Академія наук України
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова

На правах рукопису

БУРІМЕНКО Юрій Іванович

УДК 519.6+531.8

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ КЕРОВАНИХ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗІ ЗМІННИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

01.01.11 - системний аналіз і автоматичне керування
01.02.06 - динаміка, міцність машин, приладів і апаратури

Автореферат дисертації на здобуття ученого ступеня доктора технічних наук

Київ 1993

Робота виконана у Одеському державному університеті імені І.І.Мечнікова.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор ПАВЛОВ В.В.,

доктор технічних наук, професор ШЕВЕЛЬОВ А.Г.,

член-кореспондент АН України, доктор технічних наук, професор ІВАНЧЕНКО Ф.К.

Провідна організація: Київський університет ім. Тараса Шевченка

Захист відбудеться "22" квітня 1993 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої ради Д 016.45.04 при Інституті кібернетики імені В.М.Глушкова АН України за адресою :

252207 Київ 207, просп. Академіка Глушкова, 40

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічному архіві інституту.

Автореферат розіслано "11" березня 1993 р.

Учений секретар спеціалізованої ради ГУБАРЕВ В.Ф.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Науково-технічний прогрес, перспективи автоматизації виробництва, удосконалення технологій, машин та систем машин постійно вносять до теорії керування і динаміки машин нові проблеми. Будь-яка система структурно є сукупністю взаємопов'язаних об'єктів. Цілеспрямована або довільна зміна каналів зв'язку між об'єктами, а також реалізованих на каналах видів зв'язку, призводить до структурних перетворень системи. Структурний аспект, що відображає такі формальні компоненти системи як об'єкти та відношення між ними, є одним з фундаментальних в теорії керування. Він лежить в основі системного методу дослідження, який в останні десятиліття проникає практично в усі галузі знання.

Важливим класом систем об'єктів зі змінними зв'язками є системи машинних комплексів. Питання структурного керування, динамічної міцності і надійності цього класу систем у їх взаємозв'язку не вивчені з причини відсутності відповідної теорії. Внаслідок цього розв'язки, які приймаються на стадії проектування, в процесі експлуатації складних систем машин,не мають достатнього наукового обгрунтування. В цьому одна з основних причин аварій і катастроф в складних технічних системах і технологіях.

Прикладами систем об'єктів зі змінними зв'язками можуть вважатися гнучкі виробничі, обчислювальні та програмні комплекси, мережі ЕОМ, системи людина-машина-середовище, плаваючий об'єкт - буксири, вертоліт-трос-об'єкт, складні машини, прилади, апарати, конструкції і т.п.

Для систем об'єктів зі змінними зв'язками ключовою є проблема перерахування та переліку структур. Без її розв'язання неможливо побудувати модель системи і розробити конструктивні методи досліджень. На сьогодні ця проблема звичайно знімається шляхом віднесення її до вхідних даних, що призводить до втрати практичного значення результатів досліджень. Все це зумовлює актуальну потребу в розробці методів дослідження систем об'єктів зі змінними зв'язками та їх використання для розв'язку конкретних виробничих проблем.

Робота виконана у відповідності з комплексним планом Мінвузу України за темою " Моделювання та оптимізація складних процесів керування" (номер державної реєстрації 01822003470), планом НДР АН України з проблеми 1.1.10.5 - "Наближені методи дослідження задач керування" (номер державної реєстрації 01860083954), планом АН СРСР на 1981 - 1985 рр., розділ 1.11.1.4 - "Динаміка швидкохідних та енергоємних машин і систем машин", іншими планами і договорами.

Метою роботи є побудова основ конструктивної теорії систем керованих об'єктів зі змінними зв'язками і розв'язок за допомогою цієї теорії деяких проблем динаміки систем машинних комплексів.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що :

1) сформульований і розвинутий новий науковий напрямок в дослідженні складних систем - теорія систем керованих динамічних об'єктів зі змінними зв'язками. Основу теорії складають : розроблений конструктивний метод перерахування і переліку структур систем об'єктів, метод математичного опису систем, оснований на використанні формальних степеневих рядів, методи аналізу і синтезу;

2) проведені математичний опис і дослідження важливого в практичному відношенні класу систем динамічних об'єктів, поєднаних криволінійним пружним стержнем. Розроблені наближені і чисельні методи дослідження динаміки керованих систем машинних комплексів, що дозволяють розраховувати перехідні процеси, вплив структур на динамічну міцність, надійність та безпеку;

3) розв'язані актуальні виробничі проблеми вдосконалення технологічних процесів, що реалізуються системою машинних комплексів зі змінними зв'язками.

Практична цінність результатів роботи визначається тим, що вони дозволяють на стадії проектування і в процесі експлуатації здійснювати постановки і одержувати розв'язки актуальних задач для систем об'єктів зі змінними зв'язками будь-якої природи, впровадженням результатів у виробництво та навчальний процес. Стосовно до системи суден, які здійснюють буксирно-кантувальні операції в морських портах, результати доведені до практичного використання. Деякі результати стали основою розв'язання ряду виробничих задач для Чорноморського морського пароплавства, Одеського морського порту та ін. Частина цих задач, яка пов'язана з підвищенням ефективності і безпеки технології проведення буксирно-кантувальних операцій в морських портах, впроваджена з річним економічним ефектом в 216,9 тис. крб. (в цінах 1984 р.).

Розроблені методи дослідження систем об'єктів зі змінними зв'язками включені в програми курсів лекцій з дослідження операцій, пакетів прикладних програм, математичних моделях керованих систем, які читаються в Одеському держуніверситеті, використовуються в Одеському інституті інженерів морського флоту в курсі з теорії машин і механізмів та в Одеській державній академії при підвищенні кваліфікації водіїв суден.

<u>Достовірність</u> результатів досліджень забезпечується коректністю постановки задач, строгістю математичних методів, принципів і законів, які застосовуються при розв'язанні, доведенням тверджень, отриманням ряду відомих результатів як окремих випадків з нових, більш загальних. Крім того, результати практичного характеру підтверджені натурними експериментами, що проведені в реальних експлуатаційних умовах.

<u>Апробація роботи</u>. Основні результати роботи доповідались на міжнародному конгресі, 13 всесоюзних і 6 республіканських з'їздах, конференціях. Обговорені на наукових семінарах ІК АН України (1991), Інституту машинознавства АН СРСР (1988), КПІ (1989,1990), КДУ (1992), ОДУ (1986,1988,1990,1991), Одеського філіалу наукової ради АН СРСР з проблем машинобудування і технологічних процесів (1988,1989,1991),в Одеській секції ради з проблеми "Кібернетика" АН України (1988) та ін.

<u>Публікації</u>. Основні результати дисертації відображені в монографії, 45 статтях та публікаціях за матеріалами доповідей на наукових конференціях і семінарах.

<u>Структура і обсяг роботи</u>. Дисертація складається із вступу, 7 глав, висновку, списку літератури з 134 назв і 8 додатків. Загальний об'єм роботи - 336 сторінок машинописного тексту, в тому числі 200 стор. основного тексту, 12 стор. списку літератури, 60 стор. додатків, 88 рисунків, 9 таблиць.

ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

<u>У вступі</u> обгрунтована актуальність теми дослідження, проведений аналіз проблематики, сформульована мета дослідження, коротко викладені основні результати.

<u>У главі 1</u> розв'язана проблема перерахування і переліку структур систем об'єктів довільної природи. Ця проблема є фундаментальною для всієї теорії систем об'єктів зі змінними зв'язками. Для її розв'язку введений ряд понять та визначень. Основні результати сформульовані в 5 теоремах.

