

УДК 004:65.011 (045)

**В.В. Трейтяк**, канд. техн. наук**П.М. Ратушний**, студент

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

**О.О. Борисов**, асистент

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**МЕТОД СИНТЕЗУ ПРОЕКТНИХ ВАРІАНТІВ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛІВ ЛІТАКА**

Запропоновано підхід до формалізації та автоматизації одного з етапів концептуального проектування – вибору проектних варіантів. Слабоформалізованість цього етапу та невизначеність вхідних даних ліквідується за рахунок використання розробленого методу синтезу проектних варіантів. Алгоритмізовано етапи методу синтезу проектних варіантів, а саме: формування компонентів технічної системи, формування вимог до системи, визначення варіантів задоволення вимог до системи, встановлення проектних варіантів, генерація проектних варіантів та оцінювання і вибір оптимального проектного варіанта. Розроблено евристичний алгоритм генерації проектних варіантів, який дозволяє виключити завчасно непридатні конфігурації варіантів задоволення вимог.

**Ключові слова:** проектування, концептуальне проектування, алгоритм, метод.

Предложен подход к формализации и автоматизации одного из этапов концептуального проектирования – выбора проектных вариантов. Слабоформализованность данного этапа и неопределённость входных данных ликвидируется за счет использования разработанного метода синтеза проектных вариантов, а именно: формирование компонентов технической системы, формирование условий системы, определение вариантов удовлетворения условий к системе, установление проектных вариантов, генерация проектных вариантов, оценка и выбор оптимального проектного варианта. Разработан эвристический алгоритм генерации проектных вариантов, который позволяет исключить заведомо непригодные варианты удовлетворения условий.

**Ключевые слова:** проектирование, концептуальное проектирование, алгоритм, метод.

In this article approach to formalization and automation of one of stages of conceptual design – a choice of design options is offered. The Poorly formalization of this stage and uncertainty of entrance data is liquidated at the expense of use of the developed method of synthesis of design options, namely: formation of components of technical system, formation of conditions of system, definition of options of satisfaction of conditions to system, establishment of design options, generation of design options, an assessment and a choice of optimum design option. The heuristic algorithm of generation of design options which allows to exclude obviously unsuitable options of satisfaction of conditions is developed.

**Key words:** design, conceptual design, algorithm, method.

**Постановка проблеми.** Для проектування складних вузлів літака вітчизняними та закордонними розробниками інформаційних технологій створено велику кількість інтегрованих автоматизованих систем і технологій, які забезпечують інформаційну підтримку цього процесу відповідним інструментарієм. Проте жодна з них не має повністю формалізованого та програмно реалізованого етапу концептуального проектування, який відбувається в ході аналізу технічного завдання під час розроблення концептуального та ескізного проектів. Концептуальне проектування – окремий вид проектної діяльності. Його результат – варіанти концепцій технічної системи, що проектується, як у цілому, так і в окремих її частинах. Основні завдання концептуального проектування доводиться вирішувати на ранніх стадіях розроблення технічних систем: під час аналізу технічного завдання, опрацювання технічної пропозиції та ескізного проектування. Іншими словами – процес визначення «виду» майбутнього виробу. Місце та об'єм концептуального проектування як окремої пошукової процедури виконується згідно зі схемою, що представлена на рис. 1.

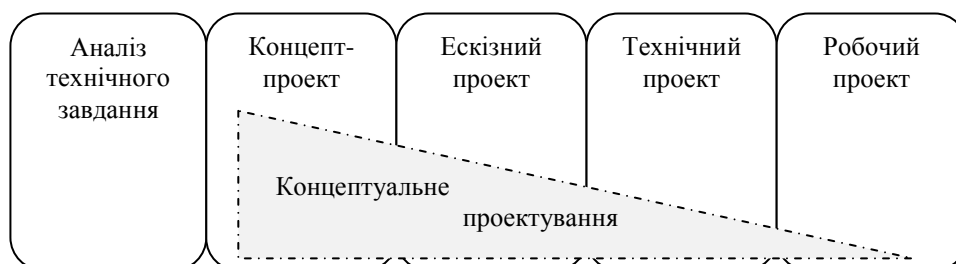


Рис. 1. Місце та об'єм концептуального проектування у процесі прийняття управлінських рішень

