

УДК 621.3.396.6

Єфіменко А.А.

Одеський національний політехнічний університет

Карлангач О.П.

Одеський національний політехнічний університет

Сконечний В.В.

Одеський національний політехнічний університет

ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ МОДУЛІВ ІЗ ГНУЧКОЮ СТРУКТУРОЮ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

У статті представлено метод проектування електронних модулів першого рівня на основі друкованих плат для підвищення компоновальних характеристик і функціональної ємності радіоелектронної апаратури (РЕА). Метод передбачає збільшення кількості типорозмірів друкованих плат стосовно стандартних без збільшення типорозмірів елементів несучих конструкцій для електронних модулів другого і третього рівнів. Збільшення загальної кількості типорозмірів друкованих плат при використанні стандартних несучих конструкцій дає можливість більш раціонально підходити до вибору розмірів друкованих плат, покращуючи компоновальні характеристики РЕА. Метод може використовуватися при рішенні інших задач визначення розмірів друкованих плат у РЕА, коли відомі розміри площини, де потрібно розмістити функціонально-закінчені електронні модулі на основі друкованого монтажу. Розроблено алгоритм, призначений для поділу типорозмірів друкованих плат на субтипорозміри з оптимізацією їх структури та розмірів.

Ключові слова: друкована плата, електронний модуль, несуча конструкція, оптимізація розмірів, метод конструювання, алгоритм поділу.

Постановка проблеми. Розробка РЕА з використанням модулів 1, 2 і 3-го рівнів повинна виключати необхідність збільшення числа типорозмірів деталей і складальних одиниць несучих конструкцій (далі – НК) при збільшенні номенклатури спроектованої на її базі апаратури. Типорозміри модулів одного рівня вибираються таким чином, щоб для їх побудови могли застосовуватися уніфіковані деталі та кожний наступний типорозмір модуля виходив нарощуванням попередніх без порушення кратності основних розмірів. Наприклад, для модулів 1-го рівня нарощування можна проводити з певним кроком по ширині, але по висоті повинна бути дотримана кратність, тому що в іншому випадку виникне велике число типорозмірів модулів 2-го і 3-го рівнів. Недотримання такого принципу призводить надалі при проектуванні РЕА до великого різноманіття деталей і складальних одиниць НК вищих рівнів ієрархії і неможливості отримання всіх переваг від їх впровадження.

З іншого боку, розвиток елементної бази постійно спонукає розробників РЕА шукати нові конструк-

тивні та технологічні рішення, особливо це стосується НК і, у першу чергу, НК першого рівня ієрархії – друкованих плат (далі – ДП). Це пов'язане з тим, що зменшення розмірів електронних компонентів (далі – ЕК) і підвищення рівня інтеграції мікросхем неодмінно впливає на зменшення розмірів електронних модулів (далі – ЕМ) при використанні функціонально-модульного методу їх проектування.

Задача вибору оптимальних розмірів ДП і відповідно друкованих вузлів є актуальною і вирішуваною шляхом урахування багатьох факторів, у тому числі передбачається наявність значної кількості типорозмірів ДП. Але, коли діло доходить до вибору розмірів ДП, більшою частиною зі стандартного набору, то тут оптимізація може взагалі не дати ніякого результату, оскільки набір типорозмірів достатньо обмежений [1-4]. І це стратегічно правильно, тому що велика кількість типорозмірів ДП породжує, як правило, ще більшу кількість НК і ЕМ другого і третього рівнів – касет, секцій, настільних корпусів, стійок, шаф та інших конструктивів, про що мова йшла вище. Це значно

знижує технологічність виробництва електронних модулів, у тому числі централізованого, ускладнює взаємні зв'язки підприємств-партнерів.

У той же час дуже привабливо мати можливість вибору і застосування ДП з розмірами, що є оптимальними для кожного випадку створення РЕА, тобто з більшою кількістю типорозмірів по відношенню до стандартних. У результаті можна отримати значний вигаш у збільшенні функціональної ємності і зменшенні розмірів виробів. При цьому потрібно знайти компроміс між розглянутими суперечностями.

Метою роботи є розробка методу проектування ЕМ першого рівня на основі ДП для підвищення їх компоувальних характеристик і функціональної ємності РЕА шляхом збільшення кількості типорозмірів ДП щодо стандартних без збільшення типорозмірів елементів НК для ЕМ другого і третього рівнів.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення цієї задачі пропонується наступний підхід. Кількість типорозмірів ДП для ЕМ першого рівня повинна бути збільшена, але не шляхом збільшення основних (стандартних), а у результаті введення додаткових субтипорозмірів ДП для електронних модулів субрівня (рис. 1) [5]. При цьому їх кількість та розміри повинні визначатися у кожному конкретному випадку, відповідати вимогам стандартизації, уніфікації, технологічності, ефективного компоування і бути оптимізовані.

