

УДК 681.3:519.711

СИСТЕМНЕ УПРАВЛІННЯ ЗАХИСТОМ ТЕРИТОРІЙ ВІД ПІДТОПЛЕННЯ НА ОСНОВІ СЦЕНАРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Ковальчук В.П.

Інститут гідротехніки і меліорації НААН України, м. Київ,

kovalchukvp@mail.ru

Запропоновано метод системного управління захистом територій від підтоплення. Метод полягає в ідентифікації системної моделі за даними натурних спостережень, проведення сценарних експериментів та вибору оптимального варіанту структури на основі інформаційної системи.

Ключові слова: системне управління, сценарний аналіз, імітаційно-оптимізаційне моделювання, захист території від підтоплення, інформаційна система.

The system management method for protection against flooding is proposed. The method consists in identifying the system model according to the field observations, carrying out scenario experiments and selecting an optimal structure variant on the basis of information system.

Keywords: system management, scenario analysis, simulation-optimization modelling, protecting the area from flooding, information system.

Предложен метод системного управления защитой территорий от подтопления. Метод состоит в идентификации системной модели по данным натурных наблюдений, проведении сценарных экспериментов и выборе оптимальных вариантов структуры на основе информационной системы.

Ключевые слова: системное управление, сценарный анализ, имитационно-оптимизационное моделирование, защита территорий от подтопления

Постановка задачі. Використання індуктивного математичного моделювання для вибору варіанту реконструкції систем захисту територій від підтоплення забезпечує найбільш адекватне управління структурою системи [1], тобто адаптацію об'єкта до наявної ситуації через структурну зміну об'єкта внаслідок реконструкції та модернізації дренажних систем.

Ставиться задача системного управління структурою системи $\sum_k \in \Sigma$ захисту від підтоплення на деякій території. Рух динамічного об'єкта при деякій фіксованій структурі $\sum_k \in \Sigma$, описується оператором:

$$h(x, y, t + 1) = A_{\sum_k} (h(x, y, t), U(t), V(t)), \quad (1)$$

де A_{\sum_k} – оператор, заданий системою різницевих рівнянь, аналітичними чи алгоритмічними залежностями і обмеженнями, пов'язаними зі структурами систем захисту від підтоплення \sum_k на даній території; $h(x, y, t + 1)$, $h(x, y, t)$ – відповідні значення рівнів ґрунтових вод (РГВ) в наступний та попередній моменти ча-

су; $U(t)$ – управління поведінкою РГВ на вибраному інтервалі часу; $V(t)$ – вектор неконтрольованого впливу зовнішнього середовища.

Ціль управління – знайти оптимальну проектну структуру Σ_k^* (або їх множини), для якої, в результаті функціонування системи Σ_k^* на деякому інтервалі часу $t \in [0; t_n]$, досягається виконання на даній території нормативних обмежень на РГВ:

$$\{\Sigma_k^* \in \Sigma / h(x, y, t) - h_{kp} \geq 0, \forall x, y \in D_{xy}, t \geq t_n\}. \quad (2)$$

Оптимізація структури проводиться на основі сценарного аналізу, зокрема на основі розробленої нами системної моделі. Сценарний аналіз передбачає ідентифікацію параметрів моделі конкретного об'єкта за даними натурних спостережень та імітаційно-оптимізаційне моделювання і порівняння варіантів проектних рішень за комплексом критеріїв [2].

Методологія системного управління захистом територій від підтоплення. Формалізація задачі управління структурою передбачає системний синтез (ідентифікацію варіантів систем $\Sigma_k \in \Sigma$, моделей їх динаміки за РГВ) та системний аналіз ефективності цих варіантів (імітаційно-оптимізаційне моделювання сценаріїв, прийняття оптимальних рішень за комплексом критеріїв).

Методологічною основою проектного прогнозування та вибору оптимальних варіантів є сценарний аналіз, структурно-логічна схема якого, послідовність основних етапів сценарного аналізу та оптимізації проектних рішень подана на рис.1.



