

Український науково-дослідний інститут  
авіаційної технології

На правах рукопису

КОБРІН ВІТАЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 629.78.002

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ  
ДЛЯ СКЛАДАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ  
ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В УМОВАХ ВІДКРИТОГО КОСМОСУ

Спеціальність 05.07.04

"Технологія виробництва літальних апаратів"

Автореферат дисертації на здобуття  
наукового ступеня доктора технічних  
наук



Київ - 1993

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00777859 (0)

Український науково-дослідний інститут  
авіаційної технології

На правах рукопису

КОБРІН ВІТАЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

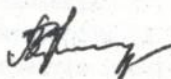
УДК 629.78.002

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ  
ДЛЯ СКЛАДАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ  
ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В УМОВАХ ВІДКРИТОГО КОСМОСУ

Спеціальність 05.07.04

"Технологія виробництва літальних апаратів"

Автореферат дисертації на здобуття  
наукового ступеня доктора технічних  
наук



Київ - 1993

Робота виконана на кафедрі виробництва літальних апаратів  
Харківського авіаційного інституту ім. М. Є Жуковського

Офіційні опоненти - академік Інженерної академії України,  
Заслужений машинобудівник України,  
доктор технічних наук, професор  
А. І. Бабушкін

доктор технічних наук, професор  
В. В. Лебедев

доктор технічних наук, професор  
В. П. Сабелькін

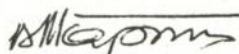
Провідна організація - НВО "Енергія" ім. акад. С. П. Корольова

Захист відбудеться "11" березня 1994 р. о 14<sup>00</sup> год.  
на засіданні спеціалізованої ради Д. 01.16.01 в Українсь-  
кому науково-дослідному інституті авіаційної технології за  
адресою: 254080, Київ-80, вул. Фрунзе, 19/21.

З дисертацій можна ознайомитися в бібліотеці Українсь-  
кого НДІАТ

Автореферат розісланий "10" лютого 1994 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради



В. А. Таратін

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

Актуальність проблеми. Значно розширити можливості освоєння та народногосподарського використання космічного простору дозволять складально-монтажні та ремонтно-відновні роботи, що виконуються безпосередньо операторами у відкритому космосі. Для забезпечення цих видів робіт необхідна розвинена і технічно забезпечена система профілактики, ремонту, здійснення безпосередньо складальних та монтажних робіт, яка обов'язково повинна включати в себе технологічні прийоми і обладнання для виконання різних складальних та розділових операцій.

В цей час на орбіті функціонує науково-дослідний комплекс "Мир", що має в своєму складі різні блоки, які по черзі виводяться на орбіту ракетами-носіями. Розвиток комплексу поставив вимогу до його дооснащення додатковими сонячними батареями, виносних рушійних установок, вантажних стрілов та ін. В процесі дооснащення у відкритому космосі був виконаний великий обсяг складально-монтажних та демонтажних робіт, що вимагають від космонавтів навичок маніпулювання складальними компонентами (малогобаритними, великогобаритними, довгомірними), роботи з механізованими та ручними інструментами при обмеженнях у руках, накладуваних скафандром. Тому задачі реалізації складальних робіт в умовах відкритого космосу, що включають в себе визначення можливості здійснення складання, створення технологічних процесів та знаходження раціональних параметрів, оснащення складальних процесів технологічним обладнанням на сучасному рівні розвитку практичної космонавтики є актуальними.

Виконання складально-монтажних робіт у відкритому космосі у повному обсязі неможливо без визначення операцій різання, які доповнюють операції складання при дооснащенні, складанні та монтажу великогобаритних конструкцій. На цей час відсутні засоби для автономного виконання операцій різання в умовах відкритого космосу, технологічні процеси та методики їх здійснення.

Технічну необхідність створення пристроїв і технологічних процесів для різання конструктивних елементів космічних літальних апаратів (КЛА) в умовах відкритого космосу визначив досвід експлуатації довгочасної орбітальної станції (ДОС) "Салют-7" (ремонтно-відновні роботи об'єднаної рушійної установки). Практична необхідність різання підтверджена в процесі натурних випробувань

ДОС "Салют-6" при відокремленні космічного радіотелескопа КРТ-10.

Операції різання в умовах польоту необхідно механізувати шляхом вастосування електричних, гідромеханічних, високошвидкісних та інших автономних приводів, пов'язаних із багатофункціональними технологічними блоками. Специфіка виконання робіт у відкритому космосі потребує вивчення всієї гами можливих технологічних прийомів різання для вибору найбільш оптимальної комбінації або варіанта.

Вказане вище визначає актуальність комплексного вирішення проблеми розробки, дослідження та апробації технологій і обладнання для здійснення складання конструктивних елементів КЛА в умовах космічного польоту, що містить у своєму складі процеси різання.

Метою дисертаційної роботи являються теоретико-експериментальні дослідження та практична реалізація технологічних процесів і обладнання для складання конструктивних елементів літальних апаратів в умовах відкритого космосу.

Наукова новизна роботи:

- вперше реалізований комплексний структурно-технологічний підхід до вивчення проблеми здійснення операцій складання та різання конструктивних елементів КЛА космонавтами в умовах відкритого космосу;

- розроблені комплексна математична модель і метод визначення технологічних реакцій в асособах фіксації космонавтів при складанні та різанні в умовах герметичних відсіків КЛА і відкритого космосу, що реалізує цю модель;

- розроблена методика знаходження раціональної схеми фіксації космонавта-оператора при складанні та різанні конструктивних елементів в використанні пристроїв із статичними та високошвидкісними енергоприводами;

- запропонована математична модель і встановлені закономірності здійснення складальних процесів в умовах невагомості; визначена методика оптимізації параметрів приведення складального компонента у вихідне положення для суміщення по часу та по енергії;

- запропонована математична модель, встановлені закономірності та визначені кінематичні та енергосилові параметри складального процесу, здійснюваного в модельованих умовах;

- запропоновані науково обгрунтовані критерії доцільності та ефективності створення або вибору із наявного інструментального набору обладнання для рівання, здійснюваного у відкритому космосі;

- запропонований метод визначення параметрів високошвидкісних пристроїв, що забезпечують виконання технологічних операцій без створення дестабілювучої дії на конструктивні елементи, що розділяються;

- визначені базові технологічні процеси складання та рівання конструктивних елементів КЛА автономними механізованими пристроями при виконанні штатних операцій складання, технічного обслуговування та аварійно-рятувальних робіт в умовах відкритого космосу.

Практична цінність одержаних результатів полягає в розробці:

- науково обгрунтованих рекомендацій по здійсненню складання та рівання при штатних та аварійно-рятувальних роботах в умовах відкритого космосу;

- раціональних схем фіксації оператора при складанні та ріванні в умовах космічного польоту;

- комплексу автономних малогабаритних пристроїв для рівання конструктивних елементів літальних апаратів в умовах відкритого космосу та експериментального визначення технологічних можливостей цього обладнання при роботі з ним космонавта-оператора в скафандрі;

- комплексу технологічних конструкцій обслуговування (ТКО) для відпрацювання складальних процесів в модельованих умовах;

- комплексу науково-дослідних засобів для визначення параметрів складальних та розділових процесів в модельованих умовах.

Результати дисертації впроваджені в НВО "Енергія" ім. акад. С. П. Корольова, Головному технічному управлінні МСП, організації п/с А-1668, а також у навчальному процесі відділення підготовки космонавтів НВО "Енергія" ім. акад. С. П. Корольова, ІПК ім. Д. А. Гагаріна, МАІ ім. С. Орджонікідзе, ХАІ ім. М. С. Жуковського, САКУ ім. С. П. Корольова.

Апробація роботи. Дисертаційна робота та її розділи були докладені та обговорені на науково-технічних конференціях та семінарах: Всесоюзній конференції по імпульсних методах обробки матеріалів (м. Мінськ, 1978); Всесоюзній науково-технічній конферен-

ції по використанню імпульсних джерел енергії в промисловості (м. Харків, 1980); читаннях, присвячених розробці наукової спадщини та розвитку ідей К.Е.Ціолковського (м.Калуга, 1987, 1990.); Гагарінських наукових читаннях по космонавтиці та авіації (м. Москва, 1983, 1984, 1988); П'ятій всесоюзній Четаавській конференції (м. Казань, 1987); Всесоюзній науково-технічній конференції по великогабаритних космічних конструкціях (м.Севастополь, 1990); науково-технічних семінарах кафедри №06 МАІ ім.С.Орджонікідзе (м.Москва, 1982, 1988, 1989); науково-технічному семінарі ІПМ АН СРСР (м.Москва, 1982); науково-технічному семінарі кафедри ВЛА МАТІ ім.К.Е.Ціолковського (м.Москва, 1983); науково-технічних нарадах НВО "Енергія" ім. акад. С.П.Корольова (м.Калінінград Моск.обл., 1983-1993); науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та аспірантів ХАІ ім.М.Є.Жуковського (м.Харків, 1976-1993).

