

УДК 621.396.69:658.511

# Системний вибір оптимального технологічного рішення 3D MID

Гліненко Л. К., Фаст В. М.

Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна

E-mail: lkg2002@ukr.net

Проаналізовано сучасний стан 3D MID технологій об'ємних литих носіїв схем та можливості вибору оптимального варіанту технології за методикою карт властивостей Т. Пфайця. За результатами аналізу розширено перелік базових характеристик технологічних процесів до шістнадцяти, що дало змогу врахувати важливі особливості впровадження технології MID. Запропоновано використовувати суміщені діаграми властивостей кількох технологій MID, що дозволяє візуалізувати їх сильні та слабкі сторони. Описана методологія дає змогу спростити вибір 3D MID процесу відповідно до індивідуальних можливостей виробника та потреб замовника.

*Ключові слова:* оптимальний варіант; карти властивостей; базові характеристики; технології MID; прийняття рішення

## 1 Постановка проблеми в загальному вигляді

Розвиток електронного приладобудування супроводжується збільшенням щільності активних елементів на кристалі приблизно на 75% на рік, що, своєю чергою, приводить до збільшення кількості виводів на корпусі на 40% на рік. Це обумовлює потребу як у нових методах корпусування, так і у збільшенні густини міжз'єднань на друкованих платах, поліпшенні тепловідводу і збільшенні струмового навантаження силових кіл [1]. Одним з ефективних способів вирішення цих завдань є вертикальна інтеграція або самих кремнієвих кристалів, або елементів чи системи міжз'єднань у них. Варіантом останньої є 3D MID (3D molded interconnect device) технологія, яка набула нині широкого розповсюдження у виробництві телекомунікаційних, автоелектронних та біомедичних пристроїв. За різними оцінками, ринок таких технологій зростає експоненційно, від 20 до 60% на рік; провідними розробниками виступають фірми Європи та Японії, які щорічно нарощують обсяг виробництва та прибутковість своїх проектів [2]. Водночас, в Україні такі технології залишаються практично невідомими, що зумовлює необхідність аналізу їх можливостей, перспектив і доцільності впровадження.

## 2 Аналіз сучасного стану проблеми

Технологія тривимірних литих носіїв монтажних схем 3D MID передбачає формування 3D основ корпусів з литої високотемпературної пластмаси, у якій сформовані 3D провідники і контактні площадки, з подальшим монтажем на них дискретних компонентів, мікросхем, елементів функціональної електроніки. Друковані провідники інтегруються у корпус пристрою, який перебирає на себе функції друкованої монтажної плати.

Технологія MID передбачає 4 основні етапи:

1. формоутворення основи корпусу, яке переважно здійснюється шляхом литва: однокомпонентного, двокомпонентного чи литва зі вставкою (з попередньо закладеними елементами);
2. структурування основи для забезпечення утворення потрібної конфігурації майбутнього провідного шару;
3. металізація (власне утворення провідної конфігурації);
4. монтаж компонентів на 3D MID основу.

У випадку технології однокомпонентного литва перші 2 етапи чітко відокремлені, у інших випадках вони можуть бути суміщені. При цьому, окрім різних типів пластмас, у якості основи для корпусів нині починають застосовувати інші матеріали, зокрема, кераміку. Ці матеріали передбачають спеціальні методи формування провідного малюнку,

Табл. 1 Основні характеристики сучасних 3D MID технологій, за [3, с. 63-112], [4-8]

