

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

на правах рукопису

Чкалов Олексій Валерійович

УДК 624.07:534.1

**Автоматизація дослідження динаміки
систем розгортання великогабаритних
панелей сонячних батарей**

05.02.09 – динаміка і міцність машин, приладів і
апаратури

Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1996



00759961 (.)

АВ 35.545

Дисертація є рукописом.

Роботу виконано в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут"

Наукові керівники - доктор технічних наук, професор

Павловський М.А.

- кандидат фізико-математичних наук,
професор Акініфєва Л.Ю.

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук, професор

Кажж Я.Ф.

кандидат технічних наук, доцент

Бабенко А.Є.

Провідна організація:

КБ "Південне" (м. Дніпропетровськ)

Захист відбудеться "21" жовтня 1996 р., о 15 годині на засіданні спеціалізованої ради Д.01.02.18 Національного технічного університету України (252056, Київ-56, просп. Перемоги, 37, корп. I, кімн. 166)

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного технічного університету

Автореферат розіслано "12" вересня 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради

Боронко О.О.

Загальна характеристика роботи

Актуальність задачі. Основним джерелом електричної енергії для більшості сучасних космічних літальних апаратів (КЛА) є сонячні батареї (СБ). Великогабаритні багатопанельні комплекси СБ є надзвичайно складними технічними системами, що поєднують системи пружних тіл, що взаємодіють і рухаються в тривимірному просторі, електронні системи керування і комплекс виконавчих двигунів (електричних чи механічних). Досконалість подібних систем, включаючи характеристики процесів розгортання і зборки, значною мірою визначає рівень якості всього КЛА.

Складність СБ, а також наземних стендів для їх макетування, доробки і дослідження, обумовлює значні витрати часу і ресурсів, особливо на етапі експериментальної доводки. Радикальним засобом підвищення якості СБ і суттєвого скорочення строків їх дослідження і впровадження може бути використання систем автоматизації проектування і дослідження (САПР і САД), що підтверджено досвідом інших галузей.

Застосування існуючих САД для вирішення задач проектування і дослідження СБ стримується двома основними проблемами: відсутністю ефективного і надійного способу представлення тривимірних механічних систем для САД, і їх неспроможністю виконувати весь спектр операцій по проектуванню і дослідженню СБ, особливо створення оптимальних по заданим показникам систем.

Тому створення засобів, що дозволили б виконувати весь комплекс операцій аналізу і синтезу розгорнутих СБ в складі сучасних вискоефективних САД є актуальною задачею.

Метою роботи є дослідження та розроблення методики створення математичних моделей СБ та методів їх аналізу і оптимізації в середовищі сучасних вискоефективних САД.

В дисертації розв'язуються такі **основні задачі**:

І. Розробити спосіб представлення просторових механічних систем для САД, що дозволяв би оперативно і в наочній

формі будувати математичні моделі систем різного ступеня складності, гнучко змінювати ступінь ідеалізації в залежності від етапу дослідження.

2. Розробити методику створення і побудувати математичні моделі окремих елементів і комплексу розгортання СБ в цілому. Розробити модель стенда для наземних випробувань СБ.

3. Виконати дослідження типових режимів роботи СБ і визначити показники якості (час розгортання, потужності двигунів, рівні ударних навантажень) та вплив параметрів СБ на перелічені показники.

4. Сформулювати та розв'язати задачі параметричної оптимізації систем розгортання СБ і стенда для їх випробування в некерованому і керованому режимах з урахуванням наявних обмежень. Розробити бібліотеку відповідних цільових функцій.

5. Для апробації розробленої методики та оцінки можливості її застосування в інших галузях виконати дослідження механізмів довільної структури в складі робочого устаткування будівельних і шляхових машин, гіроскопічних систем, тощо.

Автор захищає такі основні положення:

1. Спосіб представлення складних багатомасових механічних систем для САД у вигляді еквівалентної схеми.

