

В І Д З И В

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора Михальова Олександра Ілліча
на дисертаційну роботу Дорофєєва Юрія Івановича
«Робастне керування запасами у мережах поставок в умовах невизначеності
попиту та транспортних запізнь», яка подана на здобуття наукового
ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація
процесів керування.

Сьогодення характеризується бурхливим розвитком підприємств різних форм власності, які повністю здійснюють усі етапи бізнес-процесу, починаючи з видобутку чи закупівлі сировини, і закінчуючи виробництвом, зберіганням, транспортуванням та реалізацією кінцевої продукції. Усі перелічені процеси розподілені у просторі та часі і формують, як правило, велику та складну систему, так звану мережу поставок, динамічний характер процесів в якій обумовлений необхідністю накопичення та збереження проміжної та кінцевої продукції та зміною у часі рівнів проміжних запасів. Якщо долучити до цього значну невизначеність у параметрах такої мережі, насамперед транспортних запізнь, то це дозволяє зробити висновок про неможливість забезпечення високого рівня якості продукції та надійності її поставок споживачам без створення ефективної системи керування запасами матеріально-технічних ресурсів в усіх вузлах мережі. Створення методології синтезу систем керування запасами у складних мережах поставок безумовно є важною науково-технічною проблемою, розв'язання якої потребує розвитку методів керування запасами в умовах невизначеності на основі сучасної теорії автоматичного управління складними техніко-економічними системами.

Тому, на мій погляд, дана дисертація має суттєве наукове і практичне значення, представляється своєчасною і корисною.

Актуальність виконаної роботи

Дисертація Ю. І. Дорофєєва присвячена (*об'єкт дослідження*) вивченню процесів автоматизованого керування запасами в мережах поставок, які діють в умовах інтервальної невизначеності зовнішнього попиту та параметричної невизначеності інтервалів транспортних запізнь. Теоретичні основи управління цими об'єктами, що відносяться до класу

складних і масштабних, із застосуванням сучасних методів теорії оптимального та робастного керування є недостатньо розробленими.

Необхідність проведених досліджень визначається наступними обставинами:

- необхідністю розробки математичних моделей процесів керування запасами в мережах поставок з урахуванням невизначеності інтервалів транспортних запізнень та обсягів зовнішнього попиту;
- нагальними потребами розвитку методу субоптимального структурного та параметричного синтезу робастного керування запасами.

Треба відмітити, що робота проводилася у відповідності до плану науково-дослідних робіт МОН України в рамках держбюджетних тем «Розвиток теорії та методів синтезу децентралізованого робастного керування розподіленими мережами поставок в умовах невизначеності» (№ ДР 0111U002285) та «Розробка інформаційної технології формування портфелів проектів національного рівня на основі імітаційної моделі науково-технологічного розвитку України» (№ ДР 0115U000543).

Предметом досліджень дисертаційної роботи є моделі та методи синтезу робастних систем автоматизованого керування запасами в мережах поставок. При цьому вивчення змісту дисертації показало, що автор ретельно проаналізував сучасні задачі та методи керування мережами поставок в умовах невизначеності (89 джерел в списку літератури), провів глибокий аналіз математичних моделей мереж поставок як динамічних систем та використовуваних для них показників якості.

Аналіз рівня досягнутих результатів в області об'єкту і предмету досліджень (вступ і перший розділ) дозволив виявити суперечності, усунення яких є необхідним для вирішення проблеми, і сформулювати ряд задач, для розв'язання яких потрібні нові моделі та методи синтезу робастного керування запасами, алгоритми і програмні засоби для їх реалізації. При вирішенні сформульованої наукової проблеми в роботі використано системний підхід, сучасні методи теорії управління, математичне та комп'ютерне моделювання.

Таким чином, *актуальність дисертаційної роботи обумовлена необхідністю створення високоефективних систем автоматизованого*

керування процесами в складних мережах поставок в умовах суттєвої невизначеності щодо їх параметрів, насамперед транспортних запізнень, та зовнішнього попиту, що забезпечують зниження витрат, пов'язаних з транспортуванням та зберіганням матеріальних ресурсів.

Наукова новизна дисертаційних досліджень

В дисертаційній роботі знайшли відображення наукові й практичні результати, що відносяться до наступних напрямків досліджень: методи створення автоматизованих систем керування процесами та комплексами різного призначення; формалізація завдань керування складними організаційно-технічними об'єктами та комплексами, розроблення критеріїв оцінювання якості їхнього функціонування; моделювання об'єктів та систем керування. Це дозволяє стверджувати, що тема і зміст дисертації повністю відповідає паспорту спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

В роботі поставлені і вирішені три головні задачі наукового дослідження.