Процес	Мінімальна ширина доріжки, мкм	Свобода 3D-конструкції	Складність зміни топології	Асортимент придатних матеріалів	Ефективний обсяг виробництва	Витрати на матеріали	Витрати на обладнання	Обсяг початкових інвестицій
1	2	3	4	5	6	7	8	9
LDS	75	Велика	Незначна	Середній	Довільний	Великі	Низькі	Вище середнього
ADDIMID	75	Велика	Незначна	Великий	Великий	Середні	Дуже низькі	Вище середнього
MIPTEC	50	Велика	Незначна	Малий	Великий	Великі	Низькі	Вище середнього
Фотолітографія	30	Середня	Помірна	Дуже великий	Великий	Низькі	Низькі / середні	Середній
Aerosol-Jet	10	Велика	Незначна	Дуже великий	Малий	Середні	Середні	Вище середнього
Струменевий друк	10	Низька	Незначна	Дуже великий	Великий	Середні	Дуже низькі	Значний
Двокомпонентне литво	150	Дуже велика	Значна	Малий	Дуже великий	Низькі / середні	Дуже великі	Дуже великий
Литво зі вставкою плівки	100	Середня	Помірна	Дуже великий	Великий	Низькі / середні	Великі	Дуже великий
Гаряче карбування	300	Низька	Помірна	Дуже великий	Великий	Середні	Середні	Малий
Flamecon	-	Середня	Незначна	Великий	Середній	Низькі	Дуже низькі	Вище середнього
Plasmadust	200	Середня	Незначна	Великий	Середній	Низькі	Дуже низькі	Вище середнього
Технологія нанесення ґрунту	100	Велика	Незначна	Дуже великий	Середній	Низькі	Середні	Вище середнього

такі як струменевий друк, плазмове висадження чи ґрунтування. Варіанти реалізації технології 3D MID детально проаналізовані в [3, с. 63-112].

Кожна з технологій має свої переваги та недоліки, які впливають з притаманних цим процесам властивостей (табл. 1).

### 3 Невирішені проблеми

Як видно з табл. 1, властивості кожного процесу, сильні і слабкі сторони, визначаються базовою технологією формування основи і провідного малюнку. Проте, внаслідок суперечливого характеру вимог до технічних і економічних характеристик технологічного рішення, вибір останнього не є однозначним. Формалізованої методики здійснення такого вибору за різних умов ситуації прийняття рішення не існує.

### 4 Мета роботи

Метою даного дослідження є розробка ефективної методики вибору технологічного процесу 3D MID для виготовлення конкретних пристроїв чи організації нового бізнесу відповідно до можливостей і цілей розробника та замовника.

## 5 Основні результати дослідження

Для спрощення аналізу характеристик процесів у порівнянні з техніко-економічними вимогами до них, Т. Пайтцем запропоновано застосування методу діаграм (карт) властивостей технологічних процесів та розроблені такі діаграми для окремих 3D MID технологій [3, с. 248-250]. Ці карти візуалізують характеристики кожного з процесів, забезпечують їх порівняльну оцінку і спрощують вибір необхідного технологічного процесу відповідно до бажаного результату і наявних можливостей.

Т. Пайтць пропонує описувати профіль MID рішення набором з восьми характеристик: довільність 3D конструкції провідників (залежить від можливості металізації поверхонь у різних площинах та допустимої конфігурації провідників); реалізація металізованих поверхонь великої площі (задається складністю формування металізованих поверхонь великої площі); формування вузьких провідників (визначається мінімально можливою шириною провідних доріжок); реалізація металізованих покриттів значної товщини (визначається максимально можливою товщиною металізованого покриття за даної технології); асортимент придатних до використання пластмас (наявна пропозиція матеріалів, що задовольняють вимогам технологічного процесу);

простота зміни конструкції/топології (визначається витратами на розробку чи/та модифікацію оснащення); економічна ефективність для обмеженого розміру партій; інвестиційні витрати.

Отримання кінцевого продукту з певними характеристиками у конкретних виробничих умовах вимагає виконання певних вимог до кожної складової профілю MID рішення, ступінь задоволення яких конкретною 3D MID технологією оцінюється у балах від 1 (низький рівень задоволення вимоги) до 5 (високий рівень).

Результати оцінки для кожної технології відтворюються у вигляді полярної діаграми, осі якої відповідають зазначеним характеристикам. Діаграма супроводжується схемою технологічного ланцюжка і обґрунтуванням бальної оцінки кожної з характеристик. Приклад карти властивостей для процесу прямого лазерного структурування наведений у [3, с. 249].