Базовий об'єкт - це об'єкт, що містить більш ніж одну канальну точку, небазовий - одну. Канальна точка відображає наявність у об'єкта можливості встановлення каналу зв'язку з іншим об'єктом.

Конфігурація системи об'єктів є сукупністю елементів

$$K = \langle B, Q, H \rangle ,$$

де B і Q - непусті множини об'єктів і канальних точок; $H = \{h_{ij}\}$ - симетрична матриця суміжності неорієнтованого графа, вершинами якого є канальні точки, а ребрами-канали.

Число задіяних в конфігурації каналів зв'язку дорівнює

$$P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{q_B} \sum_{j=1}^{q_B} h_{ij} ,$$

де q_B - загальне число канальних точок усіх об'єктів множини B.

Нехай $D = \{d_i\}$ $(i = \overline{1,m})$ є множиною різних зв'язків, допустимих між об'єктами системи, $M = (m_1, \dots, m_i, \dots, m_p)$ - тензор зв'язку, кожна компонента якого $m_i \in D$ визначає вигляд зв'язку в i-му каналі конфігурації.

Під структурою системи будемо розуміти конфігурацію з заданими на її каналах зв'язками

$$\lambda = \langle K, M \rangle . \tag{1}$$

Задача перерахування і переліку структур системи об'єктів зі змінними зв'язками формулюється таким чином. Визначити число і алгоритм ідентифікації різноманітних структур виду (1), що виникають у системі при зміні конфігурації K і тензора зв'язку M.

Система, що містить лише один базовий об'єкт і деяке число небазових з ним пов'язаних, називається елементарною. Структурно довільна система при розриві зв'язків між базовими об'єктами розпадається на елементарні. Дана обставина вказує на підхід до розв'язку проблеми перерахування і переліку структур довільної системи, який можна переглянути в сформульованих і доведених в главі теоремах.

ТЕОРЕМА 1.1. Нехай елементарна система містить n небазових об'єктів, серед яких K рівноцінних, і базовий об'єкт має q канальних точок. Тоді алгоритм перерахування різноманітних конфігурацій системи і їх загальне число визначаються формулою

$$G = \sum_{i=1}^{q^*} \sum_{j=0}^{K^*} A_{q-j}^{i-j} C_q^j C_{n-K}^{i-j} = q!(n-K)! \sum_{i=1}^{q^*} \sum_{j=0}^{K^*} \frac{1}{(q-i)!(n-K-i+j)!(i-j)!}$$

$$q^* = \min(q, n) , \; K^* = \min(i, K) . \tag{2}$$

ТЕОРЕМА 1.2. Нехай в розглянутій елементарній системі $m_{\rho l}$ відповідає числу різноманітних зв'язків, доступних l -му небазовому об'єкту на ρ - й конфігурації. Тоді перечислення структур і їх число визначаються формулою

$$S=\sum_{i=1}^{q^*}\sum_{\rho=1}^{G(i)}\prod_{l=1}^{i} m_{\rho l}\ ,\ G(i)=\sum_{j=1}^{\kappa^*} A_{q-j}^{i-j} C_q^j C_{n-\kappa}^{i-j} \tag{3}$$

ТЕОРЕМА 1.3. Нехай система містить два базових об'єкти a_κ і a_τ. Задані канальні точки на об'єктах для взаємозв'язку у кількості $g_{\kappa\tau}$ і $g_{\tau\kappa}$, а також значення $m_{\rho l}$. Тоді число різноманітних структур систем і алгоритм їх перечислення визначаються формулою

$$S_{\kappa\tau}=\sum_{i=1}^{g^*}\sum_{\rho=1}^{G_{\kappa\tau}(i)}\prod_{l=1}^{i} m_{\rho l}\ .$$

$$g^*=min\,(g_{\kappa\tau},g_{\tau\kappa})\ ,\ G_{\kappa\tau}(i)=A^i_{g_{\kappa\tau}}C^i_{g_{\tau\kappa}}=C^i_{g_{\kappa\tau}}A^i_{g_{\tau\kappa}}\ . \tag{4}$$

ТЕОРЕМА 1.4. Нехай $L=\{(a_\kappa,a_\tau)\,|\,\chi(a_\kappa,a_\tau)=1\}$ є множина пар нееквівалентних між собою базових об'єктів або у випадку еквівалентності - відповідні їм елементарні системи не містять однакових структур. Тоді перерахування і перелік різних структур, що допускаються системою загального виду, визначаються формулою

$$S=\prod^*_{\{a_\kappa,a_\tau\}} S_\kappa S_{\kappa\tau} S_\tau\ , \tag{5}$$

де $\prod^*$ - символ добутку, в якому співмножники, що повторюються, ігноруються, S_κ і S_τ - число різних структур, які допускаються елементарними системами з базовими об'єктами a_κ і a_τ ; $\chi(a_\kappa,a_\tau)$- характеристична функція зв'язку базових об'єктів a_κ і a_τ ($\chi(a_\kappa,a_\tau)$ = 1, якщо $g_{\kappa\tau}\neq 0$ і $g_{\tau\kappa}\neq 0$).

Множина всіх структур системи визначиться формулою

$$\Lambda=\prod^*_{\{a_\kappa,a_\tau\}} \lambda_\kappa\times\lambda_{\kappa\tau}\times\lambda_\tau\ ,$$

де $\lambda_K, \lambda_{K\tau}, \lambda_\tau$ - множини структур з числом елементів $S_K, S_{K\tau}, S_\tau$ відповідно. Тут $\prod^*$ позначений прямий добуток множин без співмножників, які повторюються.

Розв'язок проблеми перерахування і переліку дозволяє вводити до розгляду різні алгебраїчні структури на множині структур систем об'єктів, розробляти математичний апарат для здійснення структурних перетворень.
Якщо задати на множині структур $\Lambda = \{\lambda_j\}$, $j = \overline{1,S}$, асоціативну бінарну операцію $*$, то відносно цієї операції множина структур утворює напівгрупу. Визначаючи стосовно до операції $*$ одиничну структуру $\lambda_e \in \Lambda$, таку, що $\lambda_e * \lambda_j = \lambda_j = \lambda_j * \lambda_e$ для $\forall \lambda_j \in \Lambda$, одержимо моноїд. Якщо для $\forall \lambda_j \in \Lambda$ $\exists \lambda_{u(j)} \in \Lambda$, що $\lambda_{u(j)} * \lambda_j = \lambda_e = \lambda_j * \lambda_{u(j)}$ тоді множина структур утворює групу. Група дозволяє розв'язувати найпростіші задачі синтезу структур. Наприклад, неважко знайти структуру, котра, діючи згідно з операцією $*$ на існуючу структуру, дає потрібну λ_c. Для цього потрібно розв'язати рівняння

$$\lambda * \lambda_x = \lambda_c \Rightarrow \lambda_x = \lambda^{-1} \lambda_c .$$

Множина структур з бінарною операцією $*$ являє собою категорію с $Ob K = \{\Lambda_j\}, \Lambda_j \subseteq \Lambda$ і множину морфізмів $H_K(\Lambda_i, \Lambda_j)$, $\Lambda_i, \Lambda_j \in Ob K$, що включають всі відображення $\mu : \Lambda_i \to \Lambda_j$. Відображаючи за допомогою функтора $F : K \to G$ категорію структур K в категорію їх властивостей G, можна звести задачу структурного синтезу системи до задачі функторного аналізу.

