

Альтернативні технології композитних високонавантажених авіаконструкцій: якісний метод прийняття багатокритеріальних рішень: III частина. Дослідження методологічної основи в прийнятті рішень: технологічні конструкти в інструментарії оцінки

В.Ф. Забашта¹

Received: 3 September 2023 / Revised: 14 November 2023 / Accepted: 18 December 2023

Анотація. Третя частина статті виходить з відправних положень в задачі прийняття рішень (ЗПР), зазначених на перших етапах досліджень. Тут продовжено зіставлення за превалюванням (найперше – якість) автоклавних та безавтоклавних альтернативних технологічних процесів (АТП) у складі етапів ТП(е) з лінійним алгоритмом наскрізної дії при виготовленні вуглепластикових (ВП) авіаконструкцій (АК) типу високонавантажених стрингерних панелей кесона крила (ВСП) магістральних літаків В787, А350, МС – 21, СSeries, як складник ієрархічних систем. Для їх опису та вивчення були залучені: вихідні технологічно-вербальні моделі, технологічно-математична модель автономної динамічної системи (АДС) та низка двовимірних, багатовидів (топология) до неї у вигляді технологічно-геометричних моделей. В статті продовжені дослідження розвитку в цьому напрямку шляхом апроксимації багатовидів багатограничниками. В тому числі коміркових та подвійно сформованих структур – п'ятикутні піраміди та біпіраміди, а також тіла обертання навколо них – конус та біконус. Представлені приклади схематологічного інтерпретативного моделювання. За методологічну основу взяті головні положення теорії прийняття рішень, факторного аналізу та системно-процесний підхід з залученням результатів практики (експертний аналіз), в першу чергу – визначення технологічних чинників процесів з критеріальними оцінками щодо переваг, компонентів альтернатив в їх конкурентних стратегіях.

Ключові слова: АК, ПКМ, ПКМ/АК, ВП, АДС, АТП, ТП(е), КТР, інтерпретація, багатограничники, кліткові простори, комірні структури, якість – витрати, критеріальні оцінки, піраміда, круговий конус, триангуляція.

1. Вступ

В роботі йдеться про клас високонавантажених, великогабаритних та довготривалої експлуатації композитних АК (умовно ВВДЕ) [1]–[4], [24].

1.1. *Загальні принципи та підходи.* Стаття є органічним продовженням попередніх публікацій [1], [2], а також публікацій аналогічного напрямку, в т.ч. нормативно-довідкової інформації (НДІ) [3], [4], [16] в технологічно-дослідницькій парадигмі “АК із ПКМ”.

По-перше, йдеться щодо суті та оцінки системи АТП (в розширенні АТП-ВП) серійного виробництва ВСП. Це здійснюється в рамках послідовно викладених принципових елементів процесу інтерпретованої

дедуктивної формалізації з широким модельно-орієнтованим представленням.

Це близько перекликається з тим, що в логіці формалізованою мовою називають формальну систему разом з її інтерпретацією. По-друге, про вишукування можливостей формалізованої інтерпретації досліджувальних об'єктів [1], [2] і їх переваг з залученням (часто в спрощеній постановці) ідей та методів геометрій: Евклідової, афінної (р.2, рис. 2, 6 [1]), проєктивної, інцидентності; топологічного простору та структур в ньому; графіків елементарних функцій та ін. Цим сповідується принцип поєднання наукових знань з практикою виробничих процесів. Згідно [24] говориться про новітню (розширену) багаторівневу таксономію економічного простору. Тут описані дев'ять рівнів з введенням поняття “мезоекономічного простору”.

Через етапні технологічні процеси ТП(е) виготовлення композитних АК (внутрішні фактори: одне місце, один час, одна дія) червоною стрічкою проходить, як базове поняття на рівні вихідної аксіоми, або ж наскрізний принцип композито-конструктивного

✉ В.Ф. Забашта
zabashhtaevgeniy@gmail.com

¹ АТ “Український науково-дослідний інститут авіаційної технології” УкрНДІАТ, Київ, Україна

двоєдності головних компонент¹ ПКМ і АК (позначення ПКМ/АК).

Далі, в [1], [2] представлена вихідна (аналіз) структурно-функціональна концепція оцінювання з залученням таких понять, об'єктів та інтерпретаційних моделей у двовимірній постановці².

В статті ця концепція [2] розширена в напрямку структурно-функціонального синтезу³ технологічної цілісності набору взаємоутворюючих її функціональних складників, а саме у вигляді формальної моделі образу кожного етапу ТП(e), $e = 1, 2, \dots, 5$, як рушійну силу цього синтезу (технологічний детермінант) в заданому напрямку (р.3) з тим, щоб композитні об'єкти мали бажані властивості (п. 2.3). Тому в статті на розширеній методологічній основі оцінювання залучені (в напрямку структурно-функціонального синтезу) моделі, на основі п'ятикутних пірамід (п'ять альтернативних етапів), а також сполучених між собою двох геометричних фігур "піраміда-круговий конус" (рис. 1) та ін.

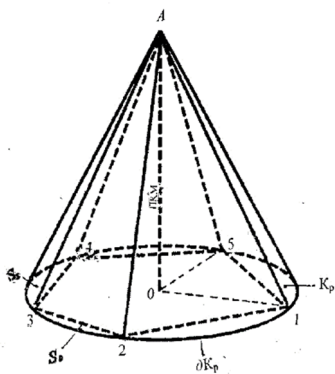


Рис. 1. Геометрично-просторове представлення АДС з її навколишнім середовищем

Таким чином, йдеться про з'єднання різних етапів АТП в єдине ціле, результатом такого синтезу являється нове утворення, властивості якого є похідними від їх внутрішніх зв'язків і взаємозалежностей. Наприклад, тут можливе графічне відображення шкали відносного часу (центральні кути α , рис. 1). Це дає змогу

¹Аналіз головних компонент (АГК) відомий, як метод "зменшення" розмірності.

²В науці двовимірний простір розглядається також в варіанті схеми "2+1", тобто з врахуванням фактора часу. В двовимірних схемах статті цей фактор опосередковано пов'язаний саме з ПКМ, бо це первинний об'єкт технологічної процесної дії в продуктивній парі ПКМ/АК ([2], рис. 13)) визначаючий (диктуючий) алгоритм ходу АТП і в переважній мірі і його тривалість. Умовно тут можна говорити про проєкцію одного алгоритма (утворення ПКМ) на другий (відповідний опосередкований час).

³Синтез – процес об'єднання чи з'єднання раніш розрізнених речей, або понять у ціле або набір.

проілюструвати послідовність, тривалість кожного виробничого етапу узагальненого циклу АТП.

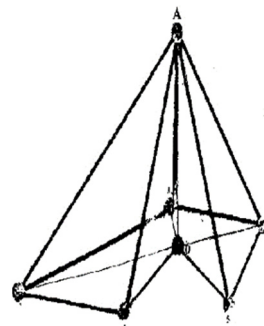


Рис. 1 а. Приклад зовнішнього виду п'ятикутної піраміди з відокремленою внутрішньою осередкованою коміркою (бокове заглиблення)

В заявленому комплексі статей йдеться про вирішення задачі оптимального вибору об'єкта з максимальною кількісною і/або якісною оцінкою в [1], [2] досліджуваних АТП, а саме ПКМ, КТР та ТП, тобто при наявному наборі препрегово-автоклавної (ПАВ) та преформово-пічних (VARTM) АТП [1]–[4], водночас, з відносними витратами щодо особливо важливої номенклатури технологічної оснастки (Ос) та обладнання (Об). Тобто йдеться про прийнятний при оцінюванні для зазначених композитних АК баланс між двома сторонами: конструктивно-технологічної з витратами (п. 1). При порівнянні (можливості спів зіставлення в балах) переваг по цим двом різноплановим факторам, для цього, в роботі приймається, що чим менші відносні витрати в ТП, тим вищий економічний рівень даної технології (ЕРТ-фактор), тобто тим вище значення показника важливості цього фактора.

Взагалі в статті на перший план тут входять такі технологічно-оцінювальні засади:

- відносна якість та надійність несучих високонантажених АК із ПКМ [1]–[3]. Вона пов'язана з високим рівнем використання потенційних можливостей конструктивних вуглепластиків, як:

- інноваційні (високої вартості) ПКМ та КТР на їх основі і, водночас, стабільності АК в довготривалій експлуатації літака;

- відносна якість АТП та вплив на якість АК. Детальніше, застосування ПКМ має цілком зниження маси конструкцій літака на 15–20%, підвищення ресурсу в 1,5–2 рази та ін. Але в зазначених ВСП ці переваги поки помітно ще не реалізовано. Це говорить про потенційні можливості тісно пов'язаних між собою пар: високоефективні анізотропні ПКМ та оптимально зрегованих на них результативних КТР. Тому для класу ВВДЕ композитних АК багато в чому прийнятний принцип "чим вище якість, тим виправдані і можливі вищі витрати". Цьому принципу відповідають ПАВ технології, де препрегові зв'язуючі на відміну від інфузійних задіяні на всіх етапних процесах одночасного

створення ПКМ та конструкцій з нього (так зване “вбудування” якості у продукцію), забезпечуючи якість і стовідсотковий контроль у т.ч. у важкодоступних місцях АК ([1], [2], р.2, табл. 1). В розрізі контролепридатності⁴.