Порівняння бажаних характеристик проектного MID пристрою з картами Пайтця для різних MID технологій, з урахуванням можливостей виробника, дає змогу ідентифікувати MID процес виробництва, який найбільшою мірою задовольняє вимогам до профілю основного рішення.

Загалом можна стверджувати, що карти Пайтця у поєднанні з різноманітними рекомендаціями щодо вибору техпроцесів, наведених у відповідних довідниках, є корисним інструментом вибору оптимального MID процесу. Проте, на наш погляд, обмеження карт властивостей описаними вище восьми характеристиками не дає змоги врахувати окремі важливі особливості впровадження технології MID. Так, зокрема, суттєве значення мають не лише початкові інвестиційні витрати, які залежать від наявного у виробника обладнання і технологій, а і співвідношення витрат на оснащення та матеріали. Впровадження MID процесу, як предмету бізнесу, може здійснюватися за різними варіантами – від розробки виключно конструкції з формуванням прототипу на умовах аутсорсингу до повномасштабного впровадження технології з виготовлення відповідних пристроїв [9]. Виходячи з цього, доцільно доповнити перелік базових властивостей MID процесів такими характеристиками: тривалість розробки процесу, придатність до прототипування (простота створення прототипу); довжина і різноманітність технологічного ланцюжка; варіативність конструкційної реалізації провідникового рисунку та економічна ефективність не лише за обмеженого, а й за різного розміру партії.

Окрім того, більш ефективним для здійснення відбору оптимального MID процесу видається застосування не індивідуальних карт окремих процесів, а суміщених карт кількох процесів, відмінних за одними ключовими вимогами і подібних за іншими.

Спираючись на літературні дані щодо параметрів 3D MID процесів [3, с. 63-112], [2, 4-9] та вихідні бальні оцінки Пайтця для окремих характеристик

[3, с. 249], можна для різних ситуацій початкового вибору запропонувати такі суміщені карти властивостей з виділеним нами набором властивостей (рис. 1 – 5).

Зокрема, для випадку початкового вибору за відсутності чітких вимог до продукту, доцільним є порівняння найрозповсюдженіших базових технологій – двокомпонентного литва, прямого лазерного структурування та фотолітографії (рис. 1).

Як видно з рис. 1, процес двокомпонентного литва вимагає найбільших початкових інвестицій внаслідок найбільших витрат на обладнання і є ефективним за масового чи великосерійного виробництва. Економічна ефективність процесу прямого лазерного структурування (LDS) практично не залежить від розміру партії і потребує значно дешевшого, хоча й специфічнішого обладнання, забезпечує можливість значно швидшої розробки і тестування дослідного взірця. Лімітуючим фактором впровадження цього процесу виступатимуть, найімовірніше, доступність і вартість матеріалів основи, які не виготовляються в Україні, та неможливість реалізації провідних малюнків великої площі та зі значною товщиною доріжок.

Якщо передбачається масове виробництво і немає доступу до лазерного обладнання, або якщо критичним фактором є обмеженість доступу до матеріалів, доцільно обмежитися порівнянням процесів з високою ефективністю за масового виробництва (рис. 2).

Порівняння характеристик цих процесів (рис. 2) показує, що вони є однаковими з погляду економічної ефективності; критеріями вибору процесу будуть слугувати витрати на оснащення, які зумовлюють обсяг початкових інвестицій, та вимоги до мініатюризації системи міжз'єднань, які задають критичну ширину провідникової доріжки та простору між доріжками. За цими параметрами, як і за придатністю до прототипування, найкращим видається процес двокомпонентного литва. Лімітуючим фактором для впровадження цього процесу може виступати асортимент придатних для виготовлення основ полімерних матеріалів, за яким двокомпонентне литво значно поступається литву зі вставкою та гарячому карбуванню.