Рис.1 Укрупнена блок-схема сценарного аналізу проектних рішень

Задача оцінки проектних рішень з ефективності дренажу (вертикального, горизонтального, комбінованого) має комплексний, системний характер [3-5] і полягає у сценарному моделюванні процесу пониження рівнів ґрунтових вод (РГВ) в наступній послідовності (рис.1):

- ідентифікації моделей обернених задач фільтрації на основі даних спостережень та розрахунку понижень РГВ за параметрами моделей стану території;

- побудові карт рівнів ґрунтових вод з використанням розрахункових методів та експериментальних досліджень за РГВ для візуалізації стану системи;

- побудові статистичних оцінок розподілу РГВ за гістограмами (діаграмами) для кількісних і якісних оцінок стану системи в процесі роботи дренажу;

- системній оцінці роботи дренажної свердловини за критеріями ефективності (технологічними, економічними, екологічними, соціальними).

Ідентифікація моделі за теоретико-емпіричним методом [3] полягає в тому, що теоретичні положення знаходять у вигляді розв'язку математичної моделі, а параметри цієї моделі (у вигляді моделі Тейса, Хантуша) визначають на основі розв'язування обернених задач за даними виробничих відкачок дренажних свердловин [3].

Система підтримки прийняття рішень. Для реалізації методології системного управління розроблені логіко-математична модель, алгоритм та програмне забезпечення системи підтримки прийняття рішень. Система призначена для оцінки і прогнозування структури систем захисту від підтоплення певної ділянки території. Модель інформаційної системи реалізує сценарії проектного прогнозування структури систем діючого вертикального дренажу та сценарії положення РГВ на певній території при різних варіантах проведення реконструкції, що обумовлює її модельні особливості. З розглянутої послідовності етапів моделювання інформаційна система реалізує ідентифікацію моделі рівнів ґрунтових вод в різні моменти часу на основі розв'язування в прямокутній області задачі Діріхле для рівняння Пуассона з граничними умовами першого роду.

Математично модель нестационарного процесу зміни РГВ в кожний момент часу в деякій прямокутній області на території задається рівнянням Бусинеска. Такі процеси є, як правило, квазістационарними і до них можна застосувати метод послідовної зміни стационарних станів [6].

Якщо процес на деякій території, в якому в розглядуваному прямокутнику коефіцієнти фільтрації в однорідних пластах рівні по x та y , є квазістационарним, то в розглядуваний момент часу одержують задачу Діріхле для рівняння Пуассона

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = f(x, y), \quad (3)$$

при граничних умовах першого роду на межі області

$$h|_r = \phi(x, y) \quad (4)$$

При розрахунку деяких значень функції РГВ $f(x, y)$ всередині області $D = \{0 < x < a; 0 < y < b\}$ для свердловин що проектуються, криві депресії знаходять за методами Тейса-Маскета та Хантуша [3-4, 7]. Розрахунок кривих депресії від діючих дренажних свердловин послідовно в часі проводиться на основі теоретико-емпіричного методу ідентифікації [3-4,7] при використанні значень експериментальних вимірювань в деяких точках прямокутної області. Граничні умови знаходяться на основі побудови кривих депресії з використанням експериментальних вимірювань за методикою [8].

Розв'язування задачі Діріхле для рівняння Пуассона, тобто розв'язування рівняння (3) з граничними умовами (4), проводиться різницеvim методом аналогічно як в [8]. При організації ітеративного процесу експериментальні або розраховані значення РГВ всередині області D залишаються постійними в певних фіксованих точках.

Картографічний аналіз РГВ, які описуються на певній території моделями нестационарних процесів, дає можливість візуально оцінити динаміку їх зміни. Якісну і кількісну оцінку зміни стану території, що зазнає підтоплення, проводять на основі моделювання варіантів статистичними методами, на основі діаграм та гістограм. Варіанти оптимізуються за критеріями порівняння їх ефективності.

