

## **МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ УЯВИ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИНАМІЧНИХ СТЕРЕОСКОПІЧНИХ МОДЕЛЕЙ**

### **1. Дидактичні засоби формування просторової уяви у майбутніх інженерів у навчальному процесі з дисципліни «Нарисна геометрія»**

#### **1.1. Дослідження геометричних і хроматичних параметрів і розробка алгоритму анагліфних стереоскопічних проєкцій.**

Методи спостереження стереоскопічних зображень відомі дуже давно й виникли навіть раніше звичайній плоскій фотографії [103]. Стереоскопія дозволяє при розгляді плоских рисунків створювати ілюзію об'ємного зображення. Усі з відомих методів спостереження стереозображень засновані на особливості людського зору – бінокулярності. Бінокулярний або стереозір – одне з фізіологічних властивостей людини, завдяки якому ми адекватно оцінюємо відстані до навколишніх нас об'єктів, їхню форму та відносне розташування.

Одним з найпростіших методів сепарації зображень (поділ зображень для кожного ока) є метод кольорових анагліфів. Суть методу полягає у використанні для сепарації зображень окулярів зі стеклами різного кольору [44, 75, 102]. Метод дозволяє переглядати стереозображення, як на стереоекрані, так і на папері, екрані телевізора, проєктора, комп'ютера. Остання обставина є найціннішою, оскільки дозволяє розміщати стереозображення в Internet для систем дистанційного навчання та для методичного забезпечення самостійної роботи студентів.

#### **Історія.**

Уперше спосіб поділу стереокартинок за допомогою кольорових фільтрів – червоних і синіх – описав в 1853 році англійський учений В. Ролман. Він показав рисунок, що складався із червоних і синіх смуг на чорному фоні. При розгляді у стереоокулярах червоні смуги зникали, якщо дивитися на малюнок через червоний світофільтр, а сині – якщо дивитися через синій. У 1858 році Д'Альмейда представив паризькій Академії наук свій спосіб розділення стереозображень за допомогою кольорових окулярів. Він почав показ анагліфних стереослайдів широкій аудиторії. Один із слайдів проєцирувався через червоний фільтр, другий – через синій. Глядачам видавалися стереоокуляри із світофільтрами тих же кольорів.

Спосіб розділення стереозображень за допомогою світофільтрів був дороблений Луї Дюко дю Ороном у 1891 році. Він дав цьому способу ім'я – анагліф, що з грецької означає “рельєфний”.

У 1936 році Луї Люм'єр покращив характеристики світофільтрів і показав перший анагліфний стереофільм.

В 1937 році ця технологія була придбана американськими кінофірмами M.G.M. и Paramount. Стереоскопія, заснована на принципі анагліфів, має ряд недоліків у порівнянні з іншими принципами сепарації стереозображень, тому з 1977 року нові анагліфні стереофільми не знімалися, однак вони досі із успіхом демонструються у кінотеатрах.

При розгляданні стереопар через стереоокуляри кожне око бачить тільки “своє” зображення, що забезпечується підбором хроматичних характеристик світлофільтрів. Для поліпшення умов спостереження стереозображень і забезпечення сприйняття обома очима однакової яскравості рекомендується використовувати для стереопар і світлофільтрів додаткові кольори. Метод кольорових анагліфів не достатньо підходить для спостереження кольорових стереоскопічних зображень. Однак це обмеження не є перешкодою для використання анагліфів у навчальному процесі при вивченні нарисної геометрії і інженерної графіки з метою підвищення наочності і кращого засвоєння навчального матеріалу.

Очі людини, розташовані на відносній відстані  $d$ , яка має назву *стереобазис*, сприймають зображення, що відрізняються. При цьому, поля зору правого и лівого очей частково перекриваються, створюючи зону стереозору.

На рис. 1 представлена схема проектування об'єктів при бінокулярному зорі. Зображення проектується кришталіками на сітчатку правого і лівого очей. Під час спостереження об'єкта, за рахунок рефлекторного повороту очних яблук, оптичні осі очей розташовуються таким чином, що вони перехрещуються у центрі композиції –  $\mathcal{C}$ . Цей процес має назву *конвергенції*, а кут між оптичними осями  $\chi$  – *кутом конвергенції*. На рис. 1а  $T$  – відстань конвергенції, точка  $C$  – *центр конвергенції*, що співпадає із центром композиції  $\mathcal{C}$ .

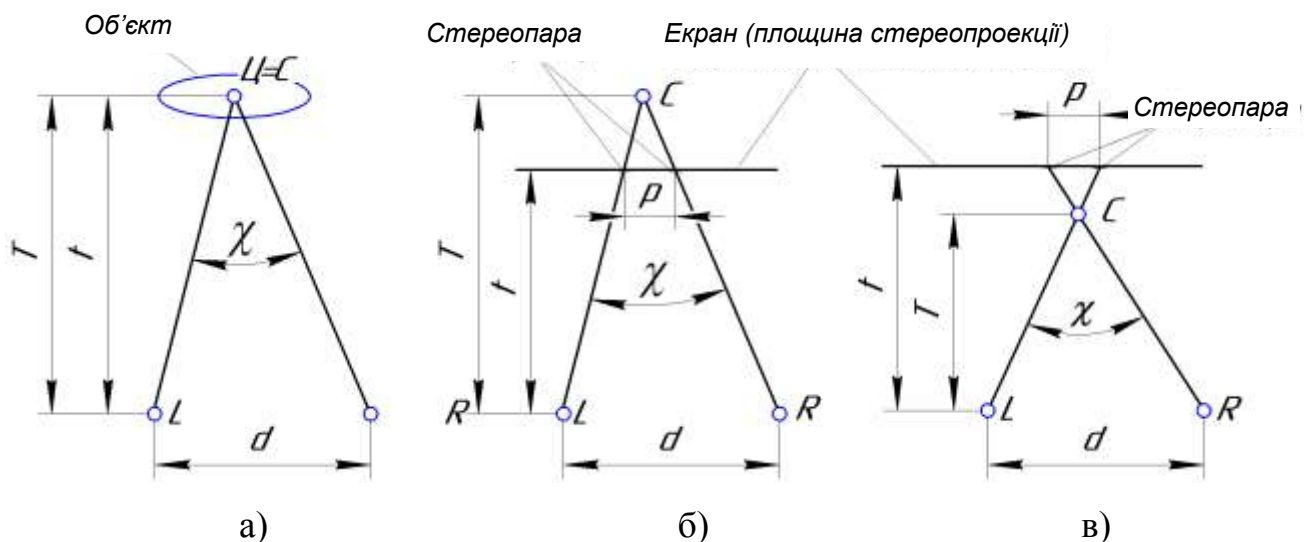


Рис. 1. Схема бінокулярного зору людини

а) – при розгляді реального об'єкта; б), в) – при розгляді зображення стереопари на плоскому екрані з різним паралаксом: б) – позитивним; в) – негативним.

Водночас, за рахунок рефлекторної зміни фокусної відстані кришталіків очей відбувається фокусировка або *акомодация* очей на групі об'єктів,

розташованих на відстані  $t$ , що має назву *дистанції акомодації*. Група очних м'язів, що управляються *акомодациєю* та *конвергенцією зорових осей*, працюють узгоджено, і при спостереганні об'єктів у просторі ступінь акомодації однозначно пов'язана із ступінню конвергенції, таким чином, що  $T = \frac{d}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\chi}{2}$  звідки:  $T = t$ .

*Кут конвергенції* і *дистанція акомодації* є вхідними параметрами мозку для створення в свідомості просторового образу об'єкта.

Побудова стереоскопічних зображень основана на створенні *стереопар*, як центральних проєкцій об'єкта на площині стереопроєкції, одержаних для двох центрів проєктування –  $L$  і  $R$ , що моделюють очі глядача. Сепарація зображень здійснюється за допомогою стереоокулярів. *Стереоокуляри* – окуляри, лівий і правий світофільтри яких відрізняються за своїми хроматичними характеристикам настільки, що кожне око глядача сприймає тільки одне, призначене для нього, зображення стереопари. Відомі різні принципи сепарації за допомогою стереоокулярів: *комутаційний рідинно-кристаличний, поляріодний, призменний* і т.п. У даній роботі розглядається метод сепарації зображень за допомогою анагліфних окулярів. *Анагліфні стереоокуляри* – окуляри із світофільтрами різного кольору для переглядання поєднаних стереозображень за анагліфним методом.

При використанні червоного і синього (або синьо-зеленого) світофільтрів червоний світофільтр встановлюється перед лівим оком.

При перегляданні стереоскопічних зображень на площині зорові осі направлені на *спряжені точки* зображень стереопари. Так як очі глядача постійно акомодовані на площину зображення (площину стереопроєкції), при формуванні стереозображення відбувається розузгодження механізмів конвергенції і акомодації, що працюють у природних умовах узгоджено. Тривалий перегляд стереозображень на відстані меншій, ніж третя частина відстані між глядачем і екраном, може викликати відчуття дискомфорту, а на відстанях ще менших – стомлення, біль в очах, головний біль. Комфортність сприйняття стереозображень – відчуття природності об'ємного зображення, що з'являється у глядача за рахунок максимального наближення умов формування *сітчастих* зображень стереопари до умов формування сітчастих зображень реальних об'єктів. Під *сітчастими* зображеннями розуміються зображення на сітчатці очей глядача. Комфортність сприйняття досягається при виконанні ряду вимог, що пред'являються до стереозображень. До них відносяться:

- дотримання діапазону *горизонтальних паралаксів*;
- відсутність *вертикальних паралаксів*;
- однаковість фотографічних і геометричних параметрів лівого і правого зображень стереопари – різкість, яскравість, рівномірність яскравості, масштаб;
- відповідність хроматичних параметрів стереопари відповідним параметрам стерео-окулярів;
- відповідність *афінних перекручувань*.

*Паралакс* – відносне зміщення *спряжених точок стереопари*. Головною

умовою досягнення *стереоскопічного сприйняття* є наявність паралаксу при сепарації зображень стереопари. Як вже вказувалося, вертикальний паралакс не припускається. Знак и величина горизонтального паралаксу визначають сприйняття положення точки у стереозображенні. При позитивному паралаксі точка, що розглядається, сприймається за площиною стереопроєкції (рис.2.1б), а при негативному паралаксі – перед площиною (Рис. 1в). Величина паралаксу визначається співвідношенням:

$$p = 2 \cdot (T - t) \cdot \operatorname{tg} \frac{\chi}{2}. \quad (1)$$

В основі стереоскопічних проєкцій лежить центральне проєктування з двох центрів проєктування: лівого –  $L$  і правого –  $R$ .

Розглянемо алгоритм побудови стереопроєкції певної геометричної фігури з характерними точками  $A(x_A, y_A, z_A)$ ,  $B(x_B, y_B, z_B)$ ,  $C(x_C, y_C, z_C)$ , ...,  $N(x_N, y_N, z_N)$ .

На рис. 2 представлено наочне зображення стереоскопічного проєктування точок  $\zeta$  и  $A$ . Тут і далі кольорові анагліфні рисунки слід розглядати у стереоскопічних окулярах, що прикладені до дисертації. На Рис. 3 показано комплексний рисунок стереопроєктування точок  $\zeta$  и  $A$ .

Введемо позначення величин на Рис. 2, 3. *Стереопара* – центральні парні проєкції точки – ліва  $A_L$ , права  $A_R$  – на площину стерео-проєкції  $\Omega_4$  з центрів проєктування, відповідно  $L$  и  $R$ . *Стереобаза* – система з двох центрів проєктування –  $L$  и  $R$ , що моделюють очі людини. Точки  $L$  и  $R$  утворюють горизонтальний відрізок  $LR$ , паралельний площині стереопроєкції  $\Omega_4$ .

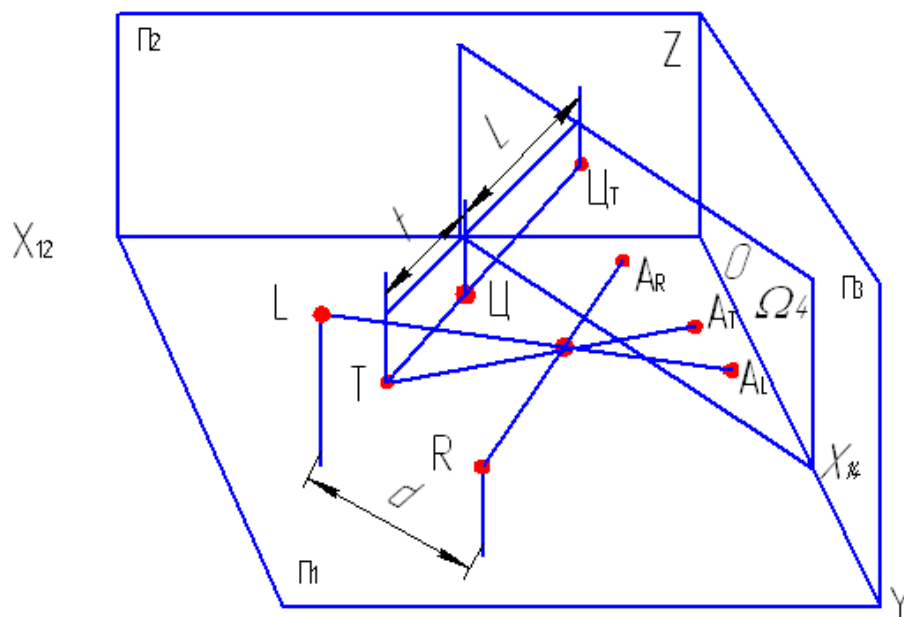


Рис. 2. Схема стереоскопічного проєктування (наочний рисунок)

