

**УДК 627.533.131.14/14;004.94**

**Кір'янов В. М., д.т.н., професор** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВОДНОМУ ГОСПОДАРСТВІ**

**Розглядається застосування імітаційного моделювання на комп'ютері для потреб водного господарства, гідромеліорацій; особливості імітаційного моделювання, досвід створення та використання імітаційних моделей.**

**Ключові слова:** водне господарство, гідромеліоративна система, імітаційна модель, біосферні процеси, надійність, вологоперенос.

Сучасне суспільство вже важко уявити без використання комп'ютера, інформаційних технологій, починаючи від вирішення побутових питань до вирішення глобальних проблем в економіці, управлінні складними виробничими процесами, проблем, пов'язаних з біосферними процесами тощо.

Завданням публікації є висвітлення специфіки водогосподарської галузі з обґрунтуванням сфер застосування імітаційного моделювання на комп'ютері для її потреб з позиції біосферної концепції.

Водне господарство – це галузь, завданням якої є забезпечення потреб населення і народного господарства у водних ресурсах, збереження, охорона та відтворення водного фонду, попередження шкідливої дії вод і ліквідація її наслідків. Зокрема, до водного господарства належать і водні меліорації. Структурним атрибутом водного господарства є поняття водогосподарської системи.

Водогосподарська система (ВГС) – це сукупність гідравлічно пов'язаних водних об'єктів і водогосподарських споруд, сумісне функціонування яких спрямоване на оптимальне задоволення запитів водокористувачів.

Особливістю водогосподарських систем є той факт, що вони, з одного боку, використовують природні ресурси і цілеспрямовано впливають на природне оточуюче середовище, а з іншого – функціонування таких систем знаходиться під впливом природного оточуючого середовища. Причому цей вплив не завжди передбачуваний.

Водогосподарські системи, зокрема гідромеліоративні системи, є достатньо складними. Складність їх полягає як у складності самої системи, так і складністю процесів (об'єктів), на які вона цілеспрямовано

або побічно впливає.

Часто вибір параметрів водогосподарської (гідромеліоративної) системи здійснюється, орієнтуючись на окремі локальні показники об'єктів управління, на які вона впливає (наприклад, урожайність сільськогосподарських культур або певні речовини у ґрунті) без урахування всього різноманіття взаємовпливу їх між собою.

Фактично ж об'єктами управління з боку водогосподарської системи є компоненти біосфери, які не можна розглядати відокремлено від всього різноманіття біосферних процесів, складності їх взаємовпливу. Тобто для обґрунтування параметрів водогосподарської системи за основу повинен бути взятий біосферний підхід (концепція), основним положенням якого є розгляд функціонування водогосподарської системи через призму біосферних процесів, які є об'єктом управління з боку гідромеліоративної системи і на які вона впливає цілеспрямовано або побічно, з урахуванням їх взаємодії.

На рисунку показана структура гідромеліоративної системи на прикладі зрошувальної системи.

Процеси, які протікають при функціонуванні таких систем, біосферні процеси переважно нестационарні, ймовірнісні, мають суттєво нелінійний характер. Описати аналітично функціонування систем у сукупності з біосферними процесами практично неможливо. І в даному випадку незамінним інструментом для вивчення функціонування таких систем, вивчення впливу їх на біосферні процеси є імітаційне моделювання на комп'ютері.

Імітаційне моделювання – це метод дослідження, при якому досліджувана система замінюється моделлю, що описує з достатньою точністю реальну систему, з якої проводяться експерименти з метою одержання інформації про цю систему і є окремим випадком математичного моделювання. Експериментування з моделлю називають імітацією.

З іншого боку, імітаційне моделювання – це спеціальний програмний комплекс, який дозволяє імітувати діяльність будь-якого складного об'єкта чи процесу. Він запускає в комп'ютері паралельні взаємодіючі обчислювальні процеси. Тому часто для цього виду моделювання використовується синонім «комп'ютерне моделювання».

Імітаційна модель дозволяє одержувати докладну статистику про різні аспекти функціонування системи залежно від вхідних даних. Не рідко під імітаційною моделлю (імітаційним моделюванням) розуміють будь-яке математичне моделювання, в результаті якого знаходять значення певних параметрів. На це впливає і той факт, що терміни «імітація» та «моделювання» є синонімами, тому що всі області науки є моделями реальних процесів.