Крім цього, в статті при оцінці АТП в авіабудуванні розрізняються такі два види технологій:

- стабільна технологія композитних АК, яка залишається незмінною на всьому життєвому циклі літаків і підтверджена достатнім періодом їх експлуатації;
- змінна технологія. В цьому випадку на протязі всього життєвого циклу продукту змінювалися декілька технологій. Тут може виникати ситуація так званого “технологічного айсбергу”, тобто з самого початку саме приваблива частина технологічного рішення і недостатньо врахована інформація про ризики, в тому числі за першими оцінками КТР.

1.2. Підхід до розширеного формалізованого представлення. На формальній основі з її технологічною інтерпретацією (р.2, 3) ця можливість представлена, в першу чергу, з залученням наприклад об’ємних геометричних тіл. Під цим поняттям тут розуміється зв’язана частина простору, що обтяжена зв’язною поверхнею своєю зовнішньої границі [7]–[8]. На початку (рис. 1) йдеться про вихідне (базове) геометричне тіло у вигляді композиції двох пов’язаних між собою об’ємних фігур: прямої п’ятикутної піраміди (П) та описаного навколо неї прямого кругового конуса (К), як тіло обертання. Тут можна говорити про цю зовнішню конусну оболонку для відображення зовнішнього впливу на АТП – ВП і, в цілому, як складне технолого-геометричне тіло. Йдеться про формальне представлення та вплив факторів (ПОПР) в послідовному поетапному розвитку АДС ([2], рис. 2), а саме на рівень якості композитних АК і технології їх виготовлення, а також на рівень цілепокладальних витрат у серійному виробництві. Всі ці чинники розглядаються на базі розширеної технолого-процесної геометричної моделі при оцінці АТП – ВП. Саме оцінки є функцією цієї системи, як найбільш суттєва їх характеристика, відображаючи її призначення.

Модель представлена у вигляді об’ємної геометричної фігури з виділенням для спрощення двох різних рівновеликих частин з протилежними вершинами, в

т.ч. на основі верхнього та нижнього прямих кругових конусів (рис. 1 та рис. 11, р.3 (ламана відсутня)). За певною аналогією з графами в математиці, приймається, що верхня частина фігури (рис. 10–11) є джерельною, а нижня – стокового типу.

Формально в цій емпіриці опосередковано йдеться про клітковий простір у вигляді CW – комплексу. Детальніше, введено поняття перегородка, як спосіб обмеження внутрішнього простору. Це в статті розуміється в технологічному АДС-сенсі, при виділенні (побудові) обмеженої номенклатури просторових комірок многогранників у формалізованому клітковому просторі.

В статті це розглядається, як технолого-математична задача з залученням CW – комплексу, який являє собою тип топологічного (в статті – технологічного) простору X з доповненою структурою (розбиття на клітки). Тобто в рамках науково обґрунтованої системи уявленнь йдеться про можливість розкриття на макрорівні технологічного змісту, яке вкладається в це топологічне поняття, що дозволить спростити, сконцентровано “стиснути” для цілей статті обширні рамки поставленої задачі.

1.3. Мета статті. На основі системно-процесного підходу, детермінованого факторного та супутнього експертних аналізів, а також інтерпретативного методу⁵, продовжити на рівні нововведень наробітки першої та другої частин [1], [2] в напрямку інструментарію оцінки, розширення з залученням формалізації інтерпретативної ситуаційної системи АТП для визначення рівня переважності. Визначити (розкрити) сутність з практикою використання принципів, що відбивають співвідношення математичного формалізму (основні підходи) технологічного інтерпретативного моделювання основних фрагментів етапів АТП у вигляді технологічних конструктивів, як необхідне поповнення інструментарію оцінки в специфічній сфері виробництва АК (ВВДЕ) із ПКМ.

Визначити можливість спрощеного залучення низки підходів та положень функціонального аналізу, трикутників Евклідової та афінної геометрії, об’ємних фігур – багатогранників, теорії множин та топології і пристаням до цієї технолого-формалізованої цілісності в робочому просторі оцінки АТП.

2. Онтологія предметної області поставленої задачі дослідження: факторний аналіз

Факторний аналіз в області технології композитних АК вимагає складних досліджень з визначенням найбільш важливих факторів та їх характеристик, ґрутуючись на експертному аналізу, наявній інформації з забезпеченням їх систематизованої структуризації.

В даному та подальших розділах йдеться про склад компонентів методологічного апарату дослідження та формалізації, починаючи з формального опису термінологічної бази.

⁴ Саме ПАВ-технології на основі препрегів в порівнянні з іншими ТП на протязі життєвого циклу літаків забезпечують по цільовим критеріям найвищі якісні характеристики ВСП, в т.ч. щодо їх міцності, жорсткості, циклової втомленості, а також рівня експлуатаційної стабільності та ін.; але, однак при посередньому економічному рівні з-за високої вартості автоклавів та енергетичних витрат.

⁵ Інтерпретативні методи – це індуктивний підхід, який бере початок у даних, і намагається побудувати теорію при досліджуванні об’єкта на основі отриманих емпіричних даних. Інтерпретативна парадигма в дослідженнях – це спосіб поєднання наукового знання і реальності.

2.1 Деталізована сутність базових понять ПОПР

Вище зазначалось, що виготовлення композитних АК (транспортні та пасажирські літаки) пов'язані в роботі з серійним виробництвом. Мається на увазі підготовка до цього виробництва та технологічні системи виготовлення АК, причому, з оглядом на значимість та великогабаритні розміри композитних ВСП (значний вплив на якість масштабного фактора). Йдеться про рівень розкиду (мінливості) даних по їх площині щодо вмісту матриці та наповнювачів ПКМ, в першу чергу пружні та міцнісні характеристики ПКМ, їх пористість та густина, щільність складу композитного великогабаритного пакету, рівень кривизни (поводки) панелей, а також якість і зовнішній вигляд їх поверхні та ін. Також йдеться про оцінку потенційно можливих дефектів, що виникли при виготовленні панелей із-за порушення технології, або обумовлені цією технологією, наприклад викривлення прямолінійності, або навіть перекручування ниток і/або пасм вихідної текстильної структури стрічкового наповнювача в складі багатошарового технологічного пакета. Все це в певній мірі порушує бажану і навіть необхідну усталену рівновагу системи. Адже усталеність є першочергово вимогою щодо якості ВСП і системи “в цілому”. До цього розряду належать і труднощі, що виникають в ТП, наприклад автоматична викладка панелі – сирця, так як його безперебійність, багато в чому залежить саме від стабільних характеристик липкості препрега впродовж тривалого довгочасового ходу процесу.

У підрозділі здійснено характеристику базових понять дослідження, які частково були представлені в [1], [2] та в п. 1 статті. Оскільки виробничі процеси відображаються за допомогою інформації, то на стадіях оцінки АТП важливим її обсяг(насиченість) та значущість. Тобто йдеться про можливість обробки інформації, відібраної для одержання оціночного рішення. А саме їх тлумачення, пояснення та викладення у вербальному і/або формалізованому вигляді, узагальнюючи здобуте емпіричне знання. Йдеться про три послідовних, пов'язаних між собою, блоки інформації, відповідно до трьох відокремлюваних в роботі “породжувальних стадій” життєвого циклу ВСП: проектування виробу; підготовка виробництва з проектування ОС (пристроїв по етапам ТП) та власне і саме виробництво. Тут кругообіг проходження інформації з близьким наближенням формально відображається окружністю, в т.ч. у вигляді відрізків – дуг. На практиці, особливо при впровадженні виробів наявні “коловороти” по цій проектно-виробничій орбітальній траєкторії. Водночас, відомо, що при математичній (топология) формалізації в будь-якій однозв'язній області, то в ній, будь-яку замкнену просту криву (тобто гомеоморфній окружності) можна стягнути в точку, залишаючись весь час в цій області. Тоді тут формально можна говорити в інтерпретативному підході про наявний центр породжувальної багатастадійності у виробничому просторі, в тому числі з системою координат. В останньому ви-

падку він може бути стягнутий в абстрактний об'єкт – точку, що містить (охоплює) технологічне поняття, наприклад так званий технологічний “заряд” виробництва, з позначенням “0”, як точку відліку (початок координат) в конкретній ТС. Під цим позначенням (рис. 1, 4, 5, 7–11) розуміється умовно нульовий або вихідний рівень середовища серійного виробництва композитних ВСП на основі високотехнологічного обладнання та оснащення ТП з чітко налагодженими та оперативними зв'язками і ритмічним випуском продукції. Причому, всі координати цієї точки (ПКМ, ТП та ін.) дорівнюють нулю.

В статті (п. 2.2) поняття КТР, АК, ПКМ, ТП розглядаються, як об'єкти інформаційно-технологічних відносин в одній ПОПР. Тут, в розрізі логіки відношень, залучені (втілені):

- двовимірні бінарні відношення: $R_2(x, y)$ або xRy , де x, y змінні, а R – знак відношення між суб'єктом і об'єктом;

- тривимірні тернарні відношення, особливо коли $R_3(x, y, z)$ є типу $x + y = z$, де змінні означають числа (бали) із визначеної числової області. При цьому відношення R_1 просто впроваджується у властивості об'єкта.

Стандартом ISO 9000-1 виділені наступні ключові аспекти у забезпеченні якості [18], [19]:

- якість обумовлена призначенням продукції, її проектуванням (ВСП). А саме закладеними у конструкцію характеристиками, що впливають на її очікувані експлуатаційні властивості в різних умовах використання і експлуатації;

- якість забезпечення відповідності конструкції. Така якість формується в процесі виробництва й обумовлена контролем та дотриманням відповідності конструкції закладеними у неї характеристиками.