2. Математичні моделі типових елементів багатомасових механічних систем: абсолютно тверде тіло, деформоване тіло, шарнір. Математичні моделі елементів систем розгортання СБ: пружинний двигун, гальмуючий пристрій, механізм фіксації з ударною взаємодією елементів, механічні і пневматичні елементи пристроїв зневажування випробувального стенду.

3. Динамічні закономірності і показники якості розгортання СБ різних конструкцій різними типами приводів.

4. Бібліотека цільових функцій і функціональних обмежень для параметричної оптимізації пасивних систем розгортання і систем з активним керуванням.

5. Оптимальні характеристики торсійних приводів, що забезпечують координоване розгортання багатоланкових СБ за заданий час. Оптимальний закон керування електроприводом

випробувального стенда.

6. Бібліотека моделей елементів для дослідження динаміки робочого устаткування будівельних і шляхових машин, роботів - маніпуляторів з гідравлічними і пневматичними приводами. Бібліотека моделей елементів для дослідження динаміки гіроскопічних систем.

Для розв'язання вказаних задач автор застосовує наступний математичний апарат і методи дослідження: методи механіки систем абсолютно твердих і деформованих тіл; методи теорії автоматичного керування; матрично - топологічні методи теорії кіл; чисельні методи інтегрування жорстких систем алгебро-диференціальних рівнянь, методи параметричної оптимізації і ряд інших чисельних методів.

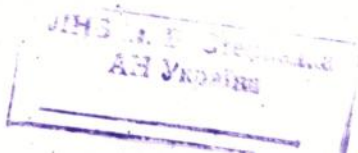
Наукова новизна роботи

1. Розроблена методика представлення математичних моделей просторових механічних систем типу шарнірно з'єднаних твердих тіл у вигляді еквівалентної схеми, що дозволяє оперативно і в наочній формі будувати математичні моделі систем різного рівня складності, гнучко змінюючи ступінь ідеалізації і враховуючи індивідуальні особливості об'єкту дослідження. Спосіб представлення дозволяє отримати доступ до сучасних САД.

2. Із використанням розробленої методики побудовані моделі елементів розгортуваних СБ і системи розгортання в цілому, випробувального стенду та ряду інших об'єктів із складною механічною частиною.

3. Виконано дослідження процесу розгортання СБ різних схем і визначені показники його якості: час процесу, моменти і потужності двигунів, рівномірність розгортання багатоланкової конструкції. Оцінено вплив основних параметрів системи (характеристик двигунів і тормозних пристроїв, опору на осях шарнірів, закону керування) на якість розгортання.

4. Сформульовані і розв'язані задачі параметричної оптимізації механічних і електромеханічних приводів розгортання



ваних конструкцій. Розроблена бібліотека цільових функцій і рекомендації по їх застосуванню.

Практична цінність роботи. Розроблена методика представлення просторових механічних систем дає можливість вести дослідження та проектування СБ та ряду інших об'єктів середовищі сучасних високоефективних САД і САПР. Це означає, що окрім традиційних операцій аналізу в часовій та частотній областях і малоефективного методу "спроб та помилок" стало можливим виконувати весь комплекс операцій дослідження і проектування, таких як спектральний аналіз, аналіз чутливості, найгіршого випадку, статистичний аналіз, параметрична оптимізація, розрахунок оптимальних допусків на параметри та інші. Це суттєво підвищує якість проекту і об'єкта.

Системний підхід до розробки методів розрахунку, моделювання та оптимізації просторових механічних систем дозволив реалізувати їх як окремий модуль САД для проектування просторових механічних систем. Завдяки прийнятій формі представлення об'єкта і способу систематизації даних в складі САД може працювати безпосередньо проектувальник, що суттєво підвищує ефективність процесу проектування.