Публікації. По матеріалах дисертації опубліковано 136 наукових праць, з них 35 статей, 78 авторських свідоцтв, 19 науково-технічних звітів, 4 навчальних посібники, одне з яких має гриф ДКНО СРСР.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, 5-ти розділів з 22 таблицями та 110 рисунками в тексті, загальних висновків та рекомендацій, списку літератури, що містить в собі 150 найменувань, та додатка з актами впровадження і практичного використання результатів, всього 268 сторінок.

#### ЗМІСТ РОБОТИ

В першій главі визначені потреби практичної космонавтики в технологічних процесах та обладнанні для складання та ривання конструктивних елементів літальних апаратів в умовах відкритого космосу.

Аналіз виконаних у відкритому космосі робіт показав, що людина, споряджена у скафандр, може здійснювати складальні, монтажні-демонтажні операції, обслуговування та ремонт систем, підготовку до повернення КЛА на Землю, транспортування вантажів, збирання осколків, фрагментів КЛА та ін. Всі ці види робіт класифіковані по трьох великих групах: складально-монтажні, ремонтно-відновні та аварійно-рятувальні.

Аналіз робіт, виконаних на орбітальному комплексі "Мир", ДОС

"Салют-6" і "Салют-7", американських космічних станціях "Skylab", "Spacelab", багаторазовій транспортній космічній системі "Space Shuttle", показав, що практично при кожному виході людини у відкритий космос ставилися науково-технічні задачі, які потребують для свого розв'язання певних засобів технологічного забезпечення. При цьому основним змістом робіт є транспортні, складальні, монтажні-демонтажні та розділові технологічні операції. Тобто, маючи можливість здійснити ці чотири операції, можна практично виконати будь-який вид робіт в умовах відкритого космосу. Всі вони входять до одного з напрямків космічної технології - технологічної діяльності космонавта (ТДК).

Цей напрямок став інтенсивно розвиватися завдяки працям з визначення функціональних можливостей космонавта, спорядженого в скафандр, виконаним Г. І. Севериним, В. І. Свершеком, І. П. Абрамовим, О. Ю. Стоклицьким. Комплексний підхід до дослідження технологічної діяльності космонавта, що включає в себе дослідження системи "людина-скафандр-інструмент", створення засобів технологічного забезпечення робіт та вирішення питань практичної реалізації ТДК, здійснений в працях О. С. Циганкова.

Дослідженням складальних робіт при виробництві ЛА присвячено багато публікацій, виконаних авторами В. П. Григор'євим, В. І. Єршовим, В. В. Павловим, П. М. Беляніним, А. І. Бабушкіним та ін. Однак, як показують дослідження, перенести земний досвід складання ЛА в умови відкритого космосу без суттєвих змін та доробок практично неможливо. Вивченню окремих напрямків складання в космосі присвячені праці В. Ф. Мартюшова, В. Г. Берегового, О. Г. Чернявського, В. С. Сиром'ятникова та ін. Дослідження динаміки складальних процесів стало можливим завдяки підходам, реалізованим у працях В. Т. Тараненка, В. Г. Момджи.

Питання моделювання космічних умов та дослідження окремих технологічних процесів і пристроїв висвітлені в працях М. І. Кюєва, В. І. Патрушева, В. Ф. Лапчинського, О. О. Загребельного, М. І. Сітаса. Загальні закономірності виконання робіт у космосі досліджувалися в працях І. Т. Белякова, О. П. Александрова, В. В. Лебедева, В. Д. Гречки.

Велика кількість праць присвячена здійсненню розділових технологічних процесів у земних умовах. Розроблення високошвидкісних пристроїв для різання в космосі стало можливим

завдяки розвитку наукового напрямку імпульсних технологій, висвітленого в працях В.Г. Кононенка, В.К. Борисевича, В.П. Сабелькіна, Є.І. Ісаченкова та інших учених. Відпрацювання окремих пристроїв для роботи у відкритому космосі присвячені праці С.В. Шекочихіна, О.Ю. Данилова.

З огляду літератури впливають доцільність та необхідність розв'язання проблеми забезпечення технологічних процесів і обладнання для складання і ривання конструктивних елементів у відкритому космосі з урахуванням накопиченого досвіду розробки, виготовлення та реалізації аналогічних процесів і обладнання, а також рівня розвитку галузей знань, що займаються окремими питаннями ТДК. Визначено коло задач, що підлягають розв'язанню у цій роботі (рис. 2.1), при цьому реалізується системний підхід до вирішення наведеної вище проблеми.

У другій главі досліджені загальні закономірності здійснення технологічних робіт в умовах відкритого космосу.

В результаті розглядання реалізації робіт (складальних, ривання) в умовах відкритого космосу визначено, що основними параметрами, що характеризують можливість їх здійснення оператором у скафандрі, будуть (рис. 2.2.): зусилля та моменти (технологічні реакції), що діють на руки космонавта при тій чи іншій операції; робоча поза, яка визначає варіанти передачі зусиль на засоби фіксації і можливість здійснення робіт; режим фіксації, а також вибрані в залежності від технологічних реакцій, робочої пози та режиму засоби фіксації. Приймаючи задачі, пов'язані з конструкцією захисного спорядження, психофізичним станом екіпажу, вирішеними, робиться висновок про можливість створення технологічних процесів при наявності знань про величину та напрямки технологічних реакцій, режим фіксації та робочу позу.

Розглянуті варіанти розробки технологічних процесів при виконанні робіт:

- в робочій зоні дистанційного маніпулятора, коли робоча площадка монтується на кінцевому ланцюгу маніпулятора;
- у випадку, коли потрібен монтаж робочої площадки на не призначеному для цього елементі КЛА;
- у віддаленні від жилих відсіків, коли робоча площадка не монтується (аварійно-рятувальні роботи).

При теоретичному дослідженні ривання та складання конструк-

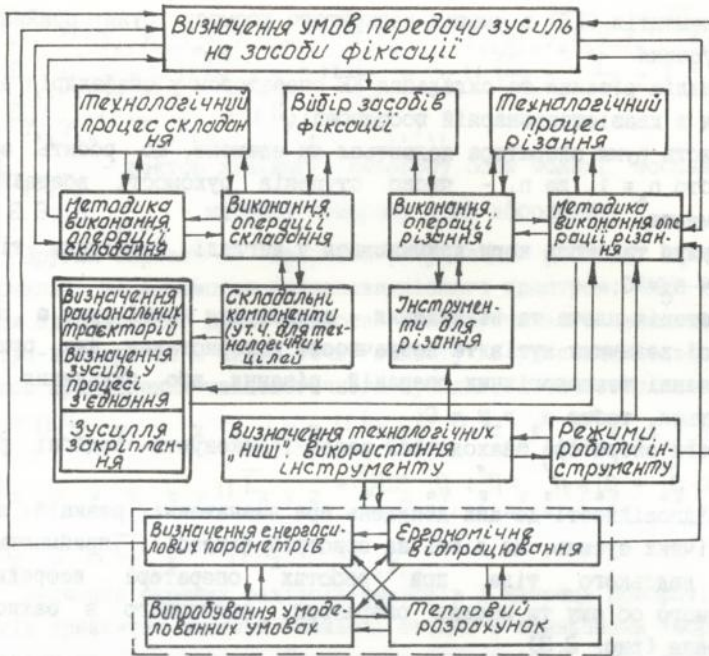


Рис. 2.1

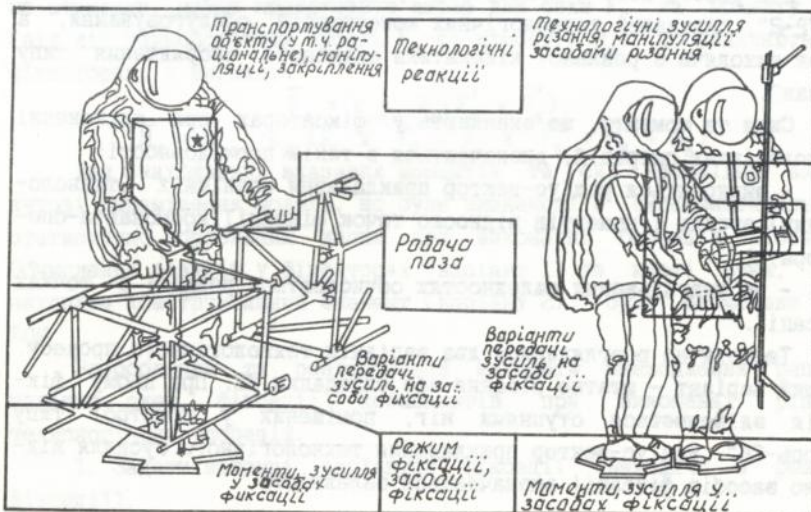


Рис. 2.2

тивних елементів (КЕ) в умовах відкритого космосу були прийняті такі допущення:

- аналіз різання та складання КЕ оператором у скафандрі виконується в квазістаціонарній постановці;

- кисть руки оператора подається як елемент, що робить захват, тобто  $n_K = 1$ , де  $n_i$  - число ступенів рухомості всередині  $i$ -го елемента;

- тулуб та стопа ноги приймаються у вигляді незмінних тіл, тобто  $n_T = n_C = 0$ ;

- ротація плеча та відведення - приведення кисті руки в огляду малої величини кутів та неєдності використання цих рухів при виконанні технологічних операцій різання або складання не враховуються, тобто  $\alpha_2 = \gamma_1 = 0$ ;

- ноги оператора знаходяться разом і виконують подібні рухи, тобто  $\beta'_4 = \beta''_4$ ;  $\beta'_5 = \beta''_5$ ;  $\beta'_6 = \beta''_6$ .