Нехай оператори, які описують стан об'єктів в структурі λ_i і будь-який зв'язок d_τ $(\tau = \overline{1,m})$ між об'єктами, відомі. Будемо вважати, що

$$\dot{x}_i = f_i(x_i, u_i, t), \quad i = \overline{1,S},$$

$$F_{\tau(j)}(x_i) W_j 0, \quad W_j \in \{\geq, \leq, =, >, <, \pi\}, \quad j = \overline{1, p_i}, \tag{6}$$

де x_i, u_i - фазовий вектор об'єктів і керування ними в і- й структурі; $F_{\tau(j)}$ - оператор, який відповідає τ -му виду зв'язку в j -му каналі; π - анулюючий оператор; p_i - число каналів зв'язку в і- й структурі.

ТЕОРЕМА 1.5. Нехай $s(t)$ є цілочисельна функція зі значеннями на множині $N_S = \{1, 2, \ldots, S\}$, функція $m_j(s(t))$ — на $N_m = \{1, 2, \ldots, m\}$. Нехай також задані рівняння руху об'єктів і співвідношення зв'язків (6). Тоді формальна модель системи об'єктів змінної стуктури матиме вид

$$\sum_{i=1}^{s} \frac{z_i(s(t))}{Z_i}(\dot{x}_i - f_i(x_i, u_i, t)) = 0, \qquad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{s} \frac{z_i(s(t))}{Z_i} \sum_{r=1}^{m} \frac{y_r(m_j(s(t)))}{Y_r} F_r(x_i)\, W_j\, 0\;,\; j = \overline{1, P},$$

$$z_i(s(t)) = \prod_{k \neq i}^{s} (s(t) - k)\;,\; y_r(m_j(s(t)) = \prod_{k \neq r}^{m} (m_j(s(t)) - k), \qquad (8)$$

$$Z_i = z_i(i)\;,\; Y_r = y_r(r)\;,\; P = \sum_{i=1}^{s} \frac{z_i(s(t))}{Z_i} p_i$$

Тут $s(t)$ є структурним керуванням системи, $m_j(s(t))$ визначає вид зв'язку в j -му каналі структури, який відповідає значенню $s(t)$ ($m_j(s(t))$ визначається в результаті переліку структур) , p_i - число каналів зв'язку в і- й структурі.

Визначення структури системи $\lambda = \langle B, Q, H, M \rangle$ може бути розширене, допускаючи, що її складові елементи є випадковими або нечіткими (розмитими) множинами, величинами. Розглянемо, наприклад, розширення через тензор зв'язків M . Для цього досить ввести поняття змішаного зв'язку. Випадкова величина, значеннями котрої є елементи множини $D = \{d_i\}$, має назву змішаного зв'язку. Змішаний зв'язок в каналі l задається вектором $M_l = (M_{l1}, \dots, M_{lm})$, де $M_{li} \geqslant 0$ і $\sum_{i=1}^{m} M_{li} = 1$. Сукупність усіх таких векторів складає $(m-1)$ - вимірний симплекс $V_m \subset R^m$, натягнутий на одиничні орти $e^{(i)}$.

$$V_m = \{x \in R^m \mid x = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i e^{(i)}, \alpha_i \geqslant 0, \sum_{i=1}^{m} \alpha_i = 1\}.$$

Будь-якій стохастичній структурі властива невизначеність. Вона оцінюється через добуток ентропій каналів зв'язку

$$H(\lambda) = \prod_{l=1}^{p} H(M_l)\;,\; H(M_l) = -\sum_{i \in \operatorname{supp} M_l} M_{li} \log_a M_{li}\,.$$

Аналогічно до стохастичної введено поняття нечіткої структури. У такій структурі зв'язок у l -му каналі визначається функцією $M_l(d_i) \in [0,1]$, яка задається без строгих обгрунтувань. Фактично M_l є функцією приналежності множини D .

<u>У главі 2</u> розроблені методи аналізу і синтезу систем керованих об'єктів зі змінними зв'язками. Відмінність однієї структури від іншої доцільно розглядати не з точки зору їхнього елементного змісту (об'єкти, канали, зв'язки), а з позицій функціональних можливостей, які оцінюються деяким критерієм $J(\lambda,u)$, $u\in U$, - допустима множина керування об'єктами системи. Введемо метрику на множині структур за допомогою функції відстані $\rho:\Lambda\times\Lambda\to R$

$$\rho(\lambda_i,\lambda_j)=\sup_{u\in U}|J(\lambda_i,u)-J(\lambda_j,u)|.$$

Очевидно, що функція $\rho(\lambda_i,\lambda_j)$ задовольняє аксіомам функції відстані метричного простору.

Відповідно до теореми 1.5. цілочисельна функція $s(t)$ повністю визначає послідовність структур, які реалізуються в системі. Сама функція $s(t)$ однозначно визначається сукупністю цілочисельних значень $\{n_k\}, k=\overline{1,M_s}$, моментами перемикання $\{t_k\}$ та їх числом M_s. Значення n_k визначає структуру в системі, Δt_k - тривалість її функціонування, M_s- число реалізованих за час $T=\Sigma\Delta t_k$ структур.

Число об'єктів, що входять в структуру, і критерій якості їх функціонування зі зміною структур системи змінюються. У цьому зв'язку вважаємо, що критерієм якості керування кожним об'єктом при фіксованій структурі є деякий функціонал

$$J_{in_k}(u_{n_k}(t))\to extr,\ i=\overline{1,b_{n_k}}, \tag{9}$$

де b_{n_k} - число об'єктів у структурі, що реалізується на інтервалі $[t_{k-1},t_k]$. А якість керування системою об'єктів у цілому на інтервалі T нехай оцінюється деяким функціоналом

$$J_s(s(t),\{J_{in_k}\})\to extr. \tag{10}$$

Об'єднання формальної моделі (7), (8) і критеріїв (9), (10) веде до досить загальної задачі оптимізації систем об'єктів зі змінними зв'язками. З неї, як окремі випадки, випливають постановки задачі оптимального керування, багатокритеріальних і багаторівневих задач оптимізації, диференціальних ігор, математичного програмування та інших. Наприклад, якщо опустити критерії (9), то при $\Delta t_k=T$ одержимо задачу оптимального керування. Відсутність критерію (10) веде до багатокритеріальної задачі. Якщо структура системи на інтервалі Δt_k включає в себе два об'єкти і їх критерії суперечливі, то приходимо до диференціальної гри двох осіб і т.п. Ці та інші задачі керування можуть чергуватися в процесі функціонування системи.

Структурна оптимізація на основі критерію (10) при фіксованих локальних керуваннях об'єктами u_{n_k} передбачає пошук екстремуму за параметрами $\{n_k\}, \{t_k\}, M_s$.

Для структурної оптимізації систем об'єктів доцільно упорядкувати всі структури відносно деякої базової, наприклад, структури з мінімальними функціональними можливостями:

$$\lambda^* = \min_{\lambda \in \Lambda} \sup_{u \in U} J(\lambda, u).$$

Тепер для структурної оптимізації систем об'єктів можна скористатися будь-яким методом послідовного перебору і аналізу варіантів. Детально розглянуто застосування методу локальних варіацій. Кожна структурна варіація системи у процесі оптимізації вимагає чисельного розв'язку тієї чи іншої задачі керування з фіксованою структурою. При цьому виникають чималі труднощі, пов'язані насамперед з високою розмірністю задачі, а також ігровими ситуаціями типу відхилення від зустрічі або зближення. Зниження розмірності задачі керування на одну, дві одиниці дозволяє досить часто суттєво скоротити трудомісткість її розв'язку.

Нехай рух об'єктів у системі з фіксованою структурою описується рівнянням

$$\dot{x} = f(x,u,t), \; x(t_0) = a, \; t \in [t_0, T],$$

$$x = (x_0, x_1, \dots, x_m); \; u = (u_1, \dots, u_z); \; a = (a_0, a_1, \dots, a_m). \quad (11)$$

Функція $f = (f_0, f_1, \dots, f_m)$ та її перша похідна неперервні. Керування, яке мінімізує критерій якості

$$J(u) = \int_{t_0}^{T} \varphi(x,u,t)\,dt \longrightarrow \min, \quad (12)$$

шукається у тому ж класі функцій.