Реалізація та впровадження роботи. В процесі роботи проведено донаповнення системи ALLTED функціональними залежностями і моделями компонент, що використовуються при моделюванні просторових механічних систем, опрацьовані практичні рекомендації з побудови моделей і налаштування чисельних методів дослідження. Спосіб представлення, математичні моделі, цільові функції пройшли докладну перевірку на різноманітних об'єктах і доведені до рівня промислової експлуатації.

Розроблені в дисертаційній роботі математичні моделі і методи дослідження багатомасових механічних систем, а також режимів розгортання СБ і випробувального стенду використані при виконанні ряду науково - дослідних робіт на АНТК "Антонов" та в МНДІ ІМ "Ритм" в період з 1990 по 1996 рік.

Апробація роботи і публікації. Основні результати і положення дисертації доповідались і обговорювались на науково-технічних семінарах НДІ ПМ "РИТМ" КПІ, 1990-1994 рр., на Всесоюзних Гагарінських читаннях, м.Москва, 1989 р., на VIII науково - технічній конференції СКБ ім. С.А.Лавочкина, м.Москва, 1990 р., на III і IV Корольовських читаннях, м.Київ, 1992, 1993 рр. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковані статті(2), тези докладів (4).

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти глав, заключення, списку використаної літератури. Робота викладена на 148 сторінках машинописного тексту, ілюстрована 78 рисунками і 6 таблицями. Список літератури включає 86 найменувань.

У вступі обґрунтована актуальність розглядуваної теми, поставлена піль і визначені задачі роботи.

В першій главі наведена загальна характеристика об'єктів дослідження, обґрунтована доцільність їх дослідження в складі САД, визначений набір операцій дослідження та проектування. На підставі проведеного аналізу способів представлення об'єктів дослідження в сучасних САД і алгоритмів автоматизованого формування їх математичних моделей обрано форму представлення СБ для САД - еквівалентна схема або схема заміщення.

В другій главі розроблений спосіб представлення багатовимірних механічних систем у вигляді еквівалентної схеми. Розроблені і представлені в потрібній формі математичні моделі основних елементів багатовимірних механічних систем: абсолютно твердих і деформованих тіл, шарнірів.

В третій главі побудовані математичні моделі об'єктів дослідження - розгортуваних СБ різних конструктивних схем, приводів розгортання, фіксуючих механізмів, пристроїв зневажування. Моделі представлені у вигляді еквівалентних схем і в традиційній формі систем алгебро - диференціальних рівнянь.

В четвертій главі представлені результати дослідження процесу розгортання СБ і визначені показники його якості в

залежності від типу застосованого двигуна та режиму розгортання. Визначені граничні значення параметрів пристроїв зневажування, за яких рівень збурень на СБ з боку випробувального стенду не перевищує допустимого.

З метою розширення сфери застосування розробленого методу представлення багатовимірних механічних систем проведено його апробація на об'єктах різного призначення.

В *п'ятій главі* представлені результати параметричної оптимізації систем розгортання СБ. Побудована бібліотека цільових функцій для оптимізації систем, що працюють за замкнутою схемою та замкнених систем з активним керуванням. Визначені оптимальні параметри торсіонного приводу розгортання СБ і системи керування пристроями зневажування.

Основний зміст роботи

Розгортана СБ розглядається як складний комплекс, основним компонентом якого є механічна система шарнірно зв'язаних твердих тіл (рис. 1, а). Остання включає панелі 1, 2, 3, ..., зв'язані циліндричними шарнірами A_1, A_2, A_3, \dots . Разом із механічною системою в склад комплексу входять пружинні або електромеханічні приводи розгортання, гальмові пристрої, механізми обмеження руху і фіксації панелей, засоби вимірювання параметрів руху і керування процесом розгортання.

Багатокомпонентні комплекси на основі складної механічної системи розглядаються також при дослідженні робототехнічних систем, будівельних і шляхових машин гіроскопічних систем, тощо. В загальному випадку вони можуть включати електричні, гідравлічні, пневматичні приводи, аналогові та цифрові електронні пристрої. Їх дослідження в середовищі САД дає можливість зручно і ефективно виконувати повний комплекс операцій аналізу і проектування.