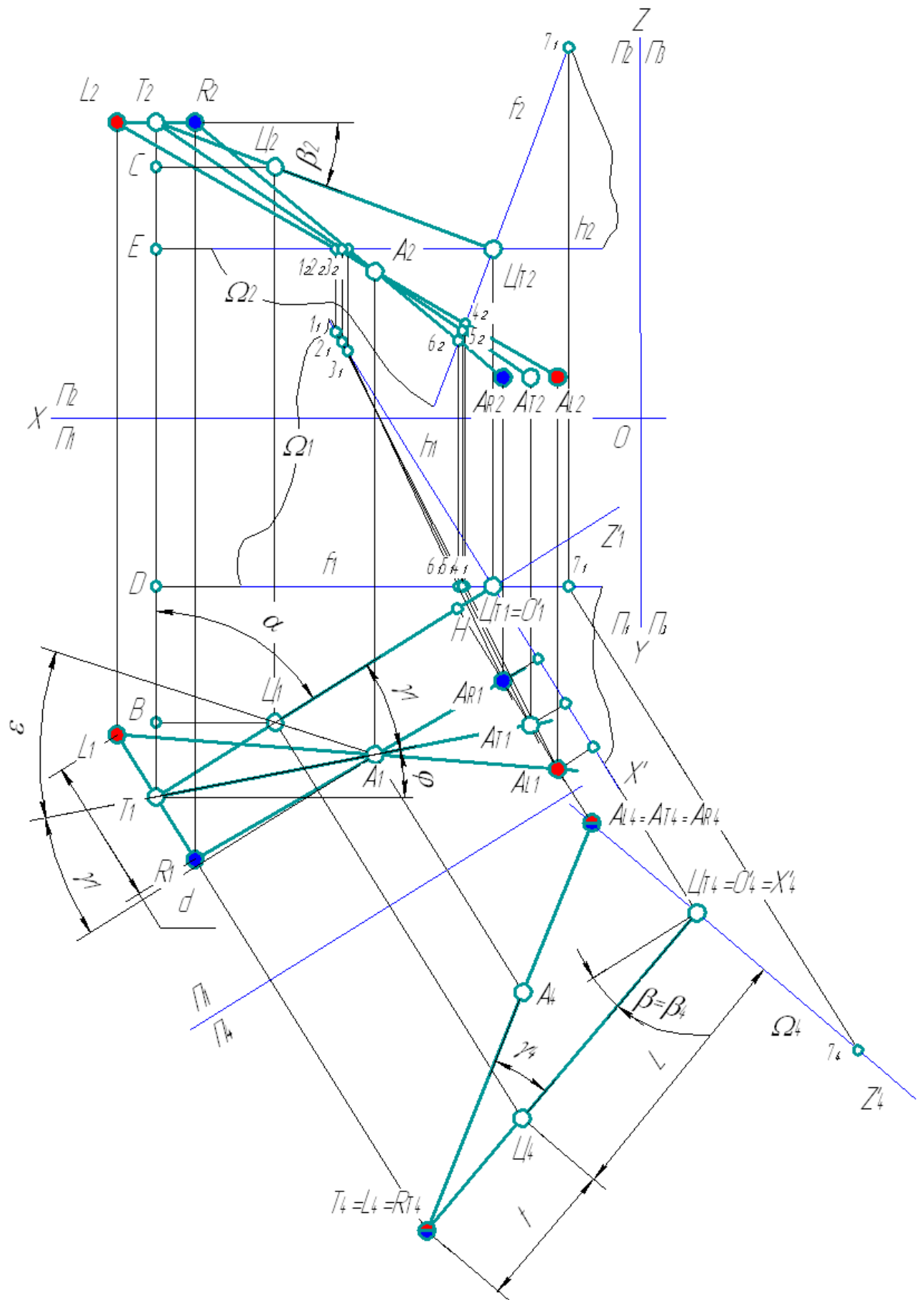


Рис. 3. Схема стереоскопічного проектування точок  $C$  і  $A$  (комплексний рисунок)

Відстань  $LR$ , що дорівнює  $d$ , також називається стереобазою. Середина відрізка  $LR$  – точка  $T$  називається центром стереобазис. Пряма, що проходить через центр стереобазис  $T$  і перпендикулярна до площини стереопроєкції  $\Omega_4$ , називається віссю стереопроєкції. Вісь стереопроєкції  $TЦ$  – пряма перпендикулярна площині стереопроєкції  $\Pi_4$  та проходить через умовний центр геометричної фігури  $Ц$  і центр стереобазис  $T$ .

Координати центру фігури  $Ц(x_{Ц}, y_{Ц}, z_{Ц})$  можуть бути визначені, як середні значення відповідних координат її характерних точок:

$$\begin{aligned}x_{Ц} &= \frac{x_A + x_B + x_C + \dots + x_N}{n}; \\y_{Ц} &= \frac{y_A + y_B + y_C + \dots + y_N}{n}; \\z_{Ц} &= \frac{z_A + z_B + z_C + \dots + z_N}{n},\end{aligned}\tag{2}$$

де  $n$  – кількість характерних точок геометричної фігури.

Положення осі стереопроєкції задається координатами центра геометричної фігури  $Ц(x_{Ц}, y_{Ц}, z_{Ц})$  і двома кутами:  $\alpha$  – кутом між негативним напрямом осі  $OY$  і горизонтальною проєкцією осі стереопроєкції  $T_1Ц_1$ ;  $\beta$  – кутом нахилу осі стереопроєкції до горизонтальної площини, тобто кутом між віссю стереопроєкції  $TЦ$  і проєкцією  $T_1Ц_1$ .  $\beta_2$  – фронтальна проєкція кута  $\beta$ . Кути  $\alpha$  і  $\beta$ , що визначають ракурс проєкції, вибираються із вимог до наочності зображення.

Визначимо залежність між кутами  $\beta$  и  $\beta_2$ .

З фронтальної проєкції  $\Delta T_2Ц_2$  на рис. 3:

$$\operatorname{tg}\beta_2 = \frac{CT_2}{CЦ_2}.\tag{3}$$

З горизонтальної проєкції:

$$BЦ_1 = CЦ_2 = T_1Ц_1 \cdot \sin \alpha = TЦ \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta = t \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta;\tag{4}$$

$$CT_2 = t \cdot \sin \beta.\tag{5}$$

З (3) – (5):

$$\operatorname{tg}\beta_2 = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\sin \alpha}.\tag{6}$$

Координати центра стереобазис  $T(x_T, y_T, z_T)$ , з урахуванням (3) – (6), можуть бути визначені за формулами:

$$x_T = x_{Ц} + CЦ_2 = x_{Ц} + t \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta;$$

$$y_T = y_{Ц} + BT_1 = y_{Ц} + T_1 \zeta_1 \cdot \cos \alpha = y_{Ц} + t \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha ; \quad (7)$$

$$z_T = z_{Ц} + CT_1 = z_{Ц} + t \cdot \sin \beta .$$

де  $t$  – відстань від центру стереобазиса  $T$  до центру фігури  $\zeta$ .

Математичні викладки алгоритму розрахунку координат стереопар наведені у додатку А.

Вхідними даними для розрахунку і побудови стереопар є:

– координати характерних точок геометричного об'єкту  $A(x_A, y_A, z_A)$ ,  $B(x_B, y_B, z_B)$ ,  $C(x_C, y_C, z_C)$ , ...,  $N(x_N, y_N, z_N)$ , визначені з комплексного рисунку об'єкту;

- ракурсні кути  $\alpha$  і  $\beta$ , що визначають напрям осі стереопроєкції;
- $t$  – відстань від центру стереобазиса  $T$  до центру фігури  $\zeta$ ;
- $L$  – відстань від центру геометричної фігури  $\zeta$  до площини  $\Omega$ ;
- $d$  – стереобазиса.

Вихідними даними розрахунку параметрів стереопроєкції є координати характерних точок стереопар:

$$x'_{AL}, x'_{AR}, z'_{AL}, z'_{AR}, x'_{BL}, x'_{BR}, z'_{BL}, z'_{BR}, x'_{CL}, x'_{CR}, z'_{CL}, z'_{CR}, \dots, x'_{NL}, x'_{NR}, z'_{NL}, z'_{NR} .$$

Авторами розроблена і реалізована комп'ютерна програма автоматизованого розрахунку і побудови стереопроєкцій у системі  $X'O'Z$  для системи точок, що визначають положення об'єкту у системі координат  $OXYZ$ . Програма і приклади побудов стереопроєкцій наведені у додатку Б.

Крім розглянутих вище геометричних характеристик, дуже важливими є хроматичні або колірні параметри анагліфного методу стереоскопічного проектування. Дослідження хроматичних параметрів було зведене до раціонального вибору кольору скла окулярів (світофільтрів) і відповідно ліній зображення стереопари.

Світофільтри забезпечують сепарацію правого і лівого зображень стереопари. При цьому для світофільтрів використані додаткові кольори. Як звісно, додатковими кольорами називаються кольори, які при помноженні дають чорний колір, а при складанні – білий. Додатковими кольорами є пари: червоний і сине-зелений, пурпурний і зелений, жовтий і синій, помаранчевий і зелено-синій та інші. Практично, додаткові кольори дуже просто можна отримати на комп'ютері, використовуючи функції “вибір кольору” і “негатив” у програмах обробки зображень Windows. Зробивши негатив якого-небудь кольору, отримаємо його додаток. Помноживши ці кольори, отримаємо чорний, склавши – білий кольори. Для додаткових світофільтрів це означає, що складені разом світофільтри не пропускають видимий діапазон світла, крізь них ви нічого не побачите. А якщо спроектувати два пучки білого світла крізь додаткові світофільтри і сумістити кольори на одній і тій же ділянці білого екрану, то вони, змішавшись, знову дадуть біле світло.

Частіше всього для анагліфної стереоскопії використовуються два типи стереоокулярів: червоно-сині або червоно-зелені. При цьому при перегляді крізь червоно-сині окуляри яскравість і контраст зображень для лівого і правого очей виходить практично однаковою, в той час як для червоно-зелених більш контрастним виходить зображення для зеленого світлофільтра, а для червоного – менш контрастним, що помітно погіршує сприйняття об'єму. Для виправлення цього недоліку зазвичай зменшують контраст червоного зображення і підвищують контраст зеленого, тому червоно-зелені анагліфи мають коричневий відтінок.

В даному дослідженні були використані стереоокуляри фірми “Focus-stereo” з червоними і синьо-зеленими світлофільтрами (red-cyan), згідно з прийнятим у дійсний час стандартом на анагліфні стереоокуляри. Тому, задача дослідження хроматичних параметрів стереопроекування спростилася до підбору кольорів ліній стереопар. Кольори ліній, які будемо умовно називати “червоний” і “синій”, були підібрані візуально за наступним принципом: “червона” лінія зливається з фоном при її розгляданні через “червоний” світлофільтр, а “синя” – через “синій”.

Вибрані для стереопар параметри кольору за шкалам кольорової гами Windows наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри “червоного” і “синього” кольорів ліній стереопар за шкалам RGB і HLS кольорової гами Windows

Параметри	Характеристики кольору ліній стереопар		Параметри	Характеристики кольору ліній стереопар	
	“червоний”	“синій”		“червоний”	“синій”
червоний	255	0	відтінок	0	127
зелений	65	255	насиченість	255	255
синій	65	255	яскравість	160	128

“Червоні” і “сині” лінії стереопроекцій, як правило, перехрещуються, тобто, враховуючи товщину ліній, мають спільні зони. У відповідності із властивостями графічних редакторів комп'ютерних програм спільні зони можуть мати один з кольорів анагліфу – “червоний” або “синій”. В результаті на одному із зображень стереопари суцільні лінії будуть мати не передбачені розриви, що погіршує якість сприйняття стереоскопічного ефекту. Для виправлення цього недоліку спільні зони перетину “червоних” і “синіх” ліній фарбуються чорним кольором.

## 1.2. Принцип дії та застосування динамічних стереоскопічних моделей.

При розробці динамічних стереоскопічних моделей відповідно до цілей навчання, виховання та розвитку студентів враховувалися наступні загальні вимоги до дидактичних засобів, що застосовуються при викладанні нарисної



геометрії [52, 85, 92, 100, 223].

1. ДСМ повинні бути компліментарними з підручниками та посібниками для студентів, сумісними з традиційними формами навчання в університеті. Водночас, в них має бути враховано специфіку цілей і змісту навчального матеріалу, що підлягає вивченню за допомогою комп'ютера, а методичні рекомендації повинні вказувати на ті розділи або теми нарисної геометрії, вивчення яких на основі застосування ДСМ є більш ефективним, ніж за допомогою традиційних засобів навчання.

2. ДСМ повинні бути розроблені відповідно до декількох рівнів складності, що дає змогу диференціювати та індивідуалізувати процес навчання та надає студентам можливість самостійно виходити на якісно новий рівень пізнавальної самостійності (реалізація принципу адаптивності).

3. ДСМ повинні включати елементи самостійного дослідження, моделювання, що дає змогу реалізувати активний та творчий підхід до процесу розвитку просторової уяви студентів (застосування принципу активності).

4. У змісті ДСМ мають бути представлені відповідним чином структуровані аналітико-логічна, візуальна, практична та алгоритмічна форми навчального матеріалу.

5. У ДСМ повинно бути передбачено певні пропорції між словесно-мовною, візуальною та чуттєво-сенсорною модальністю при засвоєнні навчального матеріалу, що вимагає відповідного структурування, різноманітності засобів спілкування викладача зі студентом.

Крім загальних вимог до динамічних стереоскопічних моделей треба враховувати систему типових вимог до дидактичних засобів, що застосовуються у курсі нарисної геометрії, тобто психолого-педагогічних, програмно-технічних, естетичних, ергономічних та ін. [93, 99, 131, 203, 207, 233, 243, 246]. Структуру системи вимог до ДСМ наведено на рис. 4. Коротко охарактеризуємо їх.

Психолого-педагогічні вимоги складаються з дидактичних та методичних.

Дидактичні вимоги передбачають забезпечення науковості та доступності ДСМ, адаптивності, систематичності та послідовності навчання, візуалізації навчальної графічної інформації, свідомості навчання, активності та самостійності діяльності студентів, міцності засвоєння результатів навчання, розвитку інтелектуального потенціалу, а також наявності зворотного зв'язку з викладачем під час навчання [223].

Зворотній зв'язок у системі викладач-студент є особливо важливим для засвоєння порядку уявних просторових побудов та перетворень уявлюваних моделей нарисної геометрії.

Методичні вимоги обумовлюють необхідність врахування специфіки графічної підготовки з "Нарисна геометрія", її понятійного апарату, заснованого на просторових аксіомах [243]. Обґрунтування вибору розділів або тем програми, в яких передбачається застосування нових інформаційних технологій навчання нарисної геометрії, здійснювалася на основі педагогічної доцільності та ефективності застосування комп'ютерних засобів у навчальному процесі.