Перша головна задача пов'язана із розробкою математичних моделей процесів керування запасами в мережах поставок у вигляді дискретної динамічної системи у просторі станів з запізненням по керуванню, в якій враховано інтервальну невизначеність зовнішнього попиту, обсяги якого розглядаються в якості зовнішніх збурень. На основі розширення простору станів автором побудовано модель без запізнення та обґрунтовано доцільність використання матриці динаміки моделі з параметричною невизначеністю, що дозволяє врахувати невизначеність інтервалів транспортних запізнень (п.п. 2.2, 2.3 дисертації).

Для зниження обчислювальної складності задачі запропоновано децентралізовану систему робастного керування запасами, для чого виконано декомпозицію мережі поставок на локальні підсистеми, які є децентралізованими за входами (п.п. 5.1, 5.2 дисертації).

Для зниження ступеня консерватизму результатів керування запропоновано введення додаткових змінних станів, які алгебраїчно пов'язані з основними змінними станів, на основі чого розроблено розширену дескрипторну модель мережі поставок (п. 4.8 дисертації).

На основі різницевих рівнянь балансу маси водних потоків і рівняння Бернуллі побудовано математичну модель системи подачі та розподілу води

як об'єкта автоматичного керування у вигляді нелінійної дискретної системи у просторі станів за умови існування квадратичних обмежень на значення функцій, які описують нелінійні доданки (п. 7.2 дисертації).

Друга головна задача (третій, четвертий і п'ятий розділи) присвячена обґрунтуванню, розробці та дослідженню концепції та методів синтезу обмеженого робастного гарантуючого керування запасами в мережах поставок. Для її вирішення сформульовані і розв'язані наступні задачі:

1. Синтез робастного керування запасами в мережах поставок на основі методу прогнозуючого керування.
2. Синтез робастного керування запасами шляхом розвитку методу інваріантних еліпсоїдів на основі централізованого підходу.
3. Синтез робастного керування запасами на основі децентралізованого підходу.
4. Аналіз робастної стійкості децентралізованої системи керування запасами.

При розв'язанні першої задачі суттєву новизну мають результати синтезу прогнозуючого керування запасами з «м'якими» обмеженнями, які дозволяють враховувати відкладений попит, а також перевищення готівковими рівнями запасів у вузлах мережі місткості відповідних сховищ. На основі результатів чисельного моделювання в роботі встановлено, що ефективність застосування прогнозуючого керування запасами залежить від величини горизонту прогнозування та точності прогнозування попиту.

Результатом розв'язання другої задачі є розробка методів синтезу робастного керування запасами: шляхом побудови квадратичної функції Ляпунова, матриця якої не залежить від невизначених параметрів моделі; використанням дискретного аналога похідної вектора станів в законі керування; шляхом побудови параметризованої функції Ляпунова; та застосуванням дескрипторного підходу.

На основі результатів комп'ютерного моделювання виконано аналіз впливу початкових умов, величини інтервалу невизначеності зовнішнього попиту і різних способів побудови регулятора на значення показника якості, в результаті чого сформульовано рекомендації щодо вибору початкових рівнів запасів. Здійснено порівняння отриманих величин показника якості керування та обчислювальної складності відповідних оптимізаційних задач, що дозволяє авторові рекомендувати застосування для синтезу систем

робастного керування запасами дескрипторного підходу з використанням параметризованої функції Ляпунова.

Вирішення третьої підзадачі здійснено шляхом розв'язання задач робастної стабілізації локальних підсистем на основі розвитку методу інваріантних еліпсоїдів.

В процесі розв'язання четвертої задачі проведено аналіз робастної стійкості децентралізованої системи керування запасами на основі методу порівняння та методу з використанням функцій Ляпунова. Доведено, що зазначена задача може бути зведена до задачі перевірки умови нільпотентності нестационарної матриці динаміки позитивної системи порівняння.

Третя головна задача полягає в аналізі необхідних і достатніх умов існування розв'язку задачі синтезу обмеженого робастного гарантуючого керування запасами в мережах поставок (шостий розділ дисертації). В процесі її вирішення сформульовані і реалізовані дві задачі.

Для формалізації умови достатності ресурсів керування вирішено задачу оцінювання допустимої області в просторі керуючих впливів, яку представлено у вигляді системи білінійних матричних нерівностей, та запропоновано ітераційний алгоритм для її розв'язання.

Розв'язання головних і допоміжних задач привело до отримання нових наукових результатів та дозволило дисертантові сформулювати наукові положення, що мають істотну новизну.