Разом із тим, більшість сучасних САД дозволяють описувати лише одновимірні механічні системи (виключаючи спеціалізовані системи для дослідження суто механічних об'єктів). В реферованій роботі розроблено спосіб представлення багатовимірних механічних систем в одній з найбільш перспективних

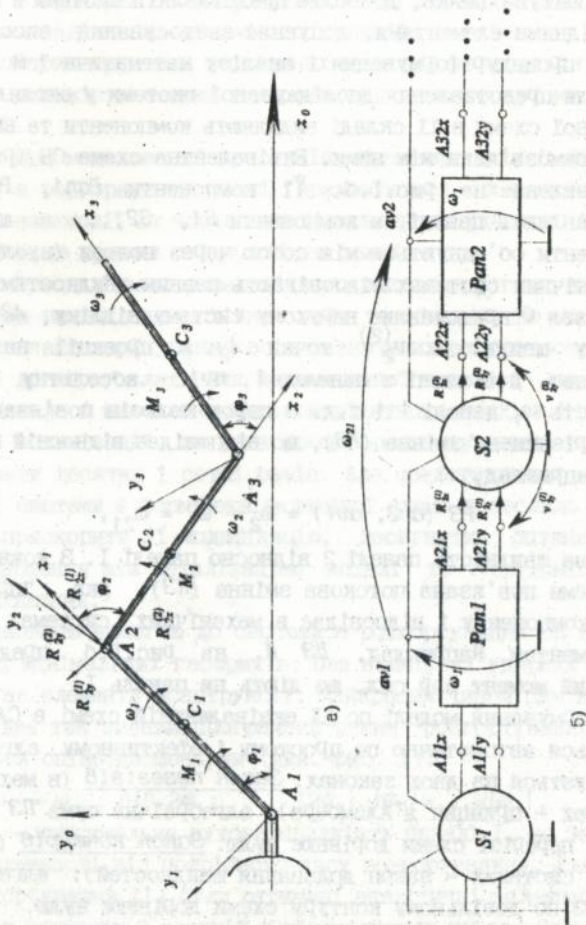


Рис.1. Розгортувана СБ та її еквівалентна схема

γ_2

для сучасних САД форм - формі механічного кола або схеми заміщення (еквівалентної схеми). Таке представлення зручне для проєктувальника, дозволяє представляти системи з фізично різнорідними елементами, допускає застосування високоефективних процедур формування і аналізу математичної моделі.

Для представлення досліджуваної системи у вигляді еквівалентної схеми в її складі виділяють компоненти та визначають взаємозв'язки між ними. Еквівалентна схема СБ (рис.І,а) представлена на рис.І,б. Її компоненти $Par1, Par2, \dots$ представляють панелі, а компоненти $S1, S2, \dots$ - шарніри. Компоненти об'єднуються між собою через полюси (вузли), які в механічних системах відповідають певним швидкостям: базовий вузол O представляє нерухома систему відліку, $A21$ - абсолютну швидкість $v_2^{(2)}$ точки A_2 в проєкції на осі координат, пов'язані з панеллю 1, $av1$ - абсолютну кутову швидкість ω_1 панелі 1 і т.д. З паров полюсів пов'язана так звана різницева змінна ($P3$), що відповідає відносній швидкості. Наприклад,

$$P3(av2, av1) = \omega_2 - \omega_1 = \omega_{21},$$

- кутова швидкість панелі 2 відносно панелі 1. З кожною гілкою схеми пов'язана потокова змінна ($P3$), яка "протікає" через компоненту і відповідає в механічних системах силам або моментам. Наприклад, $P3 M_1$ на рис.І,б представляє сумарний момент пар сил, що діють на панель 1.

