

на правах рукопису

БУБЛИК Сергій Григорович

УДК: 629.127.066

ДИНАМІКА МАНІПУЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ
ТВЕРДИХ ТІЛ У РІДИННОМУ СЕРЕДОВИЩІ

05.02.05 - Роботи, маніпулятори та
робототехнічні системи

Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1994



АВ 29.760

Роботу виконано в Київському політехнічному інституті

Наукові керівники - академік АН України,
доктор технічних наук, професор
Павловський М.А.

- кандидат технічних наук, доцент
Євгенєв В.С.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор
Самотокія В.Б.

- кандидат технічних наук, професор
Ямпольський Л.С.

Провідна організація - Науково-дослідний проектувальний
інститут (м. Дніпропетровськ)

Захист відбудеться "30" травня 1994 р., в 15 годин
на засіданні спеціалізованої ради Д.068.14.04 Київського
політехнічного інституту (252056, Київ-56, просп. Перемоги 37,
корп.1, кімн.166)

В дисертацію можна ознайомитись в бібліотеці Київського
політехнічного інституту

Автореферат розіслано "29" квітня 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
кандидат технічних
наук

Боронко

Боронко О.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми

Нестача в необхідному обсязі промислово важливої сировини, яка видобувається в Україні, вимагає вишукувати інші джерела її знаходження. Одним із шляхів розв'язання цієї проблеми є організація добути корисних копалин у вигляді залізо-марганцевих корок (ЗМК) з дна Світового океану, зокрема в басейні Чорного моря. Відомо, що до складу ЗМК входять такі стратегічно важливі метали, як нікель, мідь та кобальт, загальна кількість яких значно перевищує відомі родовища на суходолі. Значна частина підводних покладів ЗМК розміщується на глибині від 2400 до 6000м. Тому, заради успішного використання багатств Світового океану, необхідно вже зараз приділяти увагу розробці та створенню ефективних глибиноводних технічних засобів.

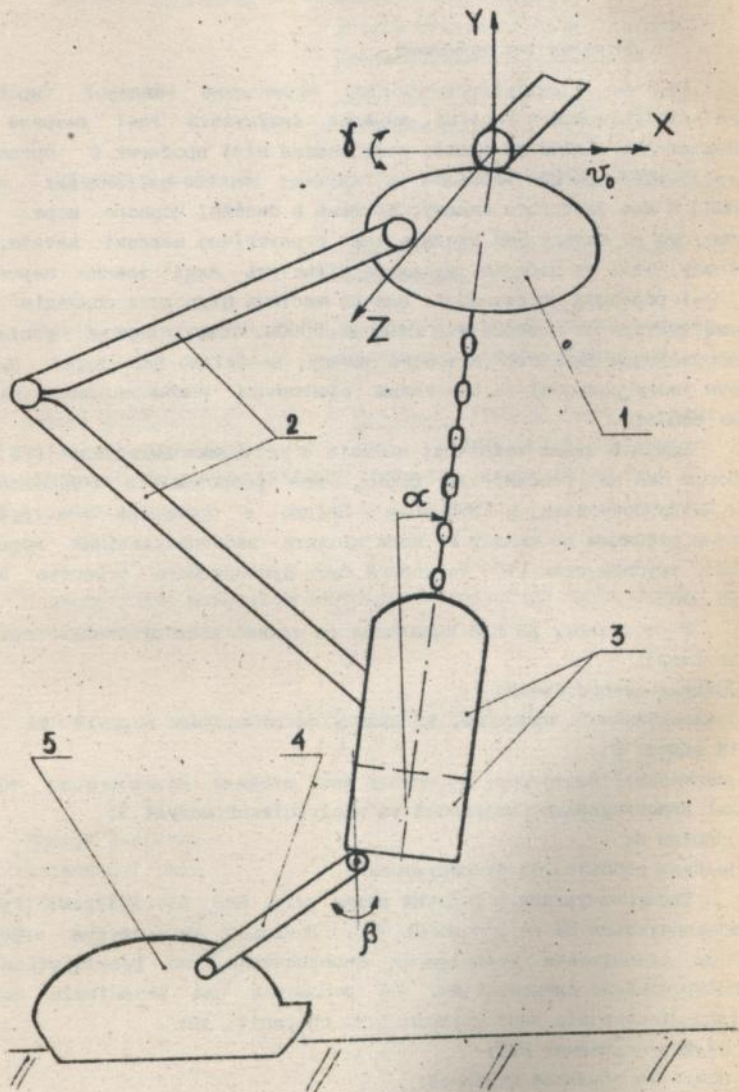
Одним з таких технічних засобів є установка видобувна (УВ) за збором ЗМК на глибині до 6000м, яка розроблялася ВНДІП Океанмаш (м. Дніпропетровськ) в 1985-90рр. Згідно з прийнятим конструкторським рішенням до складу УВ мали входити забезпечувальний корабель (ЗК), трубний став (ТС) та донний блок буксируемого агрегата збору (ДБ БАЗ).

