

УДК 658.512.2

Микола Яковлев

*доктор технічних наук, професор,
віце-президент НАМУ*

Святослав Бердинських

*кандидат технічних наук, учений секретар
відділення образотворчого мистецтва НАМУ*

Комбінаторні операції з графічними образами в сучасному формотворчому процесі

Анотація. Зважаючи на зростання ролі комбінаторики у художньому формоутворенні з появою цифрових інструментів, в роботі проаналізовано основні способи комбінаторних операцій з графічними образами, їхній вплив на формотворчий процес.

Ключові слова: комбінаторні перетворення, комп'ютерна графіка, графічний образ, художнє формоутворення, інструментарій проектної графіки.

Постановка проблеми. Останнім часом відбувається активне впровадження в дизайн-практику цифрових технологій. Вони змінили традиційні уявлення про формотворчий процес, давши дизайнерові низку новітніх інструментів – векторну графіку, растрову графіку та тривимірне моделювання, що докорінно відрізняються від класичних рукотворних методів створення зображень. Новітні технології комп'ютерної графіки розширили спектр використання напрацьованих правил, принципів та методик. Принципово нових можливостей реалізації набули ідеї комбінаторики, висунуті вченими та архітекторами ще у середині минулого століття. З огляду на це постає питання систематизації та аналізу комбінаторних операцій у контексті їхнього застосування в арсеналі засобів сучасного графічного інструментарію.

Актуальність дослідження полягає у недостатній вивченості комплексу питань системного застосування засобів проектної графіки у формотворчому процесі.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Тема роботи пов'язана із важливими науковими та практичними завданнями в контексті дослідження методів і засобів створення властивостей об'єктів дизайну, що визначають їх естетичні, функціональні та інші характеристики.

Аналіз досліджень і публікацій. Основою для даної роботи стали інформаційні джерела з декількох напрямів науки. Питанням використання ін-

струментів комп'ютерної графіки в художньому формоутворенні присвячені роботи О. Божко, Д. Жука, В. Манічева («Компьютерная графика»), О. Лєтіна, І. Пашковського, О. Лєтіної («Компьютерная графика»), Д. Миронова («Компьютерная графика в дизайне») [3, 6, 7], які здебільше мають навчально-методичний характер. У працях Б. Бархина («Методика архитектурного проектирования в системе архитектурного образования»), С. Бердинських («Ескізування в творчо-пошуковому процесі художнього формоутворення»), М. Яковлева («Композиція + геометрія») [1, 2, 8] найповніше описано способи застосування проектної графіки для вирішення композиційно-творчих завдань, де також розглядаються основні методи проектного моделювання.

Теорія комбінаторики розглядається в дослідженнях Ю. Божка («Архитектоника и комбинаторика формообразования») та Ж. Зейтуна («Организация внутренней структуры проектируемых архитектурных систем») [4, 5].

Зазначення невіршених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Стан висвітлення питання у наявних літературних джерелах свідчить про недостатність вивчення багатьох аспектів практичної реалізації комбінаторики засобами сучасного комп'ютерного інструментарію у формотворчому процесі.

Новизна наукового дослідження. У роботі вперше здійснено аналіз комбінаторних властивостей різновидів сучасної комп'ютерної графіки на предмет визначення їхнього впливу на моделювання об'єктивних властивостей форми у художньому проектуванні.

Методологічне або загальнонаукове значення авторських розробок. Результати роботи мають значення для розробки комплексної методики використання засобів проектної графіки у художньому формоутворенні.

Виклад основного матеріалу. У низці ідей програмованого формоутворення комбінаторика посідає одне з чільних місць. Досліджено, що процес створення комбінаторних систем може відбуватися різними шляхами: вдосконаленням вихідних елементів з метою отримання низки конструктивних чи композиційних побудов; пошуком нових конструктивних побудов на основі відомих елементів і систем зв'язків. Найперспективнішим для автоматизації видом є формальна комбінаторика – найрізноманітніші операції зі зміни морфологічних якостей об'єкта (форми, конфігурації, розмірів, розміщення частин тощо). Окрім того, комбінаторика, що включає прийоми знаходження різноманітних з'єднань (комбінацій), сполучень, розміщень з відомих елементів у певному порядку, стала одним із способів генерування несподіваних ідей і вирішень завдань у формотворчій практиці дизайну. Комбінаторні (варіативні) методи формоутворення застосовують для виявлення найбільшої різноманітності сполучень обмеженої кількості елементів.