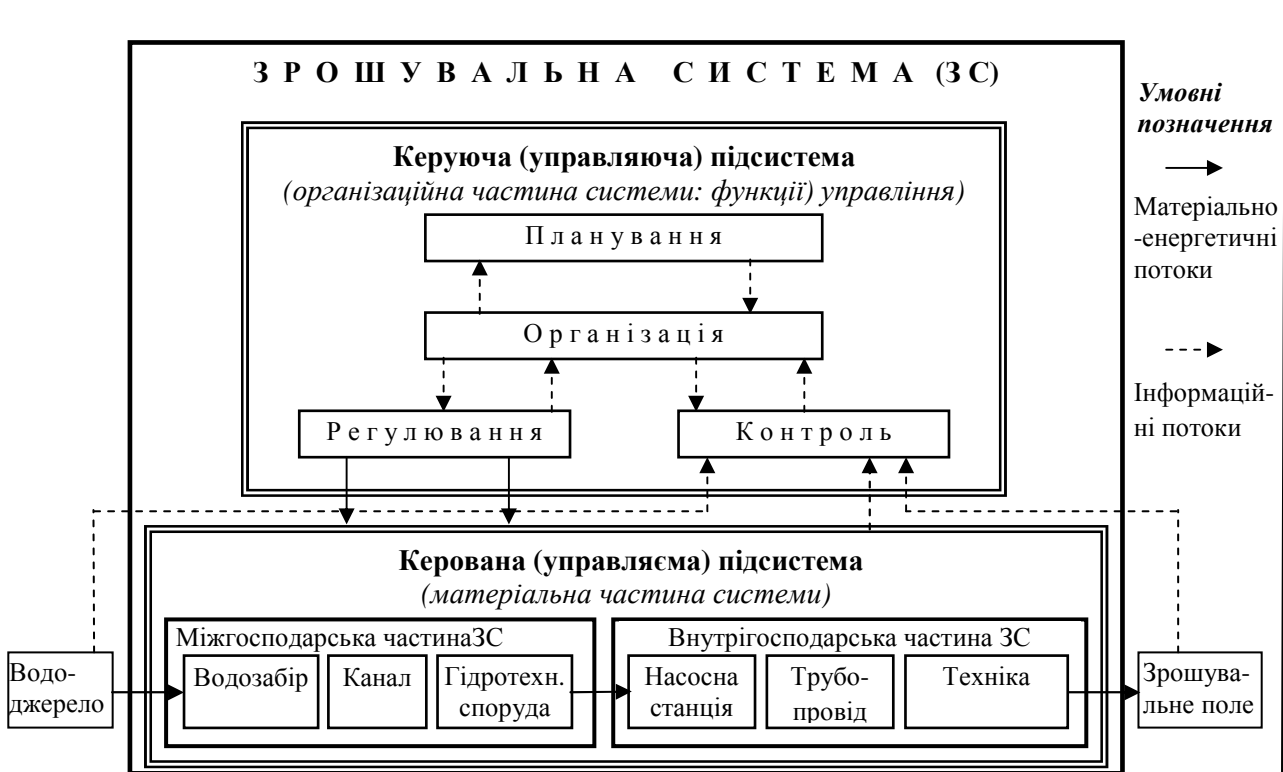


Рисунок. Структура зрошувальної системи

Щоб відрізнити окремі класи математичних моделей їм надають додаткові назви. Так сталося і з терміном «імітаційне моделювання». Імітаційна модель переважно в сучасному розумінні його є математична модель, яка дозволяє формалізовано описувати (відтворювати) реальні процеси, логіку функціонування досліджуваної системи і взаємовплив її елементів у часі під впливом реально існуючих факторів.

Ознакою імітаційних моделей є й те, що за допомогою таких моделей для передбачення поведінки системи необхідно провести обчислювальний експеримент (імітацію) на математичній моделі для різних вихідних даних з відтворення реальних процесів, які відбуваються в самій системі та в об'єктах, на які вона впливає.

Мета створення і використання імітаційних моделей полягає не лише у необхідності розв'язання задач, аналітичний розв'язок яких неможливий або занадто ускладнений. Імітаційному моделюванню притаманні особливості, які роблять його незамінним. Такими особливостями можна вважати наступні.

1. Можливість пізнання об'єкта моделювання. Коли крім оцінки впливу параметрів (змінних) процесу або системи бажано здійснити спостереження за поведінкою компонент (елементів) процесу й системи впродовж певного періоду. Тобто імітаційна модель служить засобом вивчення явища.

