

С.В. Бевз

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДИКИ ВИВЧЕННЯ КРИТЕРІАЛЬНОГО МЕТОДУ

Бурхливий розвиток науки, розробка та впровадження новітніх інформаційних і промислових технологій не можуть не вплинути на навчальний процес. Покращення можливостей комп'ютерних систем і програмного забезпечення дозволяє на новий якісний рівень піднести викладання окремих вузівських дисциплін.

З метою поглибленого вивчення й осмислення теоретичного матеріалу, засвоєння критеріальних моделей, співвідношень, програм на ґрунті критеріального методу розроблено навчальний програмний комплекс (ПК) пошуку оптимальних рішень (ПОР). Окрім навчаючої спрямованості, даний ПК зорієнтований на розв'язання оптимізаційних задач великої розмірності, поліноміального типу, отримання прогнозних результатів і проведення аналізу чутливості оптимальних рішень.

При реалізації ПК ПОР використано об'єктно-орієнтовану методологію проектування, завдяки якій отримано унітарний комплекс, що об'єднує окремі функціональні модулі на основі декомпозиції. Архітектоніка ПК ПОР визначається як природний процес нарощування нових об'єктів з можливістю їх подальшої заміни.

Програмний комплекс ПОР поділяється на **навчаючу і розрахункову частини**. До першої з них входить навчаюча програма, програма тестового контролю знань, програма проектування навчальних і тестових форм. Друга частина містить програму уточнення оптимального розв'язку KRIT2, програму пошуку оптимального розв'язку й аналізу чутливості OPTIMUM, програму побудови прогностичної моделі й отримання прогнозних результатів.

Основними функціями та характеристиками ПК ПОР є:

1. Пошук оптимального рішення оптимізаційних задач поліноміального типу з використанням засобів критеріального методу.

2. Можливість проведення аналізу чутливості оптимального рішення.

3. Побудова прогностичних моделей і отримання результатів прогнозування на основі методу критеріального прогнозування, в основу якого покладено критеріальне рівняння процесу.

4. Оформлений словник термінів і файли довідки теоретичного матеріалу за критеріальним методом.

5. Навчаюча програма для вивчення основ критеріального методу.

6. Організація тестового контролю знань з можливістю перегляду і друку його результатів.

7. Наявність засобів проектування навчальних форм і тестових прикладів.

Розглянемо детальніше складові програмного комплексу пошуку оптимальних рішень. Однією з таких частин ПК є **навчаюча програма**, яка в доступній формі репрезентує критеріальний метод у трьох його основних частинах — критеріальному моделюванні, критеріальному програмуванні та критеріальному аналізі. Вивчення матеріалу може здійснюватися в одному з двох зручному для користувача режимі — текстовому чи динамічному. Останній також пропонує альтернативу — автоматичний чи діалоговий режим. Текстовий режим роботи програми розрахований на користувача, який спроможний самостійно, без будь-яких додаткових підказок і заохочень з боку педагога опрацювати матеріал. Тут матеріал подається в структуризованому вигляді. Текст, згрупований за розділами й супроводжуваний графічними ілюстраціями, подається у файлах типу “Довідка”. У цьому режимі роботи є можливість пошуку необхідної інформації, встановлення закладки, друку потрібного розділу. У динамічному режимі роботи постійно активізується пізнавальна діяльність та інтерес користувача до предмета вивчення, за допомогою додаткових засобів справляється безпосередній вплив на інтуїтивне та образне мислення людини.

З метою максимального зняття психофізичного навантаження при роботі в середовищі ПК ПОР, у динамічному режимі роботи навчаючої програми прийнято оптимальний для більшості потенційних користувачів хід подачі основної інформації — справа наліво, зверху донизу, за винятком дуже обмеженої кількості біжучих сторінок, де інформація розгортається в зворотних напрямках. Останнє практикується в навчаючій програмі з метою концентрації уваги користувача на важливих аспектах проблем, які розглядаються.

При підборі колірних комбінацій у ПК ПОР враховувалися особливості зорового сприйняття інформації того культурного середовища, де планується використання програмного продукту. Це дозволило уникнути відчуття колірної дискомфорту при користуванні ПК ПОР (рис. 1).