До найбільш важливих результатів, на мій погляд, відносяться:

- спосіб побудови математичних моделей процесів керування запасами в мережі поставок з параметричною невизначеністю, що дозволяє врахувати невизначеність інтервалів транспортних запізнь для централізованої та децентралізованої структури системи керування;
- спосіб побудови математичної моделі системи подачі та розподілу води як об'єкта автоматичного керування, яка відрізняється урахуванням нелінійних взаємозв'язків за умови існування квадратичних обмежень на їх значення, що дозволяє використовувати сучасні методи керування для автоматизації процесів розподілу води в населених пунктах;
- метод субоптимального структурного та параметричного синтезу обмеженого робастного гарантуючого керування запасами у мережах поставок шляхом розвитку методу інваріантних еліпсоїдів із використанням

дескрипторного підходу та параметризованої функції Ляпунова, що дозволяє зменшити ступінь консерватизму результатів керування;

- метод визначення необхідних ресурсів керування у вигляді потрібної області в просторі керуючих впливів шляхом розв'язання системи білінійних матричних нерівностей, що дозволяє визначити умови існування розв'язку задачі робастного керування запасами при наявності несиметричних обмежень на значення керуючих впливів;

- метод визначення вагових матриць квадратичного показника якості керування шляхом розв'язання системи білінійних матричних нерівностей, що дозволяє забезпечити максимально можливу точність стабілізації страхових рівнів запасів у вузлах мережі;

- метод аналізу робастної стійкості децентралізованої системи керування запасами в мережах поставок на основі застосування методу векторних функцій Ляпунова та методу порівняння, що дозволяє встановити умови стійкості децентралізованої системи керування запасами.

Слід також зазначити універсальність і практичну спрямованість отриманих результатів, доведених до алгоритмічних і програмних реалізацій, що виконані із застосуванням сучасних інструментальних засобів. Розроблені алгоритми управління реалізовані при вирішенні конкретних практичних задач автоматизації процесів керування запасами в мережі поставок по виробництву засобів побутової хімії та системі подачі та розподілу води в населеному пункті.

Достовірність наукових положень і результатів

Під час розв'язання головних і допоміжних задач дослідження в роботі використано методи математичного та комп'ютерного моделювання. Реалізовані аналітичні моделі цілком коректні, що підтверджується співставленням з результатами інших авторів і експериментальною перевіркою на точність і адекватність.

Моделювання проводилося з використанням сучасних програмних пакетів, призначених для розв'язання задач квадратичної та опуклої оптимізації. Припущення й обмеження, які використав автор, цілком правомірні. Під час теоретичних досліджень використано сучасний математичний апарат.

Застосовані в роботі методи дослідження загально признані і забезпечують достатню точність і відтворюваність результатів. Правильність висновків і рекомендацій по застосуванню запропонованих методик і алгоритмів перевірена чисельними експериментами.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Грунтовний аналіз основних методів синтезу робастних систем керування запасами дозволив дисертантові запропонувати методи синтезу автоматизованих систем робастного керування запасами в мережах поставок на основі розроблених математичних моделей систем з параметричною невизначеністю та розвитку методу інваріантних еліпсоїдів з використанням дескрипторного підходу та параметризованої функції Ляпунова. Це обумовлює застосування нових рішень по структурі і настройкам локальних систем керування запасами матеріальних ресурсів окремих вузлів мережі поставок.

Отримані результати, висновки і рекомендації логічно і математично аргументовані. **Достовірність** забезпечується коректною постановкою задач математичного моделювання і параметричного синтезу систем керування запасами в мережах поставок. Всі методи, які запропоновані в дисертаційній роботі, обґрунтовані чіткими математичними викладками і підтверджені результатами чисельних експериментів.

Констатую, що у докторській дисертації Дорофєєва Юрія Івановича не використані результати його дисертації на здобуття ступеня кандидата технічних наук, що була присвячена питанням компенсації взаємозв'язків на основі обернених моделей і захищена в 1995 році.

Повнота освітлення результатів дисертації

Результати роботи висвітлені у 34 публікаціях (з них 14 самостійних). У авторефераті приведено 21 публікацію, які відповідають вимогам ВАК України. Серед них статті в авторитетних журналах «Керуючі системи і машини», «Известия РАН. Теория и системы управления», «Journal of Computer Systems Sciences International» та інші. Це свідчить про визнання наукових результатів і високої кваліфікації автора. Кількість і зміст цих робіт дозволяють зробити висновок про те, що результати дисертаційної роботи

опубліковані в достатньому обсязі, пройшли апробацію на 12 міжнародних конференціях і відомі науково-технічній громадськості.

Автореферат повною мірою відображає зміст дисертації.

Практична цінність результатів роботи

Результати дисертаційної роботи впроваджено на промислових підприємствах і організаціях, які займаються виробництвом, зберіганням і розподілом матеріальних ресурсів, зокрема КП «Харківводоканал» (м. Харків) – одному з найбільших в Україні підприємств з надання послуг водопостачання та ТзОВ фірмі «СВ» (м. Харків) – провідному виробнику засобів побутової хімії в Україні.