Дослідження і методологічні розробки Демінга і серед них – 14 принципів, покладені в основу концепцій управління якістю. В роботі зазначаються, вибірково 3 та 5 принципи:

3. “Вбудування” якості у продукцію з метою виключення масового контролю. В роботі до цього ще надається – стабілізуюча підтримка якості на всіх основних етапах виготовлення ВСП з метою помітної нейтралізації ризиків.

5. Знижувати витрати саме за рахунок підвищення якості продукції і продуктивності праці.

На основі сказаного, вихідними напівфабрикатами ПКМ, або базисом для препрего- автоклавного багатоетапного АТП (табл. 1, [1], [2]) є препрег, саме “вбудований” в ТП - об'єкт згідно принципу 3. На початку АТП це ретельно проконтрольована по всій розрахунковій довжині по багатьом технолого-матеріалознавчим характеристикам просочена зв'язуючим армуюча вуглестрічка. Цей “препреговий” принцип дозволяє підтримувати (стабілізувати) якість на високому рівні, запобігаючи її збоєм. Водночас, такого “вбудування” об'єкта якості у VARTM – технологіях

не існує ([2], рис. 1). Тут за початковий базис слугує преформа (табл. 1), тобто попередньо прошитий пакет повноструктурного та повномасштабного набору сухих вуглестрічок. Ця, за попереднім задумом високо-технологічна лінія (інфузійний центр) не зовсім задовольняє вимоги серійного виробництва високонавантажених високовідповідальних композитних АК великих габаритів. Таким чином, на початкових етапах дослідження йдеться про якість ВСП та ТП без сукупного врахування багатосторонніх витрат.

Таблиця 1. Варіанти “відмінність – спорідненість” АТП – ВП з двома визначальними процесами

Літаки № варіанта	Просочення наповнювачів (напівфабрикатів)		Термосилове формування		
	Препреги	Преформи	Піч, вакуумне формування	Автоклавне формування	
1	В-787	так	–	–	так
2	А-350	так	–	–	так
3	МС-21	–	так	так	–
4	С-Sceries	–	так	–	так
5	Інші ЛА	так	–	так	–

2.2. Об’єкти синтезованої функціональної ПОПР в розширенні: введення та факторний аналіз вхідних змінних ТК-1

В технологічних схемах статті (технологічно-схемні конструкти (ТСК), або просто ТК) при геометричній формалізованій інтерпретації АТП залучений набір об’єктів функціонального задіяння в процесах виготовлення ВСП, а саме ФЗ – об’єкти, як найбільш впливові фактори, або індивідуальні конструкти – 1. Це кардинально розрізнявальні при оцінці АТП конструкти безпосереднього взаємовпливу на результати, в т.ч. якості АТП і ВСП. Тобто словесно в формальному вигляді представлений набір (підмножини АТП) різного технологічного базису найбільш важливих взаємодіючих (платформа дослідження) ФЗ - об’єктів. Всі ці об’єкти однієї ПОПР, з символічним позначенням ряду операцій та відношень при їх взаємодії. Синтезовані

технологічні схеми на основі сконцентровано визначених ФЗ - об’єктів представлені в р.р. 2, 3. Для прикладу в табл. 2 кожному ФЗ - об’єкту поставлена експертна оцінка впливу в балах.

Таблиця 2. Формалізоване представлення ФЗ – об’єктів

Символи	Формули	Символи	Формули
A	$A \approx C \& B$	U	$U_i \approx x (C_b C_f)$
B	$B \approx C \wedge V \wedge D \wedge Q$	D	$D_i \approx D_1 \wedge D_2$
C	$C \approx C_b \wedge C_f$	Q	$Q \approx q_i V q_{i+1}$
В загальному : $w \approx A \wedge B \wedge C$ (макрорівень)			

2.2.1 ФЗ - об’єкти макрорівня, як об’єкти факторного аналізу та оцінки АТП. На цьому рівні розглядається 3 вихідних об’єкти: КТР, ПКМ, ТП. Мається на увазі словесний опис інтерпретації та математичний (геометричний) формалізм в їх поєднанні, наприклад, у вигляді об’єктних технолого-макрофакторних плоских трикутників, графіків функцій та ін. (р.р. 2,3):

А. КТР – і/або КТВ. Це конструктивно-технологічні рішення і/або вимоги. Вони пов’язуються з двома ступенями життєвого циклу продукції (рис. 6, трикутники ABC і $A'B'C'$): КТР(1) – робоче проектування ВСП; вибір конкретного типу ПКМ; забезпечення статичної та втомної міцності, а також технологічності конструкції, що передбачає взаємопов’язане рішення конструкторських і технологічних завдань; КТР(2) – конструкторсько-технологічної підготовки виробництва, в якій одним із основних складових є проектування засобів технологічного оснащення (Ос, пристроїв та ін.) по всім етапам виготовлення ВСП.

В загальному, КТР можуть розглядатися не тільки у розширеному складі з трьома частинами: АК, ПКМ, ТП, але і в об’єктному спрощенні (саме в технологічних схемах), які складаються з таких частин – КТР, ТП і ПКМ, де третім є розширений об’єкт ПКМ/АК (п.1).

В. ТП – технологічний процес виготовлення ВСП (ПАВ, VARTM) з засобами технологічного оснащення та ін. (табл. 2), необхідних для виготовлення панелей.

С. ПКМ – полімерні композиційні матеріали. ВП – вуглепластики; C_b – зв’язуюче, C_f – вуглепаповнювач.

2.2.2 Утворення технологічного інтерпретаційного об’єкта трикутника на основі теореми про трикутники.

В статті ПКМ є стрижневим елементом всіх конструктивно-технологічних схем ситуацій. В цих схемах з метою спрощення вважається, що в ПКМ, як було вище зазначено, в розширеній постановці опосередковано представлені і АК (вибірково) в розрізі композитної ВСП крила⁷ при оцінці АТП. Для такого підходу є такі підстави: принцип двоєдиної технологічної

⁶Конструкт – термін, введений Е. Бетсі в книзі “Общая теория интерпретации”

⁷Крило, як важливіша опорна конструкція, повинна мати високу стійкість щодо сприймання навантаження та опору до згинальних зусиль, а також бути легким і з як найменшим аеродинамічним опором. Водночас, мусить мати також добрі технологічні та експлуатаційні якості.

суміщеності ПКМ/АК. В цьому умовно розширеному об'єкті впливово - ведучу роль відіграє ПКМ ([2], рис. 13), адже міцнісні (фізико-механічні) та експлуатаційні характеристики АК в превалюючій мірі залежать від них.

Графічна модель відтворення внутрішньої орієнтації цього принципу на основі теореми про трикутники афінної геометрії з відтворенням головного в складному, представлена на рис. 2 ([23], рис. 23). Тут заявлені три з технологічним трактуванням характеристичних трикутників: 1. ABC – ПКМ; 2. AQR – АК; 3. ABR – розширений ПКМ (ПКМ/АК). Тобто в цих трикутниках основою є пряма (відрізок) AB , що відтворює габарити ВСП. Прямі AC, AR (ACR) пов'язані з показниками якості, а прямі BC, QC, DR – з масою ВСП, оскільки помітно впливають на злітну масу літака. Тут за допомогою афінних перетворень проведені такі два суміщення: кут BAR з кутом BAC , а відрізок AR з відрізком AC , причому точки на прямій AB нерухомі. Пряма AK з проміжною точкою C показує, що до показників вихідної якості ПКМ в його розширеному варіанті (ПКМ/АК) при порівняльній оцінці АТП додається ряд показників характерних для АК. Як відомо, розтягування (стиснення) відносно прямої є афінним перетворенням тобто трикутник ABR можна перевести трикутник ABC за допомогою стискування до прямої AB і навпаки, перетворенням розтягування (ABC в ABR) з коефіцієнтом $\kappa = AR/AC$, де $\kappa > 1$ з наголосом на конструктивну ефективність (якість) ВСП альтернатив.

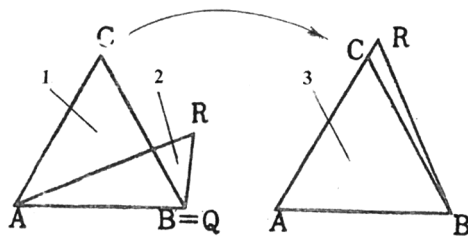


Рис. 2. Спрощена графічна форма відображення технологічного принципу “двосидного суміщення ПКМ/АК”

2.2.3 Об'єкти факторного аналізу щодо оцінки АТП на мезорівні (табл. 3).

У. УЦП – утворюючий ціленаправлений процес з поетапно визначеними параметрами тривалості процесу з можливістю його опосередкованого представлення (центральні кути α , рис. 1).

У розширеному формальному представленні на основі базової геометричної фігури (рис. 9) УЦП це – внутрішня частина прямокутного трикутника, а саме частина площини, що обмежена трьома сторонами: $ПКМ, КТР, ТОО$ (граничні відрізки). Доповненням до УЦП є СКР-фактор.

Д. ЗТО – засоби технологічного оснащення АТП, які включають: d_1 – обладнання (об) та оснащення (Ос). В статті також можуть зустрічатися позначення: d_3 –

обладнання та оснащення сукупно (ТОО); d_4 – контрольно вимірювальна апаратура. В ряді варіантів формалізації ЗТО розглядається як граничні елементи, або ж як країни УЦП.

Q. СКР – супутній контроль та регулювання в ході АТП – ВП в двох варіантах:

- поетапний (СПКР) хід конкретних ТП(е), наприклад в спрощенні на рис. 3а;
- міжетапний (СМКР) процес (п. 3.3.2, рис. 9).