Насамперед пріоритетною складовою для введення додаткових типорозмірів ДП є можливість створення конструктивно та функціонально закінчених ЕМ, розміри яких з розвитком ЕК постійно зменшуються, зі всіма перевагами до уніфікації та спеціалізованого виробництва.

Метод поділу типорозмірів ДП на субтипорозміри

Передумовою для введення субтипорозмірів ДП є ситуація, коли при розробці будь-якого радіоелектронного апарата з використанням стандартної несучої конструкції та функціонально-вузлового методу проектування, типорозміри ДП, що мають, не задовольняють вимогам по ефективному заповненню ДП електронними компонентами чи, інакше кажучи, мають низький коефіцієнт заповнення. Така ситуація здебільшого стосується мінімального стандартного розміру ДП.

Припустимо, що є радіоелектронний пристрій, що складається з n -ої кількості функціонально-закінчених вузлів, кожен з яких з різних причин, наприклад, з метою уніфікації, повинен бути реалізованим окремим друкованим вузлом (електронним модулем). При виборі для них типорозмірів ДП виявляється, що потрібні розміри менші, ніж стандартні, що є у наявності.

Будемо розглядати ці вузли у ранзі електронних модулів субрівня і розміщувати їх на місці ЕМ стандартного розміру. Проілюструємо це на рис. 2.

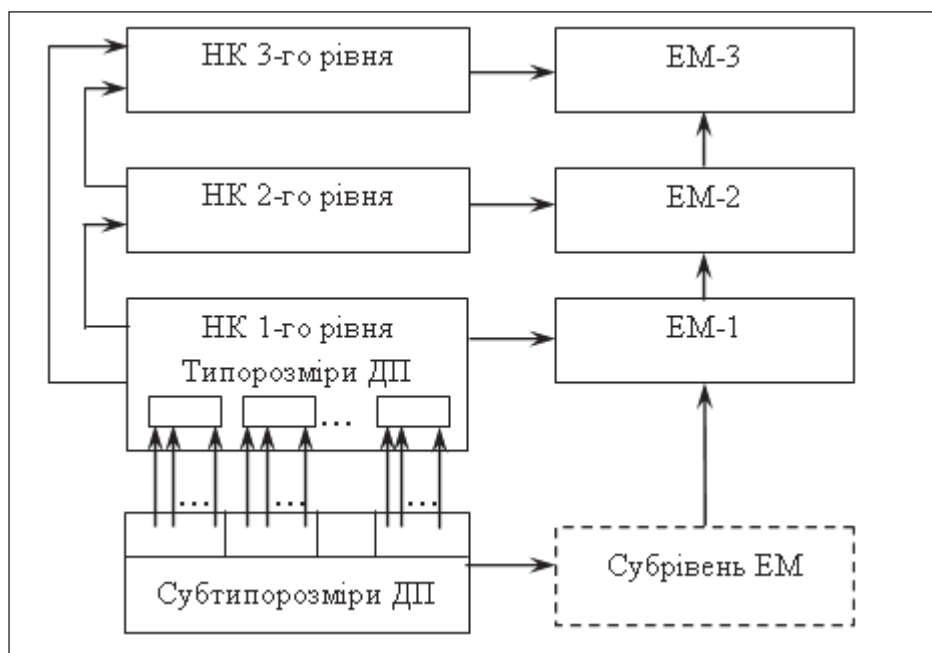


Рис. 1. Структура несучих конструкцій та електронних модулів з додатковими субтипорозмірами ДП

Для вибору стандартного типорозміру ДП виконаємо наступні дії:

– визначаємо сумарну установлювальну площу ЕК всього пристрою $S_{уст}$ (передбачається, що схема електрична принципова, перелік елементів пристрою та його поділ на функціональні частини відомі);

– визначаємо коефіцієнти заповнення стандартних типорозмірів ДП, які можливі для використання у даному випадку:

$$K_{3j} = \frac{S_{устj}}{S_j}, \quad (1)$$

де S_j – площа j -ї стандартної ДП;

– вибираємо той типорозмір ДП, для якого коефіцієнт заповнення знаходиться у межах 0,6...0,8 (чи близьким до них). Фіксуємо це значення коефіцієнта заповнення з позначенням K_3 .