У відповідності до цих допущень при визначенні реакцій від технологічних зусиль, що діють на пристрій фіксації, приймається модель людського тіла при роботах оператора всередині герметичного об'єму та модель оператора, одягненого в захисне спорядження (рис. 2.3).

Ступені рухомості визначені в аналізі рухів кінцівок оператора при роботі його в пристроях розділення типу "АМУР-1" та "АМУР-2", складанні технологічних конструкцій обслуговування, а також виходячи з реальної кінематики захисного спорядження типу "Орлан".

Сили та моменти, що виникають у фіксаторах при здійсненні технологічних операцій, визначаються в такій послідовності:

- знаходиться радіус-вектор прикладання зовнішніх (технологічних) зусиль і моментів відносно точок фіксації космонавта-оператора;

- по узагальнених залежностях обчислюються реакції в точках фіксації.

Теоретично розглядалися два варіанти технологічного процесу. Перший варіант - штатне різання або складання КЕ. При цьому фіксація здійснюється ступнями ніг, поміщених у пристрої типу "Якорь-СК". Радіус-вектор прикладання технологічного зусилля відносно засобів фіксації визначається залежністю

$$\begin{aligned} \bar{R}_{11} = & \Pi_{y_{11}y_{10}y_0x_0y_7y_6z_4} \Pi \bar{L}_{x_3y_3} + \Pi_{y_{11}y_{10}y_0x_0y_7y_6} \Pi \bar{L}_{x_3z_3} + \\ & + \Pi_{y_{11}y_{10}y_0x_0y_7} \Pi \bar{L}_{x_6y_6z_6} + \Pi_{y_{11}y_{10}y_0} \Pi \{ \bar{L}_{y_6z_6} + \bar{L}_{x_6z_6} \} + \\ & + \Pi_{y_{11}y_{10}} \Pi \bar{L}_{x_{10}z_{10}} + \Pi_{y_{11}} \Pi \bar{L}_{x_{11}y_{11}} \end{aligned} \quad (2.1)$$

де  $\bar{L}_{x_1y_1z_1}$  - вектор лінійного переносу осей моделі, зображеної на рис. 2.3;  $\Pi_{x_1y_1z_1}$  - матриця повороту осей координат.

Другий варіант - аварійно-рятувальні роботи, виконувані, наприклад, за допомогою високошвидкісного пристрою "АМУР-2". Фіксація здійснюється руком відносно конструктивного елемента КЛА. Радіус-вектор, що з'єднує точку захвату КЕ рукавицею скафандра в точках прикладення технологічного зусилля, визначається залежністю

$$\begin{aligned} \bar{R}_{15} = & \Pi_{z_{15}y_{14}y_{12}x_{12}x_0y_7y_6z_4} \Pi \bar{L}_{x_3y_3} + \Pi_{z_{15}y_{14}y_{12}x_{12}x_0y_7y_6} \Pi \bar{L}_{x_3y_6} + \\ & \Pi_{z_{15}y_{14}y_{12}x_{12}x_0y_7} \Pi \bar{L}_{x_6y_6z_6} + \Pi_{z_{15}y_{14}y_{12}x_{12}} \Pi \{ \bar{L}_{y_6} + \bar{L}_{x_{13}y_{13}z_{13}} \} + \\ & \Pi_{z_{15}y_{14}} \Pi \bar{L}_{x_{14}z_{14}} + \Pi_{z_{15}} \Pi \bar{L}_{x_{15}y_{15}} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Значення окремих радіусів-векторів і матриць поворотів елементів прийнятих моделей знайдені згідно з принципами теоретичної механіки та біомеханіки. Позначивши координати, кути, сили та моменти для правої руки з одним штрихом вгорі, а для лівої - з двома штрихами, можна представити вираз для сили  $\bar{F}'_K$  та моменту  $\bar{M}'_K$  (від дії технологічних зусиль  $\bar{F}_H$  та моментів  $\bar{M}_H$ ), що виникають у фіксаторах, у вигляді

$$\bar{M}'_K = k_{pac} k_M (\bar{R}'_1 \times \bar{F}'_H + \bar{R}'_1 \times \bar{F}''_H + \bar{M}'_H + \bar{M}''_H). \quad (2.3)$$

Для знаходження вказаних моментів та сил необхідно знати кутові переміщення моделі, що були визначені в експериментальних статистично оброблених даних при виконанні операцій рівання. Обчислення реакцій у фіксаторах (варіант 1) та кисті руки, яка захоплює конструктивний елемент (варіант 2), було здійснене на ЕОМ.

Розроблений та реалізований алгоритм знаходження раціональних схем фіксації космонавтів при виконанні різних технологічних операцій:

1. Задати матриці варіантів фіксації (виходячи з режиму фіксації).

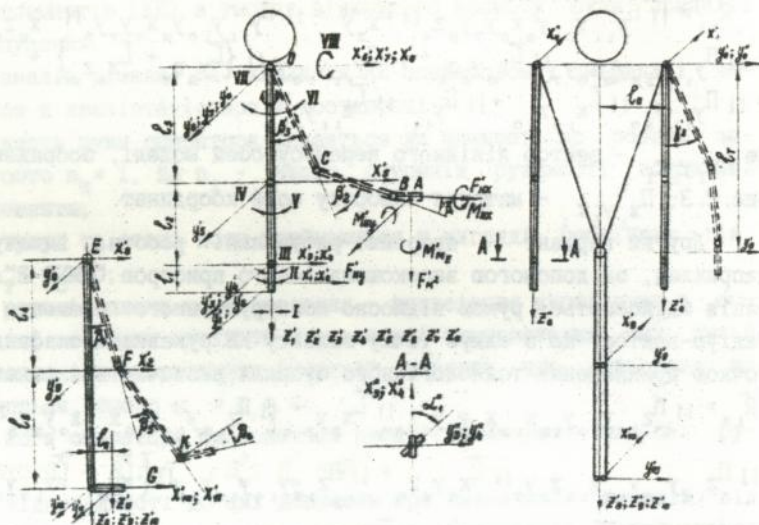


Рис. 2.3

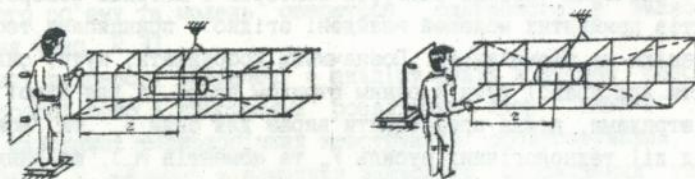


Рис. 2.4

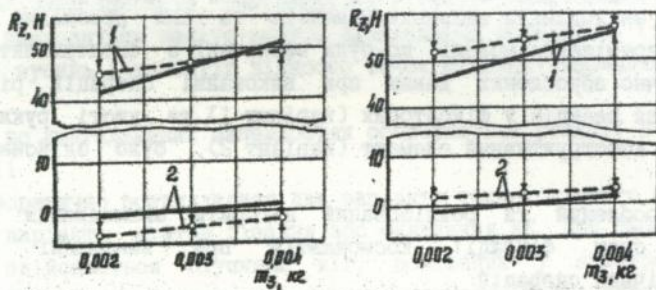


Рис. 2.5

2. Визначити матрицю коефіцієнтів передачі зусиль та моментів у засобах проміжного кріплення.

3. Задати варіанти робочих поз при виконанні технологічної операції.

4. Визначити матриці кутових переміщень рук та ніг при заданому варіанті робочої пози.

5. Визначити реакції у засобах фіксації шляхом перебору варіантів робочих поз та режимів фіксації космонавта.

6. Одержати мінімальні або задані в певних напрямках значення зусиль та моментів у засобах фіксації для розглянутих варіантів.

З метою перевірки основних припущень та визначення достовірності теоретичного розв'язання задачі знаходження реакцій у засобах фіксації були проведені експериментальні дослідження складання та рівняння конструктивних елементів КЛА. Як обладнання був використаний розроблений моделюючий експериментальний стенд, складений з двох плит, з'єднаних між собою чотирма кільцевими пружними елементами. До верхньої плити монтується пристрій або скоби для фіксації ніг оператора. В основу методу вимірювання складових головного вектора сили у трьох взаємно перпендикулярних напрямках покладена мостова схема, відхилення режиму роботи якої від рівноважного стану реєструється осцилографом або самописом.

Описана використовувана вимірювальна апаратура, приведена методика розрахунку пружних елементів, яка забезпечує оптимальні конструктивні розміри, достатню міцність та жорсткість елементів, надійність вимірювань. Перевірка правильності роботи схеми електричного підсумовування по вертикальній силі показала, що при зміні місця прикладення зосередженого навантаження в горизонтальній площині робочої зони, відхилення показань приладу лежать в межах до 1%.