У дисертації представлені розробки, виконані особисто автором, з практичної реалізації наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в тексті. При цьому автор орієнтується на використанні запропонованих методик, моделей і алгоритмів не тільки у виробничій сфері, але і при підготовці фахівців в НТУ «Харківський політехнічний інститут» (Додаток А, сторінка 283 дисертації).

Зауваження щодо змісту й оформлення дисертації

За змістом дисертації Ю. І. Дорофєєва можна висловити наступні зауваження:

1. Одним з заявлених в роботі елементів новизни є *побудова регуляторів рівнів запасів ресурсів, при конструюванні яких не використовується інформація про ступінь невизначеності, яка існує в об'єкті*. Це, на мій погляд, занадто жорстке обмеження, що порушує фундаментальний кібернетичний принцип «зовнішнього доповнення» Стаффорда Біра.
2. Вважаю, що задеклароване для досягнення наміченої в роботі мети завдання по розробці та обґрунтуванню концепції синтезу обмеженого робастного гарантуючого управління запасами в мережах поставок, в дисертації розкрито не в повному обсязі. Розроблені, швидше за все, методи синтезу такого управління, оскільки концепт передбачає наявність системної тріади: аналіз → методологія → синтез.
3. У роботі використовуються не цілком обґрунтовані терміни, такі як «афінна сума матриць», «векторна функція Ляпунова» та інші, що створює когнітивний дисонанс. Зокрема, афінність - це перетворення обертання і зсуву. Що означає це для матриць?

4. Основні результати роботи пов'язані із застосуванням матричних дискретних динамічних моделей. Однак в роботі, на мій погляд, абсолютно недостатньо висвітлені питання, перш за все перевірки обумовленості матриць, і, що не менш критично, відсутня доказовість вибору частоти дискретизації моделей.
5. На мій погляд, у підсумкових висновках дисертації не знайшли відображення деякі наукові положення і результати, які можна побачити при розгляді її контексту. Форма висновків носить характер анотації, а не результативний характер.
6. У четвертому, п'ятому, шостому та сьомому розділах наведені алгоритми реалізації розглянутих методів синтезу систем робастного керування запасами, але нічого не сказано про їх програмну реалізацію. Судячи з публікацій [джерела 16, 17 автореферату] автор це зробив, але не відзначив у дисертації.
7. Ефективність розроблених методів синтезу робастного керування запасами була би більш обґрунтована, якби автор порівняв їх з одним з численних методів інших авторів, які він проаналізував в першому розділі.
8. Незрозуміло, про які запізнення йде мова при постановці задачі керування процесом розподілу води і який фізичний зміст має вектор $u^T(k)$ у формулі (47).
9. В таблиці 4.1 на стор. 166 дисертації реальні чисельні значення критерія якості мають порядок 10^{-8} , що викликає деякий сумнів.

Зміст дисертації Ю.І. Дорофєєва викладено в цілому зрозуміло і логічно. Текст, ілюстрації та формули оформлені відповідно до встановлених вимог.

Але все ж таки потрібно відзначити наступні зауваження *не принципового характеру*:

- у вступі й в першому розділі багато дублюючої інформації, наприклад, при формулюванні задач дисертаційного дослідження;
- для виявлення новизни внеску автора слід було б робити посилання на свої публікації в тексті розділів, а не у висновках.

Проте ці зауваження не знижують в цілому наукову і практичну цінність дисертації.

Загальна оцінка дисертаційної роботи

На основі вивчення змісту дисертаційної роботи, автореферату і публікацій можна стверджувати наступне.

Дисертація Ю. І. Дорофєєва є завершеним науковим дослідженням, де виявлена і вирішена **прикладна науково-практична проблема** розробки та обґрунтування концепції та методів синтезу автоматизованих систем робастного керування запасами в мережах поставок.

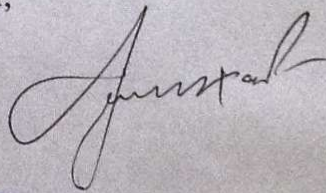
В роботі отримані нові результати, що мають наукове й практичне значення для науки і техніки.

Наведені в роботі науково обґрунтовані результати і положення впроваджені у промисловості. Їх використання сприятиме розширенню науково-технічного прогресу для області автоматизації систем керування запасами матеріальних ресурсів.

Дисертаційна робота Ю. І. Дорофєєва повністю відповідає вимогам п.п. 9, 10 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 року, а її автор, Дорофєєв Юрій Іванович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Офіційний опонент

завідувач кафедри інформаційних технологій і систем
Національної металургійної академії України,
лауреат Державної премії України,
доктор технічних наук, професор



О.І. Михальов

Підпис офіційного опонента,
доктора технічних наук, професора Михальова О. І. засвідчую.

Вчений секретар НМетА
професор



О.Ю. Потап