Розрахувавши значення установчої площі електронних модулів субрівня $S_{уст1}, S_{уст2}, \dots, S_{устn}$ та приймаючи те ж значення коефіцієнта заповне-

ння K_3 , можемо визначити площі друкованих плат ЕМ субрівня:

$$S_i = \frac{S_{устi}}{K_3}, \quad (2)$$

Таким чином, задачу поділу площі стандартної ДП на друковані плати субрівня можна навести як

$$S \geq \sum_{i=1}^n S_i. \quad (3)$$

Кінцевим результатом поділу є визначення розмірів друкованих плат – висоти H_i і ширини D_i . При цьому слід мати на увазі, що для однієї площі можливо отримати множину типорозмірів для кожної плати. Відповідно до цього виникають різні варіанти об'єднання ДП у межах стандартної (рис. 2), що відрізняються компоновальними характеристиками.

Виникає завдання оптимізації розмірів ДП субрівня і встановлення таких обмежень, що разом дозволить виконати поділ стандартної ДП з ефек-

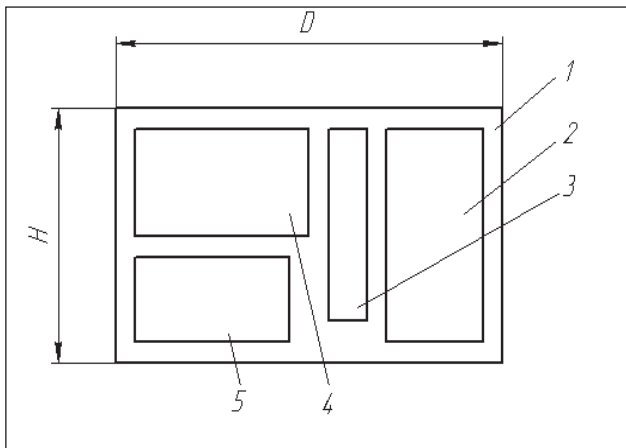


Рис. 2. Поділ друкованої плати 1 стандартного типорозміру на друковані плати 2-5 субтипорозмірів

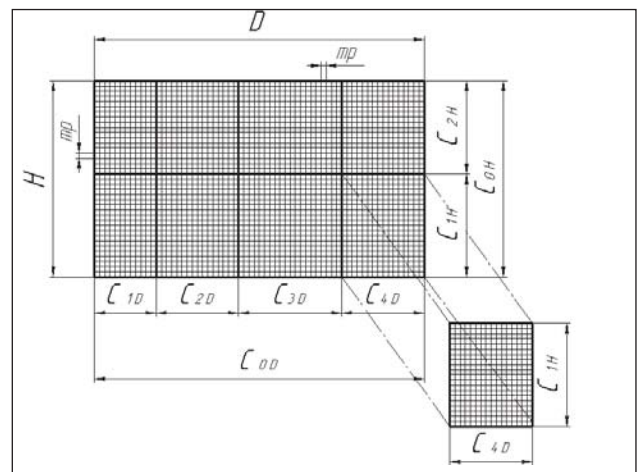


Рис. 3. Приклад поділу стандартної ДП на субтипорозміри

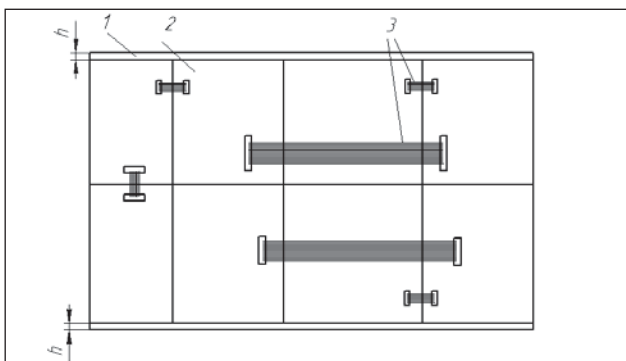


Рис. 4. Спрощена конструкція ЕМ 1-го рівня: 1 – несуча рамка, 2 – друкована плата, 3 – гнучкий друкований кабель

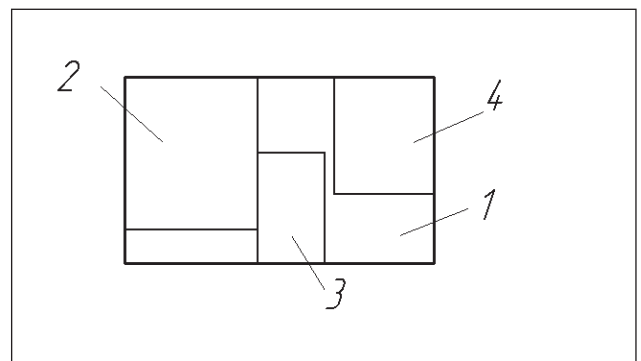


Рис. 5. Приклад поділу ДП на субтипорозміри: 1 – стандартна ДП; 2, 3, 4 – ДП субрівня

тивним використанням площі вихідної ДП, додержанням вимог нормативних документів та якомога спрощеним алгоритмом, який реалізує цей метод.

