіння об'ємотворенням не достатній чи неповноцінний без колористичних психологічних нюансів, що доповнюються та збагачують сумарне сприйняття архітектурного образу. Естетичний та психологічний візуальний аспект впливає на комплексне сприйняття проектного архітектурного об'єкту чи містобудівельного комплексу. Кольорова складова