

Винахід належить до областей техніки, де застосовуються або можуть бути застосовані поліедральні оболонки. В першу чергу до будівництва, до авіаційної та корабельної промисловості, до точного приладобудування. Може бути використаний для розробки конструкції із змінною геометричною формою.. Розглядаються тонкі пружні поліедральні оболонки постійної товщини. Серединні поверхні у цих оболонок - поліедри. В застосуваннях, в теоретичних та технічних розрахунках, оболонки задаються своїми серединними поверхнями. Поліедральні оболонки застосовуються в основному в будівництві [1,2]. Вони використовуються і в інших технічних областях при проектуванні конструкцій по скінченно- елементному методу. Ростуче значення поліедральних оболонок підкреслюється відомим прикладом з воєнної авіації: американський літак- "невидимець" - стеле F-117A має фюзеляж пірамідальної конфігурації, що становить його технологічне достоїнство [3].

Головна з вимог, яку пред'являють завжди до поліедральної оболонки, як і до будь-якої оболонки - стійкість у експлуатації. Предмет нинішнього винаходу виходить на протилежні конструкції. На поліедральні оболонки, які допускають при малих навантаженнях значні і контролюємі зміни геометричної форми. У технічній практиці подібні рухомі конструкції невідомі. Як один тільки приклад, тут можна навести знайомі лише геометрам матеріальні моделі нежорстких сфероїдних простих поліедрів-флексорів [4]. Нежорсткими називаються поліедри, що допускають неперервні згинання по О. Коші. Тобто деформації, при яких грані переміщуються як тверді пластини і змінюються лише двогранні кути між сусідніми гранями. Прості - поліедри без самоперетинів. Поняття "флексор" введено Р. Коннеллі, котрий уперше довів існування простих допускаючих згинання поліедрів-сфероїдів, тобто гомеоморфних сфері поліедрів. Матеріальна модель флексору, оболонка постійної товщини, зветься теоретичним флексором. У технічній літературі терміну "теоретичний флексор" відповідають різні найменування: "механізм та кінематичний механізм", "механізм у особі" (фр.), "точний механізм" (англ.). Практики відносять "механізм" до явища руйнування конструкції, зовсім не інтересуючись питанням про існування самого "механізму".

На цей час відомо всього три коннеллівського типу поліедра-флексатора. Вони були знайдені у 1978р., автори - Р. Коннеллі (18вершин), Н. Кейпер і П. Делін (11 вершин), К. Стефен (9 вершин). З досвіду відомо, що поліедральні оболонки, побудовані на базі цих флексорів, тобто теоретичні флексори, допускають великі, вільні, без видимих спотворень матеріалу деформації у класі поліедрів. Вільні, еквівалентно - при малих навантаженнях. Це неперервні, однозначні та оборотні перетворення оболонок, досить точно відтворюючі згинання серединної поверхи Конкретно названі якості перетворень виявляються у наступному. При незначному навантаженні оболонка неперервно деформується з амплітудою деформації, порівнюваною з габаритними розмірами. Грані оболонки, обертаючись навколо ребер, переміщуються практично як тверді пластини. Напруження у оболонці, що виникають від прикладених зусиль, розвантажуються в малих околах ребер, реально стабілізуючи усю систему ребер оболонки. Оболонку, котра володіє переліченими якостями, будемо називати геометрично згинаємою у класі поліедрів. Це визначення будемо відносити як до замкнених, так і до відкритих оболонок, або панелей, з урахуванням граничних умов деформуємості, а також до оболонок з жорсткими - що принципово нове і важливе - серединними поверхнями.

Як вже відзначалося, геометрична згинаємість теоретичних флексорів відома з досвіду. її причина - нежорсткість серединного поліедру оболонки. Оболонки з жорсткими серединними поверхнями, що являються геометрично згинаєміми, виявлені автором нещодавно [5,6,7.], первісно на моделях окремих поліедрів. їх природно називати модельними флексорами. Термін "ідеальний" у назві винаходу позначає вид витрати стійкості розглядаємих оболонок. А саме відому на цей час тільки теоретично, передбачену ще Л. Ейлером, розглядаємо у літературі як ідеалізовану, втрату стійкості "у малому" [8]. Винахід не має аналогів.