У свою чергу ДБ БАЗ складався із таких конструктивних елементів (мал):

- 1) модуля енергетичного 1;
- 2) телескопічного пристрою, до складу якого входили верхній та нижній важелі 2;
- 3) переносної платформи, до складу якої входили цілокорпусно збудовані накопичувально-дозувальний та навігаційний модулі 3;
- 4) стріли 4;
- 5) модуля робочого, що буксирується 5.

Транспортування й робочий режим руху БАЗ по повернті ґрунта забезпечується ЗК за допомогою ТС. Локальні переміщення агрегату збору виконуються механізмами забезпечення, що розміщуються на конструктивних елементах ДБ. За допомогою цих механізмів повині відпрацьовуватись такі технологічні операції, як:

- підйом-опускання БАЗ;
- пошук та здолаання перешкод;



мал. Нижний блок буксируемого агрегата збору

- отсліджування рельєфу дна;
- коригування бокового зміщення ДБ БАЗ відносно лінії проходу;
- розвертання в кінці проходу.

З урахуванням таких особливостей наведеної вище конструкції й необхідності організації безлюдної технології здобичі ЗМК, основні задачі із забезпечення робочого функціонування УВ можна розв'язати тільки за допомогою автоматизованих систем керування рухом останньої. Успішна реалізація таких систем керування неможлива без побудови та дослідження математичної моделі УВ, невід'ємною складовою частиною якої є ДБ БАЗ.

Питанням розрахунків окремих роботехнічних систем займалися такі вчені, як О.Ф.Войчук, М.Вукобратович, В.С.Євгенєв, В.І.Костік, М.А.Павловський, Р.Пол, Б.В.Самотокін, В.І.Швець, Л.С.Ямпольський. Моделювання динаміки і розробка систем керування рухом маніпуляційних роботів були розглянуті в наукових працях О.Ф.Верещагіна, Є.І.Воробйова, С.Л.Венкевіча, Д.Г.Козирева, Є.П.Попова, Г.О.Спину, Є.І.Бревіча, В.С.Ястребова та інших вітчизняних й закордонних фахівців в галузі робототехніки.

Відомі підводні механічні системи описуються в вигляді лінійних диференціальних рівнянь, що легко піддаються дослідженню. Проте в математичних моделях цих систем не враховуються протидії з боку поверхні ґрунту, а також нелінійно-кінематичний характер опору рідинного середовища. Тому складність таких рівнянь має простий вигляд і не потребує розробки нових методів їх дослідження. Такий підхід має місце тільки при моделюванні добре обпливних тіл, до яких можна віднести переважно більшість підводних механічних систем.

ДБ БАЗ відрізняється з-поміж них такою особливою рисою, як довговимірність конструкції, що з'єднує ТС з агрегатом збору. За динамічними властивостями цю конструкцію можна віднести до класу маніпуляційних систем маятникового типу.

За умовами роботи основний вплив на динаміку даної механічної системи творять нелінійно-в'язкий опір навколишнього середовища, зумовлений наявністю сильних кінематичних зв'язків між модулями, а також протидія руху БАЗ з боку поверхні ґрунту у вигляді тертя.

Особливості динаміки такої системи в рідинному середовищі можуть бути враховані лише за побудови математичної моделі, яка має складатися із нелінійних диференціальних рівнянь. У зв'язку з тим,

що точного розв'язання таких рівнянь немає, в дисертаційній роботі розроблено наближений метод інтегрування подібних нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку.

Мета роботи

На мету роботи заслуговує побудова математичної моделі донного блоку буксируемого агрегату збору, яка враховує основні особливості динамічної поведінки просторової багатоланкової конструкції у рідинному середовищі, а також розробка методів її дослідження та алгоритмів обчислення коефіцієнтів рівнянь руху за реальним часом.

Наукова новизна

Наукова новизна роботи полягає в наступних положеннях:

1. Кінематична модель механічної системи ДБ ВАЗ побудована у вигляді чотирьохвимірних квадратних матриць за відомим формалізмом перетворень координат Денавіта-Хартенберга.
2. Розроблена математична модель динамічної поведінки конструкції з урахуванням її взаємодії з поверхню ґрунту, а також нелінійно-в'язкого опору з боку рідинного середовища при русі.
3. Розроблено метод дослідження систем диференціальних рівнянь динаміки маніпуляційних систем з нелінійностями спеціального типу.
4. Визначено особливості застосування розробленого підходу до інтегрування нелінійних диференціальних рівнянь при дослідженні вільних коливань різних маніпуляційних систем, що вирізняються з-поміж собою за конфігурацією ланок та умовами обплинення їх рідиною.
5. Для створення швидкодіючих алгоритмів обчислення на ЕОМ ефективних моментів інерції ланок було розроблено й застосовано два математичних метода: перетворення динамічних рівнянь руху на рівняння у приростах узагальнених координат та заміщення фізичних тіл, з яких складаються ланки, на системи матеріальних точок, які є рівномоментними до заміщених тіл.