Рис. 4. Структура загальних вимог до динамічних стереоскопічних моделей як дидактичного засобу навчання

Програмно-технічні вимоги обумовлюють зручність роботи користувача (викладача або студента), якість екранного дизайну, ефективність комп'ютерної підтримки, загальну організацію навчального процесу при застосуванні програми, та, окремо, організацію самостійної роботи студентів, відповідність функціонування експлуатаційній документації, захищеність від несанкціонованих дій користувача, забезпечення стійкості до помилкових або некоректних дій викладача, студента тощо [52, 93].

Ергономічні вимоги – сукупність вимог до змісту та форми ДСМ, які зобов'язують враховувати індивідуальні особливості студентів, надають рекомендації щодо характеристик зображення інформації на екрані комп'ютера чи відеопроєктора (кольорова гама, контрастність, чіткість зображення, розбірливість, розміщення на екрані), обумовлюють необхідність підвищення рівня мотивації до навчання, створення позитивних стимулів під час роботи

користувача з програмою [52, 93, 188]. З огляду на особливості сприйняття стереозображень органами зору важливим є питання режиму роботи з ДСМ, що враховує втомлюваність очей при роботі у стереоокулярах, періодичність відпочинку очей.

Естетичні вимоги передбачають відповідність кольорової гама призначенню ДСМ, виразність, цілісність, упорядкованість графічних елементів, відповідність естетичного оформлення функціональному призначенню програмного продукту [52, 93, 188].

Слід відмітити, що більшість сучасних мультимедійних підручників з нарисної геометрії використовують як дидактичні засоби анімаційні ролики обертання графічних об'єктів, рідше – їх анімаційну побудову. Така конструкція забезпечує ефективне навчання студентів у режимі самонавчання та в режимі, за яким викладач від звичайного “інструктування” переходить до консультування студентів.

Для реалізації поставлених задач даної роботи використовуються дидактичні засоби двох видів:

- стереоадаптації відеоролики;
- динамічні стереоскопічні моделі.

Розглянемо їх особливості, принцип дії і призначення.

Відомо, що здатність “бачити обсяг там, де його нема”, неоднаково розвинена в різних людей. Це пов'язане з індивідуальними фізіологічними особливостями органів зору кожної людини [24, 140, 173]. Зокрема, ці відмінності проявляється в часі, необхідному для адаптації зору до розгляду стереозображень.

Авторами експериментально отриманий розподіл часу стереоадаптації студентів по чотирьох категоріях: А – студенти, які починають “бачити” стереозображення об'ємним через час менше 5 секунд після початку його демонстрації; В – через час від 5 до 10 секунд; С – від 10 до 20 секунд й D – через час більше 25 секунд або не бачать зовсім (діаграма на Рис. 5).

Експериментально встановлено, що у студентів, що успішно сприймають стереопари простих об'єктів як об'ємні зображення, при розгляді наступних зображень більше складних об'єктів, відбувається більш швидка адаптація органів зору, тобто розвивається здатність до сприйняття стереозображень або “з'являється стереозір”.

Відеоролики для адаптації стереозору студентів як допоміжні дидактичні засоби були створені авторами спеціально для вивчення процесів адаптації стереозору и попередньої підготовки студентів до перегляду більш складних стереоскопічних зображень на заняттях. Вони являють собою циклічні анімаційні фільми. Один із таких стереоадаптаційних відеороликів – “Кубик, що обертається”. Під час перегляду цього відеоролика створюється враження, що кубик, обертаючись, плаває між екраном і глядачем. Чим далі від екрану “впливає” кубик, тим у більшій мірі зір студента адаптувався до перегляду стереозображень.

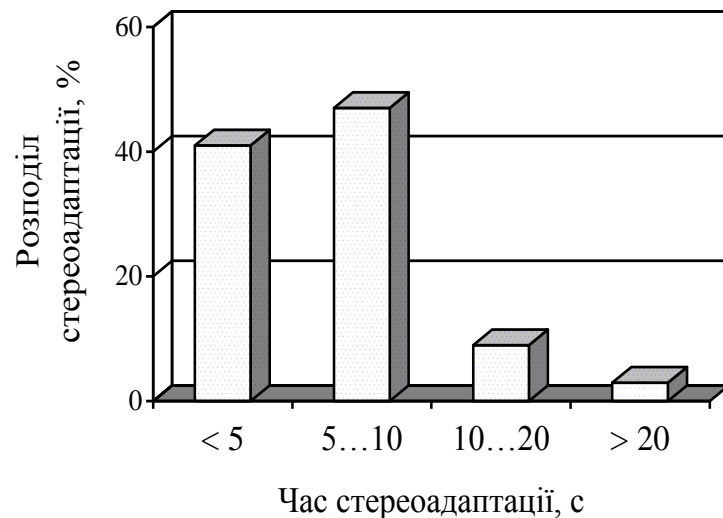


Рис. 5. Розподіл часу стереоадаптації

На Рис. 6 показано з 33-го по 44-ий кадр відеоролика “Кубик, що обертається”. Ефект обертання кубика досягнутий через зміни для кожного кадру відеоролика значень ракурсних кутів  $\alpha$  і  $\beta$ . При цьому  $\alpha$  змінюється у діапазоні  $0 - 360^{\circ}$ , а  $\beta$  від  $-20^{\circ}$  до  $+20^{\circ}$  і ступінь стереоефекту не змінюється, тобто стереобаза зображення залишається постійною. Швидкість обертання вибирається викладачем з двох варіантів залежно від дійсного часу адаптації до стереосприйняття більшості студентів аудиторії. Як показав досвід, на перших двох заняттях для ефективною адаптації стереозору студентам потрібний більший час і менша швидкість демонстрації відеоролика.

Інший стереоадаптаційний відеоролик – “Літера А” –, напроти, побудовано на основі змінної стереобази зображення. Під час його демонстрації у глядача повинне створюватися враження, що з глибини екрану на нього “впливає” буква А, поступово збільшуючись за рахунок перспективи від крапки до розмірів екрану. Буква наближається й збільшується настільки інтенсивно, що при досить високому ступені стереосприйняття буквально “наїжджає” на глядача, а потім “від’їжджає” назад. Цей ефект досягається за рахунок послідовної зміни значення стереобази від 0 до 80 мм і навпаки. На рис. 7. показані декілька кадрів відеоролика “Літера А”.

Надамо визначення характеристик динамічної стереоскопічної моделі. Динамічна стереоскопічна модель (ДСМ) представляє собою відеоролик у вигляді набору зображень поетапних динамічних побудов та динамічних перетворень стереоскопічних проєкцій із зміною кадрів з різним ступенем виразності стереоскопічного ефекту. Наприклад, для епізоду трансформації стереозображення у плоске зображення для першого кадру ми маємо високий ступінь стереоефекту, що дає ілюзію об’єму, а для останнього – плоске зображення, аналогічне проєкції об’єкта на площину проєкції. Подібний ефект досягається шляхом покадрової зміни значення стереобази від 60 мм до 0, або навпаки.

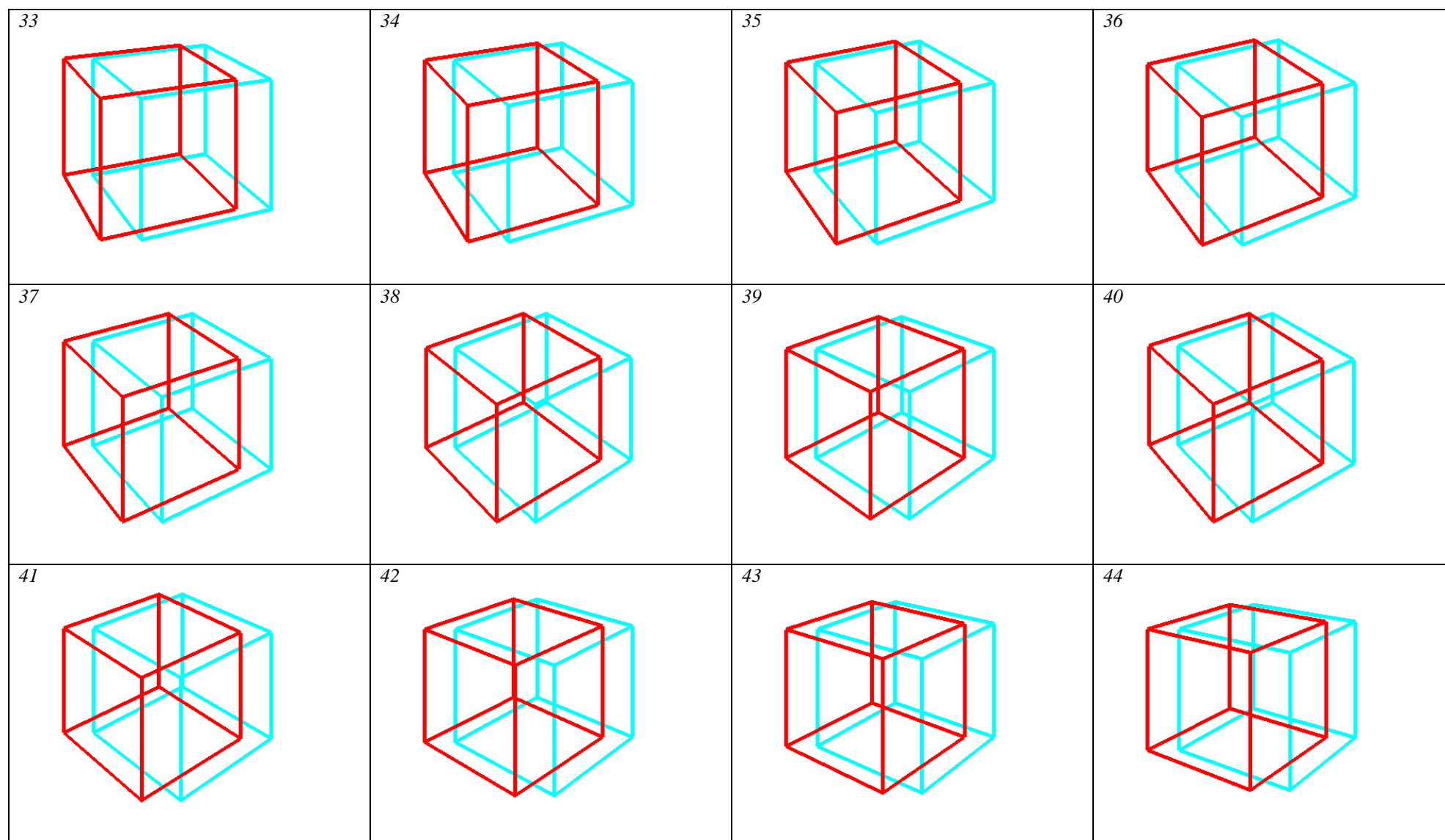


Рис. 6. (стерео). Кадри (№№ 33-44) відео-ролика “Кубик, що обертається”

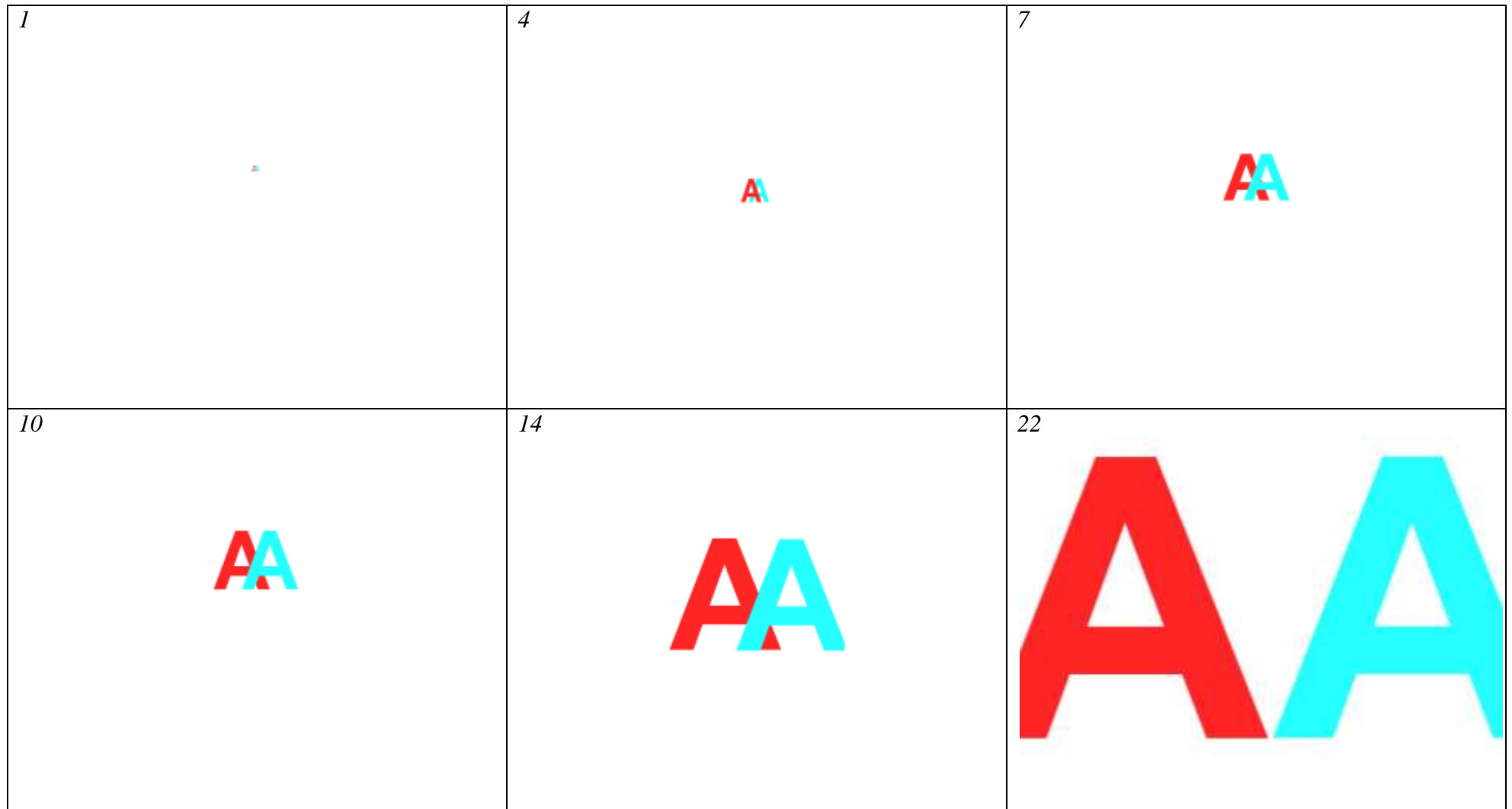


Рис. 7. (стерео). Кадри (№№1, 4, 7, 10, 14, 22) відеоролика “Літера А”.