Замінимо у векторі x координату x_0 постійним параметром μ. Позначимо через $x^0(t), x^1(t), \dots, x^{n-1}(t)$ оптимальні траєкторії задач меншої розмірності, які відповідають n різним значенням параметра μ з початковими умовами

$$(t_0, a_k)\;(t_1, x^0(t_1)), \dots, (t_{n-1}, x^{n-2}(t_{n-1})), \quad (13)$$

де $t_j \in [t_0, T]$ такі, що $x_0^*(t_j) = \mu_j$, $j = \overline{1, n-1}$.
Через $x_0^*(t)$ позначено нульову координату оптимальної траєкторії

вихідної задачі, $a_* = (a_1, \dots, a_m)$. Введемо до розгляду функції $y(t) = \sum^{n-1} x^i(t)\chi(\Delta t_i)$, $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i (t_n = T)$. Тоді має місце така теорема.

ТЕОРЕМА 2.1. Нехай $x_*(t) = (x_1^*(t), \dots, x_m^*(t))$ є вектор-функція, яка відповідає оптимальній траєкторії $x^*(t)$ задачі (11)-(12) без нульової координати $x_0^*(t)$; $\{x^j(t)\}$ – оптимальні траєкторії, які відповідають початковим умовам (13). Тоді має місце оцінка

$$\|x_*(t) - y(t)\| = \max_i \max_{t_0 \le t \le T} |x_i^*(t) - y_i(t)| \le \frac{B}{M}(e^{kM(T-t_0)} - 1)\Delta\mu,$$

де B, M, K – обмежені константи; $\Delta\mu = \max_j |\mu_j - \mu_{j-1}|$.
З теореми безпосередньо випливає збіжність методу.

Якщо рівняння (11) не містить монотонних координат, то їх можна одержати, подаючи деякі або всі компоненти фазового вектора як суму двох неспадаючих функцій : $x_i = x_i^+ - x_i^-$;

$$\dot{x}_i^+ = f_i^+ \quad ; \dot{x}_i^- = f_i^- \quad ; f_i^+ - f_i^- = f_i \, ,$$

де

$$f_i^+ = \max[f_i(x,u,t), 0] ; f_i^- = \max[-f_i(x,u,t), 0] .$$

Ігрова ситуація в системі об'єктів розглянута в такій постановці, орієнтованій на застосуванні в подальшому до практичних задач. Нехай фіксована структура містить два об'єкти. Рух одного з них, першого, відбувається згідно рівняння

$$\dot{y} = f(y,u,t), y \in R^n, y(t_0) = y_0, u \in U \subset R^m, \qquad (14)$$

другого -

$$\dot{z} = g(z,v,t), z \in R^n, z(t_0) = z_0, v \in V \subset R^m. \qquad (15)$$

Зв'язок між об'єктами характеризується тим, що перший прагне досягнути многовиду L за мінімальний час і при цьому позбутися попадання в кулю $\bar{S}(z_r(t), \delta)$. Другий прагне досягти у найкоротший час многовиду P, що визначається умовою

$$\rho(y_r(t), z_r(t)) = \delta, \qquad (16)$$

де $y_r(t)$, $z_r(t)$ – геометричні координати об'єктів. Обидва об'єкти вибирають керування тільки на основі інформації про геометричні координати у поточний момент. Передбачається існування моменту T, коли перший об'єкт досягає L або другий – P. Дана постановка відповідає задачі ухилення від зустрічі. Збіг цілей першого і другого об'єктів веде до задачі зближення за мінімальний час. Алгоритм наближеного розв'язку задачі (14) - (15), розроблений на основі ідеї методу скінчених інтервалів, зводиться до послідовного розв'язку на інтервалах таких задач оптимізації. Фіксуються позиції об'єктів на початку i -го інтервалу. Керування першим об'єктом вибирається з умови попадання на многовид L за мінімальний час T^i, і виконання рівності

$$\bigcup_{t\in[t_i,t_{i+1}]} \overline{S}(y_r(t),\delta)\cap G^i(z_r(t_i),n_i\Delta t)=\phi ,$$

де G^i - множина досяжності другого об'єкту в геометричному просторі за час $n_i\Delta t\le T^i$; n_i - ціле число. Керування другим об'єктом v^i вибирається з умови досягнення поверхні кулі $\overline{S}(y_r(t),\delta)$ за мінімальний час. За оптимальну стратегію першого об'єкта вибирається керування $u^*=\{u^i\}$. другого — $v^*=\{v^i\}$, що відповідають послідовності інтервалів $[t_i,t_{i+1}]$.

Поставлена і розв'язана задача близькості ситуацій. Нехай ситуаціям, для котрих є розв'язки, відповідає деяка множина A n - вимірних векторів з компонентами α_i і вагами p_i, такими, що

$$0\le\alpha_i\le 1;\ 0\le p_i\le 1;\ \sum_{i=1}^{n}p_i=1 .$$

Кожний вектор $\alpha\in A$ характеризує визначену ситуацію. Потрібно за заданим вектором $\beta=(\beta_1,\dots,\beta_n)$, $0\le\beta_i\le 1$, $i=\overline{1,n}$, що характеризує нову ситуацію, вибрати з A найближчий до β вектор α^* . Розглянемо в R^n $(n-1)$- вимірний симплекс S_α , побудований за компонентами вектора $I-p|\alpha-\beta|=(1-p_1|\alpha_1-\beta_1|,\dots,1-p_n|\alpha_n-\beta_n|)$. Кожну компоненту цього вектора можна розглядати як деяку міру відмінності ситуацій α і β за відповідним параметом. При повній збіжності ситуацій симплекс S_α збігається з базовим симплексом S_I - опуклої оболонки одиничних ортів. Отже близькість ситуацій можна оцінювати, виходячи з близькості симплексів S_α і S_I . Найближчий до S_I симплекс S_{α^*} визначається з умови

$$\min_{\alpha}\rho(S_I,S_\alpha),$$

$$\rho(S_I,S_\alpha)=\Big(\sum_{i=1}^{n}(s_{Ii}-s_{\alpha i})^2\Big)^{1/2}=\frac{1}{n}\Big(\sum_{i=1}^{n}(p_i|\alpha_i-\beta_i|)^2\Big)^{1/2},$$

де $s_{Ii}=1/n$; $s_{\alpha i}=1/n\,(1-p_i|\alpha_i-\beta_i|)$ - координати центроїда базового симплекса S_I і S_α .

Процес функціонування систем об'єктів зі змінними зв'язками інтерпретований як технологічний. Для його відображення і наочного описання розроблені спеціальні технологічні карти (ТК). Створення ТК здійснюється в процесі імітаційного моделювання. ТК дозволяють перевести на нові науково обгрунтовані методи проектування і керування складними системами об'єктів.

В главі 3 одержана математична модель руху системи двох керованих об'єктів, з'єднаних криволінійним пружним стержнем, і досліджені окремі випадки руху. Така система і її окремі випадки є основними складовими елементами систем машинних комплексів.

Задача розглянута у такій постановці. Задані диференціальні рівняння, що описують самостійний рух двох керованих об'єктів в інерційній системі відліку Σ. Система об'єктів створена шляхом їх поєднання криволінійним пружним стержнем, кінці якого жорстко або шарнірно закріплені на об'єктах. Потрібно одержати рівняння руху системи об'єктів, що враховують повздовжню і згинну деформації та кручення стержня.