Практична цінність

Розроблену математичну модель динаміки донного блоку агрегата збору, що буксирується, можна використовувати:

- для дослідження динамічних характеристик підводних механічних систем подібного типу, що проєктуються, а також з метою вибору конструктивних параметрів їх моделей;
- для створення програмно-апаратних імітаторів системи керування

відносним рухом механічної системи у цілому та окремих модулів;
- у вигляді еталонної моделі в контурі системи регулювання виконавчими приводами окремих ланок ДБ БАЗ.

До захисту пропонуються:

1. Нелінійна математична модель динаміки відносного руху механічної системи ДБ БАЗ, яка враховує взаємодію цієї просторової конструкції з поверхнею ґрунту, а також нелінійно-в'язкий опір рідинного середовища.

2. Метод дослідження систем диференціальних рівнянь відносного руху маніпуляційних систем з нелінійностями спеціального типу. Наведено особливості його застосування для дослідження вільних коливань маніпуляційних систем з різною конфігурацією ланок.

3. Метод перетворень рівнянь динаміки на рівняння в приростах узагальнених координат.

4. Метод заміщення фізичних тіл довільної конфігурації, з яких складаються ланки маніпуляційних ланок на системи з 4-х матеріальних точок, що є рівномomentними до цих тіл.

Розроблений метод інтегрування нелінійних диференціальних рівнянь надає можливість проводити дослідження вільних коливань маніпуляційних систем в рідинному середовищі за реальним часом.

Метод перетворення динамічних рівнянь руху на рівняння в приростах узагальнених координат дозволяє дістати просту складність аналітичних виразів, аналіз і обчислення яких за реальним часом не має ускладнень.

Метод заміни твердого тіла довільної конфігурації на систему 4-х матеріальних точок відноситься до методів лінеаризації динамічних рівнянь багатоступіневих механічних систем. Завдяки використанню цього методу можна визначати орієнтацію й відносний стан ланок механічної системи відносно довільно зазначеної системи координат, а також проводити обчислення поточних значень їх масомomentних параметрів (статичних моментів і моментів інерції) за реальним часом.

Результати дисертаційної роботи були включені до звітів відділу 55 Київського НВО "Промавтоматика": "Математическая модель буксируемого агрегата сбора" у 1989 році, "Доработка имитационной модели движения донного блока УД БАС" у 1990 році під час виконання етапу НДКР: "Система автоматического управления робототехноло-

гическим процессом сбора ЖМК. Подсистема управления ДБ БАС".

Апробація роботи

Основні положення і результати роботи доповідались та обговорювались на:

1. П'ятому національному конгресі з теоретичної та прикладної механіки у Болгарії (Варна, 1985р).

2. І науково-технічній конференції молодих вчених, фахівців та студентів "Фундаментальні та прикладні проблеми космонавтики" (Київ, 1988р).

3. VII Всесоюзній нараді "Автоматизація процесів керування технічними засобами дослідження Світового океану" (Калінінград, 1989р).

4. Всесоюзній конференції "Сучасні проблеми механіки й технології машинобудування" (Москва, 1989р).

5. II науково-технічній конференції молодих вчених та V Корольовських читань "Фундаментальні та прикладні проблеми космонавтики" (Київ, 1990р).

6. Галузевій науково-технічній конференції "Технічні засоби і організація видобування корисних копалин підводним, підземним та відкритим способами" (Дніпропетровськ, 1990р).

7. II Всесоюзній конференції "Нелінійні коливання механічних систем" (Горький, 1990р).

8. Семінарах відділу 55 робототехнічних систем Київського науково-виробничого об'єднання "Промавтоматика" (Київ, 1987-1990рр).

Публікації

За результатами розробок і досліджень, виконаних в дисертаційній роботі надруковано дванадцять наукових праць.

Структура роботи

Дисертаційна робота складається зі вступу, трьох глав і закінчення. В неї вміщено 101 сторінку друкарського тексту, 17 малюнків, 7 таблиць, бібліографічний список, який налічує 61 найменування та 22 сторінки Додатку.

Автор висловлює щире вдячність науковим керівникам академіку Академії технологічних наук України, доктору технічних наук, професору М.А.Павловському та кандидату технічних наук, доценту В.С.Євгенєву за постійну увагу, зауваження й допомогу при проведенні цієї роботи.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наводиться короткий огляд сучасного стану розвитку технічних засобів освоєння сировинних ресурсів Світового океану, надається обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, формулюється мета досліджень, зазначена наукова новизна і практична значимість роботи. Також коротенько викладається зміст дисертації за главами і наводиться опис складових елементів об'єкту дослідження.