Динамічна стереоскопічна модель має наступну структуру:

- епізод 1 – статична стереоскопічна проекція об'єкта;
- епізод 2 – динамічне перетворення стереоскопічної проекції в проекцію Монжа;
- епізод 3 – плоске зображення проекції Монжа;
- епізод 4 – зворотна трансформація проекції Монжа в стереоскопічну проекцію;
- епізод 5 – статична стереоскопічна проекція об'єкта.

Статична стереоскопічна проекція об'єкта – стереоскопічне зображення з максимальним значенням стереобазис (60 мм) і ракурсними кутами в залежності від виду ортогональної проекції (табл. 2). На Рис. 8 показано приклад профільної статичної стереоскопічної проекції площини, що задана трикутником.

Таблиця 2

Значення ракурсних кутів стереоскопічного проектування у залежності від виду ортогональних проекцій

Ортогональні проекції	Ракурсні кути, град	
	$\alpha$	$\beta$
Горизонтальна	0	- 90
Фронтальна	0	0
Профільна	90	0

Динамічне перетворення, або трансформація, стереоскопічної проекції в проекцію Монжа відбувається завдяки покадровій зміні значення стереобазис ( $d$ ) від 60 мм до 0. Разом із зміною значення стерео-базис  $d$  змінюється і величина паралаксу. На рис. 8 показане зображення із значеннями стереобазис  $d = 0$ , тобто плоске зображення профільної проекції площини, що задана трикутником – профільна проекція Монжа.

Зворотна трансформація проекції Монжа в стереоскопічну проекцію відбувається аналогічно попередньому перетворенню із зміною значення стереобазис  $d$  від 0 до 60 мм. Перетворення закінчується зображенням профільної статичної стереоскопічної проекції площини із значенням стереобазис  $d = 60$  мм (рис. 9).

Останнім кадром ДСМ є статична стереоскопічна проекція об'єкта.

Динамічні стереоскопічні моделі дозволяють здійснювати наочні динамічні перетворення (трансформацію) стереоскопічних проекцій у плоскі зображення й навпаки. При цьому ДСМ, які здійснюють перетворення стереоскопічних проекцій (об'ємних) у плоскі, умовно називаємо прямими динамічними стереоскопічними моделями (ПДСМ), а ДСМ, які здійснюють зворотне перетворення плоскі проекції об'єкта в стереоскопічні, умовно називаємо зворотними динамічними стереоскопічними моделями (ЗДСМ). Приклад ДСМ “Площина, що задана трикутником” розміщений у додатку В.

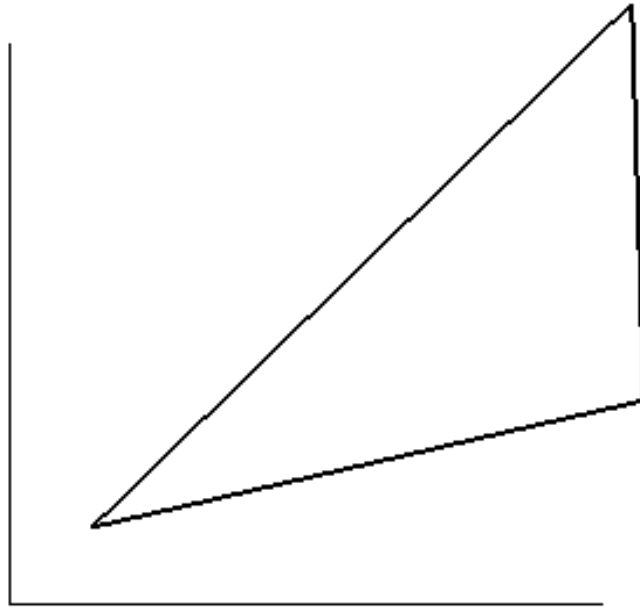


Рис. 8. Профільна стереоскопічна проекція площини, що задана трикутником при  $d = 0$

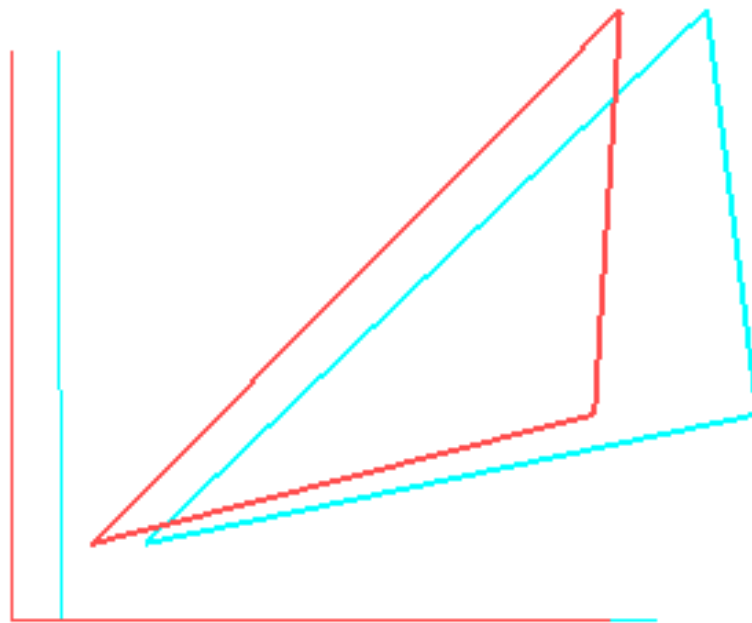


Рис. 9. Профільна статична стереоскопічна проекція площини, що задана трикутником при  $d = 60$  мм

Для високого ступеня наочності інтервал проходження кадрів, за аналогією з кінематографом, повинен бути  $1/24$  с. (24 кадри за секунду), але, з огляду на особливості динамічних моделей і завдання дослідження, був прийнятий інтервал  $0,1$  с (тобто 10 кадрів за секунду). Як показали експерименти, такий інтервал цілком відповідає умовам наочності й добре сприймається студентами, як безперервний плавний процес динамічних побудов і перетворень.

Само по собі використання стереоокулярів не тільки не є перешкодою, як могло б здатися, але грає психологічно позитивну роль,



фокусуючи процес сприйняття навчального матеріалу, націлюючи увагу студента на всі послідовності динамічних побудов і перетворень проєкцій в уявних моделях.

Саме це особливо відрізняє і виділяє сприйняття стереозображень серед розповсюджених видів наочності навчального матеріалу.

## **2. Методика формування просторової уяви студентів інженерних напрямів підготовки у процесі навчання нарисної геометрії**

### **2.1. Структура методики формування просторової уяви у процесі навчання нарисної геометрії.**

Як було зазначено у розділі 1, нарисна геометрія вивчає методи зображення тривимірного простору на площині, а також способи графічного розв'язання задач за креслениками. Згідно зі стандартами вищої освіти з декількох напрямів підготовки бакалаврів [135, 136] ціллю курсу нарисної геометрії є розвиток просторової уяви, конструктивно-геометричного мислення, здатностей до аналізу та синтезу просторових форм та співвідношень на основі побудови графічних моделей тривимірного простору на площині.

Основна задача курсу – навчити студентів геометричному моделюванню об'єктів і процесів, надати їм знань, умінь і навичок, потрібних для виконання і читання креслень різного призначення, як таких, що виконуються вручну, так і комп'ютерних, а також рішенням за креслениками та моделями різних інженерно-геометричних задач.

На підставі освітньо-кваліфікаційної характеристики, освітньо-професійної програми, навчальних планів та програм із нарисної геометрії та інженерної графіки [135, 136] спочатку був проведений структурно-функціональний аналіз предметно-професійних знань, умінь і навичок, які необхідно формувати у студентів під час підготовки бакалаврів за напрямами “Інженерна механіка”, “Транспортні технології” та інші.

Це дозволило виявити такий перелік предметно-професійних знань, якими повинен оволодіти студент-бакалавр зі зазначених напрямів. В результаті навчання нарисної геометрії та інженерної графіки студент повинен знати:

- у чому полягає предмет і метод нарисної геометрії;
- як у прямокутних проєкціях зображуються геометричні фігури, що розташовані у різних чвертях простору;
- які положення може займати пряма лінія та як визначається натуральна величина відрізка прямої;
- які положення може займати площина в тривимірному просторі;
- дві групи задач нарисної геометрії – позиційні та метричні – та їх характеристика;
- основні способи перетворення проєкцій: заміна площин проєкцій, плоско-паралельне переміщення, обертання навколо лінії рівня;
- правильні багатогранники – тіла Платона;

- перетин багатогранників з прямою та площиною;
- взаємний перетин багатогранників;
- плоскі та просторові криві лінії, криві 2-го порядку;
- утворення поверхонь обертання, паралельного перенесення та гвинтових поверхонь;
- перетин кривих поверхонь з лінією, площиною, між собою та багатогранниками; розгортки поверхонь;
- головні поняття та визначення в аксонометрії;
- основні аксонометричні системи.

На основі набутих знань студент повинен володіти такою системою умінь, пов'язаних із просторовою уявою, що формується у процесі навчання нарисної геометрії (Рис. 10).



Рис. 10. Уміння, пов'язані з просторовою уявою, що формується у процесі навчання нарисної геометрії

Розкриємо зв'язок умінь студентів на основі набутих знань та цілей формування просторової уяви. Подвійна система цілей навчання нарисної геометрії представлена на рис. 11.

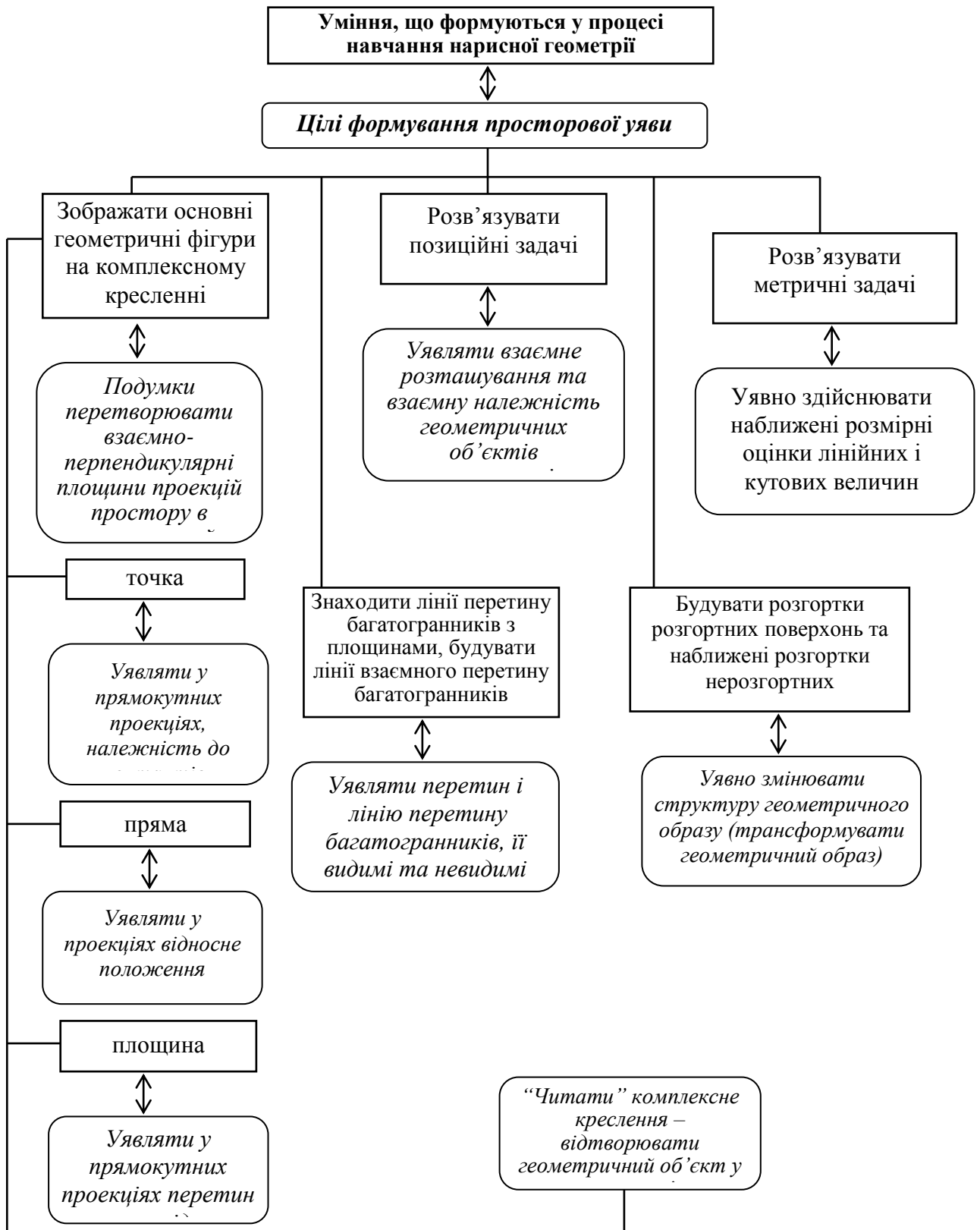


Рис. 11. Подвійна система цілей навчання нарисної геометрії

Завдяки проведеному аналізу підручників та навчальних посібників з нарисної геометрії [22, 44, 46, 69, 75, 124, 125, 133, 184], можна визначити, що дидактичними засобами формування просторової уяви студентів є кресленики, що супроводжує навчальний матеріал. Але багатьом випускникам шкіл, особливо тим, що не вивчали курс креслення у середній школі, цього замало, як зазначалося у підрозділі 1.3, щоб під час навчання досягти потрібного рівня формування просторової уяви, що в свою чергу допомагає при виконанні геометричних завдань.