Користуючись принципом звільнення, рівняння керованого руху об'єктів можна записати у вигляді

$$\dot{x} = f(x,u,t) + D(x,u,t)R;$$
$$R = B_2(x)\left(EA\frac{\partial w}{\partial s}\cos\varphi_2,\ GJ\frac{\partial \psi}{\partial s}\right)^T_{\substack{s=0\\ s=l}}, \qquad (17)$$

де D - матриця; B_2 - матриця перетворення системи відліку; EA - жорсткість стержня при повздовжній деформації; $w(s,t)$ - пружне подовження у напрямку осьової лінії; s - змінна Лагранжа; $\cos\varphi_2$ - направляючий косинус дотичної до осьової лінії стержня; GJ - діагональна матриця жорсткості (на згин та кручення); $\psi(s,t)$ - вектор кутових деформацій; l - довжина стержня у ненапруженому стані.

На основі рівнянь динамічної рівноваги елементарної частини стержня довжини ds одержані такі рівняння руху пружного зв'язку, які враховують дію зовнішніх, інерційних, Ейлерових (переносних і коріолісових), пружних сил і моментів:

$$\mu\frac{\partial^2 r_3}{\partial t^2} = B_2(x)EA\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial w}{\partial s}\cos\varphi_2\right) - \mu\big(\dot{r}_1 + \omega_1\times r_2 + \omega_1\times(\omega_1\times r_1) +$$
$$+ \dot{\omega}_2\times r_3 + \omega_2\times(\omega_2\times r_3) + 2\omega_2\times\dot{r}_3\big) + F_v,$$
$$J\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = B_2(x)GJ\frac{\partial^2\psi}{\partial s^2} - \omega_2\times J\frac{\partial\psi}{\partial t} - (r_1 + r_2 + r_3)\times$$
$$\times\left(B_2(x)EA\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{\partial w}{\partial s}\cos\varphi_2\right) + F_v\right) + L_v;$$
$$\frac{\partial^2 r_3}{\partial s\partial t} = \frac{\partial^2 w}{\partial s\partial t}\cos\varphi_2 + \left(\frac{\partial w}{\partial s} + 1\right)\frac{\partial}{\partial t}\cos\varphi_2;$$

$$\tau_3(0,s)=f_1(s),\ w(0,s)=f_2(s),\ \psi(0,s)=f_3(s),\ \left.\frac{\partial\tau_3}{\partial t}\right|_{t=0}=F_1(s);$$
$$\left.\frac{\partial w}{\partial t}\right|_{t=0}=F_2(s),\ \left.\frac{\partial\psi}{\partial t}\right|_{t=0}=F_3(s). \qquad (18)$$

Граничні умови:

$$\tau_3(t,0)=0;\ \tau_3(t,l)=\tau_4+\tau_5-\tau_2-\tau_1,$$

при жорсткому закріпленні кінців стержня

$$w(t,0)=w(t,l)=0;\ \psi(t,0)=g_1(x);\ \psi(t,l)=g_2(x),$$

при шарнірному

$$w(t,0)=w(t,l)=0;\ \left.\frac{\partial\psi}{\partial s}\right|_{s=0}=0;\ \left.\frac{\partial\psi}{\partial s}\right|_{s=l}=0$$

У рівняннях (18) $\tau_1(x);\tau_2(x),\tau_4(x);\tau_5(x)$ - лінійні параметри руху об'єктів і точок закріплення стержня. З рівнянь (18) випливають, як окремі випадки, рівняння руху пружної нитки, коливання струни, повздовжних, поперечних і крутильних коливань стержня, кінематичні рівняння Ейлера твердого тіла та ін. На підставі рівнянь (18) досліджений широко розповсюджений у практиці випадок плоского квазістаціонарного руху двох об'єктів, поєднаних пружною ниткою. Показано, що у цьому випадку рівняння пружного зв'язку знаходиться з розв'язку крайової задачі

$$b z_2'' + \ln\left(z_2' + \sqrt{1+z_2'^2}\right) = c_1 + \frac{z_1}{a};$$

$$z_2(0)=h,\ z_2(L(x))=0,\ b=\frac{T_0}{EA},\ a=\frac{T_0}{\gamma}, \qquad (19)$$

де c_1 - постійна; T_0 - горизонтальна проекція сили натягу; γ - питома вага одиниці довжини нитки; h, $L(x)$ - відстань між кінцями нитки по вертикалі і горизонталі. Одержаний наближений розв'язок рівняння (19).

ТЕОРЕМА 3.1. Нехай $z_2(z_1)$ є розв'язком крайової задачі (19). За виконання умови $z_2'/a \le 1$ має місце нерівність

$$|z_2-\tilde{z}_2|<cb;$$

$$\tilde{z}_2 = a\,\mathrm{ch}\left(\frac{z_1}{a}+c_1\right)+c_2, \qquad (20)$$

де c_1, c_2 - постійні.

Придатність оцінки (20) для практичних цілей підтверджується експериментально.

В главі 4 розроблена теорія важливого на практиці класу систем об'єктів – систем керованих машинних комплексів зі змінними зв'язками. Розроблений метод розрахунку динамічних навантажень і запасу міцності механічних зв'язків системи та елементів машини при тривалих нестаціонарних навантаженнях. Метод оснований на одержанні явної функціональної залежності реакції зв'язку R від структури системи λ, фазових координат x і керування об'єктами u. Умови міцності при змінних напруженнях полягають в тому, що запаси міцності n_σ, n_τ, n при дії нормальних, дотичних напружень і спільної їх дії не повинні бути менші своїх допустимих значень $[n_\sigma], [n_\tau], [n]$. З умови руйнування через втому матеріалу при змінних нормальних напруженнях

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a \frac{K_\sigma}{\varepsilon_\sigma \beta_\sigma} + \psi_\sigma \sigma_m},$$

де σ_{-1} – границя витривалості симетричного циклу змінних напружень; K_σ – ефективний коефіцієнт концентрації напружень; ε_σ, β_σ – масштабний коефіцієнт і коефіцієнт стану поверхні; ψ_σ – коефіцієнт чутливості матеріалу до асиметрії циклу змінних напружень;

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}; \quad \sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}.$$

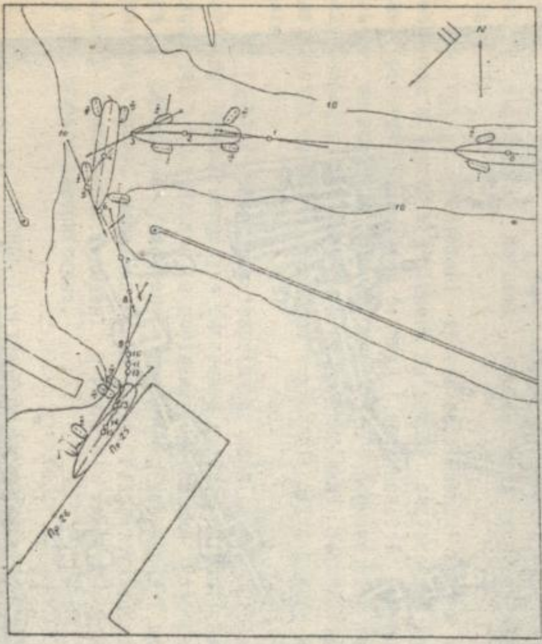
Значення σ_{max} і σ_{min} можуть бути знайдені тільки при визначенні $R_\lambda(x,u,t)$

$$\sigma_{max} = \max_t \frac{R_{\lambda n}(x,u,t)}{A}; \quad \sigma_{min} = \min_t \frac{R_{\lambda n}(x,u,t)}{A}.$$

Аналогічно і для n_τ, $n = n_\sigma n_\tau / \sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}$

Приведений опис головних характеристик і можливостей діалового пакета, розробленого з метою моделювання функціонування систем машинних комплексів. Запис пакета здійснено мовою PL/1, пакет реалізується на ЕОМ з ОС ЕС (версії 6.0 і 6.1), працює під її керуванням і потребує 280 Кбайт оперативної пам'яті.