У основу винаходу поставлено задачу створення серії технологічно елементарних оболонок з метою раціонального їх застосування для проектування конструкцій з неперервно, вільно та контролюємо змінюємою геометричною формою. Задача вирішується побудовою шатрової поліедральної панелі - спеціальної правильної і-кутної з довільним цілим n зірчастої піраміди либонь її природного геометричного розвинення. Серединний поліедр піраміди являє собою фігуру з осесиметричним циклічним планом у формі зірки. Циклічно відтворюємий елемент, пелюсток зірки - опуклий чотирикутник. Пелюсток складено із двох рівних трикутників, симетричних відносно його діагоналі, яка виходить із центру зірки. Кожний з трикутників має прилеглими до контуру зірки внутрішній та зовнішній подвоєні кути, рівні відповідно $\pi/2$ -а та $\pi/2$ -а, де $a\pi/n$ - третій кут трикутника. Грані поліедральної панелі, виготовлені із пружного матеріалу, з'єднуються шарнірами, що розвантажують панель від згинаючих зусиль. У техніці добре відомі різні види шарнів: звичайний циліндричний шарнір, що зветься кінематичною парою, або цілий кінематичний ланцюг із циліндричних шарнів; шарнір складки, вузька смуга матеріалу оболонки; шарнір-підшипник або універсальний гумово-металевий шарнір, що замінюють циліндричні шарніри; тощо. Які шарніри потребує в промисловій реалізації той чи інший модельний флексор, це буде вирішувати після детального аналізу інженер. На Фіг. 1 показана у плані правильна трикутна зірчаста піраміда, $n=3$, яка являється серединним поліедром однойменної поліедральної панелі, позначено кути та сторони трикутників, що утворюють пелюстки відповідної трикутної зірки. Трикутна зірка складається з трьох пелюстків, розділених проекціями менших - вгнутих - похилих ребер b піраміди. Більші - опуклі - похилі ребра a піраміди проектується у діагоналі пелюстків. Символом a позначені ланки контуру зірки, ребра краю піраміди, жирним кружечком A позначена проекція центрального елемента, вершини піраміди. Піраміда має три осьові площини симетрії. Як приклад, на Фіг.1 пунктиром показана у плані "блукуюча", рухома лінія зламу граней одного пелюстка деформуємої піраміди, про що йде мова далі в описі. На Фіг.2 показано план серединної поверхні панелі, отриманої із трикутної піраміди, поданої на Фігурі 1, вставкою уподовж площини симетрії двох нових граней-прямокутників та заміною кожної з двох граней сусідніх пелюстків піраміди двома новими рівнобедреними у плані трикутними гранями. Прямокутники та нові трикутники виділено в зображенні фігури жирними лініями. Центральний елемент розглядаємої панелі - ребро АВ. На Фіг.3 показано план серединної поверхні панелі, отриманої із трикутної піраміди Фігури 1 вставкою уподовж малих похилих ребер нових граней-прямокутників. Центральний елемент панелі - виділений жирними лініями трикутник ABC. Розмір центрального елемента визначається вибором розміру сторін d вставлених

прямокутників.

Суть винаходу полягає в створенні рухомої конструкції, в якій реалізується наступний аксіоматичний принцип геометричної теорії стійкості тонких пружних оболонок А.В.Погорелова [9]. Деформаційні якості технічної конструкції цілком визначаються характером згинань її середньої поверхні. Потрібною конструкцією виявляється панель, побудована на базі зірчастої піраміди з описаним вище серединним поліедром. Серединний поліедр панелі не допускає згинань по О.Коші при сковзанні краю в площині, що витікає із результатів роботи [5]. В тих же умовах цей поліедр неперервно згинається з переламуванням граней поблизу центрального елемента та вгнутих ребер либонь поблизу краю. Подібна деформація поліедру має в геометрії вже установлене найменування - лінійне згинання [5]. Згинання контролюється двома параметрами: фазою або узагальненим відхиленням нових утворених вершин від старих вершин поліедру; та амплітудою або стрілою прогину поліедру. Фазу відмічає знак „мінус“ показує наявність на згинаємому поліедрі самоперетинів. На вихідному етапі згинання фаза пропорційна квадрату амплітуди. По класифікації, прийнятій в аналітичній теорії динамічних систем, таке згинання поліедру є нежорстка, конкретно м'яка або затягнена, втрата стійкості; див монографію В.І.Арнольда [10]. Описана деформація забезпечується співвідношеннями кутів, передбаченими для трикутників в зірчастому плані середнього поліедру панелі. Варіант втрати стійкості серединного поліедру визначається вибором його габаритних, управляючих параметрів в загальному розташуванні.

При незначному поперечному навантаженні та сковзанні краю у площині панель нежорстко втрачає стійкість та в момент біфуркації переходить в суміжне, нескінченно близьке до початкового рівноважне

становище. У відповідність до статичного критерію Л.Ейлера панель являє собою ідеальну оболонку, яка допускає втрату стійкості "у малому". При закритичній деформації панелі з повільним збуренням фази амплітуда встигає швидко зрости, в результаті істотно змінюється просторова конфігурація панелі, відбувається її геометричне згинання у класі поліедрів. Даний результат ініціює безпосереднє використання Пристрою як мембрани у проектуванні аналога зварного металевих силфону, силфону як з симетричним, так і з несиметричним профілем гофрів [11,12].