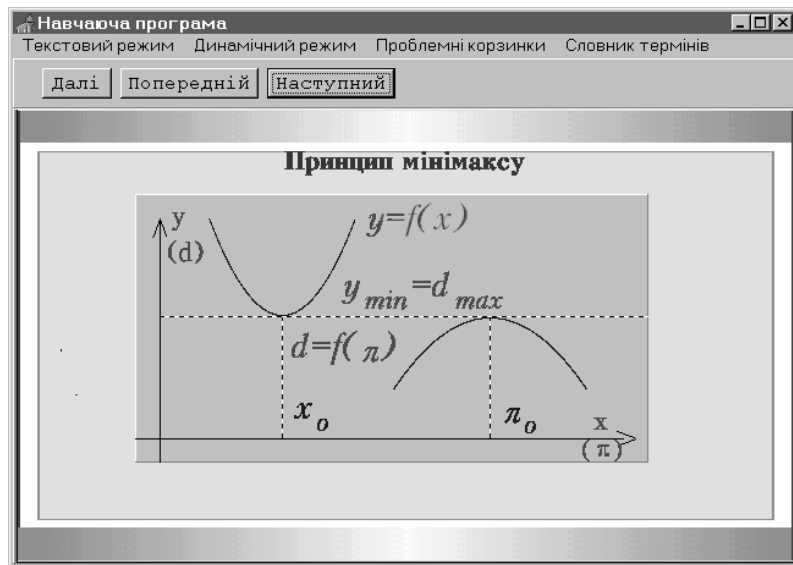


Рис. 1. Ілюстрація навчальної програми.

Як уже зазначалося, в динамічному режимі користувач може проігнорувати живе спілкування з ЕОМ, вибравши автоматичний режим роботи програми, де автоматично відбувається побудова графіків, рисунків, зображень текстової інформації, перехід від однієї сторінки до іншої. Тут задається коефіцієнт студіювання, який розрахований на середні здібності сприйняття інформації. Даний коефіцієнт не слід сприймати константно. За необхідності, його можна змінити в діалоговому режимі роботи програми, що, відповідно, пришвидшить чи уповільнить темп подачі матеріалу.

Діалоговий режим роботи вимагає від користувача постійного підтвердження проходження тієї чи іншої інформативної сторінки. Обидва режими динамічної роботи програми передбачають послідовний перехід між інформаційними вікнами в будь-якому напрямку. Це дозволяє прискорити чи затримати потік інформації, здійснити швидкий перегляд відомих розділів і перейти відразу до вивчення необхідного матеріалу.

Слід зауважити, що в розділах здійснюється компресія інформації: вивід формул, розгорнуті пояснення проблем, яких ледь торкаються в тексті, сховані в спеціальні виринаючі вікна і так звані “проблемні корзинки”. У програмі нараховується п’ять “проблемних корзиночок”, доступ до яких здійснюється із головного меню програми. Це насамперед розгляд поняття критерію подібності; аналіз систем

відносних одиниць, які можуть застосовуватися в критеріальному моделюванні; аналіз особливостей двоїстої задачі критеріального програмування з ілюстративним матеріалом подання окремих випадків багатомірної задачі в тримірному просторі; розгляд методів розв’язання поліноміальних задач КП і вивчення альтернативної методології розв’язання оптимізаційних задач у КП шляхом встановлення залежності між прямою задачею КП і двоїстими змінними. В останній “проблемній корзинці” міститься матеріал про знаходження оптимального розв’язку в чотирьох узагальнених випадках: розв’язання канонічних задач без обмежень, розв’язання задач високої міри складності без обмежень, розв’язання задач нульової міри складності з обмеженнями, розв’язання задач високої міри складності з обмеженнями.

Необхідність диференціації матеріалу за рівнями складності та мірою наснаженості його прикладами, гадаємо, не викликає сумніву. Хоча, звісно, простежується взаємопроникність інформації в розділах ПК, таке ранжування дозволяє суттєво економити час на вивчення матеріалу, конкретизуючи чи поширюючи його (у останньому випадку не витрачається час на пошуки необхідних доведень та пояснень), дає змогу чітко визначитися щодо повноти отримання інформації. У ПК здійснюється поділ подання інформації на три рівні складності: ознайомчий рівень, рівень середньої повноти подачі матеріалу та рівень ґрунтовної підготовки.