В першій главі здійснено побудову математичної моделі механічної системи ДБ ВАЗ.

Складність моделювання багатоланкових просторових механічних систем потребує застосування таких методів, що розраховані на використання ЕОМ. Одним з таких способів є метод матриць 4-го порядку, який побудований за відомим формалізмом однорідних перетворень координат Денавіта-Хартенберга. Він дозволяє найбільш повно використати дані про кінематичну схему конкретної механічної системи та її масомоментні параметри.

Алгоритм застосування матричних рівнянь для формування кінематичної моделі ДБ ВАЗ є традиційним для маніпуляційних систем. Для побудови моделі динаміки відносного руху у рідині ланок зазначеної механічної системи введемо допущення про рівномірний розподіл швидкостей по всій площі Y_x поперечного розрізу. Така можливість виникає з огляду на первинні дані про кутові та лінійні швидкості ланок. Форма фізичних складових конструкції наближена до форми таких геометричних фігур, як еліпсоїд та циліндр. В цьому випадку матриця долучених мас рідини набуває діагонального вигляду і може бути розділена на чотири квадратні блочних матриці, дві з яких є ненульовими:

$$N = \begin{vmatrix} \lambda_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{33} \end{vmatrix}, \quad J = \begin{vmatrix} \lambda_{44} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{55} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{66} \end{vmatrix}, \quad (1)$$

остання з них виявляється складовою частиною N -матриць інерційних характеристик ланок. У свою чергу U -матриця є результатом матричного диференціювання за однорідною координатом θ матриць орієнтації й стану ланок відносно первісно означеної (опорної) системи координат і може бути зображена таким чином:

$$U = \begin{vmatrix} \frac{\partial}{\partial \theta} C & \frac{\partial}{\partial \theta} R \\ \hline 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad (2)$$

де $\frac{\partial}{\partial \theta} R = V$ - матриця-стовпець розміру 1×3 .

Тут позначено:

C - матриця напрямляючих косінусів ланки;

R - радіус-вектор початку системи координат ланки в первісно означеній системі координат.

З урахуванням матричних рівнянь (1) і (2) дістанемо вираз для знаходження ефективного моменту у рідині l -ї ланки механічної системи відносно J -го зчленування

$$J_{1j} = \text{tr}(U_{1j} H_1 U_{1j}^T) + V_{1j} N_1 V_{1j}^T.$$

При незначних за величиною швидкостях відносного руху ланок, конструкція ДБ БАЗ має досить значну довжину складових елементів. Тому, для обчислення гідродинамічної складової узагальнених сил механічної системи в її аналітичному виразі утримуються члени другого порядку малості. Так, вираз для знаходження підйомної сили (R_y) ланки матиме такий вигляд

$$R_y = \frac{\rho_B \nu^2}{2} S_y \cdot \left[c_y(\theta) + \frac{\dot{\theta} r_B}{\nu} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} [c_y(\theta)] + \frac{\dot{\theta} |\dot{\theta}| r_B}{\nu^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} [c_y(\theta)] \right],$$

де ρ_B - густина рідини;

ν - швидкість руху ланки;

S_y - площа мідель-перерізу ланки;

c_y - гідродинамічний коефіцієнт підйомної сили;

$\dot{\theta}$ - швидкість змінювання узагальненої координати;

r_B - відстань центру водотоннажності ланки до віссі підвісу.

В результаті дістанемо систему нелінійних диференціальних рівнянь відносного руху ланок по чотирьох узагальнених координатах: бокового зміщення Z , кутам крену γ , диференту α та рискання β

$$\begin{cases}
 A_{11}\ddot{z} + A_{12}\ddot{\gamma} + A_{13}\ddot{\alpha} + A_{14}\ddot{\beta} = d_{10} - c_{11}z - b_{10}\dot{z} - b_{11}\dot{z}|\dot{z}| + c_{12}\gamma + \\
 \quad + d_{11}\dot{\gamma}|\dot{\gamma}| + c_{14}\beta + d_{14}\dot{\beta}|\dot{\beta}|; \\
 A_{21}\ddot{z} + A_{22}\ddot{\gamma} + A_{23}\ddot{\alpha} + A_{24}\ddot{\beta} = d_{20} - c_{22}\gamma - b_{22}\dot{\gamma}|\dot{\gamma}| + d_{21}\dot{z}|\dot{z}| + \\
 \quad + c_{24}\beta + d_{24}\dot{\beta}|\dot{\beta}|; \\
 A_{31}\ddot{z} + A_{32}\ddot{\gamma} + A_{33}\ddot{\alpha} + A_{34}\ddot{\beta} = d_{30} - c_{33}\alpha - b_{30}\dot{\alpha} - b_{31}\dot{\alpha}|\alpha| - b_{32}\dot{\alpha}|\alpha|; \\
 A_{41}\ddot{z} + A_{42}\ddot{\gamma} + A_{43}\ddot{\alpha} + A_{44}\ddot{\beta} = -c_{44}\beta - b_{41}\dot{\beta}|\dot{\beta}| + c_{42}\gamma + d_{41}\dot{z}|\dot{z}|.
 \end{cases} \quad (3)$$