За наявності вихідного спеціального обладнання, наприклад для струменевого друку чи плазмового нанесення, і оцінці перспектив розробки саме цих процесів, ефективним видається їх порівняння між собою та з одним із вже успішно впроваджених процесів, наприклад, прямим лазерним структуруванням (рис. 3, 4). Як видно з рис. 3 та 4, вибір на користь процесів нанесення ґрунту, плазмового нанесення чи променевого друку стосовно процесу прямого лазерного структурування може бути доцільним лише у випадку орієнтації на масове чи великосерійне виробництво пристроїв силової електроніки, для яких потрібні ширші і товщі провідні доріжки.

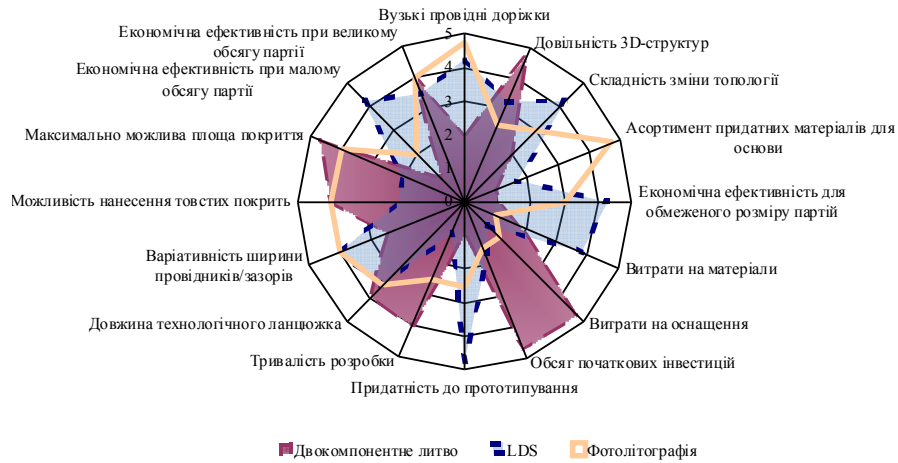


Рис. 1. Суміщена діаграма властивостей техпроцесів двокомпонентного литва, прямого лазерного структурування та фотолітографії

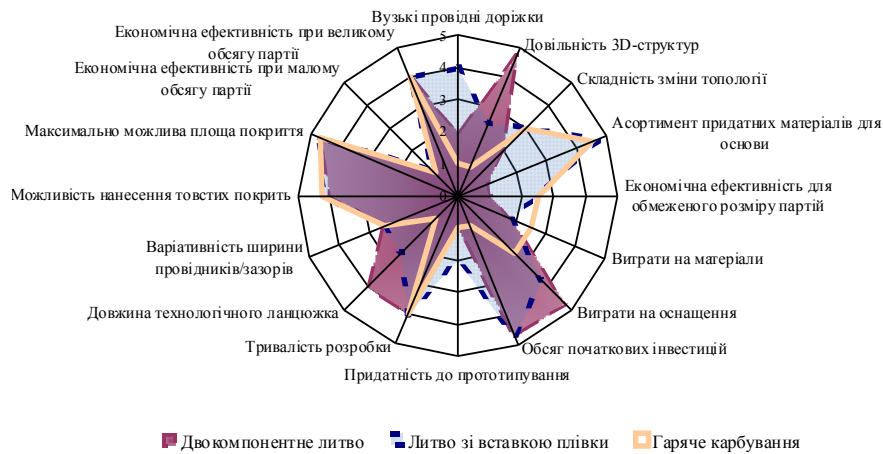


Рис. 2. Суміщена діаграма властивостей техпроцесів двокомпонентного литва, литва зі вставкою плівки та гарячого карбування