Результати сценарного моделювання для вибору оптимальних рішень. Алгоритмічні особливості інформаційної підсистеми. Сценарне моделювання проводилося для визначення ефективності проектних рішень захисту від підтоплення центральної частини смт Каланчак Херсонської області. Через недостатню ефективність діючої дренажної насосної станції №4 (ДНС4) додатково запроєктована ДНС4а, вибір місцезнаходження якої, а також ефективність роботи двох насосних станцій необхідно було визначити на основі сценарного аналізу. Розглядалися такі варіанти вибору структури системи захисту від підтоплення:

Σ_1 – варіант з функціонуванням тільки однієї існуючої ДНС4;

Σ_2 – варіант структури, коли крім існуючої ДНС4 західніше проектується ДНС4а;

Σ_3 – варіант структури, коли крім існуючої ДНС4 південно-західніше проектується ДНС4а.

Сценарії моделювались розв'язуванням задачі Діріхле для рівняння Пуассона. Значення функції $f(x, y)$ всередині області D для діючої ДНС4 на різні моменти часу t визначались за кривими депресії (рис.2), розрахованими за теоре-

тико-емпіричним методом. Криві депресії для прогнозу функціонування ДНС4а визначались за формулою Тейса [7].

Принциповою відмінністю запропонованого алгоритму побудови карт від геоінформаційної системи (ГІС), розробленої в [8], є те, що в прямокутній області D не створюється триангуляційна сітка. Для знаходження РГВ вирішується задача Діріхле для рівняння Пуассона в кожній дискретній точці розглядуваної області безпосередньо різницевим ітеративним методом.

В подальшому, з використанням цифрової моделі рельєфу (ЦМР), за стандартною методикою будується карта РГВ в прямокутній області D (на вибраній території).

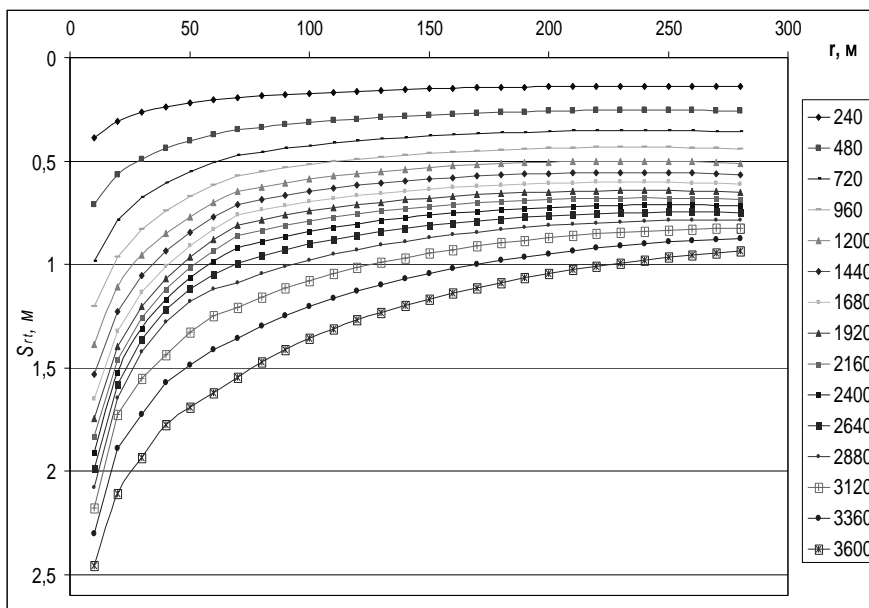


Рис. 2. Залежність пониження рівнів ґрунтових вод S_{rt} від відстані до свердловини ДНС 4 (радіуса r) на різні моменти часу t

Використовуючи розрахункові і спостережні значення понижень S_{rt} рівня ґрунтових вод для трьох сценаріїв розміщення дренажних свердловин, побудовані карти гідроізогіпс (рис. 3-5) на різні моменти часу, а також гістограми зміни площі з різним рівнем залягання ґрунтових вод (рис.6), що дає змогу оцінити динаміку покращення еколого-меліоративного стану в результаті роботи свердловини вертикального дренажу ДНС 4 та комплексу дренажних свердловин 4 і 4а.