Тут позначено:

$A_{ij} = A_{ji} = J_{ij}$ - ефективні моменти інерції;

$A_{ii} = J_{ii}$ - зведені моменти інерції;

d_{10} - сталі;

c_{ij} - коефіцієнти жорсткості;

$b_{10}, b_{11}, b_{12}; d_{ij}$ - коефіцієнти демпфування;

$i=1,4; j=1,4$ - позначки порядкового номеру відповідно ланок та фізичних членувань.

У другій главі проводиться дослідження математичної моделі механічної системи ДБ БАЗ. За результатами проведеного аналізу аналітичних виразів для визначення моментів інерції ланок були виявлені такі особливості динаміки конструкції, як:

- 1) суттєвий взаємний вплив ланок (твердих тіл) при відносному русі по координатах - z , γ та β ;
- 2) незалежний відносний рух телескопічного пристрою і переносної платформи по куту диференту α .

Таким чином, виникає можливість лінеаризації виразів для знаходження ефективних та зведених моментів інерції за рахунок відкидання тих членів, чий порядок за малістю перевищує другий. В результаті початкова система динамічних рівнянь (3) розпадається на дві. Перша система складається з трьох рівнянь, відображуючих взаємозв'язаний рух по координатах z , γ та β , на іншу припадає диференціальне рівняння незалежного руху ланок донного блоку по куту диференту, тобто

$$A_{33}\ddot{\alpha} + \Phi_3(\alpha, \dot{\alpha}) + c_{33}\dot{\alpha} = d_{30}, \quad (4)$$

де $\Phi_3(\alpha, \dot{\alpha}) = b_{30}\dot{\alpha} + b_{31}\dot{\alpha}|\dot{\alpha}| + b_{32}\dot{\alpha}|\alpha|$ - функція дисипації.

Взагалі, найважливіший вплив на величину моментів інерції ланок при будь-якому відносному русі опрацюють зміни кутів крену та диференту. Отже, основною задачею по розробці системи керування відносним рухом модулів ДБ БАЗ має стати стабілізування вертикального стану механічної системи, тобто відносно віссі, що з'єднує центр мас переносної платформи та точку підвісу енергетичного модуля до нижнього кінця трубного става у початковому (до руху) стані.

У роботі розроблено аналітичний метод інтегрування нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку у вигляді (4), які є типовими для опису динамічної моделі маніпуляційної системи у середовищі, що створює опір. В основу цього способу покладено принцип енергетичного балансу, який є прийнятним для дослідження вільних коливань нелінійних дисипативних механічних систем. Такий підхід було запропоновано у наукових працях І.І.Вульфсона, Я.Г.Пановко та Г.С.Писаренко, в яких за дисипативну функцію було обрано аналітичну залежність $|\dot{\theta}^{n-1}|\dot{\theta}$. Застосування розробленого методу дозволяє дістати рішення рівняння (4) у явному вигляді, тобто здобути аналітичні формули для обчислення параметрів нелінійних коливань, а саме: амплітуди (A), частоти (ω_H), початкового зсуву фаз (φ) та нелінійного декременту затухань (η_H) тощо.

Для оцінювання ефективності наведеного вище методу дослідження вільних коливань нелінійних дисипативних механічних систем проведено його порівняння з класичними способами: аналітичним Ван-дер-Поля та чисельним Рунге-Кутта четвертого порядку. Порівняння здійснювалось шляхом обчислення на IBM PC/XT 386 модельного прикладу, тобто диференціального рівняння (4). За результатами обчислень зроблено певні висновки, сенс яких може бути зведений до наступних положень.

1. Якість відтворення перехідного процесу нелінійних коливань за наведеним методом майже співпадає з чисельним, відрізняючись від останнього по амплітуді до 17% (на першому періоді коливань), і по зсуву фаз до 25° (на кінцевому періоді коливань).
2. Обчислення параметрів нелінійних коливань аналітичними методами на одному кроці інтегрування відбувається за реальним часом і за тривалістю часу на порядок менший, ніж способом Рунге-Кутта.