Концептуальне проектування – це найважливіша складова процесу створення нового виробу. Саме кількість опрацьованих концепцій майбутнього виробу визначає його новизну, якість та, відповідно, його конкурентоспроможність і обсяг продажу.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Сучасний стан досліджень у таких методологічних дисциплінах, як дослідження операцій, системотехніка, системний аналіз, а також у теорії прийняття рішень, теорії автоматичного управління не дозволяє досліджувати складні або слабоструктуровані динамічні об'єкти на ранніх етапах проектування [1; 2; 3].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Математичний апарат (теорія множин, теорія структур та ін.) широко використовується в теорії систем, проте також не забезпечує формалізацію та алгоритмізацію проектування складних об'єктів [3]. Розглянуте науково-технічне завдання зводиться до розроблення технологій управління концептуальним проектуванням технічних систем.

**Мета статті.** Спираючись на функціональні можливості сучасних інтегрованих автоматизованих систем, математичний апарат та останні досягнення в галузі проектування складних динамічних об'єктів, необхідно формалізувати процес вибору проектних варіантів концептуального проектування з метою розроблення методу синтезу проектних варіантів для автоматизації процесу вибору проектних варіантів, враховуючи всі технічні вимоги та обмеження об'єкта проектування.

**Виклад основного матеріалу.** Вхідними даними для концептуального проектування служать сукупність вимог до технічної системи і набір структурних моделей. Завдання синтезу та вибору проектних варіантів (ПВ) полягає в генерації вихідної множини ПВ і виборі оптимального варіанта за багатьма критеріями. Будь-який ПВ у вихідній множині повинен задовольняти всі вимоги до системи, а оптимальний – повинен бути найкращим за сукупністю критеріїв. Як правило, основою для генерації ПВ служать часткові варіанти задоволення вимог (ВЗВ) до технічної системи, що описують конкретні способи модифікації (чи створення) компонентів системи.

Крім вибору єдиного ПВ, потрібно оцінити найважливіші показники проекту (такі, як вартість, складність реалізації і т. п.). Проте повністю формалізувати процес генерації ПВ на цей момент неможливо. Тому обраний проектний варіант слід розглядати як опорний і дати особі, що приймає рішення, додаткову можливість самостійного вибору ПВ. Це доцільно робити на множині не домінуючих (Парето-оптимальних) варіантів [2; 3].

Склад ПВ може бути описаний вектором булевих змінних  $x = (x_1, x_2, \dots, x_l)$ . Для отримання множини ПВ необхідно згенерувати всі можливі конфігурації вектора  $x$  (по суті, всі можливі поєднання нулів і одиниць у всіх позиціях вектора) і виключити з них такі, які містять взаємовиключні ВЗВ і задовольняють не всі вимоги.

Найпростіший алгоритм генерації множини ПВ може бути розроблений на методі простого перебору [3; 4]. Вектор  $x$  подібний бітовому вектору тієї ж розмірності або бінарного числа з такою ж кількістю розрядів. У такому випадку одержання конфігурацій можливо за допомогою покрокового збільшення такого двійкового числа на одиницю. Недоліком такого алгоритму є велика кількість конфігурацій ( $2^l - 1$ ), яке необхідно розглянути.

В основу методу синтезу проектних варіантів покладено модель варіантів технічної системи, яка передбачає модифікацію (або створення) відповідних компонентів для задоволення кожної вимоги до системи. У загальному випадку для кожної вимоги таких ВЗВ може бути декілька. У свою чергу, ВЗВ може задовольняти одну або декілька вимог до технічної системи і припускати модифікацію одного або декількох компонентів. Кілька ВЗВ можуть вимагати модифікації одного і того ж компонента. Графічно це можна проілюструвати таким чином (рис. 2). Крім того, деякі ВЗВ можуть бути взаємовиключними (реалізація одного виключає можливість реалізації іншого).