Задачу визначення розмірів ДП субрівня за відомими значеннями їх площі будемо розглядати як оптимізацію з цільовою функцією, де як критерій використаємо середнє квадратичне відхилення показників компоунвання

$$K = \min \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (K_{3i} - K_3)^2} \quad (4)$$

де K_{3i} – коефіцієнт заповнення друкованих плат субрівня визначеного варіанту компоунвання.

Оптимальним варіантом компоунвання буде той, в якому відхилення K_{3i} від встановленого K_3 будуть мінімальними.

Крім того, при визначенні розмірів ДП потрібно дотримуватися відповідних обмежень. Для цього скористаємося стандартом Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) [6], що описує модульний принцип розробки механічних структур.

Відповідно до цього стандарту розмір друкованої плати визначається за наступним співвідношенням

$$C_i = mp \times n_i, \quad (5)$$

де mp – монтажний крок. Він використовується для розміщення деталей і блоків у заданому просторі [6], у тому числі визначає кратність розмірів друкованих плат;

n_i – цілі числа.

У свою чергу монтажний крок визначається з використанням наступної залежності

$$mp = F \times p, \quad (6)$$

де p – базисний крок. Для друкованих плат прийнятий рівним 0,5 мм;

F – коефіцієнт [6, табл. 1].

Виходячи з викладеного і того факту, що розміри стандартних ДП у метричній системі (стандарти МЕК серії 917) кратні 5 мм, прийmemo монтажний крок рівним $mp = 0,5 \times 10 = 5$ мм.

Приклад поділу стандартної ДП з розмірами D і H на субтипорозміри з використанням модульного принципу наведений на рис. 3.

Тут діють наступні співвідношення для поділу:

$$\begin{aligned} D &= C_{0D} = C_{1D} + C_{2D} + C_{3D} + C_{4D} = \\ &= mp \cdot n_{1D} + mp \cdot n_{2D} + mp \cdot n_{3D} + mp \cdot n_{4D} = \\ &= mp \cdot (n_{1D} + n_{2D} + n_{3D} + n_{4D}) = \\ &= 5 \cdot (n_{1D} + n_{2D} + n_{3D} + n_{4D}); \end{aligned} \quad (7)$$

$$H = C_{0H} = C_{1H} + C_{2H} = 5 \cdot (n_{1H} + n_{2H}). \quad (8)$$

Після поділу стандартної ДП, яка призначена для безпосереднього установлення у конструктив для утворення ЕМ 2-го рівня, виникає питання механічного та електричного з'єднання ДП субрівня зі збереженням установлювальних розмірів.

Воно може бути вирішене з використанням принципів побудови радіоелектронного модуля [7], спрощена конструкція якого наведена на рис. 4.

Один із перспективних способів електричного з'єднання ЕМ субрівня на основі ДП – використання гнучких друкованих кабелів (далі – ГДК). Таким чином, ЕМ субрівня являють собою гнучко-жорстку структуру друкованих плат. Використання несучої рамки 1 потребує коригування розмірів друкованих плат 2 на величину h . Це пов'язано з необхідністю забезпечення вільних місць для установлення ЕМ 1-го рівня в ЕМ 2-го рівня.

При такому підході може бути велика кількість варіантів компоунки стандартної ДП друкованими платами субрівня і головне, що більшість із них будуть мати далекі від оптимальних значення коефіцієнтів заповнення. Це можна стверджувати на основі того, що при укладенні таких плат будуть виникати місця, які неможливо заповнити ДП субрівня, і що приводить до втрат площі (рис. 5). З цієї причини пропонується обмежувати варіанти шляхом установлення схем компоунвання. Приклади можливих схем компоунвання наведені на рис. 6. При цьому легко, а у деяких випадках однозначно (рис. 6а), встановлювати один із розмірів ДП субрівня.