Крім того, здобуто формули для обчислення параметрів нелінійних коливань навколо стану стійкої рівноваги механічної системи (для модельного прикладу навколо стану статичної рівноваги), коли стала в правій частині рівняння (4) не дорівнює нулю ($d_{30} \neq 0$). Розглянуто окремі випадки завдання дисипативної функції, що зумовлені початковими умовами роботи маніпуляційних систем у рідині, тобто залежать від в'язкості рідини, напрямку її течії, форми конструкції тощо.

Третя глава присвячена методам дослідження просторової конструкції механічної системи ДБ БАЗ на ЕОМ за реальним часом.

Як відомо, при вирішенні задач керування маніпуляційними системами необхідно враховувати таку їх характерну особливість, як залежність моментів інерції ланок не тільки від інерційних характеристик власної механічної частини, але й від інерційних властивостей інших ланок та конфігурації всього кінематичного ланцюга. Відмінню прикметов для наведеної механічної системи просторової конструкції ДБ БАЗ є змінювана у часі конфігурація телескопічного пристрою, яка справляє суттєвий вплив на величину ефективних моментів інерції ланок та узагальнених сил.

В роботі наведено два методи лінеаризації аналітичних виразів для обчислення інерційних та силових характеристик багатоланкових маніпуляційних систем: метод приростів та метод заміни фізичного тіла на матеріальну систему точкових мас.

Суть методу приросту полягає у перетворенні диференціальних рівнянь руху динамічної системи на алгебраїчні рівняння в приростах узагальнених координат. В результаті поточне значення узагальненої координати визначається як сума її попереднього значення та приросту за інтервал дискретизації, а аналітична форма опису ефективних моментів інерції та узагальнених сил набуває простого вигляду. Внаслідок цього поточні значення масомоментних характеристик ланок можуть бути обчислені на ЕОМ за реальним часом. У відповідності із таким зображенням координат початкову систему диференціальних рівнянь відносного руху досліджувальної механічної системи ДБ БАЗ (3) можна перетворити на алгебраїчну систему рівнянь з відокремленням із її правої частини керуючого моменту $\{M_{керj}\}$ в j -му зчленуванні:

$$\left[M_{\text{кер}} \right]_{k+1} = \sum_{t=1}^4 J_{t,j} \left[(\theta_k + \Delta\theta_{k+1})_t \right] \cdot (\ddot{\theta}_{k+1})_t - Q'_j \left[(\theta_k + \Delta\theta_{k+1})_t, (\dot{\theta}_{k+1})_t \right],$$

де $k+1$ - номер за порядком кроку опитування (дискретизації) датчиків стану інформаційно-вимірвальної системи;

$J_{t,j} \left[(\theta_k + \Delta\theta_{k+1})_t \right]$ - ефективний момент інерції t -ої ланки відносно j -го зчленування;

$Q'_j \left[(\theta_k + \Delta\theta_{k+1})_t, (\dot{\theta}_{k+1})_t \right]$ - узагальнена сила відносно j -го зчленування.

В роботі також надаються формули для обчислення поточних значень швидкості $(\dot{\theta}_t)$ і прискорення $(\ddot{\theta}_t)$ узагальнених координат в залежності від обраного типу датчиків стану, що встановлюються в зчленуваннях.

Суть методу заміни фізичного тіла на матеріальну систему точкових мас зводиться до синтезу системи матеріальних точок, що є рівномоментною до даного тіла. Наведено теоретичне обґрунтування існування рівномоментної матеріальної системи із 4-х точок для однорідно твердого тіла довільної конфігурації. Отримано аналітичні формули для знаходження координат точкових мас відносно осей головної центральної системи координат довільного твердого тіла:

$$\begin{aligned} \bar{r}_1 &= \left\{ 0; 0; \sqrt{30'/M} \right\}, & \bar{r}_2 &= \left\{ 0; 2 \sqrt{2B'/3M}; -\sqrt{C'/3M} \right\}, \\ \bar{r}_3 &= \left\{ \sqrt{2A'/M}; -\sqrt{2B'/3M}; -\sqrt{C'/3M} \right\}, \\ \bar{r}_4 &= \left\{ -\sqrt{2A'/M}; -\sqrt{2B'/3M}; -\sqrt{C'/3M} \right\}; \end{aligned} \quad (5)$$

де \bar{r}_t , $(t=1,4)$ - радіус-вектор координат t -ої матеріальної точки;

A', B', C' - головні центральні моменти інерції тіла відносно координатних площин;

M - маса тіла.

Зображення твердого тіла у вигляді системи точкових мас, що задається формулами (5), дозволяє проводити обчислення його інерційних характеристик, тобто: осьових, відцентрових моментів інерції та статичних моментів відносно довільно обраної системи координат за реальним часом.

Як приклад, за розробленим алгоритмом отримано формули для обчислення систем 4-х точкових мас відносно головних центральних осей довільних твердих тіл у формі: прямокутного паралелепіпеду, кругового циліндру та зрізаного конусу. Такі конфігурації твердих тіл є найбільш властивими для обираємих форм конструкцій ланок маніпуляційних систем.