Основою формування просторової уяви, на думку А.Цукаря [231], є практична робота із просторовими об'єктами: уявна зміна їхнього положення, поділ на частини, з'єднання декількох об'єктів в один. Зовнішні дії з геометричними тілами необхідні для того, щоб людина могла потім робити з ними уявні внутрішні дії. Робота уяви неможлива без фіксації проміжних етапів (конструкцій) яким-небудь простим способом (у знаково-символічній формі). Тому потрібно озброювати учнів відповідними знаннями про способи такої фіксації.

Необхідною умовою розвитку просторової уяви є наявність різноманітного матеріалу, вправ, що враховують всю гаму можливих операцій над об'єктами, приводять до створення нових образів.

У роботах А.Цукаря [230, 231] виділяються два типи вправ, що лежать в основі розвитку просторової уяви: вправи на вміння читати, виконувати зображення і вправи на вміння оперувати просторовими образами (рис. 12).

Як дидактичні засоби формування просторової уяви пропонуються завдання на просторову уяву, які необхідно розв'язати без застосування моделей, а тільки в уявному плані. Завдання – комплексні, тобто для їх виконання студенту необхідно проявити групу вмінь, що характеризують рівень розвитку просторової уяви. Зміст цих завдань не пов'язаний з якимось конкретним навчальним матеріалом. Це дає можливість використовувати їх для діагностики рівня сформованості та розвитку просторової уяви випускників шкіл у самому початку їх навчання у ВНЗ, тобто на першому курсі університету.

При аналізі досвіду формування та розвитку просторової уяви під час навчання дисципліні “Нарисна геометрія” викладачами кафедри нарисної геометрії та графіки Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: професором В.Ткаченком, доцентами Л.Лехциєром, В.Ковальовим, Г.Шаповаловою, було визначено, що основні дидактичні засоби для вирішення цієї проблеми – це плакати, зображення на дошці під час проведення лекцій чи практичних занять, фізичні моделі. На жаль, якість цих наочних засобів не завжди відповідає сучасним вимогам щодо їх використання. Плакати є не дуже привабливими через обмеженість і відсутність зображень поетапних побудов. Кресленики та рисунки на дошці студенти, як правило, не в змозі відтворити у своїх конспектах, тому вони не досягають своєї мети. Фізичні моделі найбільш наочні, але не мають безпосереднього зв'язку із креслениками. Загальним недоліком всіх існуючих дидактичних засобів нарисної геометрії є їх статичність, відсутність можливості демонстрації етапів побудов та перетворень проєкцій.

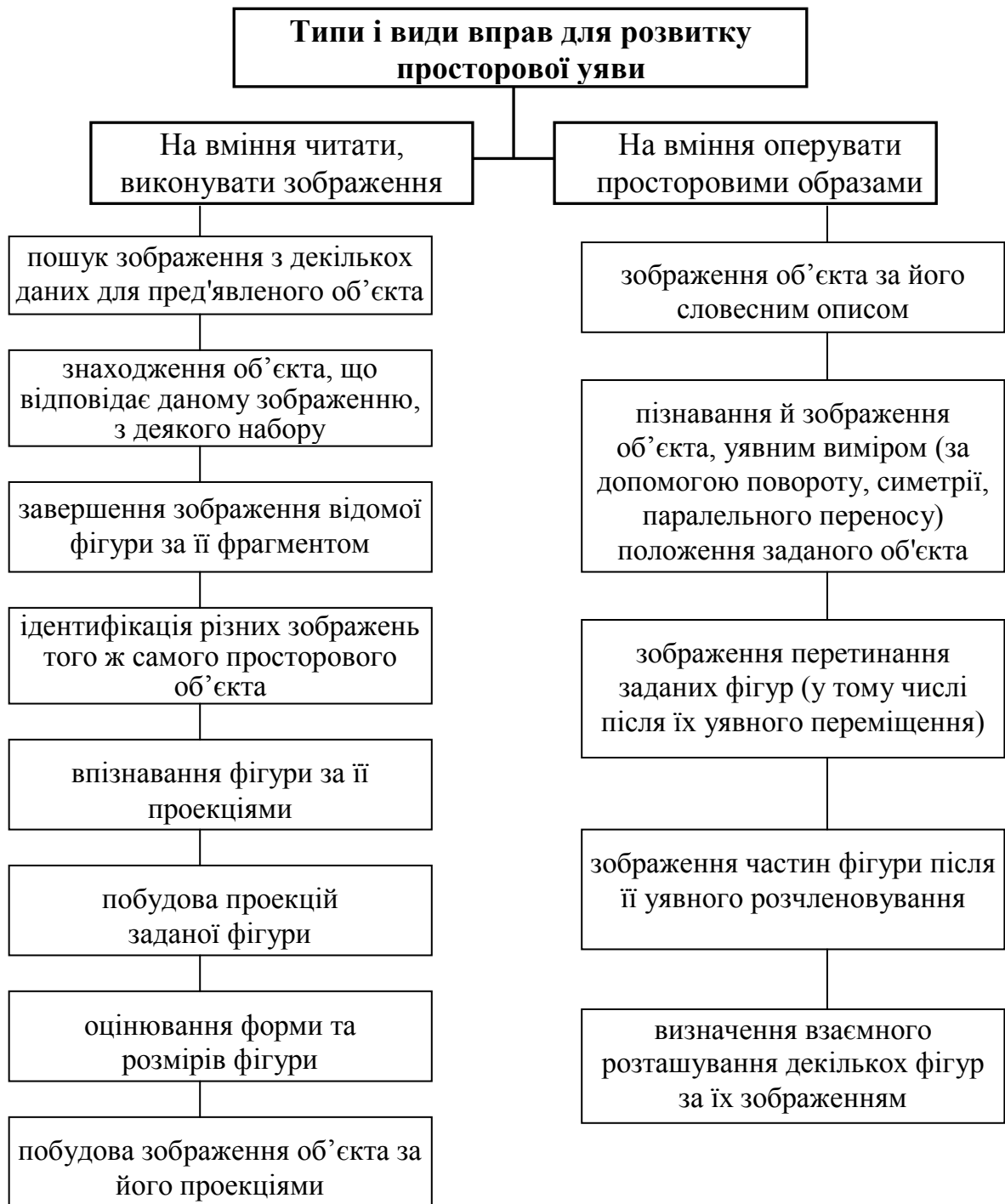


Рис. 12. Типи та види вправ, що лежать в основі формування просторової уяви (за Цукарем)

У даній роботі авторами продовжено пошук нових методик з використанням наочних дидактичних засобів.

Ціллю розробленої методики є формування просторової уяви студентів у процесі навчання курсу “Нарисна геометрія” з використанням стереоскопічних динамічних моделей.

Завдання розробленої методики зводяться до формування у студентів таких здібностей:

– виконувати просторову операцію – проєціювання геометричних об'єктів (точки, прямої, площини) на площини проекцій;

- уявляти точку у прямокутних проекціях, її належність до квадрантів та октантів;
- подумки перетворювати взаємно перпендикулярні площини проекцій простору в комплексний кресленик;
- “читати” комплексний кресленик – подумки відтворювати геометричний об’єкт у просторі;
- уявляти взаємне розташування та взаємну належність геометричних об’єктів у просторі;
- уявляти перетин та лінію перетину багатогранників у просторі;
- уявляти перетворення комплексного кресленика;
- подумки будувати розгортки поверхонь;
- уявляти аксонометричні проекції об’єктів у просторі.

В основу розробленої методики формування просторової уяви покладені такі загально-дидактичні принципи навчання:

- науковості змісту і методів;
- системності й послідовності;
- свідомості й активності;
- наочності;
- індивідуального підходу.

Принципи навчання – це спрямовуючі положення, нормативні вимоги до організації та проведення навчального процесу, формуванню професійно важливих якостей майбутнього інженера, що дозволяють виділити найбільш доцільні та обґрунтовані способи навчальних впливів, визначити зміст, методи і засоби підготовки спеціалістів щодо вимог сучасного виробництва.

Принцип науковості змісту і методів означає, що зміст навчання включає в себе об’єктивні наукові факти, поняття, закони і теорії, що забезпечують формування просторової уяви студентів зокрема та формування необхідних знань, умінь і навичок на основі останніх досягнень педагогічної й технічної науки в загалі.

Принцип науковості запропонованої методики полягає у реалізації вдосконалення засобів навчання завдяки застосуванню інноваційних комп’ютерних технологій і способів їх використання в навчальному процесі.

Принцип системності й послідовності припускає таку побудову навчального процесу з використанням динамічних стереоскопічних моделей, при якій засвоєння навичок та умінь планується в строго відповідній педагогічно обґрунтованій системі, коли розвиток професійно важливих якостей, накопичування та вдосконалення знань, умінь і навичок здійснюється поступово, в логічній послідовності за допомогою ускладнення вправ і задач нарисної геометрії. У відповідності до цього принципу планування навчального процесу враховує оптимальну послідовність вивчення матеріалу, перехід до вивчення наступного навчального модуля тільки після міцного засвоєння попереднього. Навчання за цією методикою дозволяє здійснювати систематичне керування навчально-пізнавальною і самостійною роботою студентів.

Принцип свідомості й активності припускає, що засвоєння знань, здобуття навичок й умінь неможливо без усвідомленого розуміння того, що повинне бути засвоєне і чому варто навчитися. Реалізація принципу в розробленій методиці досягається шляхом створення позитивного уявлення та інтересу у студентів до навчання нарисної геометрії завдяки використанню інноваційних освітніх технологій.

Навчити студента засвоювати знання, навички та уміння, що формуються під час навчання курсу нарисної геометрії, свідомо – означає навчити його користуватися просторовою уявою для уявлення геометричних об'єктів, їх перетворень, зв'язків і відношень. Задача використання динамічних стереоскопічних моделей у процесі навчання нарисної геометрії – навчити студентів свідомо продумувати логіку, хід побудови та сутність майбутнього завдання, планувати і організовувати свою діяльність

Принцип наочності реалізується у використанні під час навчання за розробленою методикою статичних та стереоскопічних моделей на всіх етапах навчального процесу. Демонстрація цих наочних засобів здійснюється послідовно в міру подання навчального матеріалу курсу нарисної геометрії, що надає можливість управляти спостереженнями студентів, мобілізувати під час заняття просторову уяву, підтримувати її в активному стані, слідкувати, щоб процес уявних перетворень ішов по правильному шляху, не переривався.

Наочність навчального матеріалу нарисної геометрії допомагає сприймати цю дисципліну у її розмаїтті, полегшує опанування навчального матеріалу, спрощує логічні доведення просторових теорем, дозволяє ефективно формувати у майбутніх інженерів просторового уявлення форм і взаємного розташування геометричних об'єктів, сприяє мотивації пізнання довколишньої дійсності.

Обґрунтуємо зміст і структуру методичної системи розвитку просторової уяви з використанням динамічних стереоскопічних моделей.

Як зазначалося у розділі 1, основною педагогічною проблемою розвитку просторової уяви є “замкнене коло”, утворене двома компонентами педагогічного процесу: просторовим уявленням та досвідом його використання, що складається у розв'язуванні задач нарисної геометрії. Перший компонент не може формуватися без другого, а другий не може існувати без першого. Проблема “замкненого кола” є типовою для багатьох випадків навчального процесу, але особливо яскраво вона проявляється при професійному навчанні, наприклад, при навчанні водінню автомобіля. Людину, що не вмє водити автомобіль, не можна посадити за кермо, у той же час для успішного навчання потрібна практика водіння. У наведеному випадку “замкнуте коло” “розривається” методичними прийомами інструктора у вигляді часткової участі в керуванні автомобілем, причому частка цієї участі починається з 100% і поступово, у міру придбання навичок, доводиться до нуля.

За аналогією, основна ідея запропонованої методики формування у студентів просторової уяви при навчанні нарисної геометрії як навичок розумової діяльності із створення просторових уявлюваних образів, складається у заміні на певних етапах навчання просторової уяви безпосереднім сприйняттям стереоскопічного зображення об'єкту [96].

На Рис. 13, 14 показані схеми процесів розумової діяльності студентів у процесі створення графічної моделі за заданою фізичною (пряма задача) (рис.2.13) і уявлюваної моделі за заданою графічною моделлю (зворотна задача) (рис.2.14) із заміщенням уяви сприйняттям.

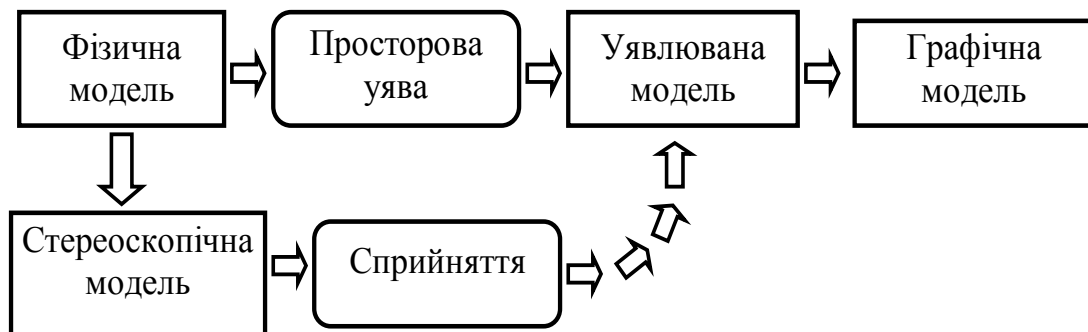


Рис. 13. Схема процесу створення графічної моделі за заданою фізичною із заміщенням уяви сприйняттям (пряма задача)



Рис. 14. Схема процесу створення уявлюваної моделі за заданою графічною із заміщенням уяви сприйняттям (зворотна задача)

Заняття за розробленою авторами методикою складається із трьох етапів: підготовчого, основного й заключного. Кожний з етапів ділиться на **порції**, що являють собою сценарій, об'єднаний єдиним змістом. Порції, у свою чергу, діляться на епізоди. Епізоди можуть бути статичними або динамічними (Рис. 15). Статичний епізод містить один кадр, що демонструється певний час. Динамічний епізод, як правило, являє собою стереоскопічну динамічну модель, що містить серію послідовних кадрів, що демонструються з інтервалом 0,1-0,2 с. Так, наприклад, при тривалості епізоду 12 с та інтервалі 0,20 с епізод буде містити 60 кадрів.