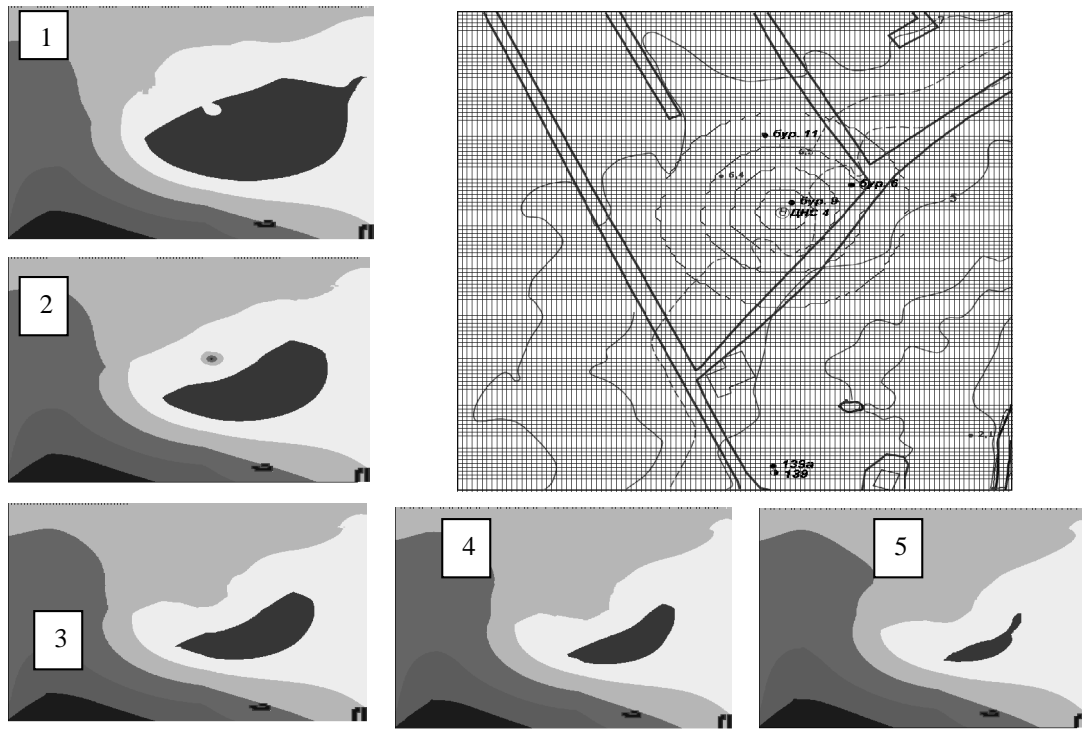


Рис. 3 Карта гідроізогіпс для сценарію Σ_1 структури вертикального дренажу, коли працює лише ДНС4