Комбінаторні ідеї у мистецтві набули розвитку і впровадження в формотворчу практику на початку ХХ ст. Розвиток супрематизму в творчості українського художника К. Малевича спричинив посилення ролі геометричних площин у загальній композиції картини, колір почав відходити на другий

план. Наступний крок призвів до формування об'ємів, розвитку просторового мистецтва, включно з архітектурою; почали вступати в силу нові архітектонічні закономірності. У середині 1920-х років К. Малевич зробив новий крок у процесі входження супрематизму в архітектуру у вигляді реальних об'ємних композицій – архітектон. Він був першим, хто винайшов дуже прості комбінаторні стилетворчі елементи, котрі отримали подальший розвиток у ХХ–ХХІ ст. Зокрема, комбінаторні методи в проектуванні одягу вперше застосовували радянські конструктивісти О. Родченко, Л. Попова, В. Степанова. Вони використали програмовані методи формоутворення: комбінування стандартних елементів з набору найпростіших геометричних форм; комбінування різноманітних видів декору на основі базової форми; варіанти трансформації одягу в процесі експлуатації. Внаслідок цього програмовані методи формоутворення стали не лише провідними в проектуванні промислових колекцій, а й лягли в основу графічних комп'ютерних програм.

Нині в дизайні найперспективнішим вважається метод комбінаторно-модульного проектування. Він заснований на пошуку, дослідженні і застосуванні закономірностей варіантної зміни просторових, конструктивних, функціональних і графічних структур, а також на способах проектування об'єктів дизайну з типізованих елементів. Комбінаторика дає можливість здійснювати проектну діяльність у двох напрямках: створення нових структурних побудов та комбінування вихідних елементів. Комбінаторний набір модульних уніфікованих структурних елементів у різноманітних сполученнях, розміщеннях і перестановках дозволяє змінювати конструкції виробів. Модульне проектування передбачає конструктивну, технологічну й функціональну завершеність. Взаємозамінність комбінаторно-модульних елементів та універсальних конструкцій призводить до високої економічності моделей. Застосування комбінаторного модуля сприяє ритмічній узгодженості частин та гармонізації вибору в цілому.

Формотворча здатність елементів залежить від їхнього структурного типу (геометричних параметрів), рівнів регулярності їхньої будови та власної симетрії. Найменші вони у кола чи криволінійного контуру, великі у квадрата, правильного трикутника або прямокутного контуру. Формалізація комбінаторних операцій надає універсального характеру процедурам гармонізації пропорцій за допомогою підбору відповідних співвідношень та розмірів. Відтак до комбінаторних можна віднести лише ті елементи, котрим притаманна властивість універсальності і висока формотворча здатність. У сфері двовимірного формоутворення підвищені комбінаторні можливості та композиційно-естетичні властивості мають рівнобедрений прямокутний трикутник, паралелограми зі співвідношенням сторін $1:\sqrt{2}$, $1:\sqrt{3}$, $1:2$ і група прямокутників, що відомі як «іраціональні» або «динамічні» прямокутники Хембіджа, а також прямокутник «золотого перетину» зі співвідношенням сторін приблизно $1:1,618$. Утворення різноманітних комбінаторних форм з набору спільних повторюваних елементів, здійснюється всією поверхнею (чи контуром), її частиною, лінією, точкою

чи взагалі без дотику.

Серед просторових фігур найвищу комбінаторну спроможність виявлено в куба. Октаедр разом з тетраедром або кубоктаедром також можуть заповнювати простір без проміжків, тому й вони вирізняються комбінаторною здатністю: наприклад, зірковий октаедр можна умовно розділити на вісім тетраедрів та октаедр.

Набутий досвід розробки комбінаторних структур дозволив висунути умови, за яких вони легше і краще компонується:

- простота елементів, що складають гнучку структуру;
- композиційна незавершеність, відкритість форми, тобто їхнє орієнтування назовні, а не всередину, до центру форми;
- збереження інваріантної масштабності, що відповідає зміні структури;
- незалежність зовнішньої форми від конструктивної основи;
- кратність розмірів щодо усіх координат або модульність;
- наявність уніфікованих вузлів з'єднань.

Формоутворення на основі дотримання розглянутих принципів – надзвичайно перспективна тенденція в сучасному дизайні. Вона проявляється вже на перших стадіях композиційної роботи, коли відбувається відбір варіантів вирішення однієї форми і по-різному складаються (сполучаються, комбінуються, повністю змінюються) її елементи.