Формування моделі по її еквівалентній схемі в САД відбувається автоматично по простому і ефективному алгоритму, що базується на двох законах. Закон незезистів (в механічних системах - принцип д'Аламбера): алгебраїчна сума $P3$ в довільному перерізі схеми дорівнює нулю. Закон контурів (в механічних системах - закон додавання швидкостей): алгебраїчна сума $P3$ по довільному контуру схеми дорівнює нулю.

Відзначимо особливості прийнятої математичної моделі розгорнутої СБ.

І. Панелі СБ розглядаються як абсолютно тверді тіла або тіла, що пружно деформуються. В останньому випадку вводяться функції апроксимації форми деформованої панелі (типу функцій

Гальоркіна), що розглядаються як додаткові ступені вільності системи.

2. В шарнірах СБ враховані моменти тертя, що пропорційні до сил радіальних динамічних реакцій.

3. Характеристики торсійних приводів вважаються лінійними із наявністю залишкового моменту в розгорнутому положенні СБ.

4. При моделюванні пристроїв обмеження руху і фіксації панелей в розгорнутому стані враховуються характеристики ударної взаємодії із частковим відновленням ударного імпульсу, люфти та пружня податливість замків.

5. В моделі електромеханічного привода розгортання СБ врахована наявність постійних часу та обмежень по моменту.

Однчасне врахування всіх зазначених особливостей призвело б до переускладнення математичної моделі і практично унеможливило б виконання багатоваріантного аналізу і параметричної оптимізації, за яких процес розгортання потрібно моделювати десятки і сотні разів. Але представлення досліджуваної системи в формі еквівалентної схеми дозволило спростити і прискорити її модифікацію, досягнути оптимального співвідношення між деталізацією моделі та трудомісткістю її дослідження.

Основною вимогою до системи є розгортання СБ в робочій зоні мінімальних габаритів, без надмірних ударних навантажень на елементи конструкції. Найкращим чином цим вимогам відповідає так званий програмний режим розгортання, що задається співвідношеннями (див. рис. 1):

$$\omega_1 = \omega_{\max} \sin 2\varphi_1; \quad |2\varphi_1| = |\varphi_2| = \dots = |\varphi_n|, \quad (1)$$

де ω_{\max} - максимальна кутова швидкість панелі I, що задається в залежності від потрібного часу розгортання. Для режиму розгортання (1) були отримані аналітичні залежності для моментів приводів і реакцій в кінематичних парах. Наприклад, для СБ, представленої для рис. 1, залежності для моментів M_1 приводів розгортання мають вигляд

для парних шарнірів:

$$M_{Ai}(R_i) = \varepsilon L [e_{in}^{\wedge}(t-1)f_{in}^{\wedge} - (e_{in} - (t-1)f_{in}) \cos 2\varphi] + \\ + \omega^2 L [e_{in} - (t-1)f_{in}] \sin 2\varphi;$$

для непарних:

$$M_{Ai}(R_i) = \varepsilon L (t-1)f_{in} (1 + \cos 2\varphi) - \\ + \omega^2 L (t-1)f_{in} \sin 2\varphi;$$

де e_{in} , f_{in} - константи, що залежать від n та t . Знайдені залежності можуть бути використані для перевірки достовірності і точності результатів чисельного моделювання, але їх безпосередня реалізація в системі розгортання вимагала б надмірно складної системи керування.

Показано, що розгортання великогабаритних СБ торсіонами без застосування гальмових пристроїв приводить до надмірних ударних навантажень на упорах в кінці розгортання. Для їх зниження можуть бути використані гальмові пристрої електродинамічного типу.

Для забезпечення розгортання СБ в робочій зоні мінімальних габаритів слід знайти оптимальне співвідношення між жорсткостями окремих торсіонів. Це і становить предмет оптимізаційної задачі.