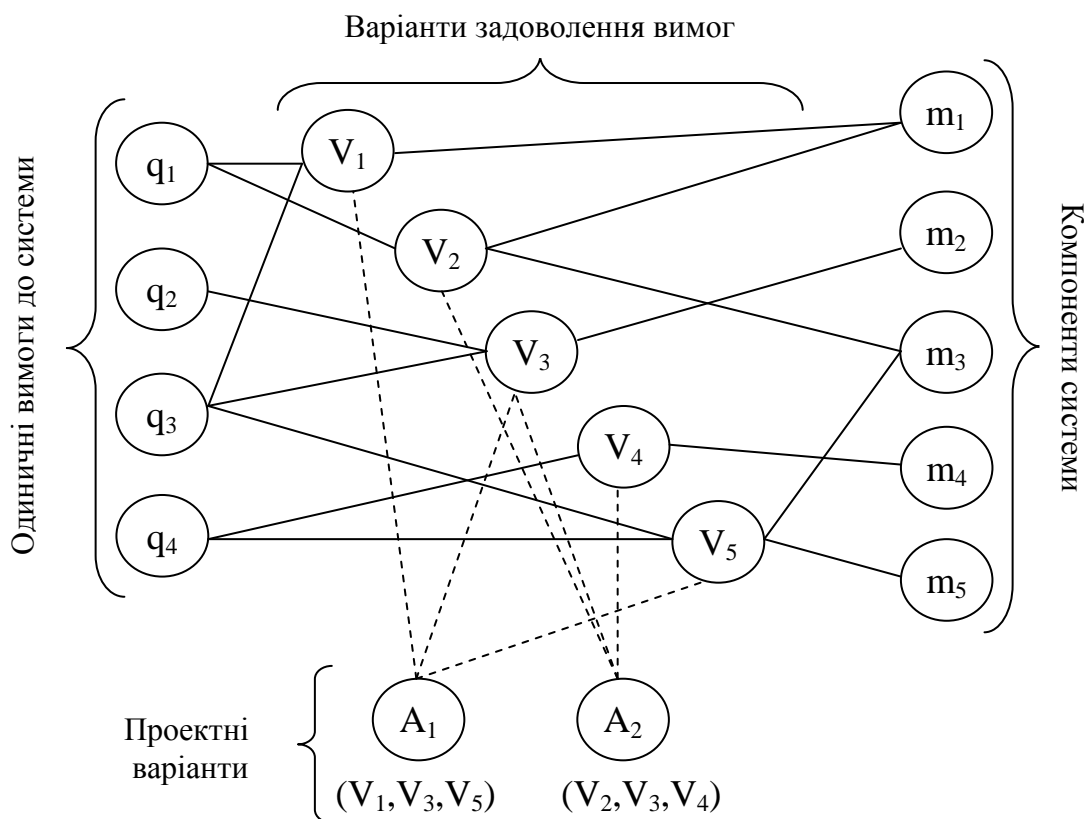


Рис. 2. Модель генерації проектних варіантів

Тоді ПВ будуть являти собою деяку підмножину множини ВЗВ, таку, щоб задовольнялися всі вимоги до проєктованої технічної системи. У загальному випадку буде існувати кілька ПВ. Вибір найкращого проектного варіанта здійснюється за сукупністю критеріїв: задоволення вимог до технічної системи, вартості реалізації ПВ, об'єма модифікації компонентів. Для цього кожен ВЗВ оцінюється відповідними показниками.

Суть розробленого методу синтезу проектних варіантів концептуального проєктування технічних систем літака полягає у виконанні таких етапів:

1. Формування компонентів технічної системи.
2. Формування вимог до системи.
3. Визначення варіантів задоволення вимог до системи.
4. Встановлення проектних варіантів.
5. Генерація проектних варіантів.
6. Оцінювання та вибір оптимального проектного варіанта.

У ході дослідження розроблено евристичний алгоритм генерації ПВ (рис. 3). Основою цього алгоритму служить розщеплення вектора  $x$  на два вектори, що не перетинаються між собою. Для кожного з них формується множина допустимих конфігурацій, які потім об'єднуються (в конфігурацію вектора  $x$ ). Це дозволяє:

- не допустити завчасно непридатні конфігурації ВЗВ;
- дотримуватись покрокової процедури складання конфігурації вектора  $x$  з конфігурацій двох таких векторів (можливість обривати генерацію некоректних конфігурацій на ранніх стадіях).

Вектор  $x$  розщеплюється на два вектори  $x_l$  і  $x_N$ :  $x_l \cup x_N = x$ ,  $x_l \cap x_N = \emptyset$ . Змінні вектора  $x_l$  і відповідають ВЗВ, які задовольняють тільки одну якусь вимогу ( $\forall x_l \in x_N$ )  $\left[ \sum_{j=1}^J vq_{lj} > 1 \right]$ .