Незважаючи на те, що основна синтезуюча роль у процесі творчого пошуку належить уяві, інструменти візуалізації комбінаторних операцій здатні не лише підвищити ефективність пошукових процесів, а й призвести до появи оригінальних знахідок на формальному рівні, що дадуть поштовх розвиткові творчої ідеї. Інструменти комбінаторики відкривають евристичний шлях до пошуку нових форм у дизайн-практиці. Відтак у багатьох випадках комбінаторика стала складовою стратегії дизайн-розробки об'єктів.

Як відомо, в традиційній формотворчій практиці для реалізації комбінаторних дій користуються двома видами моделювання: графічним і предметним, тобто за допомогою макетів. У комбінаторному моделюванні складних просторових утворень другий вид вважається ефективнішим, оскільки він адекватніше відображає властивості форми. Однак традиційні способи макетування мають обмеження, пов'язані з фізичними властивостями матеріалу та фізичними силами, що діють на нього.

Реалізація багатьох принципів формальної комбінаторики стала можливою завдяки впровадженню інструментів комп'ютерної графіки. У зв'язку з цим розглянемо основні можливості цифрового інструментарію.

Принципи площинної комбінаторики реалізуються завдяки операціям редагування елемента, а також завдяки принципово новим можливостям роботи з модульно-координуючими сітками. Спектр комбінаторних дій залежить від структурної основи форми. Більш жорстка структура передбачає наявність координуючої основи та меншу кількість можливих дій з елементом, але вимагає більшої упорядкованості, тоді як відсутність жорсткої структури створює пе-

редумови до виникнення більшої різноманітності будови (іл. 1, б).

До операцій, що становлять основу комбінаторних дій, належать (іл. 1, а):

- зміна положення в просторі;
- зміна орієнтації елемента у просторі (обертання);
- множення елемента (копіювання);
- зміна розміру елемента (масштабування);
- зміна якісних властивостей елемента при збереженні його форми (кольору, текстури, прозорості тощо);
- зміна пропорцій форми;
- проєктивні деформації елемента;
- зміна параметрів еле-

ментів у зоні їхнього взаємного накладення.

(іл. 1)

Як бачимо, спектр операцій значно більший порівняно зі спектром операцій, що властиві традиційним графічним технікам створення зображень.

Окремо зупинимось на останній операції. Річ у тім, що при взаємному накладенні (перетині) площинних елементів у растрових редакторах існує можливість обирати різні варіанти алгоритмічного обчислення значення кольорів накладених елементів. На іл. 2 показано різні варіанти будови зображення, що складається з двох шарів, один з яких містить аксонометричне зображення просторової форми, де різні площини локально пофарбовані в різні кольори, а інший містить площинний прямокутник, зафарбований градієнтом. Різні способи змішування цих шарів дають різноманітні графічні ефекти. Наприклад, спосіб змішування «Lighten» дає висвітлення

1. Зміна положення у просторі	
2. Зміна орієнтації у просторі	
3. Зміна розміру	
4. Зміна якісних властивостей	
5. Зміна пропорцій	
6. Проєктивні деформації	
7. Зміна параметрів у зоні накладення	
8. Множення елементів	
9. Зміна конфігурації	

1. Жорстка регулююча основа (модульна сітка)	
2. Закон симетрії	
3. Єдиний модуль за конфігурацією і просторовою орієнтацією	
4. Єдиний модуль за конфігурацією	
5. Подібність модулів	
6. Вирівнювання модулів за основними напрямками	
7. Вільна організація елементів	

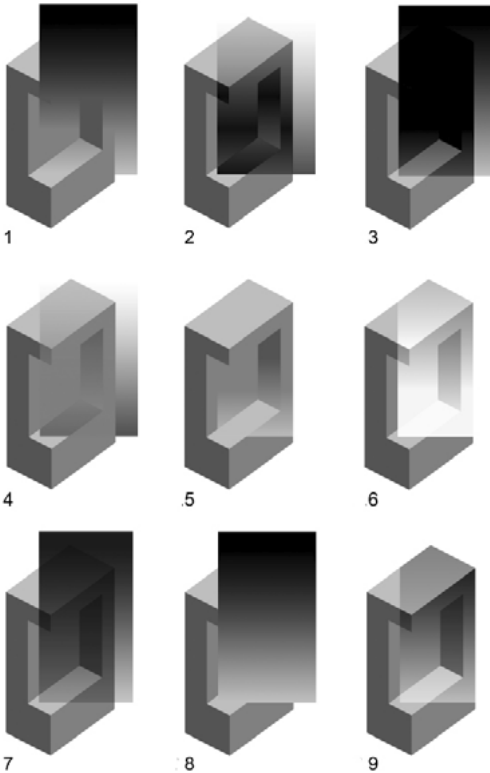
Іл. 1. Комбінаторні операції на площині:
а – різновиди комбінаторних операцій з площинними елементами; б – вплив структурної основи комбінаторних операцій на форму