Останній рівень складності найбільш повно висвітлює матеріал, подає низку внутрішньопригаманих властивостей та особливостей критеріального методу, порад щодо його практичної реалізації. Цей рівень найбільш зручний для користувачів, які володіють необхідним рівнем знань у галузі математичного програмування. Початківцю варто починати знайомство з критеріальним методом на оглядовому рівні, який розгортає основні засади методу. Стислий та інтенсивний стиль подання інформації на цьому рівні дозволяє швидко й без зайвих ускладнень засвоїти поданий матеріал. Якщо користувач не початківець, але й не претендує на звання досвідченого спеціаліста, то й тоді знайде багато корисної інформації на середньому рівні складності підготовки. Навчальна програма охоплює низку тем, які, без сумніву, будуть цікаві користувачам усіх рівнів.

У середовищі ПК розроблено електронний словник термінів, який супроводжується функціями пошуку та закладки. Користувач може встановити закладку й продовжувати роботу в ПК, потім у будь-який час, вибравши відповідний пункт меню, перейти до запису, який

його цікавить. Даний словник допомагає уточнити значення основних понять теорії подібності й критеріального методу.

Навчаюча програма знайомить користувача з оновленою версією методу, який адаптовано до розв'язання широкого кола оптимізаційних задач. Вона надає інструктивний матеріал для формування бази даних розрахункового модуля, полегшує орієнтацію користувача в середовищі ПК, допомагає здійснювати аналіз отриманих результатів.

Створення навчальних форм відбувається за допомогою описаної нижче **програми проектування нових навчальних і тестових форм**.

У процесі вивчення матеріалу, користувач може провести тестування за допомогою програми тестового контролю знань. Перейдемо до її розгляду.

Програма тестового контролю знань передбачена для тестування користувачів програмного комплексу. Тестові завдання можуть бути підготовлені за допомогою програми проектування навчальних і тестових форм.

Тестова програма керується поданими нижче налагоджувальними параметрами:

- ⇒ кількість запитань кожного з рівнів тестування;
- ⇒ рівні тестових прикладів;
- ⇒ кількість балів за правильну відповідь залежно від рівня запитання;
- ⇒ відсоток зменшення кількості балів у випадку повторної спроби відповіді на питання;
- ⇒ час, який відводиться на тестування;
- ⇒ відсоток заохочувального фонду за умов отримання правильних відповідей швидше, ніж заплановано.

У тестовому завданні вказується правильна відповідь, а також рівень складності запитання.

Може бути також вказана можливість повторної відповіді.

У тестовому прикладі можуть бути запитання двох типів:

- вибір одного пункту з кількох можливих;
- вибір декількох пунктів з багатьох можливих.

Тестові приклади, як уже зазначалося, можуть поділятися за рівнями складності (передбачено використання трьох рівнів складності), відповідно правильні відповіді оцінюються різною кількістю балів.

Для заохочення користувачів у здійсненні швидкого тестування передбачено відсоток преміального фонду і залежить від правильності і швидкості відповідей.

За результатами тестування формується звіт тестового контролю, в якому вказується: розділ критеріального методу; рівень складності; наявність правильної відповіді (відсоток правильності); кількість отриманих балів; підводиться підсумок: кількість отриманих балів; преміальний фонд; всього з преміальним фондом.

Програма проектування форм є основою навчаючої і тестової програм, оскільки, саме з її допомогою організуються тестові й навчальні форми.

Зчитування текстових файлів форм проводиться з файлів з розширенням *.txt і *.txs. Останні, зашифровані для зберігання файлів тестових прикладів.

У програмі проектування навчальних форм передбачено нові функції, на яких ґрунтується процес створення нових форм. Вони мають такий синтаксис:

$\{ \wedge \wedge \wedge \wedge \wedge \wedge \wedge \wedge \}$

ім'я параметри

функції

Керуючись цими функціями, програма подає відповідну інформацію у формі перегляду при її відображенні.

Далі наведено декілька функцій з повного переліку, які розпізнаються й виконуються програмою:

1. Група затримки часу.

◇ {timerab} — затримка потоку інформації на аб секунд;

◇ {times} — затримка потоку інформації відповідно до коефіцієнта студіювання.

2. Група функцій встановлення шрифту.

◇ {fstylabvгде} — встановлює поточний шрифт згідно з параметрами

3. Група загальних функцій.

◇ {spaceabvг} — встановлення

аб — постійного відступу зліва;

вг — міжрядкового інтервалу.

◇ {letорабвгде} — поточні значення

абв — відступу зліва;

где — відступу зверху.

◇ {helpfabв...} — встановлення гіперпосилання останньої мітки на потрібну сторінку файлу довідки

абв... — назва сторінки довідки.