Наявність розрахункових структурних формул (1) – (5) і формальної моделі (7)-(8) дозволяє поставити і розв'язати задачу параметричного синтезу. Нехай вектор фазових координат ситеми об'єктів заданий. Треба визначити вектор параметрів $\mu = (\mu_1, \ldots, \mu_q)$, який визначає структурне керування $\xi(t)$, локальне $u(t)$, характеристики об'єктів і т.п., за яким рух системи відповідає вектору $y(t)$. Наближений розв'язок цієї задачі зводиться до пошуку мінімального значення функції $J(\mu)$, що характеризує відхилення розрахованого фазового вектора $x(\mu,t)$ від заданого $y(t)$:



№ позиции	ВРЕМЯ	судно V, м/с	судно Ωв° подр.	судно курс, град	судно Двиг.	судно Руль, град.	Буксир I (5000 л.с.) посадки лев.	посадки пр.	ВРШ лев.	ВРШ пр.	Буксир II (1300 л.с.) посадка	ВРШ	Буксир III (1300 л.с.) посадка	ВРШ
0	0	1,8	0	273	МПХ	Л6	удерживаются с левого борта у носа				с правого борта у носа		с правого борта у кормы	
1	6 мин 10с	1,81	0	280	---	0								
2	7 мин. 40с	1,83	-0,04	272	стоп	Л30							Л6°	ППХ
3	9 мин. 10с	0,53	-0,41	245	---	0							стоп	
4	11 мин 20с	0,62	-0,21	190	---	П35	П10°	П10°	ППХ	ППХ				
5	13 мин 40с	0,6	-0,27	159	МПХ	П10	---							
6	15 мин	0,62	0,04	152	стоп	---								
7	17 мин 35с	0,67	0,29	167	---	П35	П10°	П10°	ППХ	ППХ				
8	19 мин. 15с	0,72	0,35	186	---	0	стоп							
9	21 мин 35с	0,72	0,01	205	МПХ	П35	переход на правый борт				Л5°	П3Х	Л10°	ППХ
10	21 мин. 45с	0,43	0,14	206	---	---					ст	оп	---	---
11	21 мин 55с	0,5	0,12	212	стоп	---							---	---
12	22 мин	0,5	0,11	217	МЗХ	0							---	---
13	24 мин 30с	0,5	0,11	225	стоп	Л35	Л5°	Л5°	МПХ	МПХ			стоп	
14	25 мин 45с	0,7	-0,11	221	---	---	---	---	---	---	удерживаются			
15	26 мин 10с	0,2	-0,11	216	---	---	---	---	---	---				

Примечание: буксир IV (1200 л.с.) работает на подстраховке.

Рис. I

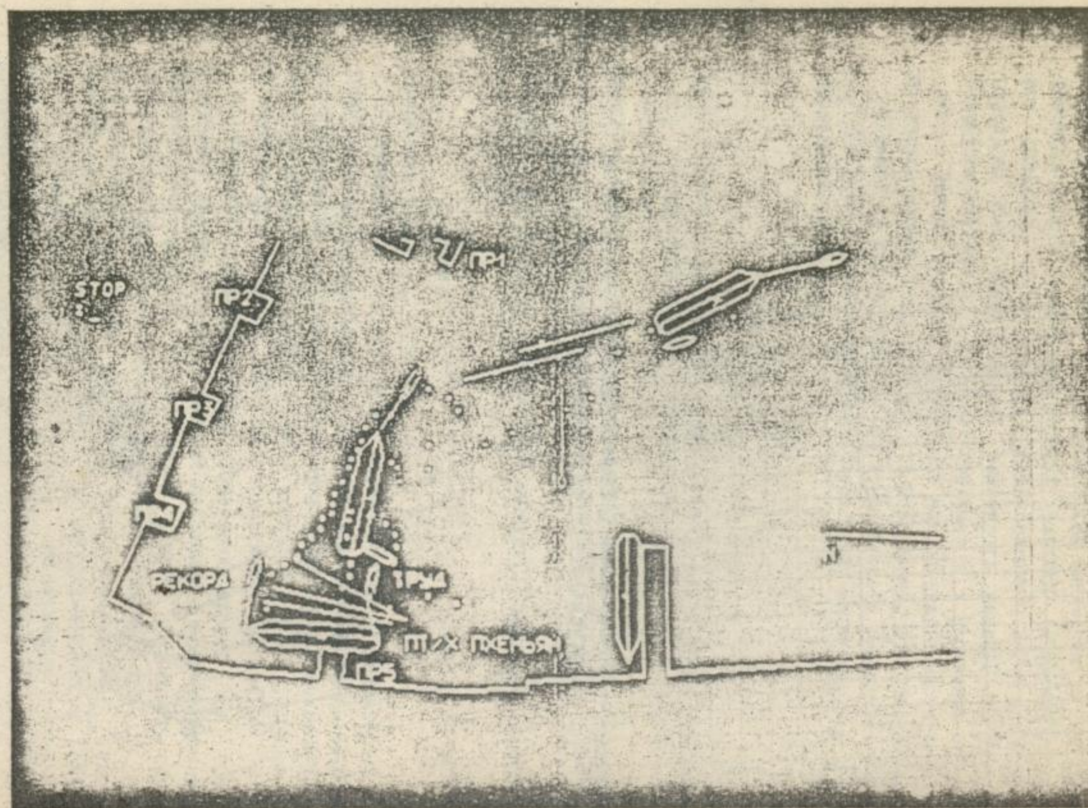


Рис. 2

$$J(\mu^{*}) = \min_{\mu} \| x(\mu,t) - y(t) \| . \qquad (21)$$

При цьому слід вибрати норму ,яка дає можливість в принципі отримати поточкову збіжність $x(\mu,t) \rightarrow y(t)$. Очевидно, що цій вимозі задовольняє норма

$$\| x(\mu,t) - y(t) \| = \max_{t} \max_{j} \left\{ \left| \frac{x_j(\mu,t) - y_j(t)}{y_{j\,max} - y_{j\,min}} \right| \right\}$$

<u>В главі 5</u> дано опис об'єктів і програми натурних експериментів, подані їх результати з аналізом похибок вимірів та підсумків порівняння розрахункових та експериментальних даних. Експерименти проводились в Одеському морському торгівельному порту з системами суден в ході виконання ними буксирно-кантувальних операцій постановки великотоннажних кораблів до причалів і виводу їх за акваторію порту. Мета експерименту полягала в перевірці достовірності математичної моделі реальних систем об'єктів. Показано, що використовуючи процедуру параметричного синтезу на основі відношення (21), можна побудувати модель системи з максимальним відхиленням фазових координат від експериментальних не більше 15% .

<u>В главі 6</u> розроблені методи дослідження систем керованих динамічних об'єктів зі змінними зв'язками, застосовані для розв'язання проблеми підвищення безпеки і ефективності буксирно-кантувальних операцій в морських портах. Розроблена нова технологія таких операцій, що базується на використанні технологічних карт (див. рис.1,2). Ефективність нової технології підтверджена дослідним шляхом.

<u>В главі 7</u> результати теоретичних досліджень застосовані для розв'язку задачі керування системами суден в ситуації наближення (зустрічі і розходження) з довільними об'єктами. Розроблені методика і алгоритми інженерного розрахунку керування і динамічних показників роботи машинних комплексів. Результати чисельних розрахунків узагальнені і подані у вигляді номограм, призначених для практичного використання.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. В дисертації розроблені основи теорії систем керованих динамічних об'єктів зі змінними зв'язками. Ядро теорії складають одержані в роботі формули для перерахування і переліку структур

системи, її формальна модель, методи аналізу і синтезу.