За досліджувані параметри були вибрані: гойдальні переміщення рукоятки, повороти рукоятки в горизонтальній та вертикальній площинах, переміщення руки в горизонтальній та вертикальній площинах, високодинамічні процеси (рівняння пристроєм "АМУР-2"). Порівняння теоретично визначених реакцій з експериментально знайденими значеннями показало коректність теоретичних передумов та можливість застосування розроблених моделей для діапазону робочих зусиль, що найчастіше зустрічаються.

У третій главі досліджені складальні процеси для умов відкритого космосу.

Для реалізації складання в космосі велика увага повинна бути приділена як типовим задачам складального виробництва (вибору схеми базування і складання, визначенню складу технологічної оснастки, що забезпечує виготовлення деталей та складання виробів із заданим рівнем взаємозамінності та точності, виготовлення та монтажу технологічної оснастки для виробництва деталей і складання виробів), так і безпосередньому здійсненню складальних операцій у відкритому космосі. Останньому приділена основна увага в цій роботі. В результаті системного аналізу визначені компоненти, наявність яких необхідна для реалізації складання у космосі.

Розв'язання комплексу задач складання ВГКК припускає чітке уявлення про фізичну сутність цього процесу на всіх стадіях його основних та допоміжних операцій, що безпосередньо формують конструкції. При аналізі цього процесу вважали взаємоз'явані поверхні подібними, конфігурації останніх частин складальних елементів - несуттєвою.

Процес складання зводився до суміщення рівних спряжених поверхонь в заданій точці простору, яка визначається базовою системою координат. Цей процес в момент часу  $t$  характеризувався вектором стану

$$\vec{Q}(t) = [\vec{R}(t), \vec{\Phi}(t), \vec{v}(t)]^T, \quad (2.4)$$

який визначався параметрами відносного положення  $\vec{R}(t)$ , орієнтації  $\vec{\Phi}(t)$  та швидкості  $\vec{v}(t)$  їх просторового переміщення.

Рівняння руху складального компонента в процесі суміщення спряжених поверхонь в основній інерціальній системі координат визначено системою

$$\begin{aligned} v'_x &= \frac{1}{m_{x0} \lambda} [F_x \cos\psi \cos\theta + F_y (\sin\psi \sin\gamma - \sin\theta \cos\psi \cos\gamma) + \\ &+ F_z (\sin\theta \cos\psi \sin\gamma + \sin\psi \cos\gamma)]; \\ v'_y &= \frac{1}{m_{x0} \lambda} [F_x \sin\theta + F_y \cos\theta \cos\gamma - F_z \cos\theta \sin\gamma]; \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} v'_z &= \frac{1}{m_{x0} \lambda} [-F_x \cos\theta \sin\psi + F_y (\cos\psi \sin\gamma + \sin\theta \sin\psi \cos\gamma) + \\ &+ F_z (\cos\psi \cos\gamma - \sin\theta \sin\psi \sin\gamma)]; \end{aligned}$$

$$\omega'_x = \frac{1}{I_x \lambda} [m_x + F_y a/2 - F_z a/2];$$

$$\omega'_y = \frac{1}{I_y \lambda} [m_y + F_z (x-L/2) - F_x a/2 - (I_x - I_z) \omega_x \omega_z];$$

$$\omega'_z = \frac{1}{1-\lambda} [m_z + F_x a/2 - F_y (x-L/2) - (I_y - I_x) \omega_x \omega_y];$$

$$\psi' = (\sec\theta/\lambda) (\omega_y \cos\gamma - \omega_z \sin\gamma);$$

$$\theta' = (\omega_z \cos\gamma + \omega_y \sin\gamma)/\lambda;$$

$$\gamma' = [\omega_x - \operatorname{tg}\theta (\omega_y \cos\gamma - \omega_z \sin\gamma)]/\lambda;$$

$$x' = -v_x/\lambda; \quad y' = -v_y/\lambda; \quad z' = -v_z/\lambda; \quad dt/d\tau = 1/\lambda;$$

$$E' = (1/\lambda) (m_{ko} v_x v'_x + m_{ko} v_y v'_y + m_{ko} v_z v'_z + I_x \omega_x \omega'_x + I_y \omega_y \omega'_y + I_z \omega_z \omega'_z).$$

Замикання системи (2.5) здійснювалося шляхом завдання траєкторії переміщення складального компонента, тобто завдання закону руху центра мас  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$  та закону руху навколо центра мас  $\psi(t)$ ,  $\theta(t)$ ,  $\gamma(t)$ .

Задача розв'язувалась прямим варіаційним методом за методикою, представленою в роботах В.Т.Тараненка, В.Г.Момджі. Пошук раціональних траєкторій переміщення реалізований на персональній ЕОМ.

Визначені параметри руху складального компонента при складанні в модельованих умовах. Особливістю моделювання руху об'єкта у гідросередовищі являється дія сил, що визначається високою щільністю та інерційністю води. При описанні процесу складання використані поняття сумарної маси (маси космічного об'єкта), що дорівнює сумі фізичної маси підводного об'єкта та приєднаної маси води, а також сумарного моменту інерції (моменту інерції космічного об'єкта), що дорівнює сумі фізичного моменту інерції підводного об'єкта та приєднаного моменту при обертанні складального компонента навколо відповідної осі.

Рівняння руху складального компонента в гідросередовищі матимуть вигляд

$$m_{no} \dot{v}_{xo} = F_x^H + F_{xk} + YA_1 + XB_1 + ZC_1;$$

$$m_{no} \dot{v}_{yo} = F_y^H + F_{yk} + YA_2 + XB_2 + ZC_2 - G + A_p;$$

$$m_{no} \dot{v}_{zo} = F_z^H + F_{zk} + YA_3 + XB_3 + ZC_3;$$

$$I_{xno} \dot{\omega}_x = m_x^H + m_{xk} + F_y^T a/2 + F_z^T a/2 + M_{rgx} + M_x^{\omega} \omega_x; \quad (2.6)$$

$$I_{yno} \dot{\omega}_y + (I_{xno} - I_{zno}) \omega_x \omega_z = m_y^H + m_{yk} + F_x^T (x-L/2) - F_x^T a/2 + M_{rgy} + M_y^{\omega} \omega_y$$

$$I_{zno} \dot{\omega}_z + (I_{yno} - I_{xno}) \omega_x \omega_y = m_z^H + m_{zk} + F_x^T a/2 - F_x^T (x-L/2) + M_{rgz} + M_z^{\omega} \omega_z;$$

$$\psi' = (\omega_y \cos\gamma - \omega_z \sin\gamma)/\cos\theta;$$

$$\theta' = \omega_z \cos\gamma + \omega_y \sin\gamma;$$

$$\begin{aligned}\dot{\gamma} &= \omega_x \operatorname{tg} \theta (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma); \\ \dot{x}_0 &= -v_x; \quad \dot{y}_0 = -v_y; \quad \dot{z}_0 = -v_z.\end{aligned}$$

Наступним етапом після транспортування складального компонента в зону складання буде суміщення. В результаті суміщення частіше за все відбувається удар компонента об конструкцію, яку можна вважати нерухомою внаслідок незначності маси компонента у порівнянні з масою базової конструкції.

Вважаємо, що при суміщенні в точці контакту на складальний компонент діє ударний імпульс  $\bar{S}$ , направлений по загальній нормалі до тіл, що ударяються. При цьому швидкість центра мас компонента в цей момент дорівнює  $\bar{V}_1$ , а миттєва кутова швидкість —  $\bar{\omega}_1$ .

Після удару імпульс реактивної сили та компоненти швидкості центра мас і миттєвої кутової швидкості визначені як

$$\begin{aligned}S &= (A + I_{xy} \omega_{yz} + I_{xz} \omega_{zz})/a; \\ v_{xz} &= v_{yz} = 0; \quad v_{zz} = v_{z1} - S/m_{x0}; \\ \omega_{xz} &= \frac{S/m_{x0} - v_{z1} - k(v_{z1} + \omega_{x1} \Gamma_A)}{Y_A}; \\ \omega_{yz} &= \frac{Ab + Ba - \omega_{zz} (aI_{zy} + bI_{xz})}{aI_y - bI_{xy}}; \\ \omega_{zz} &= \frac{Ac + Ca + \frac{(Ab + Ba)(aI_{yz} + cI_{xy})}{aI_y - bI_{xy}}}{\frac{aI_{zy} + bI_{xz}}{-aI_y + bI_{xy}} + (aI_{yz} + cI_{xy}) + aI_z - cI_{xz}}.\end{aligned} \quad (2.7)$$

Зусилля, що виникають при закріпленні складальних компонентів, визначити однозначно з використанням математичних залежностей важко у зв'язку з великим числом можливих варіантів закріплення. На практиці ці зусилля залежать від типу використовуваних вузлів і технологій приведення цих вузлів до закритого стану. Досліджені методи з'єднань, які можуть знайти застосування при закріпленні складальних компонентів в умовах відкритого космосу.

Для перевірки вірогідності запропонованих математичних моделей були проведені експериментальні дослідження. При цьому як складальні компоненти були використані розроблені під керівництвом автора технологічні конструкції обслуговування (ТКО). Конструкція фермового модуля ТКО-1 в комплекті зі спеціальними стикувальними вузлами дозволяє оператору, спорядженому в скафандр, складати рекомбіновані фермові конструкції КЛА, службові ферми

при роботах з некооперованими літальними апаратами або несучі елементи робочої зони.