На початкових етапах дослідження з метою спрощення цей фактор розглядається, як побічний. Тобто йдеться про ситуацію наближених процесів, а саме – груп процесів одного загально-процесного виду (без конкретизації).

Як показано на рис. 1 та рис. 3 йдеться про окрепле коло навколо зіставленого п'ятикутника (замкнута ламана лінія L), а саме про хід, контроль та регулювання, як підсистеми АТП – ВП, де ребра в другому варіанті можуть позначають зв'язки (СМКР) між послідовними етапами ТП: 1, 2, 3, 4, 5.

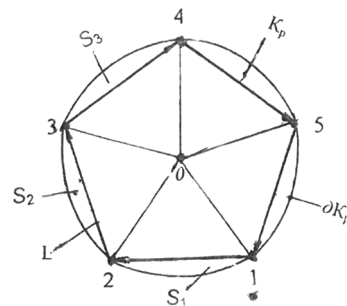


Рис. 3. Взаєморозташування та зв'язок основи кругового конуса та підпори піраміди (коло круга навколо ламаної L правильного п'ятикутника)

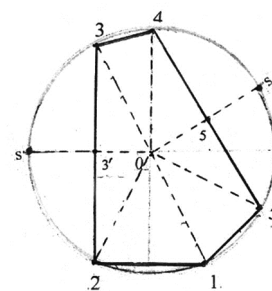


Рис. 3а. Простий технолого-трактовний п'ятикутник, вписаний в коло, з двочастинними етапами АТП

Детальніше, на рис. 1, 3 представлено розташування та зв'язки основи K_p кругового конуса навколо піраміди (рис. 10). Тут окружність dK_p круга проходить навколо ламаної L через п'ять площинних секторів правильного п'ятикутника (основний пентагон)⁸ з загальними вершинами, утворюючи п'ять сегментів S_i ($i = 1...5$). Якраз вони і відображають в укрупненому вигляді вплив зовнішнього середовища⁹.

На рис. 3а також в напрямку деталізації приведенний простий (звичайний, нерегулярний) п'ятикутник, вписаний в окружність, в т.ч. як можлива основа конуса навколо основи піраміди. Тут виділені в розширенні двочастинні 3 і 5 етапи АТП. Їх зазначена нерегулярність може бути пов'язана зі структурою або тривалістю та з іншими факторами ТП

ЕРТ – економічний рівень технології в системі оцінки альтернатив. Тут слід зазначити (в спрощенні) про (ЕРТ), як один із показників якості ТП. Це дозволяє його привести до єдиної бальної шкали оцінки відносно пріоритетності суміжно з іншими складовими об'єктами якості (чим вище якість, тим вищий бал) [2]. Тобто ЕРТ – показник, що характеризує (бали) опосередковано економіко-технологічну якість на основі первинної порівнювальної оцінки відносних витрат в ТП(е). Взагалі ж в роботі йдеться про вихідну спрощену загального обрису позиції ситуаційної оцінки з можливими побічними варіантами¹⁰.

Р – конструктивно-технологічні, економічні та інші ризики. Наприклад, якщо навіть літак МС-21¹¹ вступить до серійного виробництва (п. 1), то це в порівнянні з Boeing і Airbus вже законтрактували зовнішній ринок на 75%, на менш розвиненій виробничій базі, з дрібно-серійним (особливо на початку), поставкою виробів. Другий приклад можливого виникнення ризиків пов'язаних з їх недостатнім рівнем усталеності і стабільності процесів (УіС).

2.3. Групи навантаженості композитних конструкцій планера літака і їх технологічно оціночна структурізація

Загально прийнято розглядати три таких групи: низько-, середньо- і високонавантажених АК. З оглядом при оцінці АТП може братись до уваги і такі відповідно до силових АК експлуатаційні та ринкові вимоги¹²:

1. Технологічна належність (серійне виробництво) до визначеної групи завантаженості АК.
2. Рівні безпеки і надійності не повинні бути знижені.
3. Застосування ПКМ повинно бути допущено сертифікаційними органами.
4. Фірма – виготовлювач ПКМ повинна гарантувати постійну відповідність стандартам якості.
5. При цьому бажано, щоб застосування композитних АК відбувалось попередньо на експериментальній основі для оцінки в процесі експлуатації.
6. Прийняття авіакомпаніями – експлуатантами літаків нової технології (вплив зовнішнього фактору).

Водночас, рівень інформаційної деталізації, що проводиться по цим групам, повинен бути достатнім, але не зайвим. В роботі серед інших початкових вихідних даних застосовуються 10-бальна шкала оцінювання. З огляду на етапні ТП(е), ПКМ(е), АК(е) установлені такі рамки цієї шкали $3 \leq \rho \leq 10$ (табл. 3), де рівень порівняльної якості ρ не повинен бути нижчим трьох одиниць умовної шкали.

В табл. 3 (початкове наближення) це питання розглянуто в напрямку належності (бали) конструктивного вуглепластика (за фізико-механічними та технологічними характеристиками) спільно з технологічним детермінантом (ТД)¹³ до відповідної групи завантаженості АК. В статті з позиції якості під ТД розуміється ТП(е), як етапний чинник АТП, який функціонує з високим рівнем фактора усталеності та стабільності (УіС) процесу з визначеними формо- та структуроутворюючим впливом (дією) на ПКМ.

Ці близькі між собою поняття представлено в спрощенні. Причому, робочий процес не може вважатися стабільним, якщо навіть малі непередбачувані (випадкові) відхилення характеристик, особливо в серійному виробництві, досягаються за необхідності періодичним підлаштуванням процесу і/або підлаштування технологічного обладнання.

⁸При деталізації АТП у рівні з вихідним (великим) пентагоном може йтись про малий (внутрішній) пентагон шляхом з'єднання прямими серединами сторін більшого п'ятикутника. Тоді при його вершинах з тупими кутами утворюються п'ять рівнобедрених трикутників з гострими кутами. Ця побудова має можливість бути використаною в гіпотетичній технологічній моделі поєднання двох суміжних заданих пентагонів (інтерпретація щодо обшивок і набору стрингерів в стрингерній панелі).

⁹На рис. 1 представлена конусна пірамідальної форми технологічно складна каркасна конструкція, інтерпретованої функціонально – компонентної структури. Це п'ятисторонній об'ємний каркас з центральною вертикальною віссю (ПКМ) та (рис. 1, 3) п'ятиреберна площинна підпора каркасу (ТП), а також накладний конус, як "напнене шатро", пов'язане з фактором впливу зовнішнього середовища.

¹⁰У формалізованому описі технологій (трикутники) в напрямку їх оцінки (10 - бальна шкала) з метою розширення ТК, будемо умовно називати золотим такий прямокутний трикутник (ЗТ), у якого завжди більший катет a , а менший b знаходяться в пропорції золотого перетину (відношення ϕ). Тобто задовольняють рівності $a:b = \phi:(\phi-1)$. Для прикладу це варіант 3.1 в табл. 3, щодо ПАВ процесу де, "a" – ПКМ/АК ($a = 9,7$), а "b" – ЕРТ ($b = 6$). А значення гіпотенузи цього ЗТ (типу гіпотенузи z на рис. 7) з прийнятним на практиці відхиленням $\sim 5\%$ становить $z \approx 12 \approx 2b$. А відтак його гострі кути мають прийнятні значення 30° і 60° .

¹¹Початок серійного виробництва МС-21 був запланований на 2017 рік, але зараз перенесений на 2025 рік.

¹²А.Фехенбаум визначає якість сукупністю складних технічних, експлуатаційних та ринкових характеристик, завдяки яким останній відповідає очікуванням споживача.

¹³В математиці детермінантом функціональної залежності називається атрибут А, що розташований зліва від символу стрілки до атрибута В. Тобто атрибут А є детермінантом атрибута В.

Таблиця 3. Можливі рівні матеріало-технологічної ефективності АТП по групам навантаженості АК

Групи навантаженості АК	№ варіанта	Задані значення, бали				Рівень механізації і автоматизації
		ПКМ/АТ	ТП			
			УіС	ЕРТ	Середні значення	
Низько-навантажені	1.1	3	5	3*	4	Низький
	1.2	4	4	4	4	Посередній
	1.3	5	4	4	4	
Середньо-навантажені	2.1	6	6	6	6	Достатньо-продуктивний
	2.2	7	7	8	7,5	
	2.3	8	6	9	7,5	VARTM просочення
Високо-навантажені	3.1	9,7	8	6***	7	ПАВ
	3.2	10	9	7	8	Інноваційні ТП, найвищого рівня ЗТО
	3.3	10	10	8**	9	

* Наприклад, ручний виклад препрегів.
 ** Наприклад, автоматичний виклад препрегів.
 *** Наприклад, високовартісне обладнання та значні енерговитрати (автоклави).

3. Схемо-технологічні оціночні моделі дослідницької парадигми “АК із ПКМ:”¹⁴ інтерпретативний підхід та його конструкти

а) Виклад основних передумов, положень та тематичних напрямків технологічної сторони в зазначеній комплексній парадигмі літакобудування, в т.ч. формалізація на основі індуктивних схем (початкове наближення) і наочне інтерпретаційне представлення альтернатив, а також наслідки зазначених підходів (в т.ч. підвищення наочності у проведеному моделюванні).

б) В ряді випадків йдеться про напівформальні системи технології. Справа в тому, що застосування математичних формул на практиці часто – густо обмежуються з-за їх складності, тоді як часто, тут зустрічаються задачі, які допускають або навіть вимагають наближення. В цьому напрямку йдеться про використання в спрощенні математичних ідей та застосування мови в представленнях технологічних об’єктів.