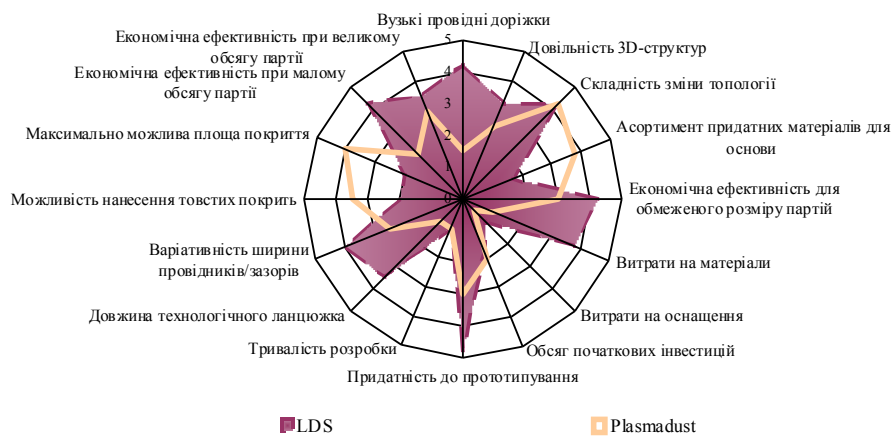


Рис. 3. Суміщена діаграма властивостей техпроцесів прямого лазерного структурування та плазмового нанесення металу

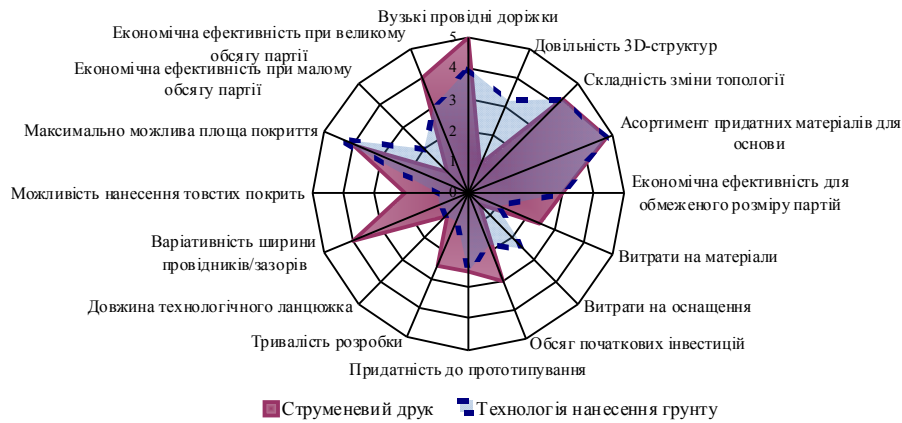


Рис. 4. Суміщена діаграма властивостей техпроцесів ґрунтування та струменевого друку

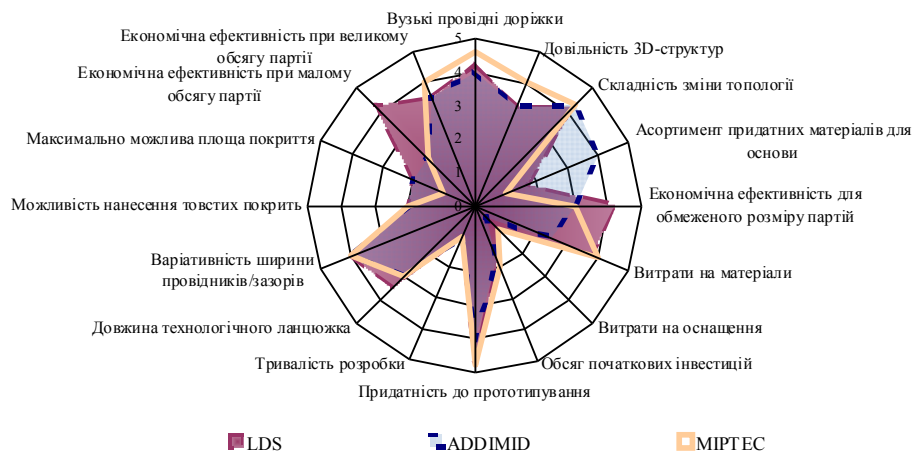


Рис. 5. Суміщена діаграма властивостей техпроцесів лазерного структування

Для випадку, коли критичним фактором є або ширина провідної доріжки, або придатність до протитипування, а асортимент матеріалів несуттєвий (наприклад, не передбачається впровадження повного циклу виготовлення пристроїв), видається правильним зосередитися на порівнянні відповідних технологій лазерного структування (рис. 5).