#### **Підготовчий етап заняття – порції 1-3 (тривалість – 4 хв.)**

На підготовчому етапі повідомляється тема заняття, формулюються цілі, завдання й основні питання, які студенти мають засвоїти під час навчання за темою.

У підрозділі 2.1. було обґрунтовано необхідність попередньої підготовки студентської аудиторії до сприйняття стереоскопічних зображень геометричних об'єктів, тому, на кожному занятті для “настроювання на роботу зі стереозображеннями” за темою студентам протягом 4 хв. (на перших двох



заняттях) і 2 хв. (на наступних заняттях) демонструються статичні зображення (стереофотокартки) і розроблені авторами стереоадаптаційні відеоролики.

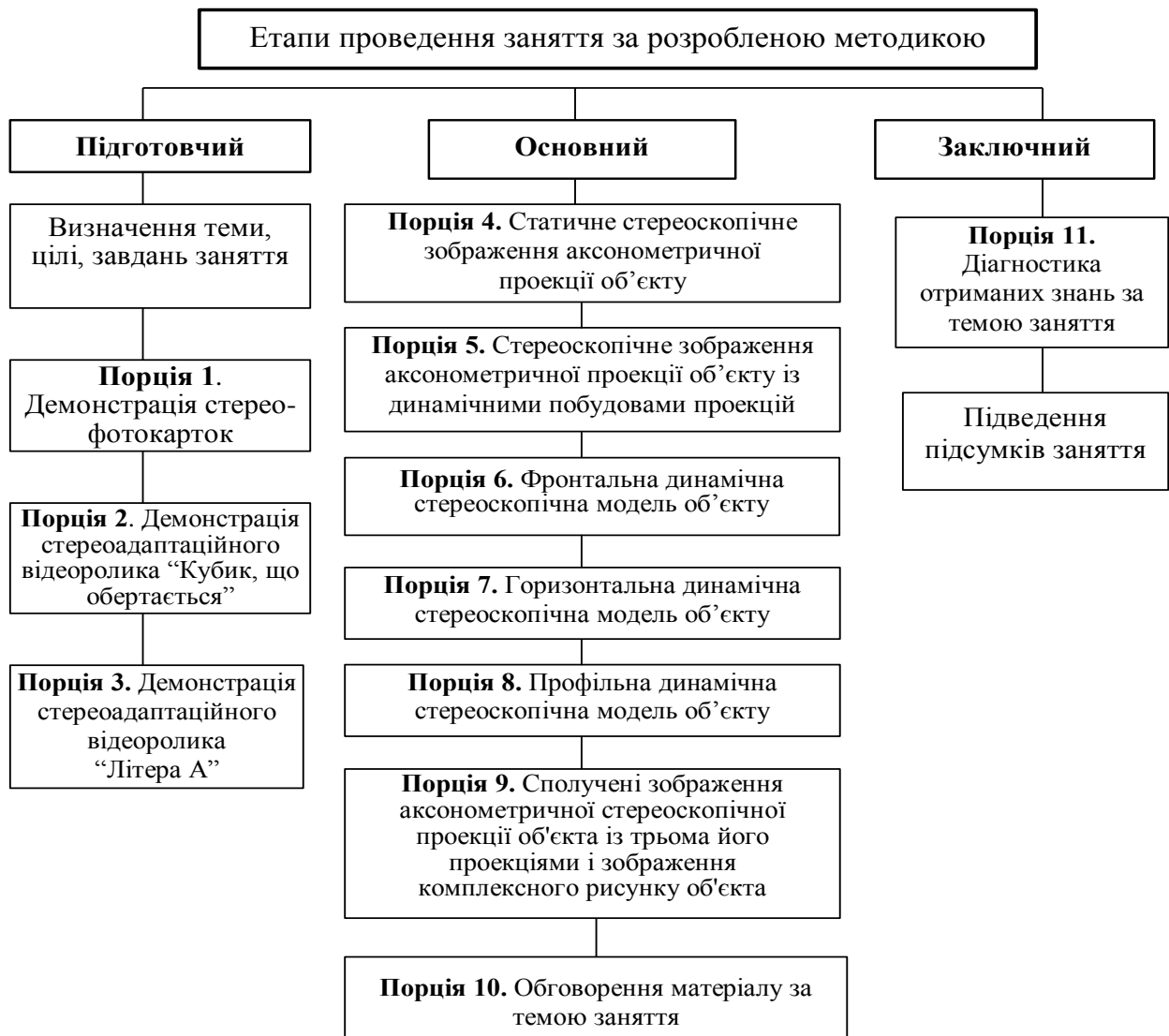


Рис. 15. Етапи проведення заняття за методикою формування просторової уяви студентів з використанням стереоскопічних динамічних моделей

**Порція 1.** Використовуються стереофотографії знайомих і пізнаваних предметів й явищ – пейзажі, тварини, рослини, музейні експонати. Кожне із зображень, що розглядається через стереоокуляри, демонструється протягом 20 секунд. Один з наборів таких стереофотографій показаний на рис. 16 (необхідно розглядати в стереоокулярах).

Викладач повинен бути впевнений, що всі студенти бачать зображення об'ємним. Для цього пропонується їм, не знімаючи окуляри, вказати рукою, де на їхню думку перебуває одна з характерних точок об'єкту. Визначення студентом місцезнаходження даної точки в повітрі між екраном і спостерігачем дає можливість викладачеві переконатися, що ефект стереосприйняття досягнуто. Даний прийом використовується на різних етапах занять для впевненості викладача, що всі студенти групи включені у навчальний процес.

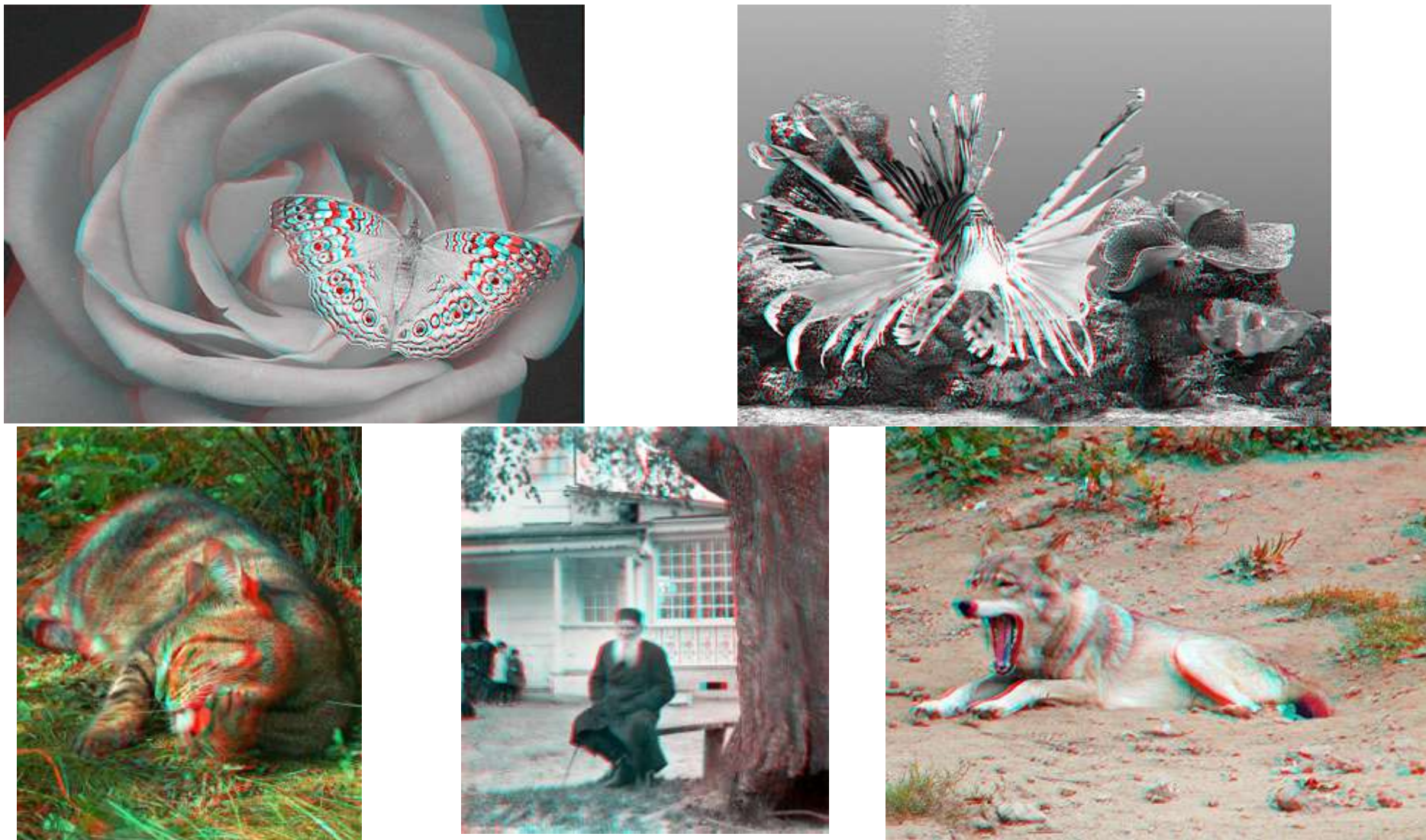


Рис. 16. (стерео). Стереодіаграми для стереоадаптації органів зору

**Порції 2-3.** Демонстрація розроблених авторами стереоадаптаційних відеороликів.

**Основний етап заняття.**

**Порція 4.** Упродовж 10-20 секунд демонструється статичне стереоскопічне зображення об'єкту в одній з аксонометричних проєкцій в системі координатних площин. Щоб переконатися, що студенти “бачать” об'єкт об'ємним, їм пропонується, не знімаючи стереоокулярів, вказати на одну з характерних точок, названу викладачем. Якщо при цьому точка вказується “у повітрі”, тобто між екраном і спостерігачем, викладач може сподіватися, що ефект стереоскопічного бачення студентом досягнутий. Якщо ж студент, вказуючи на названу точку, торкається екрана монітора, це свідчить про те, що він “не бачить” стереозображення.

В останньому випадку йому рекомендується прийти на консультацію для проходження більше тривалої адаптація з використанням стереофотографій і стереоадаптаційних відеороликів.

**Порція 5.** Далі послідовно демонструються три стереозображення, побудовані на базі аксонометричної проєкції, протягом 15-20 сек. кожний:

**епізод 1** – стереоскопічне зображення аксонометричної проєкції об'єкта із стереоскопічним зображенням його фронтальної проєкції на площину проєкції  $P_2$ ;

**епізод 2** – стереоскопічне зображення аксонометричної проєкції об'єкта зі стереоскопічними зображеннями його горизонтальної та фронтальної проєкцій, відповідно на площині проєкцій  $P_1, P_2$ ;

**епізод 3** – стереоскопічне зображення аксонометричної проєкції об'єкта зі стереоскопічними зображеннями його горизонтальної, фронтальної та профільної проєкцій, відповідно на площині проєкцій  $P_1, P_2, P_3$ .

**Порції 6-8.** Далі демонструються такі динамічні стереоскопічні моделі (ДСМ):

- фронтальна динамічна стереоскопічна модель;
- горизонтальна динамічна стереоскопічна модель;
- профільна динамічна стереоскопічна модель.

Кожна з ДСМ складається з п'яти епізодів:

**епізод 1** – статичне стереоскопічне зображення відповідної проєкції об'єкта;

**епізод 2** – динамічне перетворення (трансформація) стереозображення в плоске зображення, тобто поступовий анімаційний перехід від стереопари з базою стереопроекції  $d=d_0$  до стереопари з базою стереопроекції  $d=0$ , тобто до плоскої проєкції об'єкта у системі Монжа;

**епізод 3** – плоске зображення відповідної проєкції – відповідна проєкція об'єкта у системі Монжа;

**епізод 4** – зворотна трансформація плоского зображення (проєкції) у стереозображення об'єкта;

**епізод 5** – статичне стереоскопічне зображення відповідної проєкції об'єкта.

**Порція 9.** На наступному етапі заняття послідовно показуються три зображення:

**епізод 1** – аксонометрична стереоскопічна проекція об'єкта із трьома проекціями – горизонтальною на  $\Pi_1$ , фронтальною на  $\Pi_2$  і профільною на  $\Pi_3$  – 15-20 сек.;

**епізод 2** – плоске зображення об'єкта у трьох проекціях – епюр Монжа – 15-20 сек.;

**епізод 3** – сполучене зображення аксонометричної стереоскопічної проекції об'єкта із трьома його проекціями (на екрані ліворуч) і плоского зображенням епюра Монжа об'єкта (праворуч) – до 1 хв.

Порція 9 супроводжується поясненням викладача принципів ортогонального проєціювання і побудови епюра Монжа.

**Порція 10.** Далі, протягом 5 хв., проводиться обговорення продемонстрованого матеріалу. Метою обговорення є виявлення правильності й швидкості просторової уяви, рівня розуміння принципів ортогонального проектування, що становлять основу нарисної геометрії, й виявлення ступеня інтересу студентів до запропонованої методики навчання нарисної геометрії. Крім того, викладач з'ясовує, чи немає негативних фізіологічних явищ у зв'язку з переглядом стереозображень.

Під час обговорення студентам пропонується зняти стереоокуляри.

Таким чином, час обговорення також використається для відпочинку органів зору.

На основному етапі застосування методики на занятті виконується цілеспрямоване формування просторової уяви, у результаті чого у студентів поступово з'являється можливість довільно представляти різні проекції об'єкта на кресленні та подумки відтворювати його у просторі, розвивається вміння зберігати в пам'яті геометричний образ як уявлювану модель, здатність уявляти взаємне розташування та взаємну належність геометричних об'єктів у просторі, аналізувати й синтезувати геометричні образи.

#### **Заключний етап заняття.**

На заключному етапі заняття викладач коротко повідомляє цілі заняття і визначає, чи досягнуті вони. За 10 хвилин до закінчення заняття проводиться тестування рівня засвоєння поточного матеріалу за тестами, розробленими і затвердженими на кафедрі нарисної геометрії та графіки Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Тести націлені на виявлення рівня засвоєних знань студентів за темами нарисної геометрії відповідно до програми курсу. Вони містять 8 – 10 тестових завдань, що супроводжуються креслениками, на які треба дати відповідь “так” чи “ні” (питання закритого типу) або вибрати номер правильної відповіді зі списку пропорованих можливих варіантів (питання з множинним вибором).