Узгодженість процесу розгортання може бути оцінена наступною цільовою функцією

$$F(x) = \int_0^T \sum_{i=1}^n \alpha_i (\varphi_i(t) - \varphi_i^*(t))^2 dt,$$

де x - вектор параметрів системи, що варіюються; T - програмний час розгортання; $\varphi(t)$, $\varphi^*(t)$ - відповідно фактичне і програмне значення кута в шарнірі i ; α_i - вагові коефіцієнти. За параметри, що варіюються в даній задачі були взяті жорсткості торсіонів в шарнірах A_1 , A_2 , A_3 . Параметричні обмеження на діапазони їх варіювання обумовлені місцями елементів конструкції (зверху) і надійною компенсацією люфтів в замкових пристроях розгорнутої СБ (знизу). Встановлено також функціональне обмеження на час розгортання.

Для мінімізації цільової функції використовувався метод змінного порядку, що є розвитком квазіньютонівського алго-

ритму з апроксимаційною формулою Боудена - Флетчера - Гольд-фарба - Шанно. Розв'язок задачі був отриманий за 67 оцінок цільової функції, яку було зменшено з 16.03 при початкових значеннях параметрів до 6.39 в точці оптимуму.

На рис. 2 показано декілька положень системи під час розгорткування при початкових значеннях жорсткостей (суцільні лінії) і оптимальних (штрихові лінії). Як бачимо, в початковій ситуації робоча зона розгорткування майже на 30% перевищує теоретично оптимальну - відхилення шарніру A_3 на 18-й секунді досягає 1.3 м. При оптимальних значеннях жорсткостей це відхилення значно зменшується, не перевищуючи в максимумі 0.54 м, тобто ширина робочої зони перевищує теоретично оптимальну не більш як на 10%. Таким чином, розв'язок оптимізаційної задачі дозволив суттєво підвищити узгодженість розгорткування СБ торсіонами.

При випробуваннях систем розгорткування СБ в наземних умовах виникає проблема компенсації ваги панелей - так звана проблема обезважування. З цією метою проектується спеціальні випробувальні стенди. Для СБ розгляданого типу найбільш прийнятним є стенд з вертикальним розташуванням шарнірних осей і зневажуванням за допомогою довгих тросів, що кріпляться до панелей. Верхні кінці ниток під час розгорткування СБ переміщуються на рухомих каретках електроприводом. Параметри закону керування приводом повинні бути оптимізовані з метою мінімізації динамічного впливу пристроїв зневажування на СБ під час розгорткування.

Для оцінки якості системи керування по перехідній характеристикі використовувались 3 цільових функції:

$$F(x) = \int_0^T \left\{ [x_k(t) - x_{k \text{ уст}}]^2 + \tau_1^2 \left(\frac{dx_k}{dt} \right)^2 \right\} dt; \quad (2)$$