2. Покладений початок створення формального апарату для перетворення і формування структур з заданими властивостями шляхом створення на множині структур системи різних алгебраїчних структур. Введення метрики на множині структур системи зі змінними зв'язками дозволило застосувати ідеї методу послідовного аналізу варіантів для розробки методу структурної оптимізації системи.

3. Одержані математичні моделі системи машиних комплексів при застосуванні найбільш уживаних у реальних умовах механічних видів зв'язку. Ці моделі сумісно з результатами п.1 дозволили розвинути новий перспективний напрямок у дослідженні і проектуванні систем машин, що пов'язані з урахуванням впливу структурного і локального керування на надійність і міцність конструкцій і елементів машин.

4. Розроблені в дисертації методи структурної оптимізації, зниження розмірності фазового вектора системи, пошуку керування в ситуаціях зближення об'єктів і ухилення від зустрічі, оцінки подібності ситуацій, параметричного синтезу, принципу побудови і використання технологічних карт для керування системами об'єктів дозволять розв'язувати широкий клас актуальних практичних проблем.

5. За допомогою розроблених методів системного дослідження об'єктів зі змінними зв'язками розв'язані актуальні проблеми водного транспорту : підвищення безпеки і ефективності технології буксирно-кантувальних операцій з великотоннажними суднами в портових умовах і керуванні суднами в ситуаціях зближення.

6. Проведене дослідження реальних систем машинних комплексів показало, що здійснити їх оптимізацію на основі лише формальних методів неможливо через складність рівнянь руху, високу розмірность і структурный многовид . Досить часто недоцільно прагнути до оптимізації систем, оскільки реалізація оптимальних розв'язків в силу неточності вхідних даних, похибок розв'язку та наявності суттєвого людського фактору у керуванні може негативно вплинути на безпеку функціонування системи. Оптимальні розв'язки, як правило, включають граничні області допустимих розв'язків. Звідси випливає актуальність розробки діалогових пакетів програм для пошуку ефективних, близьких до оптимальних, розв'язків, поєднуючи формальні і неформальні методи.

7. Використання технологічних карт персоналом, що здійснює керування людино-машинними системами, суттєво підвищує ефектив-

ність функціонування систем. Принципова відмінність розроблених карт від існуючих полягає в тому, що вони одержані в процесі цілеспрямованого імітаційного моделювання множини варіантів структурного і локального керування системою з урахуванням накопиченого досвіду. В картах вказані не тільки раціональні траєкторії позиції об'єктів, але і структурні та локальні керування, що забезпечують їх.

8. Технологічний підхід до проблем керування системами об'єктів зі змінними зв'язками дає нові додаткові можливості для їх практичного розв'язку.

9. Створені основи теорії систем зі змінними зв'язками дозволяють розробляти ефективні інженерні методи дослідження та проектування складних технічних систем і технологій, проводити системні дослідження у математиці, фізиці, економіці та інших галузях.

Основні результати дисертації опубліковані у таких роботах:

1. Буріменко Ю.І. Наближений розв'язок однієї задачі оптимального керування механічною системою // Матеріали університетської конференції.- Одеса: Вид-во Одес. ун-та, 1970.- С.19-23.
2. Небеснов В.И., Бурименко Ю.И. К исследованию на ЭЦВМ режимов работы транспортных машинных агрегатов // Машиноведение.-1971. - N 6.- С.23-27.
3. Бурименко Ю.И. Применение метода конечных интервалов к решению одного класса задач уклонения от встречи // III Ввесоюз. конф. по проблемам теорет. кибернетики: Тез. докл.- Новосибирск,1974 - С.76-77.
4. Бурименко Ю.И. О понижении размерности в задачах оптимизации динамических систем // Науч. конф. " Вычислительная математика в современном научно-техническом прогрессе. Вычислительные методы в математической физике, теории управления и оптимизации".-Киев: Ин-т математики АН УССР, 1974.Ч.2. -С.51-57.
5. Бурименко Ю.И., Кычанов Ю.П. Общий метод построения судоводительских тренажеров // Тр. ГосНИИ гражданской авиации.-1974. -Вып.102. -С.17-21.

6. Кычанов Ю.П.,Бурименко Ю.И. Приближенное построение динамически эквивалентных моделей транспортных систем // Тренажеры и имитаторы транспортных средств.-Киев, 1975.-С.27.
7. Небеснов В.И.,Бурименко Ю.И. К оптимизации управления режимами работы транспортных машинных агрегатов // Теория машин и механизмов.-М.:Наука, 1976.-С.98-104.
8. Бурименко Ю.И. Об одном способе оценки подобия ситуаций // II Респ. конф. "Вычислительная математика в современном научно-техническом прогрессе" : Тез. докл. - Киев : Ин-т математики АН УССР, 1978.-С.156-157.
9. Бурименко Ю.И. Математическое исследование совместного движения группы судов. - Одесса, 1978.- 25 с. - Деп. в ВИНИТИ 26.06.78, № 8702.
10.Бурименко Ю.И.,Кац А.И. Вопросы разработки програм для управления транспортными объектами в реальном времени // Управляющие системы и машины. - 1979. - № 3.- С.49-51.
11.Небеснов В.И.,Бурименко Ю.И.,Попов Ю.Б. Повышение эффективности и безопасности буксирно-кантовочных операций // Морской транспорт. Сер. Морские порты.- 1980.-Вып.7(447).- 19 с.
12.Бурименко Ю.И.,Небеснов В.И. О математическом моделировании режимов работы систем машин // Пятый Всесоюз. съезд по теоретической и прикладной механике: Аннотация докл. - Алма-Ата, 1981.-С.80.
13.Небеснов В.И.,Бурименко Ю.И.,Попов Ю.Б. Исследование буксирно-кантовочных операций в портах // Морские гидротехнические сооружения и их оборудование. - М, 1981. - С.27-31.
14.Небеснов В.И.,Бурименко Ю.И. Исследование влияния параметров двигателей,рулей и корпусов судна и буксиров на протекание кантовочных операций / Одес. ин-т инженеров морск. флота. -Одесса, 1981.- 99с.-Деп. в ВИНИТИ 26.02.81, № 920572.
15.Небеснов В.И.,Бурименко Ю.И.,Попов Ю.Б. О продлении межремонтных периодов буксиров-кантовщиков и повышении эффективности их использования // Теория и практика модернизации судов. - М., 1981.- С.131-135.
16.Бурименко Ю.И.,Желтиков В.П. Некоторые задачи управления динамическими системами // Третий Респ. симп. по дифференциальным и интегральным уравнениям: Тез.докл. - Одесса, 1982. - С. 67-68.