3.1. *Графіки – схеми (рознесений і суміщений способи представлення): ТК-2*

Одним із напрямків наочно – стислого схематичного інтерпретативного моделювання полягає у спрощеному представленні за початковими умовами конструктивів у вигляді загально – технологічних схем інтерпретації АТП. А саме, про прийнятне в початковому наближенні відображенні реальної ситуації (приклад) шляхом технологічного пристосування до формальної основи – графіків функцій, до їх наочності та суттєвості (основних властивостей елементарних функцій). Ясно, що вибір виду цих функцій виходить з вимог схожості і/або близькості в певному технологічному сенсі до складових процесів ПОПР. Таким чином йдеться про пошукове дослідження суттєвих і понятійних засобів даних для можливості формалізації адаптивного відображення ТП(е) в реконфігурованому виг-

ляді для оцінки АТП. Наприклад, на початку представлений компактно пояснювальний словесний опис до вихідної табл. 1, а саме про формалізоване порівнювальне представлення розповсюджених в авіабудуванні варіантів АТП – ВП по двом основним етапам загального процесу виготовлення середньо- і високонавантажених АК: перший – препреги, преформи, а другий – термосилове формування, в свою чергу, кожний етап поділений ще на два альтернативних процеси.

Загально прийнято вважати, що технології (табл. 1) за варіантами 1 (препрегово-автоклави) та 2 (VARTM) по вказаним двом важливим процесам суто відмінні. Фактично це два технологічно протилежні полюси, тобто об’єкти з високою між ними технологічно – роздільною здатністю. Ця особливість є першою передумовою при формальному втіленні АТП.

На рис. 4 та 5 наведені порівняльні графіки – схеми чотирьох варіантів на основі відповідних до їх суті графіків функцій. Вони надають уявлення наочної загально-технологічної цілісності з можливістю їх доповнення вже, як технологічних схем. Ці графіки-схеми розташовані в першій (Чв1) та другій (Чв2) чверті координатної площини.

Другою передумовою є те, що вісь X взята вздовж алгоритмізованого направлення в часі ходу ТП, а саме – технолого-конструктивного виконання ПКМ, який являє собою основний чинник чи основу впливу на АТП в рамках опосередкованого часу (нормативи)¹⁵. Причому при формалізації вважається, що ПКМ в своїх реконфігураціях “створюються” на кожному етапі АТП – ВП, а саме, це компоненти цілісності ПКМ, або ж ПКМ в цілісно –пошаровому зібранні в різних технологічних станах. Як підсумок, вважається, що ПКМ є вихідною, такою собі матеріало-технологічною “константою” авіабудівельної реальності, найперше, при створенні АК планера літака.

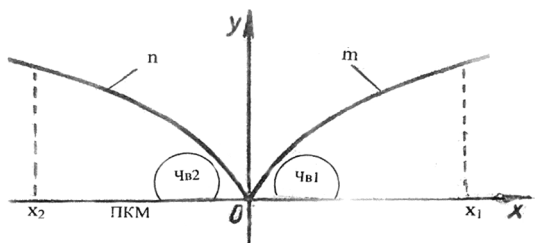


Рис. 4. Узагальнений графік – схема двох технологічно-протилежних АТП, n – VARTM; m – препрего-автоклавної ТП ($y = \sqrt{|x|}$)

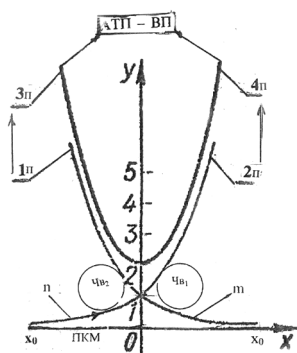


Рис. 5. Суміщений графік – схема варіантів та ФЗ – об'єктів АТП, n – варіант 3; m – варіант 4. ($y = a^x + a^{-x}$)

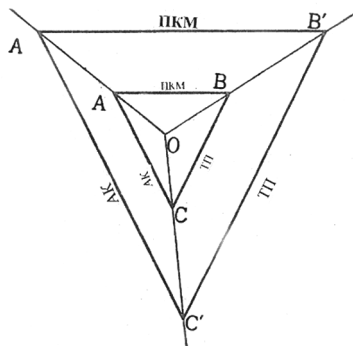


Рис. 6. Сконцентрована предметно-об'єктна дворівнева модель трикутник ABC – проектування (КТР); трикутник $A'B'C'$ – КТПВ

В третій передумові пропонується, що ПКМ в $Ч_{в1}$ на препреговій основі, а в $Ч_{в2}$ – на основі преформ з інфузійним чи іншим способом просочення.

Четверта передумова стосується передостаннього етапу АДС, а саме термосилового формування ПКМ

[2]. Так, на рис. 4 в $Ч_{в1}$ йдеться (варіант 1) про вакуум-автоклавне формування (підвищений регульований тиск $p \approx 2 \dots 5 \text{ кг/см}^2$), а в другій чверті (варіант 2).

Відповідно до зазначених передумов для варіантів 1 та 2 залучений графік функції $y = \sqrt{|x|}$ з характерним для неї нахилом кривих n і m , а саме, крутим підйомом на початку ТП, що відповідає факту основного послідовно – багаточарового набору по товщині матеріалу заготовки ВСП. В подальшому хід кривої позначається помітно меншим піднесенням, що відповідає реальній ситуації. Таким чином, варіанти 1 та 2 на рис. 4 представлені розосереджено, як “два технологічні полюси” (рознесений спосіб) відповідно $Ч_{в1}$ та $Ч_{в2}$ координатної площини з протилежно направленими кривими n і m . У них також зазначені точки x_1 та x_2 відповідно до вакуум – автоклавної та просто вакуумного термосилового формування.

Далі йдеться (рис. 5) про так звані криві технологічних можливостей (особливостей) альтернатив на прикладі варіантів 3 та 4 (табл. 1) на макрорівневому представленні. Ці варіанти займають проміжне положення між зазначеними на рис. 4 “полюсами” альтернатив.

Тут моделювання здійснено на основі представленого на рис. 5 графіка-схеми суми (суміщений спосіб) двох показникових функцій $y = a^x + a^{-x}$, $a > 1$. Взагалі для показникових функцій характерні можливості відображення переходу одного стану чи положення в інший стан і положення та ін. До особливостей цієї функції відноситься те, що її графік лежить над віссю абсцис, перетинаючи вісь ординат в точці $(0,1)$. Ця точка на вихідному графіку функції є критичною на інтерпретованій технологічній схемі. З цієї точки верхня та нижня віти графіка функцій a^x та a^{-x} мають умовно V – форму симетричну відповідно осі ординати форму. Залучений графік, як схема, надає в початковому наближенні проміжних варіантів на основі змішано – перехресного поєднання варіантів 1 та 2 на рис. 4. Ця крива n , як варіант 3 та крива m , як варіант 4, що представлені в табл. 1, є відмінними від варіантів процесів на рис. 4. На цьому зроблений особливий наголос. Варіанти 3 та 4 побудовані за схемою “хрест” з точкою перетину двох кривих n і m , що має координату $(0,1)$. Це її положення пов'язується з технологічними витокми ситуаційної схожості, а саме тиску вакуумного розрідження при безавтоклавному (VARTM) та автоклавному методах термосилового формування. В першому (VARTM) – це постійно максимальний тиск, а в другому – початковий (приймається, що це в точці $x = 0$) до автоклавної тиск на панель – сирець у формуемому мішку. Таким чином, варіант 3 відображений в чверті $Ч_{в1}$ (преформа) та в $Ч_{в2}$ (автоклавне формування) а варіант 4 відповідно – в $Ч_{в2}$ (препрег) та $Ч_{в1}$ (вакуумне формування).

Таким чином, вказана вище точка перетину є місце поділу кривих m і n і тим самим графіка в цілому на

¹⁴Дослідницька парадигма це метод, модель чи схема проведення досліджень. Це набір ідей, переконань чи уявлень, в рамках яких можуть функціонувати теорії чи практики [20].

¹⁵Надалі ПКМ пов'язане з прямою, що співпадає з віссю тіл обертання здійснюється лише вакуумне формування $p \leq 1 \text{ кг/см}^2$.

дві частини: верхню і нижню. Щодо кривих m і n , то нижня частина пов'язана з напівфабрикатами, заготовками, а верхня – з термосиловим формуванням.

Водночас, верхня частина складається з двох вертикальних віддалено – парногіллястої форми кривих: (1п-2п) і (3п-4п). Тобто кожна з них має дві симетричні відносно осі Y розгалужені вгору віти (половини) з місцем їх поєднанням перетину на одній кривій. Тут перша (зовнішня) розширена крива з нижньою вершиною в точці (0,1) пов'язується зі стадією робочого проектування АК, в першу чергу, з розробкою КТР на основі ПКМ, а друга (внутрішня) крива – з технологічним проектуванням УЦП та ТОО в рамках АТП-ВП на основі КТР (вертикальні стрілки впливу на схемі рис. 5).

3.2. Оціночні геометричні моделі об'єктів системи АТП: ТК-3

Йдеться про вихідні “макрофакторні” трикутники, в т.ч. в побудові конусних тіл обертання.