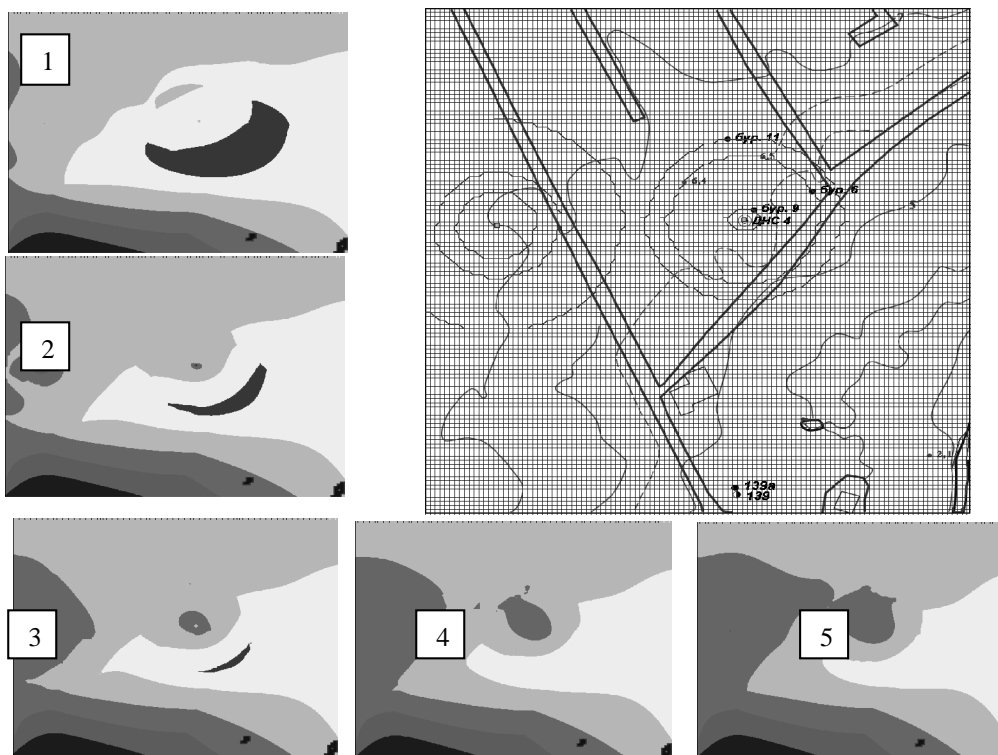


Рис. 4. Гідроізогіпси для варіанту Σ_2 структури вертикального дренажу спільної роботи ДНС 4 та ДНС 4а впродовж п'яти місяців (лютий - червень)