Експериментальні дослідження складання ТКО проводились в ХАІ ім. М. С. Жуковського та НВО "Енергія" ім. акад. С. П. Корольова.

Процес складання досліджувався при з'єднанні ТКО зі спеціальним стикувальним вузлом по двох варіантах. У першому варіанті спеціальний стикувальний вузол нерухомо монтували до жорсткої основи, а ферма ТКО укріплювалась на підвісах з можливістю її переміщення в горизонтальній площині (рис. 2.4, а).

Випробувач ногами фіксувався на стенді МЕС. У центрі мас ТКО-і на розтяганнях був закріплений блок датчиків перевантажень, який містить в собі три датчики МП-95, які укріплені у трьох взаємно перпендикулярних напрямках. При цьому стендом МЕС визначалися технологічні зусилля і моменти, що припадають на засоби фіксації. По другій схемі (рис. 2.4, б) спеціальний стикувальний вузол жорстко монтувався до стенда МЕС. В центрі мас ферми на розтяганнях також кріпився блок датчиків перевантажень. При цьому фіксувалися зусилля, що виникають при складанні ферми і стикувального вузла. В процесі досліджень були визначені потрібні керувані зусилля для маніпулювання довгомірними КЕ, зусилля з'єднання компонентів і зусилля закріплення, відповідні розробленому оригінальному запіраючому вузлу в залежності від швидкості переміщення КЕ.

Порівняння експериментальних та розрахункових результатів підтвердило правильність припущень і визначило достовірність теоретичного розв'язання задачі знаходження раціональних режимів приведення компонента у вихідне положення для суміщення.

На стенді "Селен" НВО "Енергія" ім. акад. С. П. Корольова досліджувалися зусилля, що виникають в процесі складання довгомірної конструкції, на прикладі ферми "Софора". При підготовці і складанні на орбітальному комплексі "Мир" ставилося питання про величину зусиль, діючих на ферму в процесі складання, і можливості їх парирування зусиллями космонавтів.

В процесі дослідження робоча площадка зі стапельним пристроєм була закріплена нерухомо. Стапельний пристрій дозволяв здійснювати послідовне посекційне підрозування ферми.

Випробувачі, споряджені в скафандри, через систему підвісів

стенда "Селен" закріплювалися над робочими місцями. Система підвісів дозволяла оператору, зафіксованому ступнями ніг, виконувати необхідні розвороти та нахили в межах робочої зони. Складений кінець ферми був прикріплений до слідкуючої системи нейтралізації ваги стенда. Блок датчиків перевантажень, змонтований на кінці першої ланки ферми, заміряв перевантаження в процесі складання ферми та її переміщення на крок.

В результаті розшифровки одержаних даних були визначені складальні та транспортні зусилля, оцінена можливість їх парирования зусиллями космонавтів, час виконання окремих операцій (установлення V-подібних елементів і МНП, відведення каретки, установлення діафрагми та ін.), ступінь освоєння випробувачами незнайомих робіт та ін., що дозволило відкоригувати циклограму складання ферми "Софора" у відкритому космосі.

В четвертій главі досліджені процеси різання як ті, що входять до складальних процесів, реалізуємих в умовах відкритого космосу.

В результаті системного аналізу реалізації різання в умовах відкритого космосу визначені основні елементи, що утворюють систему: режим і засоби фіксації, робоча поза, наявність технологічних процесів, ув'язаних з можливостями космонавта, спорядженого у скафандр, методик здійснення цих технологічних процесів, обладнання для робіт у відкритому космосі. Виявлені зв'язки між елементами та їх взаємовплив.

Конструктивні елементи КЛА по виду дії на них технологічних зусиль класифіковані по трьох великих групах:

а) що потребують для розділення порівняно невеликих зусиль, які циклічно повторюються;

б) що потребують для розділення великих по величині зусиль при малому ході інструмента;

в) що потребують середніх по величині зусиль при середньому ході інструмента.

Стосовно до даної класифікації розроблені вимоги до груп інструментів і пристроїв.

З урахуванням зміни границі міцності від температури визначені зусилля різання при виконанні технологічного вузла пристроїв розділення по однорівній

$$P = (k_1 k_2 F + k_3 W/L) \left[ \sigma_{T_{150}} - \left( \frac{T-150}{350} \right) (\sigma_{T_{150}} - \sigma_{T_{250}}) \right] \quad (2.8)$$

та двоєривній

$$P = 2k_1 k_2 F \left[ \sigma_{T_{150}} - \left( \frac{T-150}{350} \right) (\sigma_{T_{150}} - \sigma_{T_{350}}) \right] \quad (2.9)$$

схемах.

Прийняті позначення:  $k_1$  - коефіцієнт, що враховує відхилення реальних умов від раціональних умов різання;  $k_2$  - експериментальний коефіцієнт, що враховує співвідношення між часовим опором матеріалу конструктивного елемента і опором зрізу;  $F$  - початкова площа зрізу;  $k_3$  - коефіцієнт, що враховує співвідношення між напрямком згину конструктивного елемента і границею міцності;  $L$  - зведене плече дії згинальної сили;  $W$  - момент опору згинного перерізу;  $T$  - температура;  $\sigma_{T_{150}}$ ,  $\sigma_{T_{350}}$  - границя міцності матеріалу при  $T = 150$  К та  $T = 350$  К.

Визначений стан проблеми інструментального забезпечення технологічних процесів різання у відкритому космосі. При цьому з урахуванням сучасного стану пілотованої космонавтики використовувався підхід виявлення "технологічних ніш". При визначенні конструктивного обрису інструменту для заповнення "ніші" проводився аналіз вимог, яким повинен відповідати пристрій. В результаті систематизації вимоги були зведені до вигляду, що дозволяє провадити вибір інструменту і базового технологічного процесу з використанням ЕОМ.

З метов оцінки інструментів розроблені критерії порівняння:

$$P_{аз}^p = \frac{P_{норм} \nu \mu [m][t]}{P_{потр} \eta m t} \quad \text{— для ручного немеханізованого інструменту;}$$

$$P_{аз}^{mc} = \frac{P_{разв} \nu \mu [m][t]}{P_{реакт} \eta m t} \quad \text{— для ручного механізованого інструменту}$$

зі статичним енергоприводом;

$$P_{аз}^{mv} = \frac{E_{разв} \nu \mu [m][t]}{E_{реакт} \eta m t} \quad \text{— для ручного механізованого інструменту}$$

з високошвидкісним енерговузлом.

В результаті проведеного аналізу і порівняння характеристик інструментів з використанням наведених вище критеріїв були визначені групи інструментів, які підлягають розробці та виготовленню.

Як ручні розділові інструменти були розроблені та виготовлені ніж і ручна ножівка.

Розроблена конструкція ножа для різання фалу та ЕВТІ у відкритому космосі забезпечує захист ріжучих кромки леза в неробочому положенні. Під час несанкціонованого дрейфу ніж не може

пошкодити захисну оболонку скафандра.

Для ручного різання конструктивних елементів, що мають переріз у вигляді труб, профілів та ін., розроблена ручна ножівка РН-2. Особливістю цієї ножівки є жорстке завдання переміщення полотна в площині різу. Основні технічні характеристики:

|   |                 |
|---|-----------------|
| Габаритні розміри ножівки з кареткою і рукоятками, що знаходяться в робочому положенні, м | 0,52x0,225x0,27 |
| Робочий хід, м  | 0,165           |
| Максимальний діаметр розрізуваної деталі, м   | 0,07            |
| Маса з кареткою, кг   | 2,7             |

На основі результатів теоретичних досліджень та експериментальних даних був розроблений комплекс ручних механізованих автономних пристроїв для різання конструктивних елементів КЛА в умовах відкритого космосу. В результаті аналізу особливостей автономних малогабаритних пристроїв розділення були вироблені вимоги, що пред'являються до пристроїв для робіт у відкритому космосі, вибрані енергоносії і компоновочні схеми. Для виконання операцій різання всередині герметичних відсіків і при роботах на значному віддаленні від пілотованих КЛА був розроблений і випробуваний в умовах, максимально наближених до експлуатаційних, гідромеханичний пристрій "АМУР-1М". Основні технічні характеристики:

|  |                      |
|--|----------------------|
| Максимальне зусилля різу, кН               | 25                   |
| Робочий хід, м                             | $3,5 \times 10^{-2}$ |
| Зусилля на приводній рукоятці, Н           | 100                  |
| Габаритні розміри в транспортному стані, м | 0,31x0,15x0,08       |
| Маса, кг                                   | 3,5                  |

Для різання сталевих тросу і пробивки отворів у листових матеріалах завтовшки до 3 мм в умовах відкритого космосу був виготовлений і пройшов заводські випробування імпульсний пороховий пристрій "АМУР-2П". Основні технічні характеристики:

|                             |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| Максимальна енергія, Дж     | 500             |
| Робочий хід інструмента, м  | 0,04            |
| Енергоносія                 | порох           |
| Максимальна маса заряду, кг | 0,004           |
| Габаритні розміри, м        | 0,395x0,1x0,135 |
| Маса, кг                    | 4,2             |