4. Група функцій центрування.

◇{centp} — вирівнювання останньої мітки (напис, який має однакове форматування) по центру (горизонтальне і вертикальне вирівнювання);

◇{centx} — вирівнювання за центром мітки, враховуючи постійний відступ зліва, заданий функціями {space} чи {space};

5. Група функцій вирівнювання останньої мітки.

◇{centeaбвгд} — за центром (тільки вертикальне вирівнювання)

аб — номер мітки, відносно якої проводиться вирівнювання (відраховування починає з кінця до початку);

вгд — горизонтальна відстань між мітками.

6. Група функцій створення і керування елементами інтерфейсу.

◇{pancгабвгдежзийі} — створення панелі

абв — відступ зліва;

где — відступ зверху;

єжз — ширина;

ийі — висота.

◇{panviaб} — видимість панелі

◇{labroабвгдеж} — позиціонування мітки

7. Група функцій малювання.

◇{paintаб} — створення вікна для малювання

аб — номер панелі, на якій створюється вікно.

◇{rectaабвгдежзийі} — зображення прямокутника

а — номер вікна малювання;

бвг — відступ зліва;

деє — відступ зверху;

єзи — ширина;

ийі — висота.

8. Група функцій формул.

◇{lowupрабв...#где...} — напис у верхньому і нижньому регістрах

абв... — напис у нижньому регістрі;

где... — напис у верхньому регістрі.

◇{sumесабв...#где...#єжз...} — запис формули суми

абв... — напис знизу;

где... — напис зверху;

єжз... — напис справа.

9. Група функцій для тестових прикладів.

◇{numpr} — внесення в тестове завдання номера питання по порядку в тестуванні.

◇{pravvaбвгд...} — правильна відповідь на запитання

а — тип запитання.

при a=1

б — номер правильної відповіді; частина вгд... відсутня.

при a=2

б — кількість можливих відповідей; в, г, д — ознака правильності відповіді (0 чи 1).

◇{rossсабв...} — назва розділу, до якого належить запитання абв... .

Основною програмою **розрахункової частини** програмного комплексу пошуку оптимального розв'язку є **програма OPTIMUM**. Функціональність цієї програми підтримується за допомогою головного меню. До складу програми входять: модуль введення даних; модуль побудови математичної моделі; модуль пошуку оптимальних рішень у випадку розв'язання задачі нульової міри складності; модуль пошуку меж області допустимих рішень за симплекс-методом; модуль уточнення оптимального розв'язку за методами дихотомії, золотого перерізу та квадратичної інтерполяції; модуль аналізу чутливості оптимального розв'язку.

Охарактеризувати **розрахункову програму** ПК можна, з'ясувавши можливості кожного окремого її модуля.

Модуль введення даних. У програмі передбачено самостійний та діалоговий режими вводу даних. У першому випадку дані можуть безпосередньо вноситися до файлу, сформованого в табличній формі, чи подаватися у вигляді математичної моделі задачі. У такому разі вхідні дані автоматично заносяться до файлу даних. У діалоговому режимі введення розгортаються запити про параметри моделі і автоматично заповнюються елементи таблиці вихідної інформації. Окрім цього, в програмі закладена можливість імпорту даних із зовнішнього текстового файлу, автоматична корекція вихідної інформації. ПК проводить перевірку правильності введення початкових даних. Причому, можливі два режими тестування. У першому — за наявності помилок видається їх перелік. Другий режим зорієнтований на визначення елемента таблиці вихідної інформації з помилковими даними та на визначення характеру помилки.

Модуль формування математичних моделей. Проведенню розрахунків у ПК передують формування математичних моделей поставлених задач, зокрема, прямої та двоїстої задачі КП, критеріальної моделі. Остання, реалізується в системі відносних одиниць — за базисний приймається оптимальний варіант. У графічному середовищі ПК ПОР передбачено візуальне відображення всіх вищевизначених математичних моделей для забезпечення

контролю введення інформації та проведення розрахунку. Такий підхід особливо зручний у випадку розв'язання задач невеликої розмірності. Решта модулів з вищенаведеного переліку реалізують пошук оптимальних рішень, що стосується визначення оптимуму, ПК ПОР зорієнтований на розв'язання задач поліноміального типу.