Серед представлених на рис. 5 процесів найпривабливішим для впровадження в Україні видається процес прямого лазерного структування, який поступається процесу MIPTEC лише за мінімальною шириною провідникової доріжки, але є менш чутливим до обсягу початкових інвестицій та впливу на ефективність розміру партії 3D MID виробів. Окрім того, для цих процесів найбільш відпрацьованими є режими роботи установок (фірма Multiple Dimensions, Швейцарія) та найдоступнішим є обладнання (фірма LKDK, Німеччина).

## 6 Висновки та рекомендації щодо подальших досліджень

Запропонована методологія оцінки перспектив впровадження технології 3D MID для виготовлення конкретних пристроїв чи організації нового бізнесу дає змогу спростити вибір варіанту технологічного

процесу відповідно до індивідуальних можливостей і завдань виробника.

Подальше розширення кола базових характеристик, суттєвих для формування суміщених діаграм властивостей, уточнення значень окремих характеристик в міру розвитку технологій 3D MID та дослідження проблем, що можуть виникати при їх впровадженні, сприятиме збільшенню ефективності запропонованої методики.

## Перелік посилань

1. Медведев А. Перспективы развития технологий электрических межсоединений в электронном приборостроении / А. Медведев // Печатный монтаж. – 2012. – № 5. – с. 178-188.
2. 3D MID applications [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.selectconnecttech.com/2016/03/3d-mid-applications/>
3. Franke J. Three-Dimensional Molded Interconnect Devices (3D-MID). Materials, Manufacturing, Assembly, and Applications for Injection Molded Circuit Carriers / J. Franke. – Munich : Carl Hanser Verlag, 2014. – 360 p.
4. Lee J. W. Biosensor with three-dimensional structure and manufacturing method thereof / J. W. Lee, J. K. Choi, T. H. Kim. – Patent EP 2626700 A2. – 14.08.2013.

5. Волков И. 3D-MID на Продуктронике / И. Волков // Вектор высоких технологий. – 2014. – №1(6). – с. 24-32.
6. Волков И. Трехмерные схемы на пластике: преимущества и перспективы / И. Волков // Технологии в электронной промышленности. – 2014. – №2. – с. 34-37.
7. Amend P. Fast and Flexible Generation of Conductive Circuits / P. Amend, O. Hentschel, Ch. Scheitler, M. Baum, J. Heberle, S. Roth, M. Schmidt // Journal of Laser Micro/Nanoengineering. — 2013. – Vol. 8., No. 3. – pp. 276-286.
8. 3D Packaging Devices MID Solutions [Электронный ресурс] / Panasonic Corporation. — 2016. — р. 4-9. — Режим доступа : [https://www3.panasonic.biz/ac/e\\_download/tech/mid/miptec/catalog/con\\_eng\\_miptec.pdf?f\\_cd=401242](https://www3.panasonic.biz/ac/e_download/tech/mid/miptec/catalog/con_eng_miptec.pdf?f_cd=401242)
9. Шахнович И. Контрактное производство 3D-MID. Когда в Швейцарии дешевле, чем в Китае / И. Шахнович // Печатный монтаж. – 2014. – № 1. – С. 171-181.