17. Бурименко Ю.И.,Небеснов В.И.,Попов Ю.Б. Динамика систем машин // Второй Всесоз. съезд по теории машин и механизмов: Тез.докл. - Киев, 1982.- Ч.I. - С.73-74.
18. Небеснов В.И.,Бурименко Ю.И.,Липунов Ю.М. Управление режимами работы пропульсивного комплекса судна на циркуляции при расхождении или встрече его с другим объектом // Инженерные проблемы судостроения и судоремонта. - М.,1982.-С.93-98.
19. Небеснов В.И.,Бурименко Ю.И. Определение параметров системы машин по известным законам их движения // Теория механизмов и машин. - Харьков: Вища школа, 1983.-Вып. 35. - С.84-92.
20. Небеснов В.И.,Бурименко Ю.И.,Липунов Ю.М. Режимы работы пропульсивного комплекса судна при сближении его с другим судном // Вопросы судостроения и судоремонта.-М.,1983.-С.101-104.
21. Небеснов В.И.,Бурименко Ю.И.,Мартынов О.С. Технологические карты буксирно-кантовочных операций // Проблемы технической эксплуатации морских судов и плавучих сооружений.-М.,1984. - С.67-70.
22. Небеснов В.И.,Бурименко Ю.И. Разработка типовых технологических карт буксирно-кантовочных операций с использованием ЭЦВМ порта / Одес. ин-т инженеров морск. флота.-Одесса, 1984.-80 с.- Деп. в ВИНИТИ 15.02.1984, № 0015575.
23. Пакет программ для моделирования технологии буксирно-кантовочных операций / Ю.И.Бурименко,Л.И.Карпычев,В.Г.Пенко и др. / Одес. ун-т.-Одесса, 1985.-11 с. - Деп. в УкрНИИНТИ 23.07.85, № 2589 - Ук85.
24. Приближенный аналитический метод исследования режимов работы системы судовых пропульсивных комплексов / В.И.Небеснов, Ю.И.Бурименко,О.С.Мартынов,Ю.Б.Попов // Теоретические и практические вопросы судостроения и судоремонта.-М., 1986.- С.89-93.
25. Бурименко Ю.И. Динамическая модель гибких упругих звеньев передач с подвижным основанием // Седьмая Всесоз. науч.-техн. конф. по управляемым и автоматическим приводам приводам и передачам гибкой связью: Тез.докл.-Одесса, 1986.-Ч.I.-С.47-48.
26. Небеснов В.И.,Бурименко Ю.И.,Мартынов О.С. К оценке натяжения каната при буксирно-кантовочных операциях // Вопросы проектирования и эксплуатации инженерных сооружений и оборудования портов.-М., 1986.- С.33-36.

27. Бурименко Ю.И. Совершенствование управления системами машин водного транспорта // Механизация и автоматизация упр. - 1986. - № 2. - С.10-11.
28. Бурименко Ю.И. Модель движения и оптимизация системы объектов с упругими связями // Всесоюз. науч.-техн. конф. "Актуальные проблемы моделирования и управления системами с распределенными параметрами" (Одесса, 8-10 сент. 1987 г.): Тез. докл. - Киев, 1987. - С.31.
29. Бурименко Ю.И., Липунов Ю.М., Мартынов О.С. Приближенный учет влияния ограничений форватера на характеристики элементов судового пропульсивного комплекса // Науч.-техн. проблемы судостроения и судоремонта. - М., 1988. - С.105-108.
30. Бурименко Ю.И., Небеснов В.И., Мартынов О.С. Моделирование режимов работы систем судовых пропульсивных комплексов / Судостроение. - Л., 1988.-Сер.2, вып.5.-Деп. в ВИНИТИ, №ДР-2864/4.
31. Бурименко Ю.И., Котенко А.О., Мартынов О.С. Графическое изображение процесса моделирования движения системой судов // Судостроение и судоремонт. -М., 1989.- С.131-135.
32. Бурименко Ю.И., Липунов Ю.М., Мартынов О.С. Динамика системы судовых машинных комплексов на ограниченной акватории // Тез. докл. Шестой науч.-техн. конф. "Проблемы создания новой техники для освоения шельфа". - Горький, 1989. -С.14-15.
33. Бурименко Ю.И., Попов Ю.Б. Математическая модель движения системы плавающая платформа - буксиры // Там же. - С.16-17.
34. Бурименко Ю.И. Моделирование систем динамических объектов переменной структуры // Разрывные динамические системы: Тез. докл. науч. конф. - Киев, 1990. - С.7.
35. Бурименко Ю.И., Липунов Ю.М. Проблемы оперативного поиска управления судовым машинным комплексом в ситуации сближения // Ш Науч.-техн. конф. "Альферьевские чтения" : Тез. докл. - Н.Новгород, 1990. - С.81.
36. Бурименко Ю.И., Липунов Ю.М., Попов Ю.Б. Электронный имитатор режимов работы машин водного транспорта на базе персональных ЭВМ // Там же. - С.85.
37. Бурименко Ю.И. Актуальные проблемы механики машин и систем машин водного транспорта // Механика машин и систем машин водного транспорта: Тез. докл. науч.произв. конф. - Одесса, 1990. - С.6.

38. Буриненко Ю.И. Упругие деформации гибкого тела, связывающего динамические объекты // Там же. -С.54.
39. Буриненко Ю.И. Системы объектов переменной структуры и проблемы их оптимизации // III Всесоюз. школа "Понтрягинские чтения. Оптимальное управление. Геометрия и анализ": Тез.докл.- Кемерово,1990. -С.116.
40. Буриненко Ю.И., Кизлевич Ю.Т., Липунов Ю.М. Расчет управлений судовым машинным комплексом для безопасного расхождения с другим объектом // Исследования инженерных сооружений и перегрузочного оборудования морских портов. -М.,1991. -С.115-117.
41. Буриненко Ю.И., Липунов Ю.М., Мартынов Ю.С. Динамика системы судовых машинных комплексов на ограниченной акватории // Технические средства освоения шельфа. -Н.Новгород, 1991. -С.138-142.
42. Буриненко Ю.И., Попов Ю.Б. Математическая модель движения системы плавающая платформа - буксиры // Там же. -С.159-161.
43. Буриненко Ю.И., Попов Ю.Б. Портовая буксировка. Технология и безопасность. -М.: Транспорт, 1991.-95 с.
44. Буриненко Ю.И. Перечисление структур систем динамических объектов с разрывными связями // Разрывные динамические системы: Тез. докл. науч. школы-семинара. -Киев,1991.-С.8-9.
45. Буриненко Ю.И. Некоторые проблемы исследования управляемых систем объектов переменной структуры // Кибернетика и вычисл. техника.-1992.-Вып.95. -С.80-85.
46. Nebesnov V.I., Burimenko Yr.I. The dynamic analysis and syntesis of marine machines // Proc. SIXTH WORLD CONGR. on the theory of Machines and Mechanisms.-New Delhi, INDIA, 1983. Vol.1.-P.406-409.

Бурим

38. [illegible] В.В. [illegible]
[illegible] для объекта // Там же. – С.54.
39. [illegible]енко В.А. [illegible] объектов [illegible] структура и [illegible] из [illegible] // [illegible] [illegible] [illegible] Тез. докл. [illegible] 1990. – С.118.
40. [illegible] В.И., [illegible] В.Т., [illegible] В.[illegible] Расчет [illegible] [illegible] // [illegible] [illegible] – 1990. – С.[illegible]
41. [illegible] В.В., [illegible] В.В., [illegible] В.И. [illegible] [illegible] // [illegible] [illegible] – Новосибирск, 1991. – С.[illegible] 142
42. [illegible] В.В., [illegible] В.В. [illegible] // Там же. – С.[illegible] 161
43. [illegible] В.В., [illegible] В.В. [illegible] [illegible] – 1991. – С.[illegible]
44. [illegible] В.И. [illegible] // [illegible] [illegible] – Киев, 1991. – С.[illegible]
45. [illegible] В.В. [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] 1992. [illegible] 93. – С.[illegible]
46. [illegible] В.Г., [illegible] The [illegible] analysis [illegible] of [illegible] machines // Proc. [illegible] on the Theory of Machines and Mechanisms. – [illegible], 1983. – Vol. 1. – P. 955-960.

Зак. №36 от I6.02.92. Бумага отсетная. Гарнитура"школьная".
Печать отсетная. Усл.печ.л.I,9. Тираж 500 экз.
Отпечатано в Одесской городской типографии. Цех № 3.

Ав 26.908