Однією з основних вимог до пристроїв, що працюють в умовах

космічного польоту, в відсутність реактивної дії на руку або зведення цієї дії до величини, яку можуть сприймати засоби фіксації оператора. Величина некомпенсованої дії для пристроїв "АМУР-2П" може змінюватися в деяких межах, що залежать від маси використовуваного порохового заряду, маси пристрою та ін. Реакція від технологічного зусилля різання сприймається замкненою силовою схемою пристрою. Реактивна дія відкотних частин розробленого пристрою "АМУР-2П" компенсується за рахунок реакції витікання газів, направлених у бік, протилежний відкоту. Реакція високошвидкісного пристрою визначається у вигляді

$$R_z = \xi S P_g - F_1 \cos \alpha_1 (P_1 + P_2), \quad (2.10)$$

де  $S$  - площа каналу ствола;  $P_g$  - тиск газів на зрізі дула;  $\xi$  - коефіцієнт, що враховує вид використовуваного газу, масу відкотної та поршневої систем, габаритні розміри пристрою;  $F_1$  - сумарна площа нормальних перерізів вхідних і вихідних отворів;  $\alpha_1$  - кут нахилу нормальних перерізів до осі каналу ствола;  $P_1$  - тиск газів у каналі ствола в кінці робочого ходу поршня;  $P_2$  - тиск навколишнього середовища.

Момент, що виникає за рахунок поєцентреного прикладення зусилля  $F$  до руки оператора, визначається як

$$M_H = L_H [\xi S P_g - F_1 \cos \alpha_1 (P_1 + P_2)], \quad (2.11)$$

де  $L_H$  - відстань між осями прикладення і сприйняття реактивної дії високошвидкісного пристрою.

Проведений теоретичний аналіз дозволяє рекомендувати методику вибору кутів нахилу вихідних отворів високошвидкісного пристрою в залежності від геометричних характеристик робочої камери, використовуваного порохового заряду і співвідношення між масами робочої та відкотної частин пристрою. При цьому реакція пристрою зводиться до нуля або до величини, яку може сприйняти космонавт-оператор у захисному спорядженні при фіксації рук за конструктивний елемент об'єкта.

З метою перевірки припущень і визначення достовірності теоретичного розв'язання задачі були проведені експериментальні дослідження процесу високошвидкісного різання конструктивних елементів КЛА. Для цього були використані експериментальний високошвидкісний стенд і стенд МЕС. Приводиться методика проведення експериментальних досліджень і вимірювання технологічних зусиль та моментів. Експеримент по визначенню

реакції високошвидкісного пристрою "АМУР-2П" був математично спланований. За фактори приймали кут витікання газів із пристрою "АМУР-2П" ( $X_1$ ), масу заряду ( $X_2$ ) і масу рухомих частин пристрою ( $X_3$ ). За функцій відгуку приймали компоненти технологічної реакції по осях  $X, Y, Z$  -  $R_x, R_y, R_z$ . Остаточо, після виключення статистично незначущих коефіцієнтів, одержані такі рівняння регресії:

$$\begin{aligned} R_x &= 25,54 + 0,246X_2 + 0,174X_1X_3; \\ R_y &= 29,54 - 0,369X_1 + 0,373X_2 + 1,24X_3; \\ R_z &= 25,31 - 25,58X_1 + 0,745X_2 + 2,68X_3 - 0,97X_1X_2 + 0,615X_2X_3. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Аналіз рівнянь регресії показав, що в досліджуваному діапазоні мас зарядів енергопривода, мас рухомих частин пристрою і кутів витікання відпрацьованих газів найбільш впливовим фактором на реактивну дію пристрою є кут витікання газів ( $X_1$ ).

Порівняння значень теоретично визначених реактивних дій на руку оператора при виконанні рівняння з експериментально знайденими реакціями зображене на рис. 2.5 і показує коректність посилення, закладених у теоретичному аналізі. Відмінність реакцій пристрою в напрямку осі  $Z$ , визначених теоретично і експериментально, не перевищує 18%.

Розроблені та реалізовані технологічні схеми і пристрої для розділення сталевого тросу в умовах відкритого космосу. Для запобігання розплетення кінців тросу після різання останній поміщали в захисний алюмінієвий чохол, що дозволило захистити скафандр від пошкодження гострими дротами та пасмами. Для запобігання неконтрольованого розльоту кінців тросу після його розділення і можливого пошкодження захисного спорядження запропоновано поміщати трос на довжині 0,5 м по обидва боки від зони різання в захисний кожух. Приведені результати досліджень і конструктивні схеми механізмів до пристроїв "АМУР-1М" та "АМУР-2П".

Для різання або передавлювання трубопроводів газових і паливних систем, конструктивних елементів КЛА із високоміцних матеріалів, коли час завершення технологічної операції строго не обмежений, був спроектований, виготовлений і пройшов заводські випробування пристрій "АМУР-4". Як енергопривод використана вода в процесі замерзання. Основні технічні характеристики розробленого пристрою:

Зусилля, що розвивається, кН

400

|                            |                                  |
|----------------------------|----------------------------------|
| Робочий хід інструмента, м | 0,04                             |
| Робочий тиск, Па           | $1,5 \times 10^8$                |
| Тип теплообмінника         | випарний                         |
| Випарювана рідина          | спирт етиловий                   |
| Габаритні розміри, м       | $0,63 \times 0,105 \times 0,105$ |
| Маса, кг                   | 6,3                              |

Для визначення технологічного зусилля льодопривода розв'язана задача реалізації тиску в жорстко замкненому об'ємі в процесі переходу води з рідкої фази до кристалічної фази льоду 1. Знайдено, що тиск і температура робочого тіла енерговузла визначаються залежностями

$$P = \frac{V_L}{V_B (K_B - K_L)} \ln |K_B - C (K_B - K_L)| + C_1;$$

$$T = \exp(Ap^2 + Bp + C_2), \quad (2.13)$$

де  $A = \frac{K_L V_L - K_B V_B}{2 \lambda}$ ,  $B = \frac{V_B - V_L}{\lambda}$ .

Для зменшення часу технологічного циклу, льодоприводостанцій споряджений теплообмінником випарного типу. Аналіз можливості застосування випарюваних агентів здійснювався в використанні запропонованого автором критерію

$$R_B = \frac{r_B (T - T_s)}{C_c}. \quad (2.14)$$

Приведені методики та основні результати випробувань пристроїв РН-1, "АМУР-1", "АМУР-2" і "АМУР-4" (рис. 2.6): лабораторних; на відповідність конструкцій пристроїв ергономічним вимогам; термовакuumних; вібраційних.

Проведені випробування дозволили виготовити штатні зразки пристроїв розділення КЕ і ввести їх до складу комплексу "Мир".

У п'ятій главі розглядається питання розробки технологічних процесів складання і різання конструктивних елементів та впровадження результатів праці у виробництво і навчальний процес.

Розроблені типові технологічні процеси складання фермових конструкцій, що базуються на використанні як конструктивних елементів модулів ТК0-1. Технологічні процеси і методики їх здійснення пройшли відпрацювання в модельових умовах на стенді НВО "Енергія" ім. акад. С. П. Корольова.

Розроблені два варіанти штатних технологічних процесів різання в умовах відкритого космосу, виконуваних в пристроях типу "АМУР-1", і один варіант аварійного технологічного процесу різан-

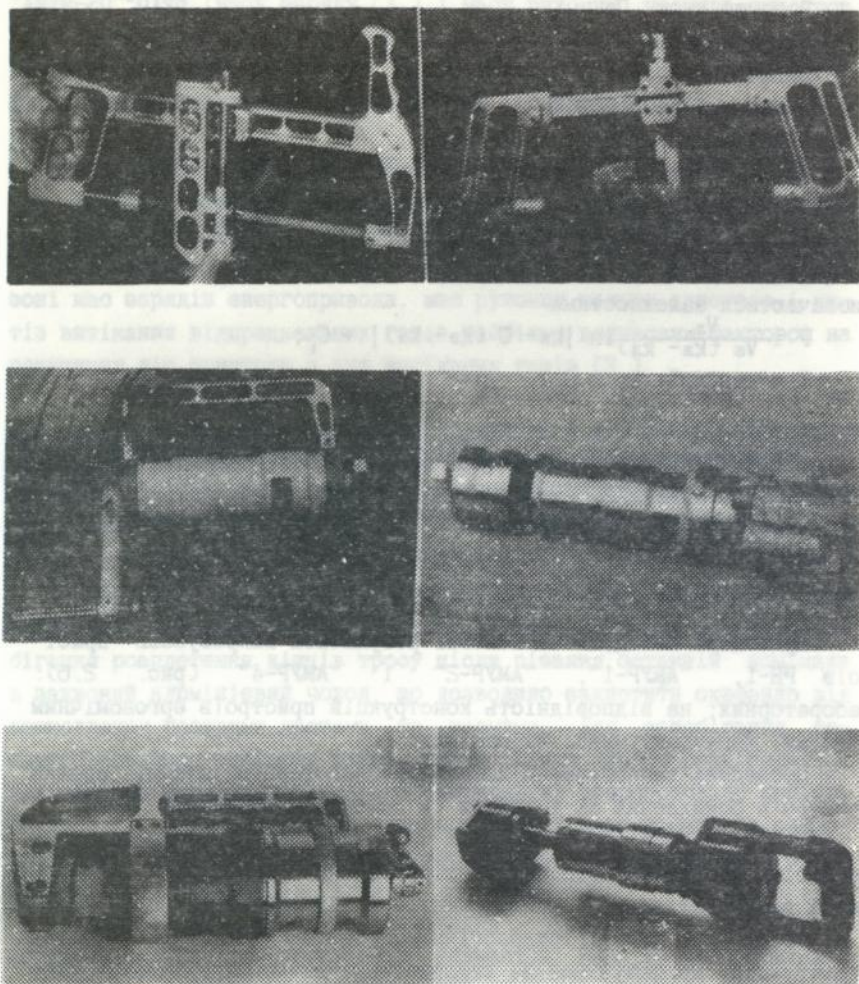


Рис. 2.6

ня конструктивних елементів пристроєм типу "АМУР-2".