## References

- [1] Medvedev A. (2012) Electrical Interconnections Technologies Development Horizons in Electronic Professional Equipment. *Pechatnyi montazh*, No 5, pp. 178-188. (in Russian).
- [2] 3D MID applications. Available at: <http://www.selectconnecttech.com/2016/03/3d-mid-applications>
- [3] Franke J. (2014) *Three-Dimensional Molded Interconnect Devices (3D-MID). Materials, Manufacturing, Assembly, and Applications for Injection Molded Circuit Carriers*. Munich, Carl Hanser Verlag, 2014, 360 p. DOI: 10.3139/9781569905524.fm
- [4] Lee J.W., Choi J.K. and Kim T.H. (2013) *Biosensor with three-dimensional structure and manufacturing method thereof*. Patent EP2626700A2.
- [5] Volkov I. (2014) 3D-MID na Produktronike [3D-MID on Productronics]. *Vektor vysokikh tekhnologii*, No 1(6), pp. 24-32.
- [6] Volkov I. (2014) Trekhmernye skhemy na plastike: preimushchestva i perspektivy [3D Circuits on plastics: advantages and prospects]. *Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti*, No 2, pp. 34-37.
- [7] Amend P., Hentschel O., Scheitler Ch., Baum M., Heberle J., Roth S. and Schmidt M. (2013) Fast and Flexible Generation of Conductive Circuits. *Journal of Laser Micro/Nanoengineering*, Vol. 8, No. 3, pp. 276-286.
- [8] Panasonic Corporation (2016) *3D Packaging Devices MID Solutions*, pp. 4-9.
- [9] Shakhnovich I. (2014) 3D-MID Contract Manufacturing: when it is cheaper in Switzerland than in China. *Pechatnyi montazh*, No 1, pp. 171 – 181. (in Russian)

## Системный выбор оптимального технологического решения 3D MID

*Фаст В. М., Глиненко Л. К.*

Проанализированы современное состояние 3D MID технологий объемных литых носителей схем и возможности выбора оптимального варианта технологии по методике карт свойств Т. Пфайца. По результатам анализа расширен перечень базовых характеристик технологических процессов, что дало возможность учесть важные особенности внедрения технологии MID. Предложено использовать совмещенные диаграммы свойств нескольких технологий MID, что позволяет визуализировать их сильные и слабые стороны. Описанная методология дает возможность упростить выбор 3D MID процесса в соответствии с индивидуальными возможностями производителя и потребностями заказчика.

*Ключевые слова:* оптимальный вариант; карты свойств; базовые характеристики; технологии MID; принятие решения

## System Choice of Optimal Technological 3D MID Solution

*Hlinenko L. K., Fast V. M.*

**Modern General statement of a problem.** Modern Three-Dimensional Molded Interconnect Devices (3D-MID) technology of injection-molded thermoplastic circuit carriers with structured circuit traces has proved to be an effective way to solve the problem of increasing active component density by integration of interconnections into a package. Technology has many variants of realization with specific intrinsic strengths and weaknesses Due to a contradictory character of requirements to technical and economic characteristics of technological solution; choice of the last is not unambiguous. As a matter of fact, today one has no formalized methodology of such choice realization under different terms of a decision-making situation. **The aim** of this research was to develop an effective methodology of technological process choice for either defined devices manufacturing or organization of new business in accordance with possibilities and aims of developer and customer. **Main results of research.** 3D-MID technologies as well as possibilities of optimal 3D-MID technology choice according to Thomas Peitz' methodology of properties cards are analysed. After analysis results the extension of the list of technological process base properties from eight to sixteen is suggested, providing the opportunity of taking into account certain important features of MID technology introduction. It is also proposed to use the combined properties cards of several preliminary selected MID technologies for visualization of their strengths and weaknesses and simplifying the decision-making procedure of the best-fit process for the MID basic solution. Several versions of such combined cards applying the extended characteristic set are built for the different situations of initial choice. **Conclusions and recommendations.** The described methodology simplifies the choice of 3D MID process according to specific production potentialities, producer tasks and customer requirements.

*Key words:* optimum version; card of properties; basic characteristics; MID technology; making of decision