При розв'язуванні оптимізаційних задач також виникають труднощі, пов'язані зі складністю математичної моделі через нелінійність цільової функції й обмежень. Для їх подолання здійснюється перехід від простору змінних прямої задачі КП до простору двоїстих змінних. При цьому, пряма задача замінюється відповідною їй двоїстою, котра при нелінійній цільовій функції має лінійні обмеження.

ПК ПОР уможливує розв'язання задач КП будь-якої міри складності, зокрема, й у випадках, коли кількість критеріїв подібності значно перевищує кількість змінних. Аналізуючи міру складності задачі, ПК ПОР спрямовує розв'язок задачі в один з альтернативних модулів програми третій чи четвертий.

Модуль пошуку оптимального розв'язку канонічних задач забезпечує пошук оптимальних рішень без традиційного переходу від прямої задачі КП до двоїстої) шляхом встановлення зв'язку прямої задачі КП з двоїстими змінними, що визначається виявленням залежності показника ефективності від двоїстих змінних. Оптимальні значення параметрів в даному разі визначаються безпосередньо. Даний метод розв'язання оптимізаційних задач визначається значно більш інформативною матрицею показників і не потребує знання теорії двоїстості для оцінки двоїстих змінних, які входять до моделі. Розв'язання задач високої міри складності реалізовано в ПК ПОР четвертим та п'ятим модулями. У них використовується алгоритм, складовими частинами якого є: перехід від простору змінних прямої задачі КП до простору двоїстих змінних; подання критеріальної програми у вигляді лінійної; локалізація оптимального розв'язку засобами лінійного програмування, а саме — симплекс-методом, у досить вузькій області, для подальшого ефективного його уточнення; визначення у сформованій області оптимального розв'язку відносно простими методами послідовного пошуку екстремуму — дихотомії чи квадратичної інтерполяції.

Зважаючи на особливості двоїстої задачі КП і методів послідовного пошуку екстремуму та враховуючи форму цільової функції, ПК ПОР передбачає розв'язання даного класу задач регуляризованими методами, у яких поряд з квадратичною інтерполяцією використовуються процедури дихотомії (спосіб п'яти точок чи золотого перерізу).

Окрім іншого, в ПК, для візуального контролю процесу збіжності, подано графічну ілюстрацію пошуку екстремуму двоїстої функції за методом квадратичної інтерполяції.

Модуль аналізу чутливості оптимального розв'язку. У ПК передбачена можливість виконання аналізу чутливості оптимальних рішень. Це, зокрема, розв'язання прямої та оберненої задач чутливості для прямої задачі КП з двоїстими змінними. Проведення аналізу чутливості в околі оптимального значення досліджуваної функції дозволяє відшукати раціонально необхідну точність, що сприяє підвищенню техніко-економічних характеристик оптимізації, дозволяє виявити параметри і змінні, які суттєво впливають на значення показника ефективності, в результаті чого з'являється можливість ефективного оптимального керування за рахунок вибіркового підходу до потоку інформації.

Розв'язання конкретних технічних задач досить часто вимагає проведення аналізу чутливості двоїстих змінних при відхиленні показника ефективності від базису. За цих обставин в програмі використовується нова методика розв'язання зворотної задачі чутливості.

Програма уточнення оптимального розв'язку призначена для уточнення оптимального розв'язку нелінійних математичних задач високої міри складності, математична модель яких виражена позиномом. Вона використовує методи послідовного пошуку екстремуму (дихотомії чи квадратичної інтерполяції).

Дана програма може експлуатуватися самостійно в операційному середовищі MS DOS для розв'язання технічних локальних задач, коли існує впевненість, що всі параметри моделі знаходяться в допустимих межах. Наприклад, у випадку зведення задачі оптимального керування нормальними режимами електричної системи до визначення потужності джерел реактивної потужності, коефіцієнтів трансформації трансформаторів, які забезпечують мінімальне значення втрат енергії за існуючого в системі складу електричних навантажень.

Програма KRIT2 забезпечує формування двоїстої задачі критеріального програмування; уточнення області допустимих розв'язків методом п'яти точок чи золотого перерізу; визначення максимуму двоїстої функції (мінімуму цільової) методом квадратичної інтерполяції; графічну ілюстрацію розв'язку.

Окрім цього, для забезпечення діалогового режиму використовуються модулі основної бібліотеки TURBO.TPL та бібліотеки TURBO VISION.