Послідовність основних етапів і операцій типового технологічного процесу розділення КЕ така:

1. Вихід із шлюзового відсіку.
2. Транспортування засобів фіксації і пристрою розділення до зони виконання технологічної операції.
3. Монтаж засобів фіксації в зоні виконання робіт.
4. Закріплення космонавтів засобами фіксації, організація робочої зони.
5. Здійснення підготовчих операцій.
6. Рівання конструктивних елементів.
7. Виконання заключних операцій.
8. Вихід космонавтів із засобів фіксації.
9. Переміщення космонавтів до вхідного люку КЛА.

Укрупнена схема технологічного процесу рівання конструктивних елементів КЛА в умовах відкритого космосу деталізована для варіантів штатних і аварійних ситуацій. У подальшому розробляються методики виконання окремих переходів, які повинні бути відпрацьовані в модельованих умовах.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у виробництво і навчальний процес.

У НВО "Енергія" ім. акад. С. П. Корольова впроваджені:

- математична модель і метод теоретичного визначення реакцій, що виникають при виконанні складальних і розділових операцій в умовах герметичних об'єктів і відкритого космосу;

- технологічні процеси і ручні механізовані засоби рівання кутка, труб та інших конструктивних елементів КЛА; пристрої "АМУР-1", "АМУР-2", "АМУР-4" пройшли заводські випробування; пристрій "АМУР-4" введений до складу орбітального комплексу "Мир";

- математична модель і метод визначення раціональних траєкторій переміщення складальних компонентів у процесі складання, а також зусилля, що виникають при їх орієнтації та закріпленні;

- комплекс фермових конструкцій для технологічного забезпечення робіт в умовах відкритого космосу, що пройшли заводські випробування;

- методики та експериментальне обладнання для визначення зусиль, що виникають в процесі складання фермових конструкцій в модельованих умовах, використані при розробці та виготовленні

конструкцій ТКО-1 і відпрацюванні складання ферми "Софора";

- карабін для фіксації наукових приладів та інструментів у відкритому космосі, що пройшов заводські випробування;

- технологічний процес і ручні ножівки для різання конструктивних елементів в спеціальних умовах типу РН-1 та РН-2, що пройшли заводські випробування; ручна ножівка РН-2, введена до складу орбітального комплексу "Мир".

Проведені дослідження дозволили одержати достовірні оцінки якості функціонування розроблених пристроїв і створити штатні засоби для різання і складання конструкцій стосовно до комплексу "Мир". У роботі НВО "Енергія" ім. акад. С. П. Корольова впроваджено 21 авторське свідоцтво.

Пристрої для різання конструктивних елементів по авторських свідоцтвах впроваджено в Головному технічному управлінні МСП і п/с А-1668.

У навчальний процес впроваджено 4 посібники. Навчальний посібник з грифом ДКНО СРСР "Сборочно-монтажные и ремонтно-восстановительные работы в космическом пространстве" впроваджено в навчальні процеси відділу підготовки космонавтів НВО "Енергія" ім. акад. С. П. Корольова, ЦПК ім. Ю. О. Гагаріна, МАІ ім. С. Орджонікідзе, ХАІ ім. М. Є. Жуковського, САКУ ім. С. П. Корольова.

#### Основні результати роботи

1. Розв'язана актуальна технічна проблема розробки технологічних процесів і обладнання для реалізації складання і різання конструктивних елементів літальних апаратів в умовах відкритого космосу. Ця проблема має важливе народногосподарське значення і вносить значний вклад у розвиток і реалізацію вітчизняних космічних програм.

2. Розроблені комплексна математична модель і метод визначення технологічних реакцій в засобах фіксації космонавтів при виконанні складальних та розділових операцій в умовах герметичних відсіків КЛА і відкритого космосу, що реалізує цю модель. Розбіжності між теоретичними та експериментальними значеннями реакцій при робочих зусиллях більше 7 Н не перевищують 8,7% для зусиль і 14,3% для моментів. Теоретична модель рекомендується для розрахунків технологічних процесів при робочих зусиллях більше 7 Н. Розроблений і реалізований алгоритм знаходження раціональних схем фіксації космонавтів при виконанні різних технологічних операцій.

3. Проведений комплексний аналіз складальних технологічних процесів дозволив установити закономірність здійснення ручного складання у відкритому космосі і дослідити енергосилові параметри цього процесу. Розроблена методика визначення раціональних параметрів приведення складального компонента у вихідне положення для суміщення. Теоретичні та експериментальні дослідження динаміки великогабаритної конструкції "Софора" дозволили прогнозувати сили, що виникають в процесі складання ферми в космосі, і визначити можливість їх парирування зусиллями космонавтів.

4. Виконані комплексні дослідження засобів забезпечення робіт у відкритому космосі, що дозволили розробити концепції технологічних конструкцій обслуговування (ТКО), які містять в собі уніфіковані фермові блоки і спеціальні стикувальні вузли. Розроблені засоби дозволяють використовувати їх як трапи для переміщення космонавтів і вантажів, елементи силової конструкції зони обслуговування або застосовувати при роботах з некооперованими літальними апаратами.

5. Розроблені науково обґрунтовані критерії доцільності та ефективності створення або вибору з наявного інструментального набору обладнання для операцій різання дозволили створити комплекс ручних і механізованих засобів, захищених авторськими свідоцтвами, для використання їх у відкритому космосі. В результаті проведених випробувань і ергономічних досліджень рекомендовані: при невеликому обсязі робіт - ручна ножівка РН-2, при великих обсягах робіт - гідромеханічний пристрій "АМУР-1"; при пробивці отворів  $\phi$  7 мм і  $\phi$  9 мм у листових матеріалах завтовшки до 3 мм, а також при аварійному різанні сталевого троса - високошвидкісний пристрій "АМУР-2"; при різанні конструктивних елементів великих перерізів ( $P > 400$  кН), коли час виконання операції строго не обмежений, - льодотехнологічний пристрій "АМУР-4".

6. Запропонований метод і встановлені закономірності визначення параметрів високошвидкісних пристроїв забезпечують виконання технологічних операцій без створення дестабілізуючої дії на роздільні конструктивні елементи. Експериментально доведена можливість різання конструктивних елементів ЛА високошвидкісними пристроями з пороховим енергоприводом в умовах вакууму.

7. Проведений комплекс досліджень по виявленню закономірностей здійснення складальних і розділових операцій у відкритому

космосі, створенню засобів технологічного забезпечення робіт, розроблених з урахуванням обмежень накладуваних скафандром, дозволив розробити та впровадити у роботи НВО "Енергія" ім. акад. С.П.Корольова базові технологічні процеси складання і рівняння конструктивних елементів ЛА при виконанні штатних операцій складання, монтажу, технічного обслуговування та аварійно-рятувальних робіт.

Основний зміст дисертації опублікований в таких працях:

1. Кобрин В.Н. Вопросы технологического обеспечения работ по возвращению некооперированных летательных аппаратов //Технология и оборудование космического производства. - Харьков, 1992. Вып.2. С.43-48.

2. Кобрин В.Н. Исследование сборочных процессов для условий открытого космоса //Вопросы проектирования и технологии конструктивных элементов летательных аппаратов. - Харьков, 1992. С.37-41.

3. Кобрин В.Н. Теоретический анализ процесса транспортировки длинномерных элементов в моделированных условиях //Вопросы проектирования и технологии производства конструктивных элементов летательных аппаратов. - Харьков, 1992. С.61-67.

4. Кобрин В.Н., Александров А.П., Гречка В.Д., Цыганков О.С. Сборочно-монтажные и ремонтно-восстановительные работы в космическом пространстве: Учеб. пособие. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1990. - 248 с.

5. Кобрин В.Н., Солдатенков В.О., Шекочихин С.В. и др. Оборудование для резки конструктивных элементов в специальных условиях //Гагаринские научные чтения по космонавтике и авиации. 1983, 1984. - М.: Наука, 1985. С.254.

6. Кобрин В.Н., Гречка В.Д., Шекочихин С.В. и др. Анализ особенностей автономных малогабаритных устройств разделения конструктивных элементов //Обработка материалов давлением в машиностроении. - Харьков, 1985. Вып.21. С.88-92.