3.2.1 Базові трикутники – конструкти, як інструментарій формалізованого представлення в системі оцінки АТП. В роботі базовою фігурою технологічного інтерпретативного моделювання АТП є трикутники (прямокутні і рівнобедрені). Так і у формі двоповерхово-сполучених виглядах. Вони, по перше, можуть розглядатися, як виокремлено – одинарному, так і в спареному виглядах, в т.ч., як тіла обертання. По друге – на макрорівні йдеться про спрощений (рис. 7, 8), а на мезорівні – розширений (рис. 9, 11) варіанти їх формалізованого представлення. У першому випадку трикутники здійснюються у формальному представленні тільки своїми відрізками, тобто одномірними (ребра) клітками: ПКМ/АК; КТР; ТП або УЦП з залученням або без цього граничних точок. Таким чином, йдеться про “пусту” або ж “прозору” перегородку в многограннику. В технологічній інтерпретації це може бути етап “простого” виготовлення зв'язуючого ПКМ.

У другому варіанті це здійснюється дворівнево, а саме із одномірних (ребра) клітин: ПКМ/АК; КТР; ТОО та двомірні клітки (внутрішній трикутник) – УЦП. Тобто саме до УЦП – трикутника “приклеєні” три його обмежувально-визначальні взаємопересічні відрізки. Таким чином, формально при інтерпретації вони разом в виробничому просторі порівняльної оцінки (бали) технології виготовлення ВСП представляють формально замкнену множину. Тут УЦП – відкрита множина, яка доповнена граничною ламаною об'єктів, визначаючи обмежувальний вплив на УЦП. Таким чином, йдеться про інцидентну структуру, яка може інтерпретуватись, як внутрішня стінна перегородка коміркових многогранників, наприклад стосовно структур в п'ятикутній піраміді.

3.2.2 Прямокутний кругоїдучий трикутник навколо осі піраміди (рис. 7). В багатьох випадках перед проведенням оцінки постає завдання “стискування” інформації. Такі можливості надає факторний аналіз з

допустимістю його спрощенню в економіці та техніці, а також, особливо щодо зв'язків моделювання, методів формалізації та ін. Так, на основі [1] на рис. 7, 8, 11 представлені схематично факторні трикутники. Як приклад, в ([2], п. 4.6), йдеться про інцидентну структуру АДС “в цілісному” стані у вигляді трикутника. В статті цей напрямок продовжено, тобто з 5-ма етапами АДС, пов'язаних з технологією виготовлення ВСП. Для цього, як передумова, визначені три класи основоположних макрофакторів (чинників впливу): КТР; ПКМ; ОТП, які взаємопов'язані у формалізовано-технологічному трактуванні схем. У деталізованому вигляді:

– **КТР.** Клас конструктивно-технологічних рішень, що представляються в скороченому чисельному складі (рис. 7–9, 11). В роботі виходячи з положень парадигми приймається, що по-перше, КТР охоплює дві складові: ПКМ (ПКМ/АТ) і ОТП, по-друге об'єм інформації по ним в КТР менший від сумарного з двох складових, але більший за кожного з них окремо. Тобто, має місце ПКМ<КТР>ОТП | КТР<(ПКМ+ОТП). Наочно КТР представляється в трикутнику гіпотенузою z . Тобто це похила пряма (без граничних точок), що описує бічну поверхню конуса в тілах обертання (див. клас ОТП).

– **ПКМ (ПКМ/АТ),** як клас високоефективних конструктивних матеріалів нового покоління (вуглепластик) в авіабудівній галузі з широкою та важливою областю застосування в ній, маючи значний і навіть визначальний вплив на сутність КТР та ТП авіаційного характеру. Тому, на рис. 7, 8, 11 саме вісь Y , як центральна спільна вісь піраміди та прямого кругового конуса, відображає ПКМ. Причому, відрізок OA відображає нерухомий катет трикутника, а також це спільна висота піраміди і конуса.

– **ОТП.** Клас “детермінуємих” об'єктів технологічного процесу, що представлені і задіяні в технологічних схемах за умовною ієрархічною ознакою: ТП, УЦП, ТОО, ОВ, ОС. В цій статті ПКМ і об'єкти ТП розглядаються як непорівнювані, (тобто не мають спільних елементів обсягу) і згідно діалектичній логіці це різноробові поняття-конструкти взаємодії у формалізованому представленні. Наприклад ПКМ – вуглепластик, а ТП – механічна обробка. В теорії систем такі об'єкти можуть розглядатися як дві прямі з прямокутним кутом між ними (фактор незалежності). Тому у формалізованому вигляді (евристичне пояснення) це дві перпендикулярні прямі (рис. 7–9, 11), що перетинаються, маючи одну загальну точку (прямокутна система координат). Тут доречно порівняння з математичним визначенням лінійної незалежності двох векторів¹⁶. Таким чином йдеться про систему з трьох класів об'єктів. Вони функціонують в постійному взаємозв'язку один з одним, утворюючи цілісне середовище для порівняння альтернатив. Формально у вигляді прямокутного трикутника, де катети відображають ПКМ і ОТП, а гіпотенуза – КТР (можливість залучення теореми Піфагора). Цей підхід дозволяє уніфікувати

прийняття рішень на певних етапах ТП шляхом згладжування “під одну гребінку” неминучі перепади в експертних оцінках (сила формули).

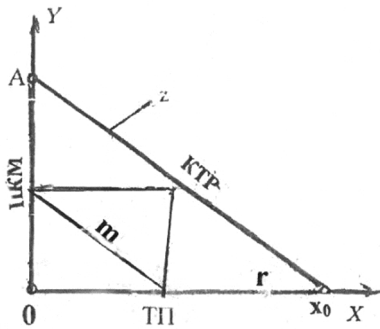


Рис. 7. Прямокутний макрофакторний трикутник інцидентної структури

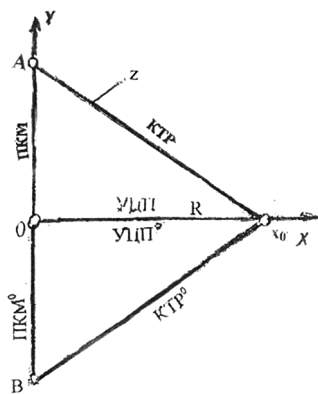


Рис. 8. Рівнобедрений кругоїдучий трикутник навколо основи, співнаправленої по осі Y тіла обертання

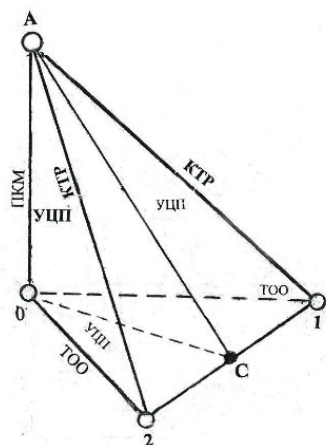


Рис. 9. Виокремлена трикутна піраміда – комірка п’ятикутної піраміди в технологічно-інтерпретаційному поданні

Ясно, що в часовому ході дій процесу ці катети еквівалентні (як множина точок) незалежно від відношень між їх довжинами.

3.2.3 *Конструктивіський трикутник внутрішньо-серединною суміщеною структурою: розширена сфома-формалізована модель (рис. 7).*

Стрингерна панель (ВСП) в складі двох укрупнених компонентів – обшивки і набору стрингерів виготовляється на початкових етапах ТП окремо. В спрощенні, то тут виготовляють довгомірний джгут армуючих вуглеволокон, які попередньо скріплюють: це прошивка, а потім ще клеючий розчин. Тобто йдеться про вихідну консолідацію форми і структури напівфабриката – стрингерної заготовки. Далі обшивку з установленим на ній набором заготовок стрингерів просочують зв’язуючим, утворюючи панель – сирець (технологія VARTM з наявним інфузійним центром). В наступному процесі йде її термосилове формування. В статті при формалізовано-адаптивному відтворенні застосовується інтерпретативний підхід з залученням технологічно-макрофакторного трикутника, як репрезентативна форма цього підходу. Причому структури прямокутного трикутника на рис. 7 з його формальними геометричними положеннями “конструктивізму” дозволяє пристосуватися, як до схеми утворення панелі-сирця. Так, на рис. 7 вісь X пов’язана з відрізком Ox_0 , відображаючи ТП ($УПЦ \wedge O \wedge B$) з залученням технологічної оснастки (Oc), що відображено граничною точкою x_0 . Водночас відрізок KTR (гіпотенуза z з цією точкою не пов’язана). Також на рис. 7 показана середня лінія m (менша гіпотенуза) та ще дві середні лінії з утворенням меншого (внутрішнього) трикутника, як формальний репрезентант щодо набору стрингерів.

Тобто для представлення цього набору в технологічному аспекті на рис. 7 виділені три середні лінії вихідного трикутника OAx_0 , що привело до утворення чотирьох менших по розмірам подібних до вихідного трикутників. Оскільки технологія виготовлення набору стрингерів відносно “обшивної” автономна, то цій умові відповідає саме центральний трикутник з гіпотенузою m , маючи три спільні точки з трикутником OAx_0 , вписуючись у контур більшого трикутника (обшивки). В подальшому сторони центрального автономного трикутника суміщуються зі сторонами вихідного трикутника, інтерпретуючи утворення стрингерної панелі – сирця.

3.3 Оціночні функціонально-геометричні моделі: об’ємні геометричні тіла ТК-4

3.3.1 *Бі геометричні тіла в технологічно-макрофакторній інтерпретації*

Тут йдеться про можливість спрощено – математичного відображення при укрупненій оцінці АТП так званого технологічно-економічного балансу АДС композитних АК зі складовими “активи та пасиви” (основні відносні витрати).

¹⁶За аналогією лінійна незалежність двох векторів в прямокутній системі координат: однозначно визначаються єдиною точкою та двома одиничними ортогональними векторами. На рис. 7–9, 11 катети трикутника лежать на координатних осях.