2. Візуалізація процесу моделювання реальних процесів, що дає можливість побачити і попередньо виокремити діапазон шуканих параметрів, оптимальних рішень тощо, тобто спростити процес їх пошуку.

3. Дослідження складної системи при неможливості спостереження явищ у реальних умовах. Імітаційне моделювання виявляється єдиним способом дослідження такої системи.

4. Можливість затримки або прискорення явищ при імітації, коли необхідно контролювати протікання процесів або поведінку систем.

5. Можливість придбання навичок при вивченні тих чи інших процесів при навчанні. Імітаційна модель виступає в якості тренажера.

6. Можливість виявлення вузьких (слабких) місць функціонування реальних процесів і систем. Імітаційна модель використовується для передбачення можливих станів системи.

Сам процес створення та використання імітаційної моделі є творчим, оригінальним і залежить від сфери її застосування та власного бачення її «творця».

В національному університеті водного господарства та природокористування автором була створена стохастична імітаційна модель функціонування зрошувальної системи для оцінки та оптимізації її надійності.

Для опису функціонування гідромеліоративної системи за основу була взята динаміка вологості ґрунту як один з основних параметрів, на який цілеспрямовано впливають гідромеліоративні заходи. В свою чергу динаміка вологості ґрунту прямо або опосередковано здійснює вплив на різні біосферні процеси і, в першу чергу, на ґрунтоутворюючі процеси, продуктивність сільськогосподарських культур.

Динаміка вологості ґрунту є проміжною ланкою між описом стану біосферних процесів у вигляді погодних умов і управляючих дій з боку гідромеліоративної систем та описом біосферних процесів, на які впливає динаміка вологості ґрунту. До цих динамічних процесів належать метеорологічні процеси у вигляді опадів, випаровування вологи (погодні умови), проведення поливів за певною стратегією (управляючі впливи).

Опис динаміки стану гідромеліоративної системи для умов планового (заданого проектом) режиму можна представити у спрощеному варіанті (за допомогою достатньо простих стаціонарних балансових моделей). Досить часто дослідники, а відповідно і виробничники, обмежуються саме показниками, які отримані в плановому режимі функціонування системи. Такий розгляд функціонування системи не примушує дослідників застосовувати достатньо складні математичні моделі, спираючись на емпіричні спрощені моделі, які отримані в натурних умовах. Застосування імітаційного моделювання в таких умовах не є незамінним інструментом.

Реально гідромеліоративна система функціонує в умовах постійно діючих і дестабілізуючих її роботу факторів, які виводять її з нормального (планового) стану (вирішення поставлених завдань згідно з призначенням). Крім того, для застосування спрощених моделей необхідне певне обґрунтування. Ці обставини вимагають більш точного опису функціонування гідромеліоративних систем з залученням потужного математичного апарату для побудови імітаційних моделей.

Враховуючи складний характер водообміну у ґрунті і завдання експерименту (необхідно враховувати вплив тих чи інших випадкових факторів на динаміку вологи у ґрунті, а через неї – на динаміку і інших процесів), перевагу слід віддати більш точному розрахунку вологи у ґрунті, в основі якого лежить одновимірне диференціальне рівняння вологопереносу [1].

Для опису динаміки вологи в ґрунті була застосована одновимірна модель вологопереносу з урахуванням пошарового відбору вологи ґрунту рослинами, яка дозволяє описати динаміку вологи в ґрунті у часі і по профілю ґрунту.

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ k \frac{\partial H}{\partial z} \right] - w_e, \quad (1)$$

де  $H = \varphi - z$  – капілярний потенціал ґрунтової вологи, який залежить від вологості;

$z$  – вертикальна координата з додатнім напрямком вниз;

$\mu = \frac{\partial w}{\partial \phi}$  – диференціальна вологоємкість;

$k$  – коефіцієнт вологопровідності, який залежить від потенціалу або від вологості;

$w_e$  – інтенсивність поглинання вологи коріннями рослин.