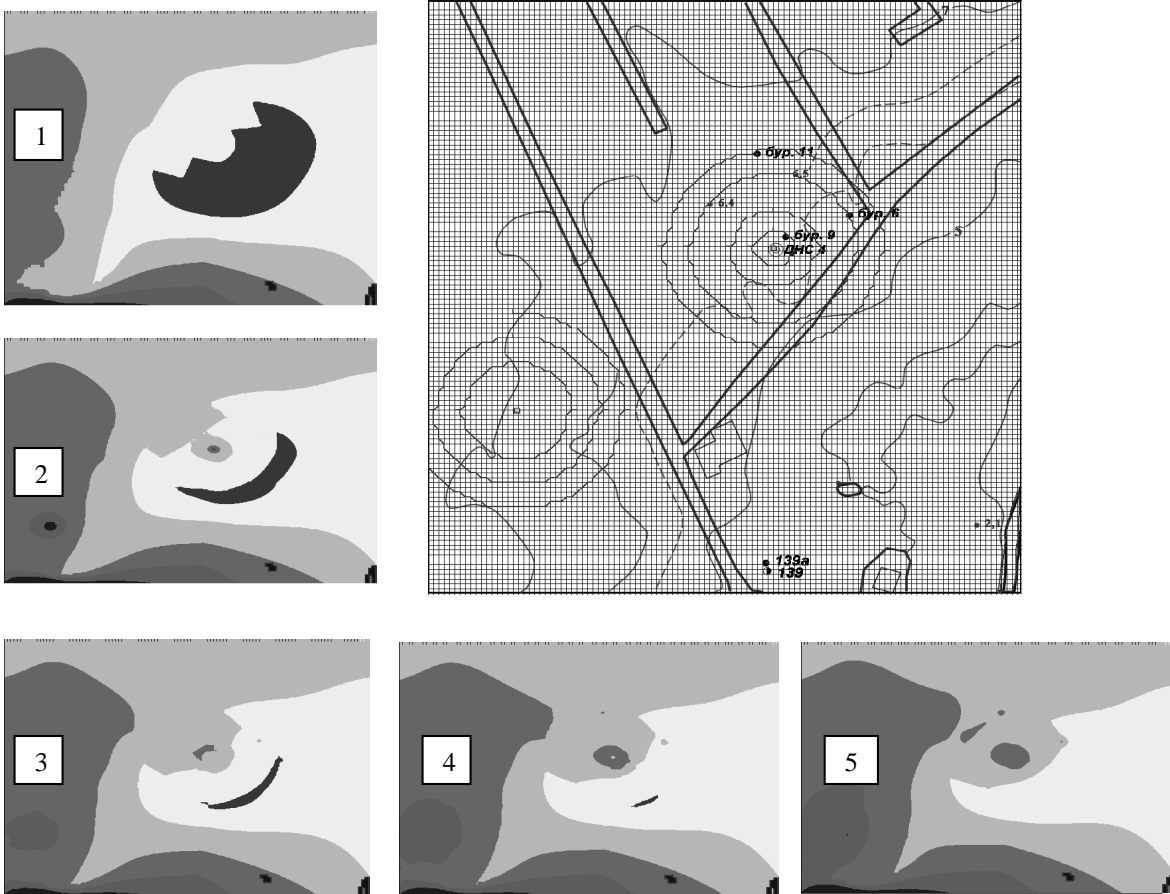


Рис. 5. Гідроізогіпси для варіанту Σ_3 структури вертикального дренажу спільної роботи ДНС 4 та ДНС 4а впродовж п'яти місяців (лютий - червень)

Дослідження сценаріїв показали, що нормативам практично відповідають варіанти Σ_2 і Σ_3 (рис.4-5). Аналіз за критерієм мінімізації зваженого ризику [9] показав, що оптимальним варіантом структури системи захисту території від підтоплення є варіант Σ_2 , який рекомендується для реалізації в проекті захисту території від підтоплення.

Висновки

Запропоноване системне управління захистом територій від підтоплення на основі сценарного моделювання з використанням інформаційної системи підтримки прийняття рішень дозволяє ефективно моделювати і оцінювати варіанти структури систем захисту і визначати оптимальні варіанти проектних рішень для модернізації та реконструкції.