Проведено обчислення координат чотирьохточкових матеріальних систем відносно обраних систем координат, які є рівномomentними до ланок механічної системи ДБ БАЗ.

В Додатку наведено програми обчислення згідно з розробленими в роботі алгоритмами методів: інтегрування нелінійних диференціальних рівнянь, що описують вільні коливання ланок маніпуляційної системи в рідинному середовищі з урахуванням нелінійно-в'язкого опору останнього; заміщення ланок, як твердих тіл довільної конфігурації, на чотирьохточкову матеріальну систему, що є рівномomentною до наведених ланок.

В закінченні наведено основні висновки, що отримано за виконанням роботи, які можна сформулювати таким чином.

1. За матричним методом однорідних координат створено математичну модель просторової конструкції багатоланкової механічної системи, яка виявляється зручною за формою зображення при її дослідженні на ПЕОМ.

2. Розроблено метод інтегрування нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку із нелінійністю спеціального типу. Розглянуто особливості його використання для дослідження вільних коливань різноманітних за конфігурацією ланок маніпуляційних систем у рідинному середовищі.

3. Алгоритм наведеного методу обчислень основних характеристик перехідного процесу, тобто амплітуди, частоти, початкового зсуву фази та декременту затухання, здійснено в обчислювальній програмі на ПЕОМ.

4. Розроблено спосіб перетворення динамічних рівнянь на рівняння в простях узагальнених координат з метою обчислення за реальним часом поточних параметрів механічної системи, тобто інерційних та силових характеристик.

5. Розроблено метод заміщення твердих тіл довільної конфігурації на систему чотирьох матеріальних точок, що є рівномomentною до

наведеного тіла. Запропонований спосіб дозволяє визначати месоментні характеристики ланок (статичні моменти, осьові і відцентрові моменти інерції) у довільним чином обраній системі декартових координат.

6. Алгоритми обчислення систем матеріальних точок, що є рівномomentними до поданих твердих тіл (модулів конструкції ДБ БАЗ) здійснено в обчислювальних програмах на ПЕОМ РС/XT 386.

Основні результати дисертації викладено в наступних наукових працях:

1. Павловський М.А., Євгенєв В.С., Бублик С.Г. Учет динамических воздействий на привод манипуляционного робота в реальном масштабе времени // Тез. докл. в сб. "Пятый национальный конгресс по теоретической и прикладной механике". - ИРБ, Варна. - 1985. - с.544.

2. Євгенєв В.С., Бублик С.Г. Компенсация динамических воздействий на привод манипуляционного робота в процессе управления его движением: "Механика гироскопических систем". - К.: "Выща школа". - 1987. - вып.6. - с.75-77.

3. Євгенєв В.С., Дудко В.И., Бублик С.Г. Синтез программных движений манипулятора для подземных разработок // Тез. докл. Всес. н.-т. конф. "Методы и средства автоматизации процессов добычи полезных ископаемых". - Новороссийск. - 1987. - с.30.

4. Бублик С.Г. Построение алгоритмов вычисления моментов инерции многосвязных манипуляторов в реальном времени // Аннот. программа I-й н.-т. конф. молодых ученых, специалистов и студентов "Фундаментальные и прикладные проблемы космонавтики". - К. - 1988. - с.10-11.

5. Путов Б.Л., Євгенєв В.С., Новицкий В.В., Бублик С.Г. Синтез простейших траекторий программных движений манипуляционного робота: "Механика гироскопических систем". - К.: "Выща школа". - 1988. - с.104-107.

6. Путов Б.Л., Павловський М.А., Євгенєв В.С., Бублик С.Г. Методы подводной добычи полезных ископаемых // Тез. докл. Всес. конф. "Современные проблемы механики и технологии машиностроения". - ВИНТИ АН СССР и ГКНТ. - М. - 1989. - с.16.

7. Путов Б.Л., Бублик С.Г., Євгенєв В.С. Динамика буксируемых систем подводного сбора конкреций // Тез. докл. VII-го Всес. совещ. "Автоматизация процессов управления техническими средствами исследования Мирового океана". - Калининград. - 1989. - с.131.

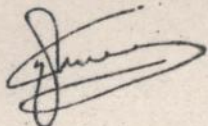
8. Бублик С.Г., Евгеньев В.С. Алгоритм вычисления приведенных моментов инерции многозвенных манипуляционных систем в реальном времени: "Механика гироскопических систем". - К.: "Вища школа". - вып.8. - 1989. - с.80-83.

9. Бублик С.Г. Нелинейные колебания пространственного манипулятора, работающего в жидкой среде // Тез. докл. V-х Королевских чтений II-й н.-т. конф. молодых ученых "Фундаментальные и прикладные проблемы космонавтики". - К. - 1990. - с.87-88.