Особливо зручною програма KRIT2 виявляється для функцій, в яких присутній конкуруючий ефект, або для функцій, графіки яких наближені до парабол. Алгоритм знаходження оптимального розв'язку для таких задач, за програмою KRIT2, подібний до алгоритму визначення екстремуму за обчислювальним модулем ПК ПОР, але отримання оптимуму у першому випадку вимагає менше зусиль та затрат машинного часу, позаяк не містить складних обчислень, які уніфікують модулі ПК і пристосовують їх до розв'язання більш широкого кола технічних задач. Таким чином, у разі необхідності розв'язання оптимізаційних задач позиноміального типу будь-якої міри складності, яким притаманні вищезгадані властивості, доцільно користатися програмою KRIT2 у середовищі ПК ПОР.

Програма побудови прогностичної моделі і отримання прогнозних результатів. Як відомо, точне прогнозування стану об'єкта є основою раціонального використання ресурсів, капітальних та експлуатаційних затрат. Тому, завжди актуальною є розробка програмного та методологічного забезпечення прогнозування. Виходячи з високих вимог до точності результатів прогнозу, в ПК ПОР реалізована методика прогнозування, яка ґрунтується на методі критеріального прогнозування. У ПК критеріальна форма запису використовується як математична модель для визначення параметрів апроксимуючої функції і для визначення результатів прогнозу. Апроксимуюча залежність має вигляд полінома, показники степеня якого вираховуються за ретроспективними даними і можуть бути як цілими, так і дробовими, що максимально наближає прогнозний процес до реального, забезпечуючи високу точність.

Форма і параметри математичної моделі прогнозування задаються користувачем. Введення й редагування математичної моделі проводиться в зручній і наочній формі. Для знаходження параметрів моделі складається система критеріальних рівнянь з використанням ретроспективних даних та з урахуванням умови нормування критеріїв подібності до одиниці. Розв'язок системи нелінійних рівнянь отримується за допомогою методу Зейделя. Після визначення параметрів моделі отримується прогноз згідно з критеріальною моделлю. Або ж за необхідністю визначаються параметри вихідної моделі за методом найменших квадратів (МНК), а наступний прогноз проводиться шляхом екстраполяції вихідної моделі. Для критеріального моделювання важливою є задача вибору базисного значення. У ПК ПОР за базис приймаються координати першої точки ретроспективних даних.

Приведення вихідної моделі на основі теорії подібності та моделювання до критеріальної форми запису дозволяє виявити найбільш загальні властивості об'єктів і отримати прогноз за неповноти інформації, а саме за наявності невідомих коефіцієнтів вихідної моделі.

ПК ПОР поряд з однофакторними моделями прогнозування передбачає використання багатфакторних, що дає можливість врахувати, окрім фактора часу, багато додаткових факторів, які впливають на динаміку процесу зміни стану об'єкта. Зазначимо, що число членів апроксимувального полінома може бути довільним і вибирається залежно від вимог до точності очікуваних результатів та наявності ретроспективних даних. У ПК ПОР визначаються абсолютні та відносні похибки результатів прогнозування. Здійснюється графічна ілюстрація розв'язку — будуються залежності ретроспективних даних, результатів прогнозування, абсолютних похибок прогнозування від часу.

Важливо відзначити, що за допомогою ПК ПОР можна отримати прогнозні значення на будь-який інтервал випередження. Як ретроспективні, в ПК можуть бути використані дані, виміряні через неоднакові проміжки часу, оскільки в моделі враховуються лише відносні відхилення параметрів процесу. Тому, для даного ПК не є суттєвою втрата вихідної інформації.

Висновки:

1. Поєднання в ПК елементів навчаючої та навчальної спрямованості дозволяє більш повно відтворити цілісну картину модельованого процесу, допомагає розкрити внутрішні тенденції його розвитку через комплементарний післяоптимізаційний аналіз, дозволяє зосередитися (при теоретичному дослідженні) на закономірностях і особливостях процесу, а не лише на математичних викладках і формулах, робота з якими часто затіняє сам об'єкт дослідження.

2. Особливості ПК ПОР знаходять свій вияв у його застосуванні для пошуку екстремуму в оптимізаційних задачах великої розмірності та за необхідності подання складних математичних закономірностей у доступній і наочній формі. З другого боку, ПК ПОР рекомендується для розв'язання оптимізаційних задач, оптимальний розв'язок яких вимагає техніко-економічного аналізу на чутливість. Ці та інші аспекти уможливають використання критеріального методу для розв'язання задач оптимального керування, який є ефективним для розв'язання нелінійних оптимізаційних задач.