$$F(x) = \int_0^T |x_k(t) - x_{k \text{ уст}}| t dt; \quad (3)$$

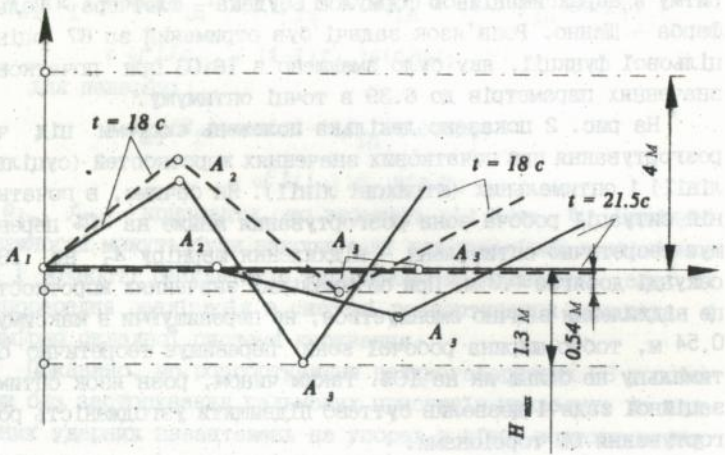


Рис. 2. Кінематограми розгортання СБ

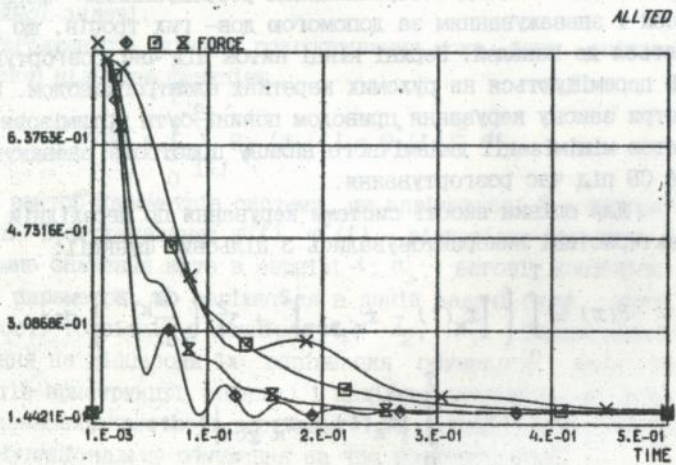


Рис. 3. Силеве збурення панелі системою зносажування

$$F(x) = \int_0^T \left[x_k(t) - x_{ап}(t) \right]^2 dt, \quad (4)$$

де $x_k(t)$ - закон руху каретки; $x_{куст}$ - усталене значення її переміщення; $x_{ап}(t)$ - перехідна характеристика аперіодичної ланки; τ_1 - бажана стала часу.

На рис. 3 представлені перехідні характеристики системи при початкових значеннях параметрів (крива 1); для систем оптимізованих по трьом критеріям (криві 2,3,4 відповідно). Знайдені оптимальні параметри характер перехідного процесу суттєво різняться в усіх трьох випадках. З урахуванням специфічних вимог до досліджуваної системи, за остаточної були прийняті параметри системи, що відповідають оптимуму по критерію (4). Це дозволило досягти компромісу між коливальністю і швидкодієністю.

Висновки

1. В результаті виконання роботи розроблений спосіб представлення математичних моделей багатовимірних механічних систем у вигляді еквівалентної схеми для САД і САПР, що дозволяє оперативно і в наочній формі будувати математичні моделі, гнучко змінювати ступінь ідеалізації і враховувати індивідуальні особливості об'єктів дослідження. Розроблені бібліотеки моделей пройшли досліду перевірку на різноманітних об'єктах і доведені до рівня промислової експлуатації.

2. Використовуючи розроблений спосіб і базові компоненти, побудовано математичні моделі різних типів розгортуваних СБ і стенду для їх випробування. Виконане комплексне дослідження систем розгортання СБ в САД ALLTED, основні результати якого формулюються в наступних положеннях.

3. Для СБ, розгортуваних у програмному режимі, знайдено аналітичні залежності для моментів двигунів і реакцій в кінематичних парах. Побудована програма, що забезпечує безударне розгортання СБ за заданий час.

4. Для СБ, що розгортаються торсіонами, визначені закони зміни кутових швидкостей панелей і оцінені величини удар-

них імпульсів при постановці на упори. Указано на необхідність використання замків для фіксації панелей на упорах і гальмуючих пристроїв для зменшення ударних навантажень.

5. Для складних багатоланкових СБ поставлено і розв'язано задачу параметричної оптимізації характеристик торсіонів по критерію мінімальної робочої зони. Побудовані цільові функції, визначені параметричні та функціональні обмеження.

6. Показано, що ефективним засобом зниження ударних навантажень при розгортванні СБ торсіонами є застосування гальмових пристроїв електродинамічного типу. Розгортвання може виконуватись із постійно ввімкненим гальмом, а значення коефіцієнта гальмування дається розв'язком оптимізаційної задачі.