Залежності  $\phi(W)$ ,  $k(W)$  або  $k(\phi)$  для різних шарів ґрунтового профілю приймаються у вигляді функцій:

$$\theta = \frac{W - W_0}{m - W_0} = e^{-\nu \bar{\phi} \alpha}, \quad k = k_0 \cdot \theta^n, \quad (2)$$

де  $W_0$  – максимальна гігроскопічність;

$m$  – пористість;

$\bar{\phi} = \frac{\phi}{H_k}$ ;  $H_k$  – максимальна висота капілярного підняття;

$k_0$  – коефіцієнт фільтрації;

$\nu, \alpha, n$  – сталі величини ( $\nu = 2,7$ ;  $\alpha = 1 \dots 3$ ;  $n = 5$ ).

Особливістю побудованої імітаційної моделі є її стохастичний характер з можливістю оцінити та оптимізувати надійність функціонування зрошувальної системи.

Необхідність застосування такого підходу виникла в зв'язку з наявністю великої кількості збурень, які виникають в процесі функціонування гідромеліоративної системи і виводять її з планового стану. Такі процеси нестационарні і аналітично їх описати дуже складно навіть при суттєвих припущеннях, які значно знецінюють отримані результати. Саме в таких умовах імітаційне моделювання і є незамінним інструментом для дослідження гідромеліоративних систем з урахуванням вищевикладеного. Саме особливості імітаційного моделювання, зазначені вище, дозволяють максимально ефективно використати цей потужний апарат.

Детальний опис функціонування зрошувальної системи, її математичний апарат, як і отримані чисельні результати таких досліджень виходять за межі даної публікації. З цими питаннями можна ознайомитись в публікаціях автора [1, 2, 3]. Але на окремих важливих результа-

тах, які демонструють ефективність використання імітаційного моделювання, слід зупинитись.

Одним з завдань досліджень було на підставі запропонованих автором теоретичних засад прикладної теорії надійності гідромеліоративних систем оцінити сучасний рівень надійності зрошувальних систем в умовах півдня України.

Надійність гідромеліоративної системи характеризується спроможністю її виконувати свої функції і, в першу чергу, підтримувати рівень вологи в ґрунті в заданих (обґрунтованих) межах. Результати засвідчили наступне.

Експерименти на імітаційній моделі показали низьку керованість зрошувальної системи. Про це свідчать такі результати.

Точність визначення строку поливу (діапазон розрахункових строків можливого призначення поливу) склала 6 діб при міжполивному періоді 12-14 діб. Тобто реакція з боку гідромеліоративної системи на управляючі впливи виявилась слабкою.

Науковці і виробничники шукають і запроваджують різні методи управління гідромеліоративною системою, підвищують стан (надійність) технічних складових системи тощо, а реакція на ці заходи виявляється незначною.

З теорії надійності систем відомо, що надійність системи визначає найбільш слабка ланка (елемент) системи, яка лімітує її підвищення. Так сталося і у нашому випадку. Необхідно було знайти цю ланку і зосередити увагу на підвищенні надійності саме її. В нашому випадку, як засвідчили результати досліджень на імітаційній моделі з використанням ПЕОМ, такою слабкою ланкою виявилась якість поливу дощувальною технікою.

Викладені результати засвідчили важливість, ефективність і перспективність створення та використання імітаційного (комп'ютерного) моделювання при дослідженні функціонування гідромеліоративних систем.

1. Кір'янов В. М. Надійність гідромеліоративної системи. Теоретичні та практичні аспекти : монографія / В. М. Кір'янов. – Рівне : РДТУ, 2001. – 239 с.
2. Kiryanov Victor. Simulation stochastic model of functioning of land reclamation systems. International data base of irrigation and drainage research. Cemagref-France, 1996. – P. 159.
3. Кір'янов В. М. Структурна формалізація гідромеліоративної системи / В. М. Кір'янов // Водне господарство України. – № 1 (97), 2012. – С. 24–29.

Рецензент: д.т.н., професор Кожушко Л. Ф. (НУВГП)

---

**Kiryanov V. M., Doctor of Engineering, Professor** (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

### **APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN WATER ECONOMY**

**The application of computer simulation for needs of water economy, hydromeliorations; features of simulation modeling, experience of creating and using of simulation models is considered.**

**Keywords: water economy, hydromeliorative system, simulation model, biosphere processes, reliability, water transfer.**

---

**Кирьянов В. Н., д.т.н., профессор** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

**Рассматривается применение имитационного моделирования на компьютере для нужд водного хозяйства, гидромелиораций; особенности имитационного моделирования, опыт создания и использования имитационных моделей.**

**Ключевые слова: водное хозяйство, гидромелиоративная система, имитационная модель, биосферные процессы, надежность, влагоперенос.**

---