Зміст методики формування просторової уяви з використанням динамічних стереоскопічних моделей представлений у табл. 3.

Зміст методики формування просторової уяви  
з використанням динамічних стереоскопічних моделей

Порції	Зміст етапів, порцій, епізодів	Час
<b>Підготовчий етап</b>		4 хв.
<b>1</b>	Стереодіаграми	1 хв.
<b>2</b>	Стереодіаграми відеоролик “Кубик, що обертається”	0,5-1 хв.
<b>3</b>	Стереодіаграми відеоролик “Літера А”	0,5-1,5 хв.
<b>Основний етап</b>		16-20 хв.
<b>4</b>	Статичне стереоскопічне зображення об’єкта в одній з аксонометричних проєкцій у системі координатних площин $P_1, P_2, P_3$	15-20 с.
<b>5</b>	Статичне стереозображення: <b>епізод 1</b> – стереоскопічне зображення аксонометричної проєкції об’єкта зі стереоскопічним зображенням його горизонтальної проєкції;	15-20 с.
	<b>епізод 2</b> – стереоскопічне зображення аксонометричної проєкції об’єкта зі стереоскопічними зображеннями його горизонтальної й фронтальної проєкцій;	15-20 с.
	<b>епізод 3</b> – стереоскопічне зображення аксонометричної проєкції об’єкта зі стереоскопічними зображеннями його горизонтальної, фронтальної й профільної проєкцій.	15-20 с.
<b>6</b>	Фронтальна динамічна стереоскопічна модель: <b>епізод 1</b> – статична стереоскопічна фронтальна проєкція об’єкта;	15-20 с.
	<b>епізод 2</b> – динамічне перетворення (трансформація) стереозображення в плоске зображення, тобто поступовий мультиплікаційний перехід від стереопари з базою стереопроєкції $d=d_0$ до стереопари з базою стереопроєкції $d=0$ , тобто до плоскої проєкції об’єкта в системі Монжа;	10-12 с.
	<b>епізод 3</b> – плоске зображення фронтальної проєкції – фронтальна проєкція об’єкта;	15-20 с.
	<b>епізод 4</b> – зворотна трансформація фронтальної проєкції Монжа в стереоскопічну фронтальну проєкцію;	10-12 с.
	<b>епізод 5</b> – статична стереоскопічна фронтальна проєкція об’єкта.	15-20 с.

Порції	Зміст етапів, порцій, епізодів	Час
<b>7.</b>	Горизонтальна динамічна стереоскопічна модель: <b>епізод 1</b> – статична стереоскопічна горизонтальна проекція об'єкта;	15-20 с.
	<b>епізод 2</b> – динамічне перетворення горизонтальної стереоскопічної проекції в горизонтальну проекцію Монжа;	10-12 с.
	<b>епізод 3</b> – плоске зображення горизонтальної проекції Монжа;	15-20 с.
	<b>епізод 4</b> – зворотна трансформація горизонтальної проекції Монжа в стереоскопічну горизонтальну проекцію;	10-12 с.
	<b>епізод 5</b> – статична стереоскопічна горизонтальна проекція об'єкта.	15-20 с.
<b>8</b>	Профільна динамічна стереоскопічна модель: <b>епізод 1</b> – статична стереоскопічна профільна проекція об'єкта;	15-20 с.
	<b>епізод 2</b> – динамічне перетворення профільної стереоскопічної проекції в профільну проекцію Монжа;	10-12 с.
	<b>епізод 3</b> – плоске зображення профільної проекції Монжа;	15-20 с.
	<b>епізод 4</b> – зворотна трансформація профільної проекції Монжа в стереоскопічну профільну проекцію;	10-12 с.
	<b>епізод 5</b> – статична стереоскопічна профільна проекція об'єкта.	15-20 с.
<b>9</b>	Послідовна демонстрація трьох статичних зображень: <b>епізод 1</b> – аксонометрична стереоскопічна проекція об'єкта із трьома проекціями – горизонтальною, фронтальною та профільною;	15-20 с.
	<b>епізод 2</b> – плоске зображення об'єкта – епюр Монжа;	15-20 с.
	<b>епізод 3</b> – сполучення зображення аксонометричної стереоскопічної проекції об'єкта із трьома його проекціями й плоского зображенням епюра Монжа.	до 1 хв.
<b>10</b>	Обговорення матеріалу за темою заняття	до 5 хв.
<b>Заключний етап</b>		10 хв.

Зазначимо можливості та переваги розробленої методики формування просторової уяви. Використання цієї методики стимулює

ініціативу, пізнавальну активність. Доречно підкреслити, що здійснюваний нами процес застосування динамічних стереоскопічних моделей у практиці навчання нарисної геометрії спрямований на розвиток креативності у майбутніх інженерів у цілому і на формування в них просторової уяви зокрема. Методика не передбачає змін у програмі курсу нарисної геометрії, а завдяки новим дидактичним засобам викладання дає можливість:

- формувати у майбутніх інженерів просторове уявлення форм і взаємного розташування об'єктів при навчання нарисної геометрії та інших графічних дисциплін;
- підвищити наочність графічного навчального матеріалу;
- підвищити мотивацію студентів до навчання при вивченні курсу нарисної геометрії;
- покращити опанування матеріалу графічних дисциплін за рахунок мобілізації зорової, просторової та асоціативної видів пам'яті;
- спростити логічні доведення просторових теорем;
- скоротити строки адаптації у перехідний період “середня школа – університет”;
- знизити вартість методичного забезпечення дисципліни “Нарисна геометрія”.

## **2.2. Форми та технології методики формування просторової уяви студентів з використанням динамічних стереоскопічних моделей.**

Форма навчання – це зовнішній бік організації навчального процесу, вираження навчального процесу. Філософські категорії змісту й форми відбивають єдність внутрішнього й зовнішнього у навчанні: перша вказує на предмет, на те, що є, а друга – у якому виді воно виражається. Зміст і форма нерозривні і взаємозалежні між собою – зміна змісту спричиняє зміну форми й навпаки [7].

Зміст навчально-виховного процесу становлять якості і властивості всебічного й гармонічного розвитку особистості – духовні, моральні, фізичні, естетичні, трудові, соціальні. На практиці зміст втілюється в конкретну організацію навчання, що повинна йому максимально відповідати. Якщо ця відповідність порушується, то навчання зіштовхується із серйозними, іноді нерозв'язними протиріччями. Наприклад, прагнення зберегти старі форми при новому змісті неминуче загальмує процес навчання так само, як і бажання впровадити нові ідеї в застарілу організацію, вписати їх у старі форми, створені для реалізації іншого змісту, на іншому рівні, в інших умовах.

Історія педагогіки знає різні форми організації навчального процесу. Кожна з них створювалася для реалізації певного змісту в певних умовах, які не залишаються постійними [16]. Змінювалася насамперед загальна кількість студентів, тобто людей, що одночасно отримують освіту, тому першим критерієм для аналізу форм навчання може бути



кількісний. За кількістю охоплених процесом навчання форми діляться на індивідуальні, мікрогрупові, групові (колективні) і масові. Чисельність навчальних груп (колективів) коливається від 5-7 до 25-40, а при масових формах навчання верхня межа обмеження не має. Встановлено, що ефективність навчального процесу залежить від форми її організації [104, 158, 159, 160, 165, 228]. На реалізацію змісту та особливо на управління навчальною діяльністю впливає чисельність студентів. При збільшенні числа студентів у групі якість навчання знижується. Порівняння ефективності різних форм навчання нарисної геометрії змушує віддати перевагу індивідуальним і мікрогруповим формам навчання. Їх безперечна перевага – можливість швидко й прицільно переглядати форми організації навчання, оперативно змінювати педагогічну тактику при зміні умов вивчення нарисної геометрії. Однак висока економічна вартість індивідуального й мікрогрупового навчання – серйозна перешкода на шляху його поширення. Більшість сучасних навчальних систем перейшло до використання групових (колективних) форм навчання, що відрізняються достатньою ефективністю (за умови кваліфікованого управління навчальним процесом) і відносно низькою економічною вартістю педагогічних послуг. Остання причина – вирішальна при виборі форми навчання в нашій країні [165].

Сьогодні у світі набула широкого розповсюдження дистанційна освіта, що за формою може бути віднесена до масової форми освіти. За даними компанії CISCO, у 2001 році близько 70 мільйонів людей одержали освіту через Internet, тобто дистанційно. Сьогодні елементи дистанційної освіти застосовуються не тільки у класичній заочно-дистанційній формі навчання, а і в очній формі освіти для самостійного вивчення як окремих тем, так і цілих курсів дисциплін. Самостійна робота студента під керівництвом викладача стає найбільш ефективною формою придбання нових знань і навичок. Забезпечення самостійної роботи інформаційними засобами дистанційної освіти є однією з найважливіших завдань вищих навчальних закладів.

Навчальний процес являє собою спільну діяльність викладача і студента. Під навчанням розуміють спеціально організовану діяльність людей, спрямовану на засвоєння досвіду попередніх поколінь, результатом якої є формування способу дій. У випадку спілкування студента з "електронним вчителем" створюються передумови для побудови індивідуального графіка навчального процесу, такого що більш підходить для того, хто навчається, щодо розкладу, кількості годин за тими або іншими видами занять. При дистанційному навчанні ми маємо справу із зовсім іншим типом відносин вчитель-учень, викладач-студент. Головною його особливістю при відсутності безпосереднього, особистого контакту є демократизація навчального процесу, що вимагає свідомої освітньої діяльності. Залишається необхідним дотримання єдиної умови: той, хто навчається, повинен бути зацікавлений у своєму навчанні. Але ж без такої мотивації не можлива ніяка форма освіти.



Процес одержання освіти – навчання, як і будь-яка діяльність людини, може бути розбитий на наступні елементи: потреба в освіті, мотив, мета, завдання, дії, операції, очікуваний результат.

Усякі дії і вчинки людини починаються з її потреб. Під потребою розуміють стан людини, що відбиває його нестаток у чому-небудь, необхідному для її існування й розвитку. Такий стан виступає як джерело активності людини. Те, заради чого відбувається діяльність, є мотивом. Те, для чого відбувається діяльність або її бажаний результат, є метою діяльності. Як правило, ціль навчальної діяльності суб'єктом усвідомлюється. Часто ціль досягається не відразу, а поступово, розчленовуючись на ряд проміжних етапів, або підцілей. Таке розчленовування може відбуватися як у початковий період діяльності, так і по її ходу. При цьому кожна підціль досягається в певних умовах, у яких у цей момент протікає діяльність. Хоча мотив і ціль входять до складу діяльності самостійними елементами, вони можуть збігатися. Наприклад, дві людини мають одну й ту ж ціль – одержати диплом про освіту. Але першій – диплом потрібний заради кар'єри, при цьому сама освіта для нього не є обов'язковою. Тут мета й мотив не збігаються. Другому необхідна насамперед освіта, зрозуміло, підтверджена дипломом. У цьому випадку мета й мотив збігаються [9].

Співвіднесення кожної підцілі й конкретних умов її досягнення створюють завдання, які вирішуються одне за одним по мірі здійснення діяльності. Ці рішення здійснюються за допомогою дій.

Силою, що спонукує студента до навчання, є домінуючий мотив одержання освіти. Наявність у студентів таких мотивів є бажаною, і викладачеві варто прикласти певні зусилля для їхнього формування у більшості студентів.

Дії виконуються за допомогою операцій, що представляють собою способи здійснення дій. Операції характеризують технічну сторону виконання дій. Та сама дія може бути виконана за допомогою різних операцій або різними способами. Операції виконуються в певному порядку й за певними правилами й опираються на засоби здійснення діяльності. У навчальній діяльності важливий не результат рішення завдань (відповідь), а саме процес розв'язання задач, сама процедура рішення [9]. Таким чином, у навчальній діяльності рішення задач – це не ціль, але засіб досягнення цілей, а саме, навчальних цілей. Інакше кажучи, сам по собі результат рішення навчальних завдань не представляє ніякого інтересу, єдине, що від нього потрібно, – це бути правильним. Набагато важливіший процес їхнього вирішення, тому що саме в процесі вирішення завдань формується спосіб дій. У результаті виконання дій, передбачених діяльністю, виникають її результати. Нагадаємо, що кінцевою метою навчання є формування способу дій, і, отже, спосіб дій повинен бути прямим результатом навчальної діяльності.

Відсутність контакту з викладачем при дистанційному навчанні стає серйозною проблемою надійного контролю знань студентів. Вона тісно пов'язана із зацікавленістю студента не тільки в одержанні диплома, а

насамперед, у придбанні певного багажу знань й умінь. Зараз продається багато збірників кросвордів, як правило, відразу з відповідями. Коли ми розгадуємо такий кросворд, ми не переписуємо відповіді, подібно “двієчників”, хоча ніхто нас не контролює, тому, що зацікавлені в самостійному вирішенні завдання. От коли студент буде зацікавлений в одержанні знань без контролю, тоді й буде працювати ідеальний варіант дистанційного навчання. А поки питання контролю знань є самим важким питанням системи дистанційного навчання [202]. За участю авторів розроблено навчальну програмну оболонку, що має можливість проведення тестування у рамках контролю знань певного курсу [199]. Програма дозволяє практично виключити можливість “допомоги” на іспиті. Цьому сприяє й новий підхід до поняття “іспит”. При дистанційному навчанні його у звичайному розумінні, як підсумкового контролю знань, просто не буде, тому що оцінка залежить від результатів поточних тестувань за кожним розділом. І “помічнику” треба бути на кожному занятті поруч із студентом, що, неможливо. Не виключено, однак, і сполучення дистанційних і класичних форм контролю знань.

Навчальна діяльність є досить специфічним видом діяльності й має ряд своїх особливостей. Очевидно, що вона являє собою і ціль, і продукт навчання одночасно. Як видно з наведеної вище структури навчальної діяльності, як і будь-яка діяльність вона починається з потреби. Однак говорити про те, що, наприклад, першокласники йдуть у школу за потребою, напевно, не можна. У багатьох учнів немає потреби вчитися, проте у їх батьків є велике бажання дати своїм дітям освіту. Таким чином, найчастіше потреба в навчальній діяльності опосередкована.