Встановлюючи співвідношення розмірів H_1, H_2, H_3 (у загальному випадку H_k , де k – кількість

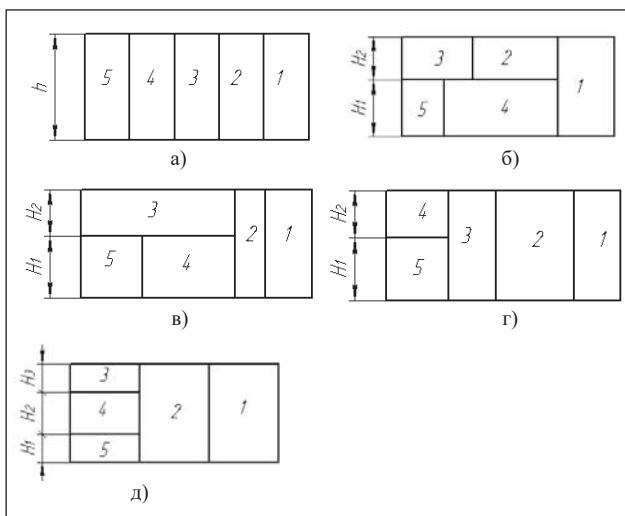


Рис. 6. Варіанти компоунвання (а...д) стандартної ДП: 1...5 – друковані плати субрівня

рівнів по висоті), достатньо легко отримати розміри по ширині ДП субрівня, використовуючи співвідношення

$$D_i = \frac{S_i}{H_k} \quad (9)$$

Але це не значить, що для усіх варіантів буде забезпечене компонування, коли всі ДП субрівня будуть розміщені у межах стандартної ДП по ширині, тобто, щоб на всіх рівнях виконувалась умова