зображення, яскравість якого залежить від яскравості накладеного градієнта в певній точці.

(іл. 2)

Ряд комбінаторних операцій в сучасній дизайн-практиці виконують за допомогою модульно-координуючих сіток, під час роботи з якими комп'ютерна графіка дає наступні можливості:

- афінні та проєктивні трансформації модульної сітки;
- операційну швидкість, простоту організації та зміни структури на основі вибору елементів сітки;



Іл. 2. Варіанти зміни властивостей зображення при взаємному накладенні графічних об'єктів. Ефекти змішування шарів у програмі Adobe Photoshop:

- 1 – Darken; 2 – Difference; 3 – Linear burn; 4 – Exclusion;
 5 – Lighten; 6 – Linear dodge; 7 – Multiply; 8 – Normal;
 9 – Overlay

– можливості роботи з комбінованими сітками, нашаруванням сіток.

Принципово новою можливістю комп'ютерної графіки є комбінаторний спосіб створення кривих. Оскільки форма векторної кривої редагується розташуванням вузлових точок (вершин) та спеціальними маркерами, що належать кожній з них, то, маніпулюючи цими параметрами, а саме їхнім розташуванням у площині, можна здійснювати евристичний пошук графічного образу.

Та найбільш вагомі пріоритети у формативних процесах дають інструменти тривимірної графіки, що забезпечують візуалізацію комбінаторних перетворень у сфері конструювання просторових форм. Тому розглянемо ці операції.

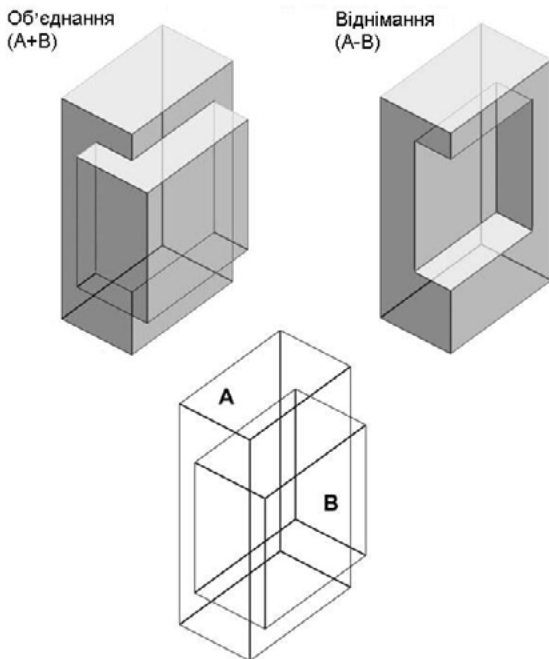
Перша категорія їх пов'язана з комбінаторною об'ємно-просторових тіл. Технологічні, функціональні, формально-ком-

позиційні та інші аспекти створили образ сучасної архітектури, що є комбінацією доволі нескладних геометричних примітивів (паралелепіпедів, призм, циліндрів тощо), де співвідношення їхніх об'єктивних властивостей, зокрема розташування у просторі, розмірів, пропорцій, характеру матеріалів, є основою художньо-композиційної виразності.