3.3.1.1 Спарений кругойдучий трикутник навколо своєї основи, співнаправленої по осі Y тіла обертання

Представлений на рис. 8 рівнобедрений трикутник складається з двох вертикально-сполучених прямокутних трикутників: верхній (відрізки $ПКМ$, $УЦП$, $КТР$) і нижній (відрізки $ПКМ^0$, $УЦП^0$, $КТР^0$), де об'єкти щодо витрат для виокремлення мають верхні позначки "0". Нижче йдеться про двосторонні поверхні з вказаними краями (лініями) в топологічній інтерпретації біпірамід¹⁷ (рис. 10), саме в місці стику основ двох пірамід.

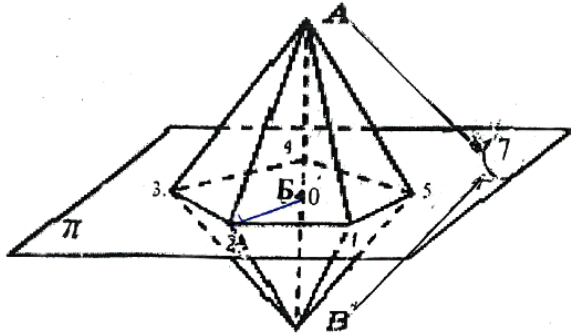


Рис. 10. П'ятикутна симетрична біпіраміда, як з'єднання двох прямих 5-кутних пірамід з перетином по середині π – площиною

Водночас, відомо, що для відображення структури (складу) сукупності трикутників, часто використовують кругові секторні діаграми (віялові трикутники) типу представлених на рис. 3. А задати орієнтацію многокутника – це значить вибрати такий напрямок на його сторонах (ребрах), які на зворотній стороні спостерігаються, як однакові (за послідовністю номерів кожної сторони). В такому підході розглядається фактор $УЦП^0$, як економічної оцінки спареного об'єкта – трикутника на рис. 8. І, нарешті, щодо відрізка на осі X з граничною точкою x_0 (оснащення). Він описує площинну основу конуса по радіусу R .

3.3.1.2 Біпіраміда і біконус

А. Піраміда і конус, як вихідні фігури бігеометричних тіл. Попередньо в [2] до вихідних об'єктів репрезентації інтерпретативного конструктивізму були залучені багатovidів без краю - тори [6, 10]. Водночас, прикладом на основі технологічного трактування двовимірних багатovidів з краєм, що залучені в даній

статті, є фігура піраміди, тобто йдеться про апроксимацію багатovidів багатогранниками¹⁸. Так, в п'ятикутній піраміді на рис. 1 її край складений із шести граней, які сходяться до вершини, п'ять з них утворюють бокову поверхню піраміди, а шостим краєм є її основа (підпора), наприклад, у вигляді правильного п'ятикутника (пентагон) на рис. 3. Ця піраміда описана прямим круговим конусом K , як тіло, що отримане обертанням прямокутного трикутника (рис. 7) з відповідними означеними сторонами (рис. 1). Основою конуса K є круг K_p , описаний навколо підпори B піраміди з дотиком до всіх її вершин (підпора B вписана в основу конуса K_p), а границею круга K_p є коло ∂B . Вершина конуса співпадає з вершиною піраміди, а його твірна з її боковими ребрами. Висота конуса і піраміди збігаються на основі єдиної прямої, що проходить через центр основи конуса і піраміди в точці O . Формально піраміда Π є точною підмножиною K , а підпора B – точною підмножиною круга K_p . Вказане є відношенням ефективності включення, як $\Pi \subset K$, $B \subset K_p$. Таким чином, об'єкти зовнішнього впливу (зовнішнього середовища) визначаються в спрощенні з залученням базової операції з множинами "доповнення", тобто, як множина всіх об'єктів K , що не є елементами множини Π .

Б. Бігеометричні тіла (біпіраміда і біконус). Детальніше в статті для розширеного просторового представлення двомірної (площинної) моделі АДС ([2], рис. 2) "в цілому" йдеться про спрощену та наочну об'ємну модель многогранника, наприклад подібного до правильного октаедра. При зіставленні альтернатив подана (рис. 10) графічна схема на основі використанні багатогранників в їх сполученні. Як вихідний аналог такої геометричної конструкції у топології необхідно відзначити фігуру октаедра, який візуально можна відзначити у вигляді склеєних підставами двох чотирикутних пірамід.

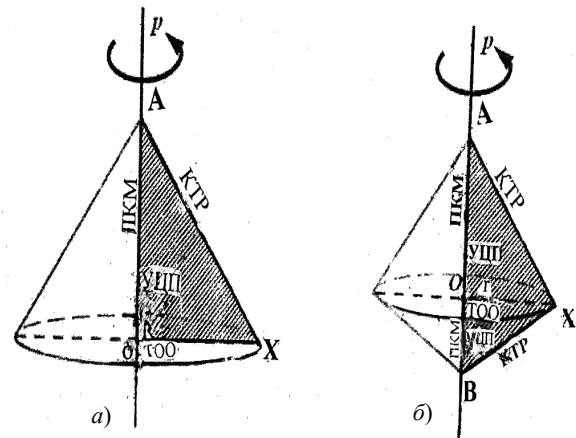


Рис. 11. Макрофакторні трикутники для створення геометричних тіл обертання в технологічній інтерпретації: а) прямокутний трикутник. б) нерівнобедрений трикутник

¹⁷Біпіраміда або діпіраміда є тримірним многогранником сформованим із двох пірамід, одна з яких, як варіант, є дзеркальним відображенням. П'ятикутна біпіраміда є третє тіло в сімействі ізодральних біпірамід. Кожна біпіраміда є подвійним многогранником для однорідних призм.

¹⁸В підручниках А.В. Погорелого "многогранник – это такое тело, поверхность которого состоит из конечного числа плоских многоугольников". Багатогранники k -го роду пов'язані з можливим числом повних та часткових пересічень (розрізів). Детальніше в [10–23].

На рис. 1 представлений випуклий багатогранник технологічного трактування, який склеєний на основі: прямої або верхньої – P_v та перевернутої або нижньої P_n пірамід відповідно з двома протилежними вершинами A і B , причому точки A, B лежать на одній прямій. Формально комплекс верхньої піраміди – це множина під умовною назвою “якість”, а відповідно – нижньої піраміди – це множина під умовною назвою “витрати”. Спеціальна ортогональна проекція цього багатогранника з вершиною A представлена на рис. 3. в статті переріз багатогранника на рис. 3 є правильний п’ятикутник з вершинами $1 \dots 5$ з центром в точці O . Багатогранник лежить в місці стику основ двох пірамід P_v і P_n , виділяючи певну область B на площині. Нехай формально B – множина в топологічному просторі. Тобто $СБ$ замкненість, $intB$ – сукупність її внутрішніх точок, ∂B – границя B , обмежуючи певну область на площині. Вважаємо, що ця поверхня двостороння, і тому має місце дві площини обертання багатоступінчатих технологічних циклів “початок – кінець ТП”. Тобто йдеться про інтерпретаційний перехід (переймання) операторів з топологічного простору в технологічний.

3.3.2 Інтерпретативні АТ, як комірчасті багатогранники $СW$ – комплексної побудови. Попередньо це питання було започатковано у вступі і торкалось кліткового простору у вигляді $СW$ – комплексу. На рис. 1, 1а, 3, 5, 6 представлені приклади на основі п’ятикутних пірамід, як в їх вихідному стані, так і описаним навколо них круговим конусом з наступною технологічною інтерпретацією. Йдеться про коміркову, осередковану (з внутрішніми перегородками) структуру у внутрішньому просторі багатогранника. Тут за ієрархічним методом поділу можна виділити базові, тобто найбільші комірки та кінцеве число менш об’ємних комірок або комірок технологічного гатунку. В приведених прикладах п’ятикутна піраміда складається з п’яти таких комірок. Одна з таких комірок для п’ятикутної піраміди на рис. 1а представлена на рис. 9. Ця трикутна піраміда ототожнена з віссю першої на рис. 1а з ребром OA , перпендикулярним трикутній основі цієї піраміди. В роботі ефективна сутність технологічних трикутників, як комірних багатогранників логічно пов’язана з ідеями топології, а саме з поняттям $СW$ – комплексу з характерним для нього системністю та принципом побудови. Спрощено цей комплекс будується з базових блоків – клітинок. Точне визначення вказує, як ці клітинки можна топологічно склеювати між собою. При цьому n – вимірна замкнена клітинка є образом n -вимірної замкненої кулі. Загально, опуклий багатогранник (піраміда) є замкненою клітиною, тобто будь-який багатогранник природним чином наділяється структурою, де n – вимірна відкрита клітина – топологічний простір, гомеоморфній відкритій кулі. Взагалі за основу взяті три $СW$ – комплекси технологічного трактування:

а) 0 – мірний комплекс $СW \times 0$ – внутрішні і більш наявні зовнішні точки (вершини). Тобто $СW \times 0$ – це

просто набір визначених дискретних точок в задачі побудови інтерпретованих геометричних моделей в АДС;

б) 1 – мірний комплекс $СW \times 1$ – проміжний між виділеними точками. Це внутрішні та зовнішні відрізки (ребра). Прикладом для цих двох вихідних вимірних $СW$ – комплексів є інтервал. Його, зазвичай, будують з двох точок (x, y) і одновірної кулі (проміжка B), причому так, що кінцева точка B , що примикає до x , а друга до y . Це дві точки x і $y \in 0$ – комірками, а внутрішність $B \in 1$ – коміркою. Як варіант, він може бути побудований навіть із одного інтервала, тобто без 0 – комірок.