Силфон із шарнірним з'єднанням граней.

Розглянемо замкнену поліедральну оболонку з шарнірними з'єднаннями граней, симетричну відносно певної площини, елементи симетрії якої - панелі, рівні кожній панелі, зображеної у плані на Фігурі 3. Вилучимо у складових панелей центральні елементи. Здобута таким чином оболонка являє собою не що інше, як трубчатий силфон S з одним гофром, своєрідний аналог зварного силфону [11]. Приєднуючи шарнірами по краям силфону S відповідні кільцеві фланці, будемо мати пристрій, який можна промислово використовувати як новий лінійний компенсатор - компенсатор теплової напруги в технологічних трубопроводах [12]. Збираючи шарнірними з'єднаннями пакети із силфонів, тотожних силфону S, будемо мати загальні трубчаті гофровані оболонки з довільним числом гофрів. Їх природно називати шарнірними силфонами. Вочевидь, шарнірні силфони можна використовувати в якості чутливих елементів у точних приладах, що діють по принципу силової компенсації [11]. Можна чекати, що по своїм технічним характеристикам шарнірні силфони зрівнюються із зварними, вони також переважають зварні значно спрощеним способом виготовлення і досконалим методом математичного та комп'ютерного обчислення.

Приклад технічної реалізації силфону SI [1].

Матеріал: аустенітні чи мартенситні нержавіючі сталі, сплави на основі хрому чи нікелю, титанові сплави; наприклад, сталь 4X13, сплави EI702 або 36ХТЮ [11]; типи шарнірів уточнюються експериментально. Геометричні розміри, в мм: силфон S має не традиційну обертову, а циклічну симетрію навколо своєї осі; $a=87$, $b=36$, $c=100$, значення d обирається відповідно технічному завданню, довжина силфону S упродовж осі дорівнює 50; відхилення від істинних розмірів не перевершує 0.1мм. Теоретичний вільний прогин (робочий хід; [11, стор.98,129]) силфону при стисненні незначним навантаженням упродовж осі - майже чверть його довжини. Цей результат фактично підтверджується і на моделі із якісного картону, тих же розмірів, з товщиною граней 0.25 мм. Модель була зроблена на базі нормованої зірчастої піраміди, розглянутої у роботі [5], витримала сотні циклів згинань і існує в задовільному стані ось уже більше шести років. Можна чекати, що у силфону S, виготовленого із конструкційного матеріалу робочий хід буде щонайменше 10мм.

1. Janos Baracs, Henry Crapo, Ivo Rosenberg et Walter Whiteley. Mathematiques et architecture. "La topologie structurale" №№ 41-42-Montreal 1978.

2. Современные пространственные конструкции: Справочник. Под ред. Ю. А. Дыховичного и Э. З. Жуковского.-Москва: «Высш. Шк.»,1991.

3. Современные боевые самолеты: Справ. Пособие. Авт.-сост. Н.И.Рябинкин.- Минск: "Элайда",1997, (В мире техники).

4. И.Х.Сабитов. Локальная теория изгибаний поверхностей. "Итоги науки и техники. Серия: Современные проблемы математики, т. 48". Москва, ВИНТИ, 1989.

5. А.Д. Милка. Нежесткие звездчатые бипирамиды А.Д. Александрова и С.М. Владимировой. "Труды по анализу и геометрии". Сб. раб., поев. 70-летию академика Ю.Г. Решетняка. Новосибирск-2000, подп.к печати 29.12.2000.

6. А.Д. Милка. Изгибания поверхностей, бифуркации динамических систем и устойчивость оболочек. Междунар. конф. "Дискр. геометрия и ее прилож.". Тез. Докл., Москва, ИМРАН - МГУ, янв. 2001.

7. А.Д. Милка. Модельные идеальные флексоры. Междунар. конф. "Теор. функций и мат. физика". Тез. докл., Харьков, ФТИНТ-ХНУ, авг. 2001.

8. Э.И. Григолюк, В.В. Кабанов. Устойчивость оболочек. Москва, "Наука", 1978.

9. А.В. Погорелов. Изгибание поверхностей и устойчивость оболочек. Киев, "Наукова думка", 1998.

10. В.И. Арнольд. Теория катастроф. Москва, "Наука", 1990.

11. Л.Е. Андреева и др. Силфоны. Расчет и проектирование. Москва, "Машиностроение", 1975.

12. М.И.Севостьянов. Технологические трубопроводы нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов. Москва, "Химия", 1972.