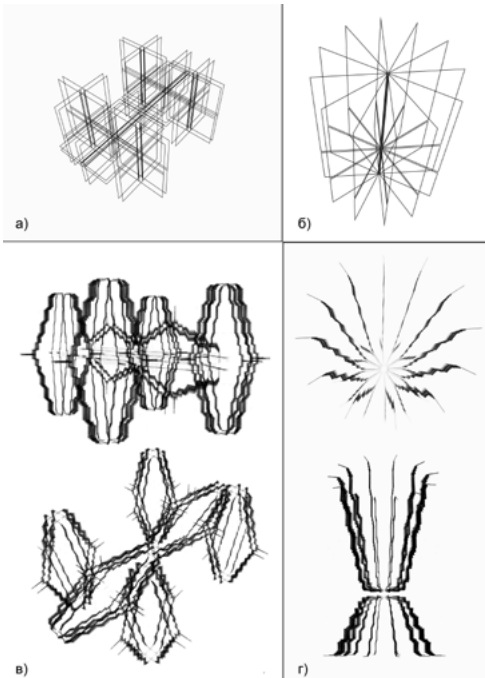
Комбінаторні маніпуляції з властивостями нескладних просторових форм дають змогу створити певні виразні архітектурні образи. На стадії активного творчого пошуку комбінаторні операції з використанням обмеженої кількості елементарних просторових формотворчих елементів можуть призвести до генерації низки узагальнених образів об'єкта, з виявленням його об'ємно-просторової будови.

Характерною властивістю тривимірної графіки у сфері комбінаторики є можливість при взаємному перетині не лише об'єднувати геометричні форми, а й віднімати від однієї форми об'єм іншої, утворюючи таким чином вирізи в просторових тілах (іл. 3).

Особливий інтерес, з погляду просторової комбінаторики, становлять операції з полігональною сіткою, зокрема можливі способи її трансформації та деформації. Трансформація сітки здійснюється через зміну положення, взаємозв'язків та кількості її вершин, граней, ребер. Маніпуляції з параметрами полігональної сітки є одним із новітніх способів конструювання поверхонь з різноманітною топологією, який характеризується відсутністю обмежень щодо моделювання форми поверхні, тому вважається досить перспективним формотворчим засобом, особливо на стадії творчого пошуку. За допомогою операцій



Іл. 3. Візуалізація перетину просторових тіл (A, B), залежно від наперед визначених умов. Додавання (A+B) та віднімання (A-B) обрисів



Іл. 4. Комбінаторні операції з площинними графічними образами у тривимірному середовищі: а, б – конфігурації структурної основи з площин, утворені у тривимірному середовищі; в – форма, отримана в результаті проєкціювання графічного образу на площини конфігурації а; г – форма, отримана в результаті проєкціювання графічного образу на площини конфігурації б

ристано середовище програми 3ds Max. Зображення проєкціюють на площини завдяки карті прозорості матеріалу «Opacity». Зображення на іл. 4, г – утворене способом проєкціювання зображення лінії на вертикальні площини, розташовані за принципом симетрії обертання навколо вертикальної осі (іл. 4, б). Важливо, що ці об'єкти мають тривимірний характер.

Завдяки можливим декомпозиційним операціям комп'ютерні технології полегшують роботу дизайнера у створенні на основі форми вихідного твору низки об'єктів з його складових елементів. Водночас створюються передумови для отримання серії зі стилістично єдиними властивостями та цілісністю у сприйнятті. Наприклад, у практиці графічного дизайну такий спосіб застосовують для проектування на основі певного графічного твору акцидентного

множення фрагмента сітки створюються форми з різноманітними видами симетрії (перенесення, обертання; центральної, дзеркальної, гвинтової).

Окрема категорія комбінаторних перетворень пов'язана з графічними образами, створеними традиційними графічними техніками. Операції, що містять комбінаторні трансформації і деформації, можуть відбуватися як у двовимірному, так і в тривимірному просторі. Комбінаторні операції з образами «класичної графіки» – це один з новітніх шляхів розширення можливостей традиційного ескізування.

Комбінаторні операції з площинними графічними образами здійснюються завдяки їхньому проєкціюванню на поверхні просторових елементів у програмах тривимірного моделювання. На іл. 4 наведено приклад, де графічні образи проєкціюються на площини. Завдяки здійсненню комбінаторних операцій над цими площинами можна отримати нові графічні об'єкти. Для реалізації цих операцій було вико-

шрифту, орнаментів тощо. Крім того, його використовують у тривимірному формоутворенні з метою отримання об'єкта або низки об'єктів з наперед заданими стилістичними особливостями. Ознакою даного способу є швидкість у здійсненні пошукових операцій, наочність поетапних перетворень.

Висновки. Комп'ютерна графіка, ставши основним інструментом формальної комбінаторики, відкрила великий потенціал принципово нових можливостей у забезпеченні проектних перетворень на усіх етапах формотворчого процесу.