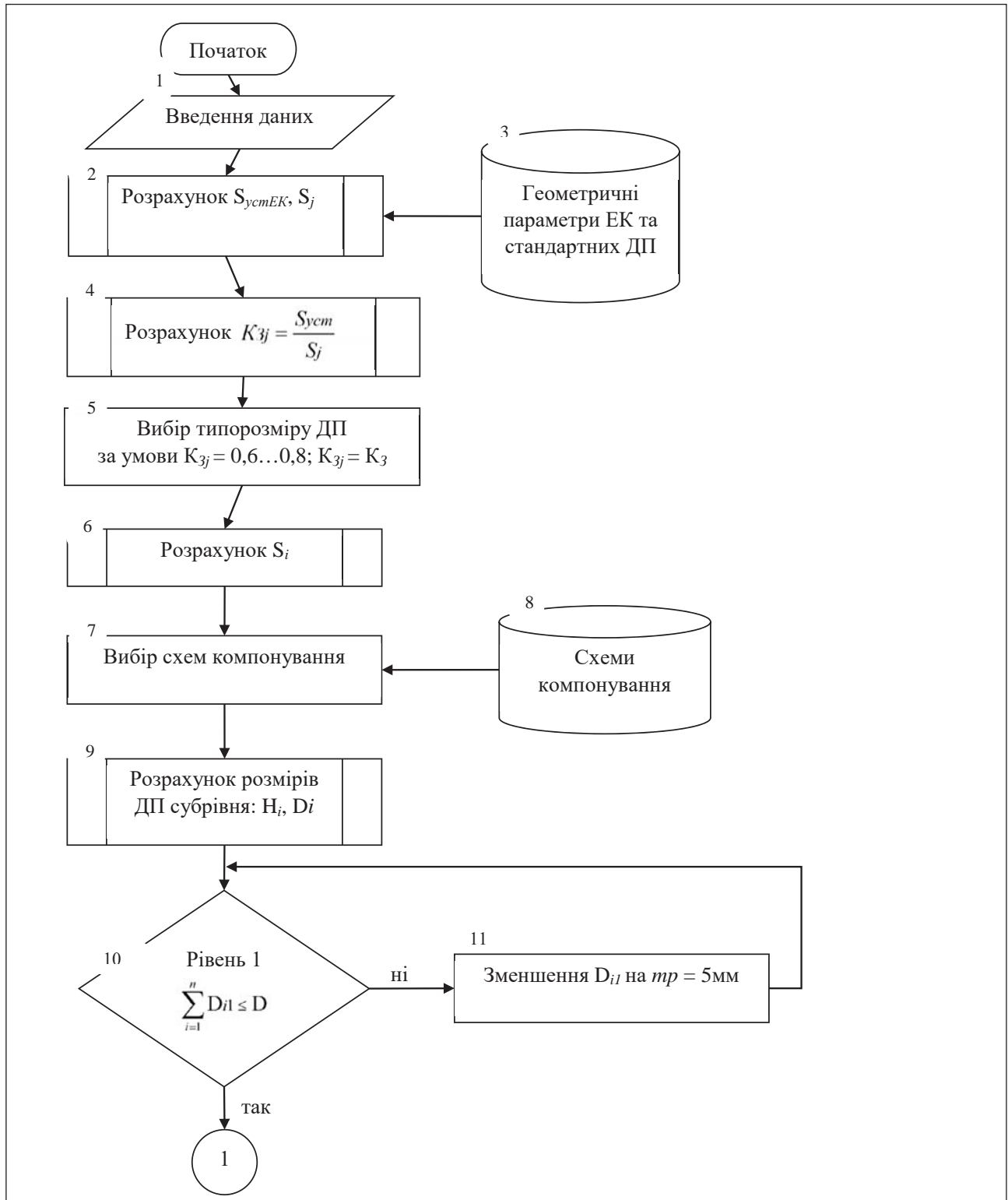


Рис. 7. Блок-схема алгоритму для визначення субтипорозмірів ДП електронних модулів

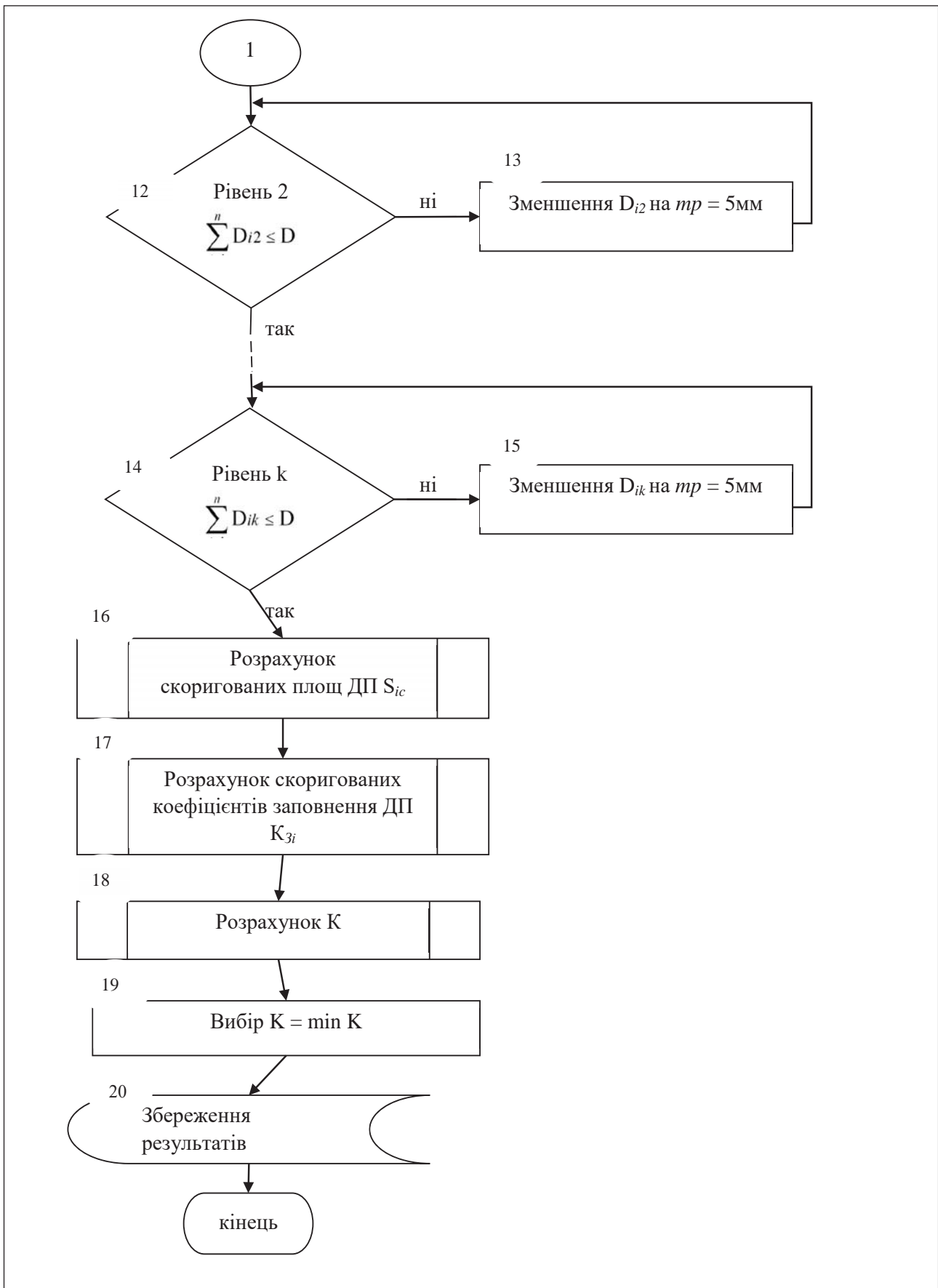


Рис. 8. Блок-схема алгоритму для визначення субтипорозмірів ДП електронних модулів (продовження рис. 7)