7. Кобрин В.Н., Данилов О.Ю., Цыганков О.С. Использование льдопривода для технологических устройств //Труды XXII чтений, посвящ. разраб. науч. наследия и развитию идей К.Э.Циолковского (Калуга, 15-18 сент.1987). Секция "К.Э.Циолковский и проблемы космического производства"- М.: ИИЕТ АН СССР, 1988. С.112-116.

8. Кобрин В.Н., Цыганков О.С., Самофалов С.И. и др.

Оптимальное проектирование технологического процесса ручной сборки пространственной ферменной конструкции //Труды XXII чтений, посвящ. разраб. науч. наследия и развитию идей К. Э. Циолковского (Калуга, 15-18 сент. 1987). Секция "К. Э. Циолковский и проблемы космического производства". - М.: ИИЕТ АН СССР, 1988. С. 116-118.

9. Кобрин В. Н., Мещеряков А. Н., Шекочихин С. В. и др. Исследование силовых параметров лдотехнологического энергоузла //Импульсная обработка металлов давлением. - Харьков, 1984. Вып. 12. С. 121-124.

10. Кобрин В. Н., Шимко В. А., Самофалов С. И. и др. Особенности проектирования многофункционального инструмента для разделительных операций //Обработка материалов давлением в машиностроении. - Харьков, 1986. Вып. 22. С. 74-77.

11. Кобрин В. Н., Шимко В. А., Шекочихин С. В. и др. Исследование и разработка ручного устройства для резки конструктивных элементов //Конструирование и производство летательных аппаратов и двигателей. - Харьков, 1985. С. 83-89.

12. Кобрин В. Н., Данилов О. Ю., Цыганков О. С. и др. Некоторые особенности проектирования технологических устройств с двухфазным рабочим телом //Гагаринские научные чтения по космонавтике и авиации. 1988. - М.: Наука, 1989. С. 258-259.

13. Кобрин В. Н., Самофалов С. И., Гречка В. Д. и др. Способ демпфирования колебаний разvertываемых ферменных конструкций технологическими методами //Гагаринские научные чтения по космонавтике и авиации, 1988. - М.: Наука, 1989. С. 255.

14. Кобрин В. Н., Лобачев А. И., Береговой В. Г. и др. К вопросу о функциональных возможностях манипуляторов применительно к задачам технического обслуживания //Технология и оборудование космического производства. - Харьков, 1988. С. 36-46.

15. Кобрин В. Н., Самофалов С. И., Резчик В. А. Особенности разработки технологических конструкций обслуживания сложных технических систем //Технология и оборудование космического производства. - Харьков, 1988. С. 51-56.

16. Кобрин В. Н., Гречка В. Д., Данилов О. Ю. Использование устройств с льдоприводом для технологических операций холодной штамповки //Обработка металлов давлением в машиностроении. - Харьков, 1989. Вып. 25. С. 77-79.

17. Кобрин В. Н., Данилов О. Ю., Шимко В. А. и др. Исследование энергосиловых параметров энергопривода с двухфазным рабочим телом //Обработка металлов давлением в машиностроении. - Харьков, 1990. Вып. 26. С. 84-86.

18. Кобрин В. Н., Шекочихин С. В., Шимко В. А. и др. Особенности резки конструктивных элементов автономным механизированным ручным инструментом //Обработка металлов давлением в машиностроении. - Харьков, 1990. Вып. 26. С. 46-49.

19. Кобрин В. Н., Шимко В. А., Дема В. И. и др. Тензометрическое устройство для определения технологических усилий и моментов //Конструирование и производство летательных аппаратов и двигателей. - Харьков, 1985. С. 96-101.

20. Кобрин В. Н., Гречка В. Д., Самофалов С. И. и др. К вопросу определения углового смещения деталей при автоматической сборке соединения по цилиндрическим поверхностям //Вопросы проектирования и технологии производства конструктивных элементов летательных аппаратов. - Харьков, 1986. С. 140-145.

21. Кобрин В. Н., Дема В. И., Гречка В. Д. и др. Анализ методов компенсации реактивного воздействия высокоскоростных технологических устройств //Вопросы проектирования и технологии производства конструктивных элементов летательных аппаратов. - Харьков, 1986. С. 155-162.

22. Кобрин В. Н., Кононенко В. Г., Гречка В. Д. Основы космической технологии: Учеб. пособие. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1983. - 73 с.

23. Кобрин В. Н., Гречка В. Д., Цыганков О. С. и др. Монтаж-но-сборочные и ремонтно-восстановительные работы в беспорном пространстве: Учеб. пособие. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1984. - 113 с.

24. Кобрин В. Н., Гречка В. Д., Цыганков О. С. и др. Сборка и монтаж агрегатов летательных аппаратов из унифицированных элементов: Учеб. пособие. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1988. - 90 с.

25. Кобрин В. Н., Гречка В. Д., Самофалов С. И. Управление движением манипулирующих устройств при сборке стержневых конструкций летательных аппаратов //Аналитическая механика, устойчивость, управление движением: Пятая всесоюз. Четаевская конф. - Казань, КАИ, 1987. С. 6.

26. Кобрин В. Н., Александров А. П., Цыганков О. С. Технологи-

ческие конструкции для обслуживания летательных аппаратов в условиях невесомости //Крупногабаритные космические конструкции: Тезисы докл. Всесоюз. конф. - Севастополь, 1990. С.14-15.

27. Кобрин В.Н., Шимко Е.А., Цыганков О.С. Определение оптимальной траектории перемещения компонентов при сборке крупногабаритных конструкций //Крупногабаритные космические конструкции: Тезисы докл. Всесоюз. конф. - Севастополь, 1990. С.56-57.

28. Кобрин В.Н., Гречка В.Д., Шекочихин С.В. Особенности технологического процесса высокоскоростного разделения конструктивных элементов и металла// Деп. во ВНИИТЭМР 8 янв. 1986, N 15-86. Представл. Харьк. авиац. ин-том. Харьков, 1985. - 9 с.

29. Кобрин В.Н., Гречка В.Д., Шекочихин С.В. Методика проектировочного расчета на прочность некоторых элементов высокоскоростных устройств //Деп. во ВНИИТЭМР 8 янв. 1986, N 16-86. Представл. Харьк. авиац. ин-том. Харьков, 1985. - 10 с.

30. Кобрин В.Н., Гречка В.Д., Шекочихин С.В. Выбор оптимальных параметров инструмента при резке конструктивных элементов и металла //Деп. во ВНИИТЭМР 8 янв. 1986, N 17-86. Представл. Харьк. авиац. ин-том. Харьков, 1985. -9 с.

31. Кобрин В.Н., Гречка В.Д., Шекочихин С.В. Инженерная методика определения кинематических параметров высокоскоростных устройств для резки //Деп. во ВНИИТЭМР 8 янв. 1986, N 18-86. Представл. Харьк. авиац. ин-том. Харьков, 1985. - 7 с.

32. Кобрин В.Н., Гречка В.Д., Самофалов С.И. и др. Определение технологических реакций в средствах крепления монтажника //Деп. в ВИНТИ 11 окт. 1985, N 71-93-В. Предст. Харьк. авиац. ин-том. Харьков, 1985. - 19 с.

33. Кобрин В.Н., Шекочихин С.В., Гречка В.Д. Особенности проектирования многофункционального инструмента для разделительных операций //Обработка материалов давлением в машиностроении. - Харьков, 1986. Вып.22. С.74-77.

34. Кобрин В.Н., Данилов О.Ю., Шимко В.А. и др. Автономные малогабаритные устройства разделения для работы в специальных условиях //Труды 25 чтений, посвящ. разраб. науч. наследия и развитию идей К.Э. Циолковского (Калуга, 11-14 сент. 1990). Секция "Космическая индустрия: от экспериментов к пром. масштабам". - М.: ИИЕТ АН СССР, 1991. С. 54-60.

35. Кобрин В.Н., Александров А.П., Цыганков О.С. Некоторые

технологические аспекты работ с некооперированными объектами //Труды 25 чтений, посвящ. разраб. науч. наследия и развитию идей К.Э. Циолковского (Калуга, 11-14 сент. 1990). Секция "Космическая индустрия: от экспериментов к пром. масштабам". - М.: ИИЕТ АН СССР, 1991. С. 69-72.

#### Авторські свідоцтва СРСР

700992, 780278, 843421, 915344, 157417, 160969, 161586, 161587,  
163917, 169571, 169572, 169683, 174084, 177788, 182948, 186282,  
186675, 187209, 189058, 195199, 198441, 209934, 209935, 209936,  
209937, 209938, 212168, 216529, 220425, 221545, 223087, 231874,  
232096, 232671, 232672, 234956, 234987, 235659, 237314, 238764,  
239510, 242654, 242930, 241048, 242483, 244179, 244883, 246186,  
259324, 251486, 251654, 251683, 255574, 260179, 261110, 268431,  
271158, 275894, 280394, 280463, 281750, 290149, 290477, 292100,  
293239, 294881, 299064, 298546, 299773, 299834, 299692, 300654,  
304344, 313064, 311691, 313390, 313391, 313392.



AB 29.408