Змінні вектори  $x_N$ , навпаки, відповідають ВЗВ, що задовольняють більше однієї вимоги. Якщо позначити через  $X_l = \{x_l^t\}$  множину всіх конфігурацій вектора  $x_l$ , через  $X_N = \{x_N^s\}$  множину всіх конфігурацій вектора  $x_N$ , то  $X = \{x^t\} = X_l \times X_N$ . Під час скорочення вихідних множин конфігурацій векторів  $x_l$  і  $x_N$  до допустимих множин  $\tilde{X}_l \subseteq X_l, |\tilde{X}_l| \leq |X_l|, \tilde{X}_N \subseteq X_N, |\tilde{X}_N| \leq |X_N|$ , відповідно, отримаємо  $|\tilde{X}_l \subseteq \tilde{X}_N| \leq |X|$ .

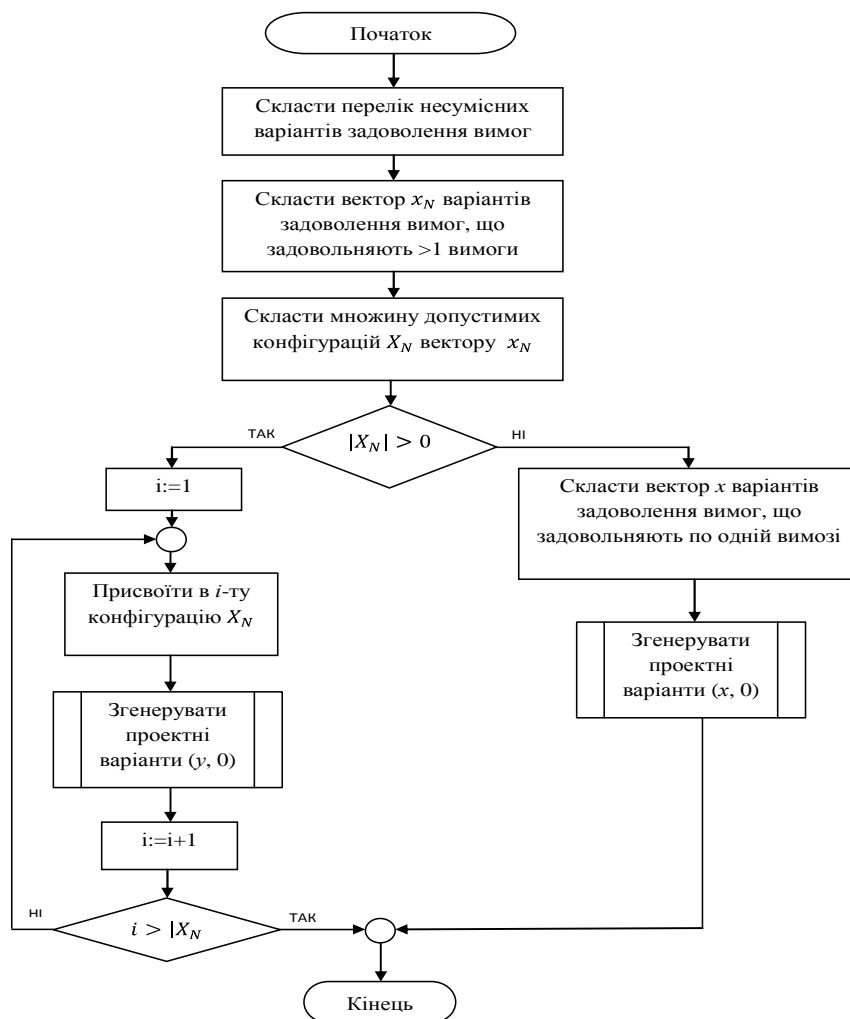


Рис. 3. Евристичний алгоритм генерації проектних варіантів

Приклад роботи евристичного алгоритму наведено на рис. 4. Спочатку формуються два вектори  $x_l$  і  $x_N$ . Потім формується множина взаємовиключних ВЗВ, що містяться у векторі  $x_N$ . З його врахуванням формується множина допустимих (не містять взаємовиключних ВЗВ) конфігурацій вектора  $x_n$  ( $\tilde{X}_N \subseteq X_N$ ).