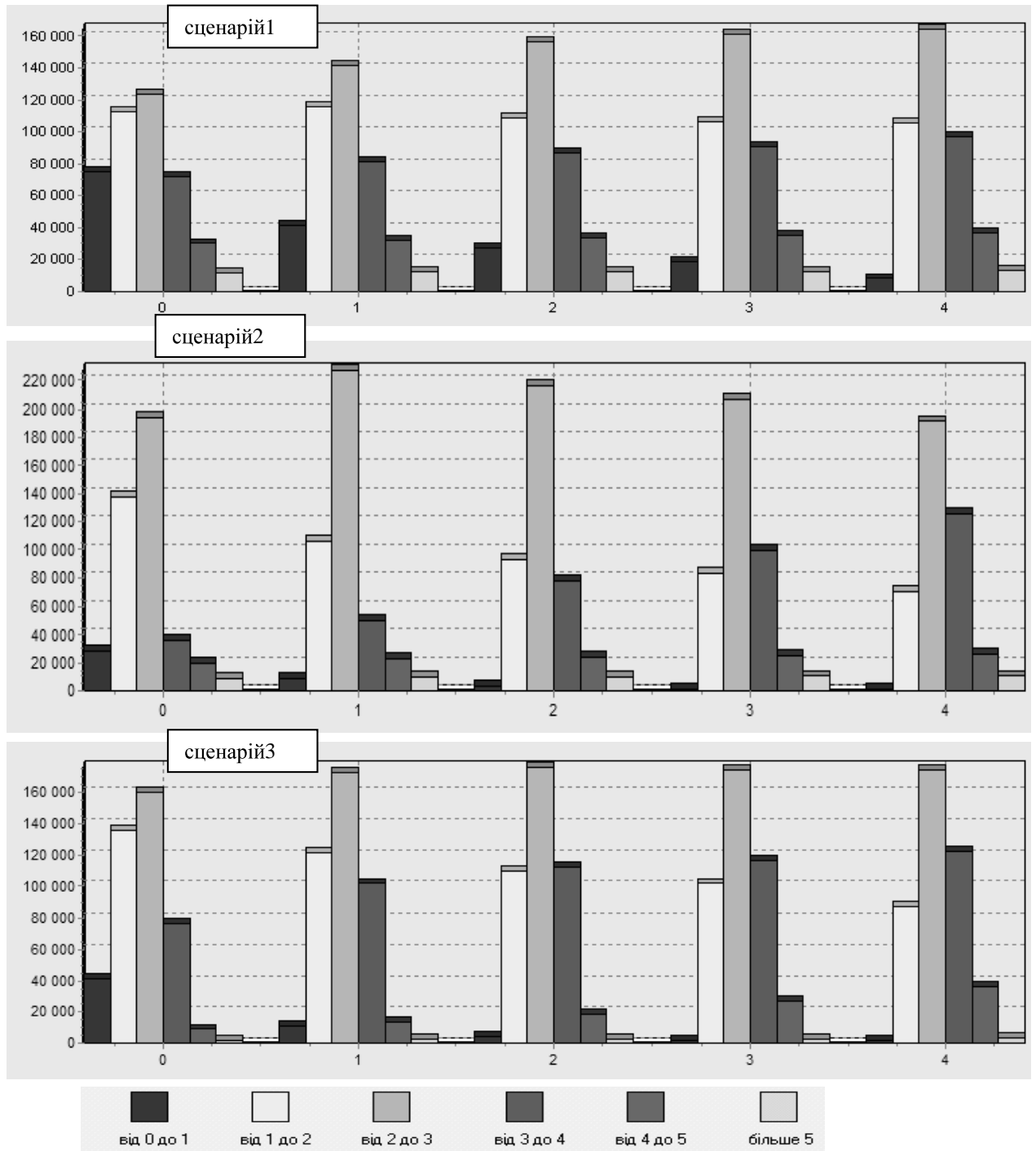


Рис. 6. Гістограми динаміки розподілу площ з різним РГВ від початку включення свердловини ДНС 4 та ДНС 4а (лютий) та впродовж п'яти місяців роботи (червень)

Література

1. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. Основи системного аналізу. – К.: Видавнича група ВНУ, 2007.- 544 с.
2. Ковальчук В.П., Матяш Т.В. Імітаційно-ігровий метод сценарного моделювання в системах природокористування за умов невизначеності і ризику // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки: зб.наукових праць / Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова Національної академії наук України, Кам'янець-Подільський національний університет ім. Івана Огієнка. – Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет ім. Івана Огієнка, 2010. – Вип.3. –С. 96-102.
3. Ковальчук В.П. Вдосконалення управління системами вертикального дренажу на основі ідентифікації моделей фільтрації та критеріальних оцінок / Вісник УДУВГП.–Рівне.–2009.–Вип. 3(47).–Ч.1.–С.51-58.
4. Ковальчук В.П. Моделювання управління рівнем ґрунтових вод сільських територій в умовах дії вертикального дренажу / Меліорація і водне господарство. – 2010. – Вип. 98. – С. – 105 – 118.
5. Ковальчук П.І., Шевчук С.А., Ковальчук В.П., Кузьменко В.Д.; Марків О.М. Системне дослідження та наукове обґрунтування заходів для захисту від підтоплення смт. Каланчак Херсонської області. // Водне господарство України. – 2010. – №2. – С. 21 – 26.
6. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод.-М.: Наука, 1977.-664 с.
7. Костюкович П.Н. Гидрогеологические основы вертикального дренажа / Минск: Ураджай,1979. –287с.
8. Шевчук С.А. Спеціалізована ГІС моделювання рівнів ґрунтових вод для дослідження процесів підтоплення // 23d European Regional Conference of ICID “Progress in Managing Water for Food and Rural Development”, May 17–24.–2009.–Lviv.–Ukraine.–С.95.
9. Методика оцінки та прийняття рішень для захисту територій від підтоплення та затоплення / Ковальчук П.І., Шевчук С.А., Ковальчук В.П. та ін. – Київ-Херсон: Колос, 2010. – 44 с.