в) 2 – мірний комплекс $СW \times 2$. Як приклад, в технологічному трактуванні це може бути внутрішня перегородка, або ж грань бокової поверхні прямої п’ятикутної піраміди (АТП).

Причому границя кожної клітки містить в собі скінчене число кліток менших розмірів. Так, трикутна піраміда на рис. 9, як багатогранник, має коміркову структуру і складається з чотирьох 0 – комірок, шести 1 – мірних та чотирьох 2 – мірних комірок. Однак, тут, в спрощенні (укрупнений ступінь деталізації) можливо обійтись при оцінюванні і без 0 – комірок.

Також в спрощенні при розкладанні багатогранника на рис. 9 ($СW$ – комплекс) виділені дві бокові грані у вигляді трикутників $1AO$ і $2AO$ зі спільним вертикальним катетом OA (ПКМ) і двома різними горизонтальними катетами $O1$ і $O2$. Дві бокові 2 -мірні комірки пов’язані з УЦП, яка формально є відкритою множиною. Вказані трикутники можуть трактуватись, як дві технологічні карти відповідно до двох послідовних етапів АТП, маючи міжетапний зв’язок у вигляді відрізка 12 (СМКР). При міжетапній автоматизації цей відрізок може відображатись пунктирною лінією. Взагалі можливий варіант і без будь-якого позначення цього зв’язку (рис. 1а).

Висновки

В статті акцентовано на системно-процесному підході, як напрямку наукового пізнання і “композитно-технологічної” практики в авіабудуванні.

Опрацьовані методологічні основи прийняття рішень в дослідницькій парадигмі шляхом поповнення інструментальної бази оцінки АТП, як розвиток попередніх результатів роботи [1, 2], а саме – розширеного залучення інтерпретативного формалістського підходу в новому науково-технологічному руслі досліджень. Перед усім, з віднайденням глибинних зв’язків з даним способом виробництва.

В зазначеному підході поруч з вихідною математичною сутністю їй наданий інтерпретативний технологічний сенс, тобто з залученням понять, а також значенням символів і формул абстрактної системи. Це сприяло подальшому розгортанню формалізованого представлення. Фактично йдеться про технологічну інтерпретацію у вигляді нововведених моделей дедуктив-

ного типу. Тобто запропонована низка технологічних конструкцій, як складових робочого процесу оцінки.

В рамках інтерпретативного конструктивізму репрезентовані в цілісному представленні ТК з певною мірою наближення до наступних вихідних теоретичних положень (джерел), а саме: графіків функцій (функціо-

нальний аналіз); трикутників Евклідової та афінної геометрії, в т.ч. як тіл обертання: об'ємні фігури у вигляді багатогранників (одно-та бігеометричні тіла); підходи і поняття теорії множин та топології, в т.ч. кліткові простори (CW –комплекси).

References

- [1] D. Kiva and V. Zabashta, “Alternative technologies of composite high-loaded aircraft constructions: a qualitative method of making multicriterial decisions. Part I. Initial stages in the problem of decision-making”, *Mech. Adv. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 203–211, Nov. 2021, doi: 10.20535/2521-1943.2021.5.2.245000.
- [2] V. Zabashta, “Alternative technologies of composite highly loaded of aircraft structures: a qualitative method of making multicriteria decisions. Part II. Modeling in multi-criteria evaluation of alternatives”, *Mech. Adv. Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 203–220, Oct. 2022, doi: 10.20535/2521-1943.2022.6.2.265371.
- [3] S. A.Smotrova and I. D. Simonov–Emelianov “Effektivnye tekhnologii formovaniia vysokonagruzhenykh aviatcionnykh konstrukticii iz polimernykh kompozitcionnykh materialov,” *Konstrukticii iz kompozitcionnykh materialov*, no. 3, pp. 15–24, 2016.
- [4] E. A.Veshkin, V. I. Postnov, M. V. Postnova and A. A.Barannikov, *Opyt primeneniia vakuum – infuzionnykh tekhnologii v proizvodstve konstrukticii iz PKM*, FGUP “VIAM”, 2018, pp. 16–28.
- [5] T. O. Tearova and O. V. Zozulov, “Tekhnologiia iak ekonomichna kategoriia,” *Ekonomichnii visnik NTUU “KPI” Zbirnik naukovikh prac*, no. 6, pp. 345–351, 2009.
- [6] O. B. Slivinska, “Oblikovo – ekonomichna sutnist “vitrat na iakist” ta ikh klasifikatciia,” *Efektivna ekonomika*, no. 4, 2015, 20 p.
- [7] V. Litvinenko, *Udoskonalennia protcesu otcinki iakosti virobiv iz kompozitciinikh materialiv v aviabuduvanni*, Kyiv: NAU, 2021.
- [8] G. Iu. Panina, *Toricheskie mnogoobrazii. Vvedenie v algebraicheskuiu geometriiu*, 2009, 45 p. Available: https://www.mccme.ru/dubna/2009/notes/panina/toric_lect.pdf.
- [9] V. G. Boltyanskii and V. A.Efrimovich, “Ocherk osnovnykh idei topologii (okonchanie)”, *Matem. prosv.*, Vol. 6, pp. 107–138, 1981.
- [10] Iu. G. Borisevich., N. M. Blizniakov, Ia. A. Izrailevich and T. I. Fomenko, *Vvedenie v topologiiu*, Moscow: Vysshiaia shkola, 1980, 295 p.
- [11] A. E. Kononiuk, *Diskretno – nepreryvnaia matematika*, Vol. 8, Kyiv: Osvita Ukrainy, 2016, 690 p.
- [12] Iu. G. Reshetniak, “Dvumernye mnogoobraziiia ogranichennoi krivizny,” *Itogi nauki i tekhniki*, Vol. 7, pp. 7–189, 1989.
- [13] M. Khirsh, *Differentsialnaia topologiia*, Moscow: Mir. 1979.
- [14] O. O. Pryshliak, *Topologiia mnohovydiv*, Kyiv: KHU, 2019.
- [15] A. T. Fomenko, *Nagladnaia geometriia i topologiia : matematicheskie obrazy v realnom mire*, Moscow: MGU, 1998.
- [16] Iu. V. Skvortcov, *Konspekt lekcii po distipline “Mekhanika kompozitcionnykh materialov,”* Samara: SGPU, 2013.
- [17] O. V. Andrieiev, *Naukovi osnovy pidvyshchennia efektyvnosti stvorennia konstrukticii transportnykh litakiv z polimernykh kompozytsiinykh materialiv na etapakh zhyttievoho tsyklu vyrobu*, Kyiv, 2020.
- [18] ISO serii. 9000-1. Rukovodstvo po vyboru i primeneniui sistem obespecheniia kachestva.
- [19] ISO serii. 9000-4: Zhiznennyi teicl produktcii “petlia kachestva”.
- [20] DSTU 3021.95. Vyprobuvannia i kontrol yakosti produktsii. Terminy i vyznachennia
- [21] Iu. Ia. Amirov, *Tekhnicheskaiia podgotovka proizvodstva*, Kyiv: Ekonomika. 1989.
- [22] V. F. Zabashta, “Tekhnicheskaiia podgotovka proizvodstva izdelii iz kompozitcionnykh materialov,” in *Nauchnaia entsiklopediia po mashinostroeniui*, Moscow: Mashinostroenie, Vol. 10, pp. 104–142, 2006.
- [23] Matcuo Komanu, *Mногообразия геометрии*, Moscow: Znanie, 1981.
- [24] D. P. Frolov, “Mnogourovnevaia ierarkhiia ekonomicheskogo prostranstva,” *Prostranstvennaia ekonomika*, no. 4, pp. 122–150, 2013,

Alternative technologies of composite of highly loaded aircraft structures: a qualitative method for making multicriteria decisions: Part III. Research of the methodological basis in decision-making: technological constructions in in the assessment toolkit

V.F. Zabashta¹

¹ JSC “Ukrainian Scientific and Research Institute of Aviation Technology” (UkrNDIAT), Kyiv, Ukraine

Abstract. The third part of the article proceeds from the starting points in the decision-making problem (DMP) specified in the first stages of research [1, 2]. Here, we continue to compare the predominance (first of all, quality) of autoclave and non-autoclave alternative technological processes (ATP) as part of the stages of TP(e) with a linear algorithm of end-to-end action in the manufacture of carbon fiber (CF) aircraft structures (AC) such as highly loaded wing stringer panels (HLS) of B787, A350, MC-21, CSeries mainline aircraft as a component of hierarchical systems. To describe and study them, the following were involved: initial technological and verbal models, technological and mathematical model of an autonomous dynamic system (ADS) and a number of two-dimensional manifolds (topology) to it in the form of technological and geometric models. The article continues the study of development in this direction by approximating manifolds by polyhedra. Including co-cellular and double-formed structures - pentagonal pyramids and bipyramids, as well as bodies of revolution around them - cone and bicon. Examples of schematic and technological interpretive modeling are presented. The methodological basis is the main provisions of decision-making theory, factor analysis and system-process approach with the involvement of practice results (expert analysis), first of all, the definition of technological factors of processes with criterion assessments of the advantages, components of alternatives in their competitive strategies.

Keywords: AK, PKM, PKM/AK, VP, ADS, ATP, TP(e), CTR, interpretation, polyhedra, cellular spaces, cellular structures, quality-cost, criterion estimates, pyramid, circular cone, triangulation.