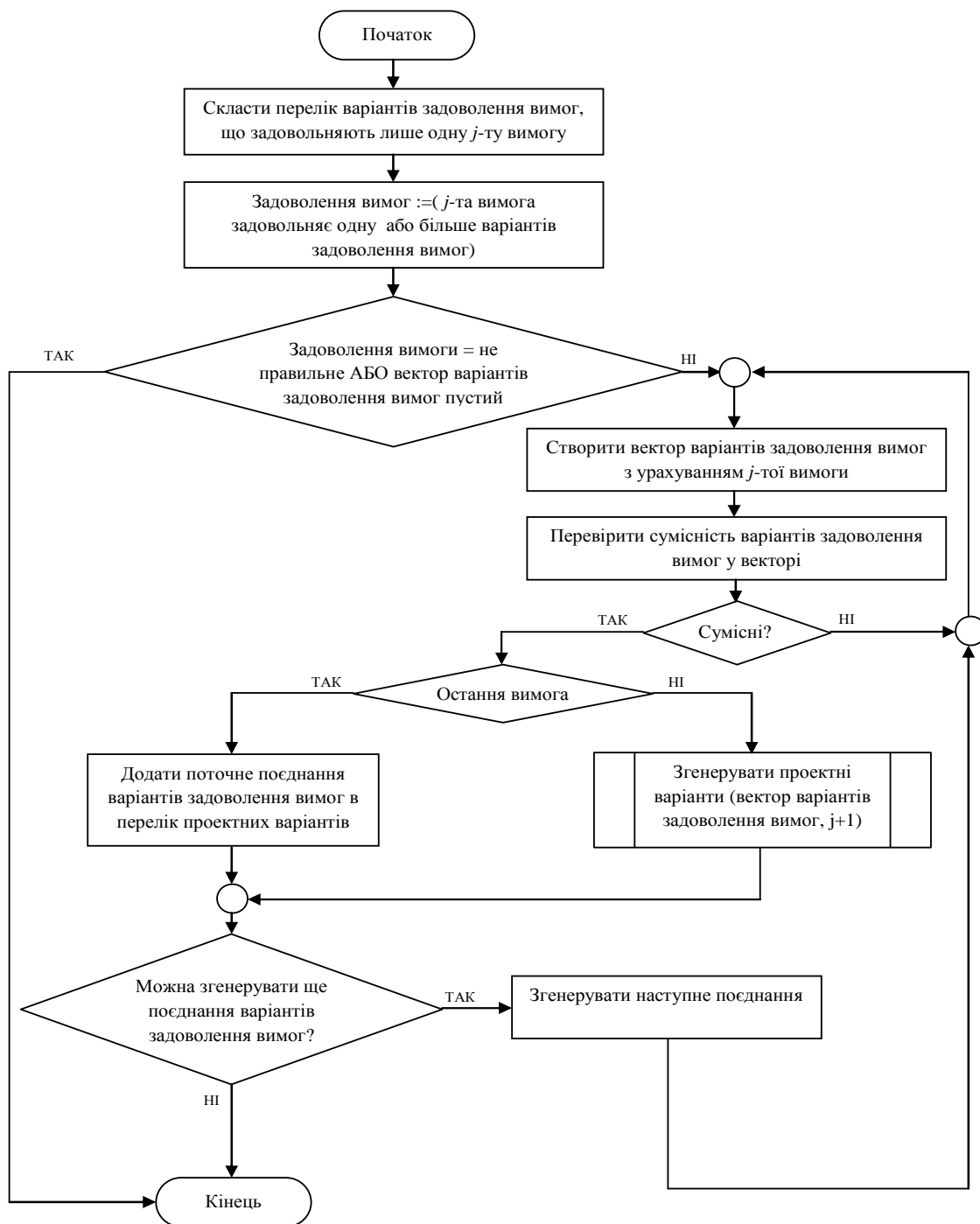


Рис. 4. Процедура генерації проектних варіантів

Для кожної конфігурації  $x_N^t \in \tilde{X}_N$  викликається процедура «деформування» вектора  $x$ . У ній для кожної вимоги (починаючи з 1-го і закінчуючи  $J$ -им) формується вектор ВЗВ, що задовольняють тільки цю вимогу. Потім формується множина допустимих (що не містять взаємовиключних ВЗВ) конфігурацій такого вектора. Якщо досягнута остання  $J$ -та вимога, то поточна конфігурація вектора  $x$  додається у множину  $\tilde{X}_N$ . Якщо дотримується умова задоволення  $j$ -ї вимоги системи, то здійснюється перехід до наступної вимоги ( $j+1$ ) і викликається ця ж процедура «деформування» з поточною конфігурацією частини вектора  $x$ .