Якщо умова (10) не виконується, потрібно зменшувати розміри D_i . При цьому буде зменшуватись їх площа S_i і відповідно збільшуватись коефіцієнт заповнення ДП субрівня K_{zi} для того, щоб можна було розмістити призначені їм електронні компоненти.

$$\sum_{i=1}^n D_i \leq D. \quad (10)$$

Таким чином, варіанти компоновання (рис. 6) будуть відрізнятися значеннями середнього квадратичного відхилення, що відповідає умові оптимізації у відповідності до (4).

Рішення задачі поділу стандартних ДП на друковані плати з субтипорозмірами можливо реалізувати різними алгоритмами. Нижче приведений алгоритм, який відповідає описаному вище методу поділу.

Алгоритм рішення задачі поділу ДП на субтипорозміри

Блок-схема алгоритму для визначення субтипорозмірів друкованих плат електронних модулів субрівня приведена на рис. 7, 8. Алгоритм розроблений на підставі описаного вище методу.

Блок 1. В якості вихідних даних є схема електрична принципова пристрою, яка розділена на функціонально закінчені вузли. Формально схема є переліком електронних компонентів пристрою, який знову таки структурований за функціональними вузлами, кількість яких указується.

Блок 2. Розраховується установлювальна площа кожного ЕК, що входить у перелік елементів $S_{\text{встЕК}}$. Як говорилось раніше, це типорозміри ДП, які близькі до мінімальних. Початковими даними для вказаних розрахунків є база даних з геометричними параметрами ЕК та стандартних ДП (Блок 3).

Блок 4. Розраховуються коефіцієнти заповнення стандартних друкованих плат, які надані у базі даних, за формулою (1).

Блок 5. Потрібно відібрати стандартний типорозмір ДП, який найкращим чином підходить для розміщення пристрою. Умовою для цього є значення коефіцієнта заповнення у межах 0,6...0,8. Якщо для двох чи більше типорозмірів ДП значення K_{zi} попадає у цей діапазон, то вибирається той типорозмір, для якого значення більше. Вибране значення коефіцієнта заповнення надалі будемо позначати K_z .

Блок 6. Розраховуються площі друкованих плат субрівня з використанням формули (2). При цьому можна стверджувати, що виконується

умова (3), тобто сумарна площа ДП субрівня не перевищує площі стандартної друкованої плати, що поділяється.

Блок 7. Вибираються схеми компоновання із наданих у БД (Блок 8).

Блок 9. Відповідно до вибраних схем компоновання установлюється висота друкованих плат H_k , значення яких повинні відповідати залежності (8).

Далі розраховується ширина друкованих плат D_i за формулою (9). Отримані значення потрібно привести до таких, що кратні $tr = 5$ мм, що відповідає залежності (7). Як зазначалося раніше, сумарна ширина ДП субтипорозмірів може перевищувати ширину D стандартної ДП, що недопустимо. Повинна виконуватись умова (10). Відповідно до цього виконуються перевірки (Блоки 10, 12, 14) з корекцією розмірів (Блоки 11, 13, 15).

На кожному наступному рівні не повинні коригуватись розміри, які є загальними для декількох рівнів (наприклад, для рис. 6б установлена ширина плати 1 на першому рівні не повинна коригуватись на другому рівні).

Блок 16. Виконується розрахунок площ друкованих плат субрівня за встановленими розмірами H_k та розрахованими і скоригованими розмірами D_{ic} для всіх варіантів компоновання

$$S_{ic} = H_k \cdot D_{ic}.$$

Блок 17. Для всіх варіантів компоновання розраховуються коефіцієнти заповнення за реальними площами ДП субрівня

$$K_{zi} = \frac{S_{\text{вст}i}}{S_{ic}}.$$

Блок 18. За формулою (4) для кожного варіанту компоновання розраховуються значення цільової функції.

Блок 19. Вибирається варіант компоновання з мінімальними значеннями цільової функції, який є оптимальним.

Блок 20. Для оптимального варіанту компоновання зберігаються значення розмірів друкованих плат субрівня.

Висновки. Запропонований метод проектування радіоелектронної апаратури на першому рівні електронних модулів призначений для поділу типорозмірів друкованих плат на субтипорозміри з оптимізацією їх структури та розмірів. Збільшення загальної кількості типорозмірів друкованих плат при використанні стандартних несучих конструкцій дає можливість більш раціонально підходити до вибору розмірів друкованих плат, особливо це стосується функціонально-вузлового методу кон-

струювання, покращуючи компоновальні характеристики та збільшуючи функціональну ємність радіоелектронної апаратури. Перевагою методу також є те, що це не викликає збільшення типорозмірів елементів несучих конструкцій для електронних модулів другого та третього рівнів.