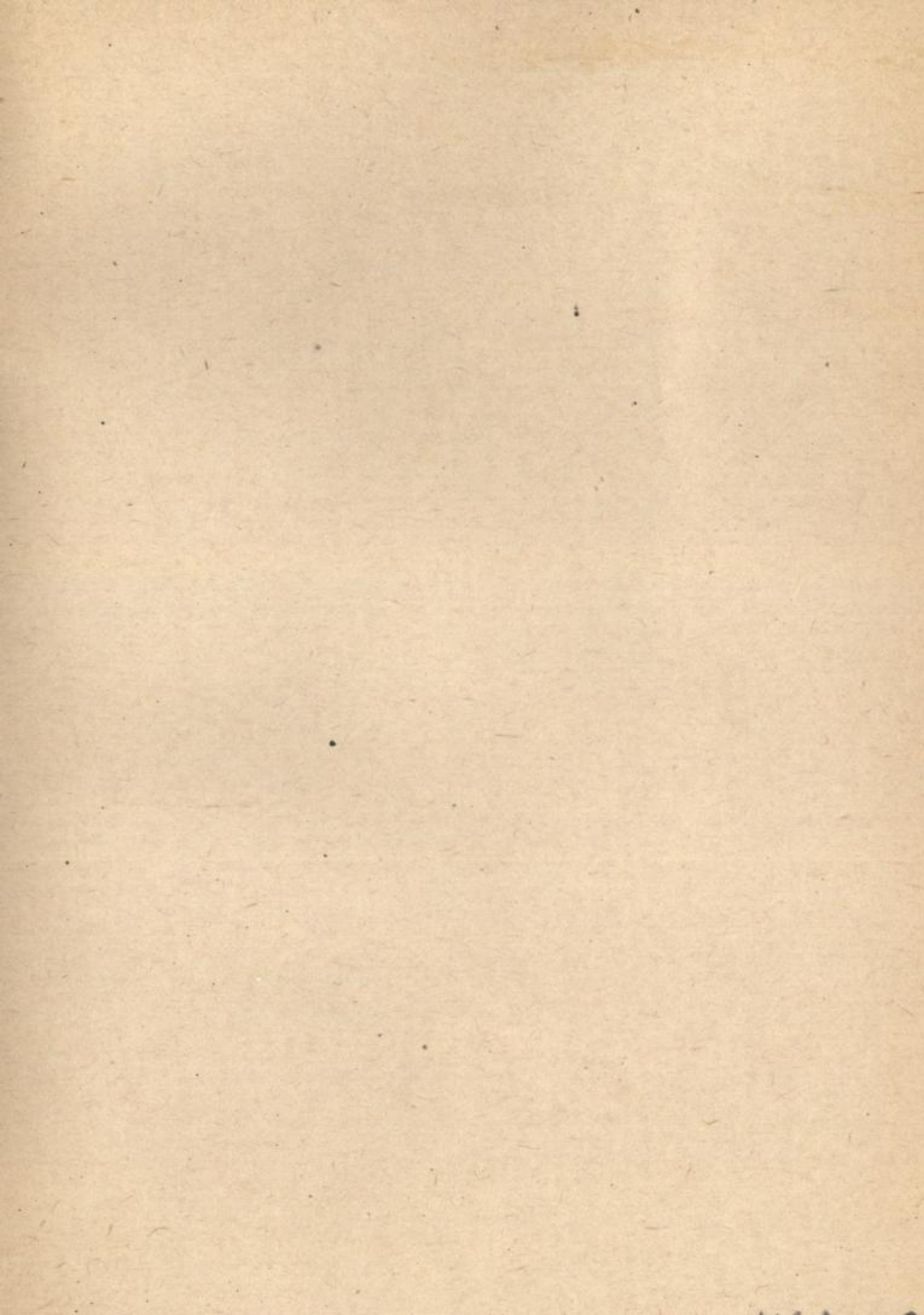
10. Бублик С.Г. Методика приближенного исследования нелинейных дифференциальных уравнений специального типа // Прогр. отрасл. н.-т. конф. "Технические средства организации добычи полезных ископаемых подводным, подземным и открытыми способами". - Днепропетровск. - 1990. - с.9.

11. Бублик С.Г., Евгеньев В.С. Исследование нелинейных колебаний буксируемых систем подводного сбора конкреций // Тез. докл. II-й Всес. н.-т. конф. "Нелинейные колебания механических систем". - Горький. - 1990. - т.1. - с.67.

12. Бублик С.Г. Исследование нелинейных колебаний манипуляционных систем в сопротивляющейся среде: Вестник Киев. полит. института, сер. Приборостроение. - вып.23. - 1993. - с.30-37.



ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України



AB 29.760

AB 29.760