Порівняння продуктивності двох розроблених алгоритмів показало середньостатистичну перевагу в п'ять-шість разів продуктивності евристичного алгоритму над алгоритмом простого перебору [4].

Таким чином, можна стверджувати про універсальність цього методу залежно від поставленої мети. В нашому випадку розроблений метод покладено в основу технології інформаційної підтримки процесів концептуального проектування складних технічних систем літака. Експериментальна апробація довела її працездатність та обґрунтувала показники підвищення продуктивності процесу концептуального проектування.

**Висновки і пропозиції.** Вдосконалення процесів концептуального проектування можна проводити декількома напрямками, починаючи від залучення висококваліфікованих кадрів з відповідною заробітною платою до розроблення та впровадження спеціального інструментарію (програмного забезпечення), що, у свою чергу, також коштовне. Автори статті вибрали «свій напрям» і намагаються вдосконалити процеси концептуального проектування за рахунок використання вже існуючих інформаційних технологій та автоматизованих систем із залученням відомих математичних теорій і методів. Розроблена модель генерації проектних варіантів автоматизує один із головних етапів концептуального проектування та дозволяє оптимізувати завдання вибору проектних варіантів і знизити трудомісткість цього процесу.

#### Список використаних джерел

1. *Лесин В. В.* Основы методов оптимизации / В. В. Лесин, Ю. П. Лисовец. – М. : Изд-во МАИ, 1998. – 344 с.
2. *Никаноров С. П.* Метод концептуального проектирования систем организационного управления и его применение [Электронный ресурс] / С. П. Никаноров. – Режим доступа : [http://www.situation.ru/app/j\\_art\\_960.htm](http://www.situation.ru/app/j_art_960.htm).
3. *Воронин А. А.* Математические модели организаций : учебное пособие / А. А. Воронин, М. В. Губко, С. П. Мишин и др. – М. : ЛЕНАНД, 2008. – 360 с.
4. *Вертакова Ю. В.* Управленческие решения, разработка и выбор : учебное пособие / Ю. В. Вертакова, И. А. Козьева, Э. Н. Кузьбожев ; под общ. ред. Э. Н. Кузьбожева. – М. : КНОРУС, 2005. – 352 с.

УДК 536.21

М.Г. Олененко, аспірант

И.Г. Величко, канд. физ.-мат. наук

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О СТАЦИОНАРНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛА В МНОГОСЛОЙНОЙ АНИЗОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЕ

*Показано решение двумерной задачи о стационарном распределении тепла в теле, состоящем из произвольного конечного числа анизотропных спаянных параллельных полос. В каждом слое одна из осей анизотропии параллельна границам полос, а вторая перпендикулярна. На верхней и нижней границах тела задана температура. На границе контакта двух слоев происходит идеальный тепловой контакт. Решение получено в виде интегралов Фурье. Приведены примеры расчета, показывающие влияние коэффициентов анизотропии и граничных условий на распределение температуры в двухслойной пластине.*

**Ключевые слова:** многослойная анизотропная пластина, температура, поток, преобразование Фурье.

*Показано розв'язок двовимірної задачі про стаціонарний розподіл тепла в тілі, що складається з довільного скінченного числа анизотропних спаяних паралельних смуг. У кожному шарі одна із осей анизотропії паралельна границям смуг, а друга перпендикулярна. На верхній та нижній границях тіла задано температуру. На границі контакту двох шарів відбувається ідеальний тепловий контакт. Розв'язок отримано у вигляді інтегралів Фур'є. Наведено приклади розрахунку, що демонструють вплив коефіцієнтів анизотропії та граничних умов на розподіл температури у двошаровій пластині.*

**Ключові слова:** багатшарова анизотропна пластина, температура, потік, перетворення Фур'є.

*A two-dimensional problem of the stationary distribution of heat in a body, which consists of random number of welded anisotropic parallel stripes, is solved in the article. In each layer one of the anisotropic axis is parallel to the border of the plates, another is perpendicular. There is a given temperature on the top and bottom borders of the body. At the border of a*