Використання методу не обмежується стандартними несучими конструкціями. Він може бути прийнятий для рішення інших задач визна-

чення розмірів ДП в електронних пристроях, коли відомі розміри площини, де потрібно розмістити функціонально-закінчені електронні модулі на основі друкованого монтажу.

Розроблений алгоритм поділу друкованих плат на субтипорозміри конкретизує дії розробника радіоелектронної апаратури та є передумовою створення відповідної програми для автоматизації проектування.

Список літератури:

1. IEC 60297-3-101:2004. Mechanical structures for electronic equipment – Dimensions of mechanical structures of the 482,6 mm (19 in) series. Part 3-101: Subracks and associated plug-in units. Geneva, 2004.
2. ГОСТ Р МЭК 60917-2-2-2013 Модульный принцип построения механических конструкций для радиоэлектронных средств. Часть 2. Секционный стандарт. Координационные размеры интерфейса для несущих конструкций с шагом 25 мм. Раздел 2. Детальный стандарт. Размеры блочных каркасов, шасси, объединительных плат, передних панелей и вставных блоков. Москва, 2014.
3. Каталог продукції фірми Schroff. URL: http://www.prosoft.ru/content/catalog_prosoft_17/files/assets/basic-html/page-1.html# (дата звернення: 25.01.2018).
4. Каталог продукції фірми Rittal 2014/2015 pp. URL: https://www.rittal.com/ru-ru/content/ru/unternehmen/presse/pressemeldungen/pressemeldung_detail_27712.jsp (дата звернення: 25.01.2018).
5. Ефименко А.А., Скопечный В.В., Карлангач А.П. Проектирование электронных модулей с гибкой структурой и размерами печатных плат. 19-я международная научно-практическая конференция «Современные информационные и электронные технологии»: труды МНПК «СИЭТ-2017» (Одесса, 28 мая – 1 июня 2018 г.). Одесса, 2017. С. 19–21.
6. Стандарт IEC 917. Модульный принцип разработки механических структур для электронного оборудования, 1988.
7. Радіоелектронний модуль: пат. 115262 Україна, МПК H05K 5/02 (2006.01) .№ a201509450 ; заявл. 01.10.2015 ; опубл. 10.10.2017, Бюл. № 19. 2017 р.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ С ГИБКОЙ СТРУКТУРОЙ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В статье представлен метод проектирования электронных модулей первого уровня на основе печатных плат для повышения компоновочных характеристик и функциональной емкости радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Метод предусматривает увеличение количества типоразмеров печатных плат по отношению к стандартным без увеличения типоразмеров элементов несущих конструкций для электронных модулей второго и третьего уровней. Увеличение общего количества типоразмеров печатных плат при использовании стандартных несущих конструкций дает возможность более рационально подходить к выбору размеров печатных плат, улучшая компоновочные характеристики РЭА. Метод может использоваться при решении других задач определения размеров печатных плат в РЭА, когда известны размеры площади, где нужно разместить функционально-законченные электронные модули на основе печатного монтажа. Разработан алгоритм, предназначенный для разделения типоразмеров печатных плат на субтипоразмеры с оптимизацией их структуры и размеров.

Ключевые слова: печатная плата, электронный модуль, несущая конструкция, оптимизация размеров, метод конструирования, алгоритм деления.

DESIGN OF ELECTRONIC MODULES WITH A FLEXIBLE STRUCTURE OF PCB

The article presents the design method of electronic modules of the first level on the basis of printed circuit boards (PCBs) to enhance the layout characteristics and functional capacitance of radio-electronic devices. In the method it is provided increasing the number of standard sizes of PCBs in relation to standard without increasing sizes of mechanical structures for electronic modules of the second and third levels. Increasing the total number of standard sizes of PCBs by using mechanical structures for electronic equipment allows more rationally approach to the choice of sizes of PCBs, improving the layout characteristics of the radio-electronic devices. The method can be used in solving other problems of determining the size of PCBs in the radio-electronic devices, when the size of the area is known, where it is necessary to place functionally-completed electronic modules based on assembly. An algorithm is developed for separating the sizes of PCBs into sub-dimensions with optimization of their structure and sizes.

Key words: printed circuit board (PCB), electronic module, mechanical structure for electronic equipment, optimization of sizes, design method, division algorithm.