7. В процесі дослідження стенда для випробування систем розгортання СБ визначені вимоги до точності монтажу СБ на стенді і граничні значення параметрів пасивних пристроїв зневажування, що забезпечують припустимий рівень додаткових навантажень на елементи СБ.

8. Для системи керування переміщенням кареток випробувального стенду визначена структура регулятора і розв'язана задача його параметричної оптимізації. Для вибору констант настроювання регулятора можуть бути використані цільові функції трьох типів.

Побудова математичних моделей систем розгортання СБ дозволила підвищити якість проектування і зменшити об'єм натурних випробувань шляхом попереднього аналізу динамічних характеристик і розрахунку оптимальних параметрів системи. Рекомендації по параметрам приводів і режимам їх функціонування використовуються підприємством - виробником СБ при проектуванні перспективних виробів.

Публікації по темі роботи. Основні положення дисертації опубліковані в таких роботах:

І. Маросин О.П., Чкалов А.В. Исследование динамики развертывания многосвязной конструкции космического аппарата в составе САПР // Дён. в ГНТБ України N1682-УК93, 9.03.1993.

2. Чкалов А.В. Математическая модель упругой разворачиваемой конструкции // Деп. в ГНТБ Украины N1683-УК93, 9.08.1993.

3. Чкалов А.В. О моделировании динамики разворачивания упругих панелей космического аппарата // Тез.докл. XII Всесоюзных Гагаринских чтений.- М.:МАТИ.- 1989.

4. Маросин О.П., Телепнев П.И., Хохлов И.М., Чкалов А.В. Представление упругих характеристик солнечных панелей разворачиваемого КЛА // Тез.докл. VIII научно - технической конференции СКБ им. С.А.Лавочкина.- М.:МАИ.- 1991.

5. Маросин О.П., Чкалов А.В. Пакет прикладных программ для исследования динамики многозвенных разворачиваемых конструкций // Тез.докл. III Королевских чтений.- Киев; КПИ.1992.

6. Чкалов О.В. Стенд для зневажування конструкцій космічних апаратів, що розгортаються // Тези доп. конф. молодих вчених до 100-річчя ММФ КПІ.- К.:КПІ, 1996.

Особистий внесок автора. В роботах, що опубліковані у співавторстві, пошукачеві належать: вибір форми математичної моделі і спосіб її представлення у вигляді еквівалентної схеми (4), розробка математичних моделей типових компонент розгортуваних конструкцій (5), дослідження процесу розгортання панелі СБ торсіонним приводом (1).



ABSTRACT

Alexey V. Tchkalov

"Computer-aided Research of Large-sized Solar Panels Deployment Systems", manuscript.

05.02.09 "Machines, Devices, and Equipment Dynamics and Strength". National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 1996.

The main principles and results are:

- method of representation of multidimensional mechanical systems in the form of equivalent circuits for Computer-aided Engendering systems;
- mathematical models of deployment system elements;
- dynamical behavior of the deployment systems;
- library of objective functions and functional constraints for deployment systems optimization;
- library of models of elements for technical devices with multidimensional mechanical subsystem.

АННОТАЦІЯ

Чкалов Алексей Валериевич

"Автоматизация исследования динамики систем развертывания крупногабаритных панелей солнечных батарей", рукопись.

05.02.09 "Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры".

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", Киев, 1996г.

Основные положения и результаты:

- способ представления многомерных механических систем для САИ в виде эквивалентной схемы;
- математические модели элементов развертываемых СБ;
- динамические закономерности процесса развертывания;
- библиотека целевых функций и функциональных ограничений для параметрической оптимизации систем развертывания;
- библиотека моделей элементов для исследования динамики технических систем со сложной механической частью;

Ключові слова: сонячна батарея, розгортання, система автоматизації дослідження, система автоматизації проектування, еквівалентна схема.

AB 35.545
AB 35.545