Залежно від характеристик графічного образу, що становить основу для операцій, у комп'ютерній формотворчій практиці можна виявити наступні типи комбінаторних утворень:

- модульно-комбінаторні утворення з найпростіших геометрично-упорядкованих площинних та просторових елементів (пряма, коло, прямокутник, куб, тетраедр тощо);
- комбінаторні утворення з площинних та просторових елементів, отриманих в результаті декомпозиції вихідної форми;
- комбінаторні перетворення складних площинних та просторових геометричних структур, що складаються з взаємопов'язаних елементів (крива, сітка);
- комбінаторні утворення у двовимірному і тривимірному просторі з образів «рисованої» графіки.

На прикладі площинних елементів наочно показано вплив комбінаторних операцій та їхньої структурної основи на естетичні властивості й композиційну будову кінцевої форми.

Перспективи подальших досліджень. Проведені у даній роботі дослідження можуть бути використані з метою створення систематизованої методики застосування засобів проектної графіки у формотворчому процесі.

1. *Бархин Б. Г.* Методика архитектурного проектирования в системе архитектурного образования / Б. Г. Бархин. – М.: Стройиздат, 1969. – 224 с.: ил.

2. *Бердинських С. О.* Ескізування в творчо-пошуковому процесі художнього формоутворення / С. О. Бердинських // Технічна естетика і дизайн. – К.: КНУБА, 2013. – Вип. 12. – С. 18–26.

3. *Божко А. Н.* Компьютерная графика / А. Н. Божко, Д. М. Жук, В. Б. Маничев. – М.: МГТУ им. Баумана, 2007. – 392 с.

4. *Божко Ю. Г.* Архитектоника и комбинаторика формообразования / Ю. Г. Божко. – [2-е изд.] – К.: Вища школа, 1991. – 244 с.

5. *Зейтун Ж.* Организация внутренней структуры проектируемых архитектурных систем / Ж. Зейтун. – М.: Стройиздат, 1984. – 160 с.: ил.

6. *Летин А.* Компьютерная графика / А. Летин, И. Пашковский, О. Летина. – М.: Форум, 2007. – 256 с.

7. *Мионов Д. Ф.* Компьютерная графика в дизайне / Д. Ф. Мионов: Учебник для вузов. – СПб.: BHV, 2008. – 439 с.

8. *Яковлев М. І.* Композиція + геометрія / М. І. Яковлев. – К.: Каравела, 2007. – 240 с.

**Комбинаторные операции с графическими образами
в современном процессе формообразования**

Николай Яковлев, Святослав Бердинских

Аннотация. Учитывая возрастающую роль комбинаторики в художественном формообразовании с появлением цифровых инструментов, в работе проанализированы основные способы комбинаторных операций с графическими образами, их влияние на процесс формообразования.

Ключевые слова: комбинаторные преобразования, компьютерная графика, графический образ, художественное формообразование, инструментарий проектной графики.

**Combinatorial operation with graphic images
in the modern process of forming**

Nikolai Yakovlev, Sviatoslav Berdynskykh

Abstract. Recently, there is a process of active implementation in practice of digital design technology. They changed the traditional idea of the formative process, giving the designer a number of new tools – vector graphics, raster graphics and three-dimensional modeling, which is fundamentally different from the classical methods of creating man-made images. The latest technology of computer graphics expanded range of application-established rules, principles and techniques – particularly new opportunities in the implementation of combinatorics got the idea put forward by scientists and architects in the middle of the last century.

In view of the growing emergence of digital tools combinatorics role in shaping the art, the paper analyzes the main methods of combinatorial operations with graphic images. Several combinatorial treatments in modern design practice is performed using module-coordinating networks. A fundamentally new feature of computer graphics is combinatorial way to create curves. The most important priorities in the formative process of three-dimensional graphics provide tools that provide visualization of combinatorial transformations in constructing spatial forms. A separate category of combinatorial transformations related to transactions with graphic images created by traditional graphic techniques. Real images of «classical charts» that can occur in two-dimensional and three-dimensional space in computer graphics is one of the newest tools that allow you to expand the capabilities of traditional sketching, implement heuristic way to search new forms of design practice. New methods of combinatorial operations based computer transformation and deformation created by traditional methods of graphic images.

Past research in this paper can be used to create a systematic application of design techniques graphics formative process.

Keywords: combinatorial conversion, computer graphics, graphic image, artistic shaping, tools, project schedules.