Діапазон навчальних цілей досить широкий – від формування у студента умінь здійснювати професійну діяльність у цілому до засвоєння ним конкретної теми або дисципліни. Однією з основних особливостей навчальної діяльності, що відрізняє її від інших видів діяльності, є те, що студент – це не тільки суб'єкт діяльності, але одночасно і її об'єкт. Це пояснюється тим, що ціллю навчальної діяльності є перетворення самого суб'єкта діяльності, а не об'єктів зовнішнього світу. Позитивні перетворення суб'єкта означають засвоєння ним певних знань, освоєння способів дій. Контроль у навчальному процесі спрямований на перевірку того, наскільки результати навчальної діяльності відповідають її цілям.

Помітимо, що заклики й наставляння типу “Учитися, учитися й учитися...” ніяк не визначають мотивів того, хто навчається. Завдання вищої школи, як і завдання суспільства, складається в створенні умов для виникнення в більшості молодих людей стійкої мотивації до навчання. З огляду на важке економічне становище України, рішення цього завдання можливе шляхом здешевлення технології навчання. Один з ефективних шляхів – застосування сучасних віртуальних дистанційних технологій. Дистанційна освіта усуває територіальні обмеження, відкриваючи доступ до престижних навчальних закладів людям, що з тих чи інших причин, не спроможні регулярно відвідувати заняття в навчальних аудиторіях.

Представлена авторами методична система формування і розвитку

просторової уяви повністю відповідає визначеним вище вимогам і може бути з успіхом застосована як у системах дистанційного навчання з розміщенням навчального матеріалу в мережі Internet, так і при певним чином організованій самостійній роботі студентів. Методика формування просторової уяви у процесі навчання нарисної геометрії, що розглядається у даній роботі, пропонується для використання при масовій і груповій формах навчання, під час лекційних та практичних занять з курсу нарисної геометрії, а також занять в малих групах при вивченні курсу нарисної геометрії.

Визначимо вимоги до місця проведення й необхідного обладнання для реалізації методики формування просторової уяви студентів у процесі навчання нарисної геометрії з використанням динамічних стереоскопічних моделей.

Лекційні заняття за розробленою методикою проводяться в аудиторіях з можливістю незначного затемнення приміщення. Аудиторія повинна бути обладнана комп'ютером з підключеним до нього відеопроєктором або демонстраційним телевізором з великим екраном (з діагоналлю не менше за 74 см), достатнім для демонстрації динамічних стереоскопічних моделей на екрані. Посадкові місця в аудиторії організуються таким чином, щоб студенти всієї аудиторії однаково добре могли спостерігати виведені на екран зображення.

Практичні заняття рекомендовано проводити в комп'ютерному класі із забезпечення студентів персональними комп'ютерами або в аудиторії, обладнаній як і для проведення лекційних занять.

Кожному студенту на початку заняття, що передбачає застосування динамічних стереоскопічних моделей, видаються стереоскопічні окуляри "Miramax Film Corp." з червоно-синьо-зеленими світлофільтрами (червоний – зліва).

Мінімальні технічні вимоги до комп'ютера: операційна система Windows 98/NT/2000/XP, процесор Intel Pentium 750 МГц, 64 Мбайт оперативної пам'яті, відеокарта 6 Мб, SVGA 800/600, CD-ROM.

Загальний час, що рекомендований для роботи зі стереоскопічними зображеннями протягом одного заняття (2 академічні години) до 25 хвилин.

Розглянемо особливості проведення занять за методикою формування просторової уяви студентів у процесі викладання нарисної геометрії з використанням динамічних стереоскопічних моделей. Із загально-шкільного курсу підготовки студенти-першокурсники повинні бути знайомі з особливостями бінокулярного зору людини.

Але практика доводить, що, на жаль, низький рівень загальноосвітньої підготовки студентів першого курсу спеціальностей інженерного напрямку потребує нагадувати цю інформацію та додатково надавати поняття про теорію побудови стереоскопічних проєкцій і засоби сепарації стереоскопічних зображень.

На основі аналізу програм з нарисної геометрії для підготовки бакалаврів інженерних напрямів [153] були обрані наступні теми, що

мають виключно важливе значення для засвоєння курсу нарисної геометрії.

1. Предмет, задачі та методи нарисної геометрії. Центральна та паралельна проєкції. Ортогональне проектування.

2. Проектування точки на дві та три взаємно перпендикулярні площини проєкцій.

3. Пряма. Положення прямої відносно площин проєкцій. Відрізки прямих. Сліди прямих.

4. Площина. Зображення площини у проєкціях на площини проєкцій.

5. Взаємне розташування прямої та площини.

6. Способи перетворення комплексного рисунка.

7. Поверхні. Побудови точок на поверхні.

8. Перетин поверхонь площинами. Перетин прямої лінії з багатогранниками.

9. Взаємний перетин поверхонь.

10. Розгорнення поверхонь.

11. Аксонометричні проєкції.

Саме за цими темами під час педагогічного експерименту були проведені заняття у експериментальних групах за розробленою методикою.

Для реалізації завдань формування у майбутніх інженерів просторової уяви під час навчання нарисної геометрії було використано технологічний підхід, який дозволяє гарантовано одержувати необхідні результати [134, 138, 206].

Програма курсу нарисної геометрії з використанням розробленої методики формування просторової уяви, що пропонується у даній роботі наведена у табл. 4.

У процесі аналізу літератури з проблеми створення та перспектив використання сучасних інформаційних технологій в освіті ми переконались, що медіа-ілюстрації – це одна з найважливіших переваг електронних дидактичних засобів. Вони не лише набагато пожвавлюють заняття та сприяють кращому засвоєнню навчального матеріалу, а й створюють стійку мотивацію та розвивають пізнавальний інтерес студентів до предмету “Нарисна геометрія”.

Наголосимо на тому, що у представленій роботі спробували реалізувати методичний і психолого-педагогічний підхід до формування просторової уяви студентів у навчальному процесі з нарисної геометрії, враховуючи особливості підготовки випускників шкіл – першокурсників, вимоги до вивчення дисципліни в університеті, специфіку проведення занять з використанням комп'ютерних технологій – їх організації, зміни цільових установок, зміни ролі викладача та студента.

Таблиця 4

Програма курсу нарисної геометрії із застосування методики формування просторової уяви студентів з використанням динамічних стереоскопічних моделей

№	Уміння	Вид і тема заняття	Форма заняття	Дидактичні засоби	Контроль
1	Виконувати просторову операцію – проектування геометричних об'єктів (точки, прямої, площини) на одну з площин проєкцій	<b>Лекція 1.</b> Тема. Предмет, задачі та методи нарисної геометрії. Центральна та паралельна проєкції	Колективна	Плакати, ДСМ побудови проєкцій точки на площини проєкції (центральне та ортогональне проєціювання)	
		<b>Практичне заняття 2.</b> Тема. ЄСКД, геометричні побудови	Колективна, в малих групах		
2	Уявляти точку у прямокутних проєкціях, належність її до квадрантів та октантів	<b>Лекція 2.</b> Тема. Проектування точки на дві та три взаємно перпендикулярні площини	Колективна	Плакати, ДСМ побудови точки на три площини проєкцій	
		<b>Практичне заняття 2.</b> Тема. Координатний метод. Точка на епюрі Монжа	Колективна, самостійна під керівництвом викладача		К.Р. “Проєкції точок на площині”
3	Уявляти пряму у прямокутних проєкціях	<b>Лекція 3.</b> Тема. Пряма. Положення прямої в площинах проєкцій	Колективна	Плакати, ДСМ побудови проєкцій відрізків прямої	
		<b>Практичне заняття 3.</b>	Колективна,		К.Р.

№	Уміння	Вид і тема заняття	Форма заняття	Дидактичні засоби	Контроль
		<b>Тема.</b> Положення прямої в площинах проєкцій	самостійна під керівництвом викладача		“Взаємне розташування прямих у просторі”.
4	Уявляти площину у прямокутних проєкціях	<b>Лекція 4.</b> <b>Тема.</b> Площина	Колективна		
		<b>Практичне заняття 4.</b> <b>Тема.</b> Завдання й зображення площини на комплексному рисунку	Колективна, самостійна під керівництвом викладача	ДСМ побудови проєкції площини. Плакати	К.Р. “Паралельні площини. Пряма, паралельна площині”.
5	Уявляти взаємне розташування та взаємну належність геометричних об’єктів у просторі	<b>Лекція 5.</b> <b>Тема</b> Взаємне розташування прямої та площини	Колективна	ДСМ “Перетин площини з прямою”, “Перетин двох площин”.	
		<b>Практичне заняття 5.</b> <b>Тема.</b> Рішення задач на перетинання площин і прямої з площиною	Колективна, самостійна під керівництвом викладача		К.Р. “Визначення відстані від точки до прямої”
6	Уявляти перетворення комплексного рисунка	<b>Лекція 8.</b> <b>Тема.</b> Способи перетворення комплексного рисунка	Колективна	ДСМ “Спосіб обертання навколо ліній рівня”.	
		<b>Практичне заняття 8.</b> <b>Тема.</b> Рішення метричних і позиційних завдань з використанням способів перетворення	Колективна, самостійна під керівництвом викладача		К.Р. “Методи перебудови”

№	Уміння	Вид і тема заняття	Форма заняття	Дидактичні засоби	Контроль
7	Уявляти проєкції багатогранників на три взаємно-перпендикулярні площини	<b>Лекція 9.</b> <b>Тема.</b> Поверхні	Колективна	ДСМ “Піраміда з точкою на поверхні”, “Призма з точкою на поверхні”.	К.Р. “Точки на поверхні”.
		<b>Практичне заняття 9.</b> <b>Тема.</b> Побудова точок і ліній на поверхні	Колективна, самостійна під керівництвом викладача		
8	Подумки відтворювати лінію перетину поверхні та площини	<b>Лекція 10.</b> <b>Тема.</b> Перетинання поверхонь площинами. Перетин прямої лінії з багатогранниками	Колективна	Плакати. ДСМ: “Перетин і призми площиною загального положення”, “Перетин тригранної призми прямою загального положення”	К.Р. “Перетин поверхонь площинами”
		<b>Практичне заняття 10.</b> <b>Тема.</b> Перетин багатогранників і кривих поверхонь площинами загального положення	Колективна, самостійна під керівництвом викладача		
9	Подумки відтворювати лінію взаємного перетину поверхонь	<b>Лекція 14.</b> <b>Тема.</b> Взаємний перетин поверхонь	Колективна	Плакати. ДСМ ”Перетин поверхонь”	
		<b>Практичне заняття 14.</b> <b>Тема.</b> Побудова лінії взаємного перетину поверхонь	Колективна, самостійна під керівництвом викладача		
10	Подумки відтворювати розгортки поверхонь	<b>Лекція 15.</b> <b>Тема.</b> Розгорнення поверхонь	Колективна	Плакати, ДСМ “Розгортка прямої тригранної призми”	К.Р. “Побудова 3-х проєкцій геом.тіла”.
		<b>Практичне заняття 15.</b> <b>Тема.</b> Види, розрізи, перетини	Колективна, самостійна під		

№	Уміння	Вид і тема заняття	Форма заняття	Дидактичні засоби	Контроль
			керівництвом викладача		
11	Подумки відтворювати аксонометричні проекції поверхонь геометричних тіл	<b>Лекція 16.</b> <b>Тема.</b> Аксонометричні проекції	Колективна	ДСМ “Призма”, “Піраміда”.	
		<b>Практичне заняття 16.</b> <b>Тема.</b> Побудова аксонометричних проекцій геометричних тіл	Колективна, самостійна під керівництвом викладача		



Як було показано вище, для проведення дослідження у процесі роботи було розроблено комплект динамічних стереоскопічних моделей. При створенні зазначеного комплекту були враховані вимоги до інформаційно-навчальних засобів нового покоління, вимоги стандартів вищої освіти щодо знань, умінь та навичок студентів із курсу дисципліни “Нарисна геометрія”, особливості розвитку пізнавальної самостійності студентів з нарисної геометрії та можливості поєднання традиційних, інноваційних, інформаційних технологій у начальному процесі.

Для демонстрації розробленої методики розглянемо її використання у процесі навчання однієї з тем, що характеризує процес формування та розвитку просторової уяви у процесі навчання нарисної геометрії під час проведення лекційного заняття за темою “Побудова перетину прямої лінії з поверхнею багатогранника”.

Загальна проблема, яка вирішувалась протягом вивчення теми, полягала у знаходженні відповідей на питання:

- скільки може бути точок перетину багатогранника з прямою лінією?
- у чому полягає принцип знаходження цих точок?
- у чому полягає принцип відмінності та подібності прямих окремого та загального положення?
- чи можна прогнозувати положення точок перетину прямої лінії з багатогранником?

Мета заняття: продовжити формування просторової уяви студентів.  
Завдання, що ставилися при проведенні заняття:

- розглянути основні операції з побудови точок перетину прямої лінії з багатогранником;
- розвинути вміння виконувати просторову операцію, а саме уявляти проєкції багатогранника та прямої лінії на комплексному рисунку Монжа;
- пояснювати засоби та методи побудови перетину багатогранника та прямої лінії на комплексному рисунку;
- просторово уявляти та визначати видимість відрізків прямої лінії після побудови перетину.

Форма заняття – колективне заняття (лекція) з використанням ДСМ.

Засоби навчання: комп'ютер, проектор або телевізор з великим екраном, ДСМ на CD, робочі зошити з нарисної геометрії, конспекти за темами: “Багатогранник та його проектування на площини проєкцій”, “Перетин багатогранника прямою загального положення”.

Студенти повинні орієнтуватись в читанні зображень проєкцій багатогранників та прямої лінії на площинах проєкцій, методів паралельного проектування, властивостей площин рівня та проектуючих площин.

Студенти повинні вміти: розкривати ідею перетину багатогранника прямою лінією та виконувати побудову перетину на площинах проєкцій.

Студенти повинні володіти термінами й поняттями: площина рівня, сліди-проєкції площини, збиральні властивості слідів-проєкцій проєкуючих площин, належність точки до прямої лінії, точка перетину прямої і площини, горизонтальні, фронтальні та профільні прямі площини.

Студенти повинні мати навички побудови відсутньої проєкції точки, побудови прямих рівня та проєціюючих прямих, визначення перетину площин, одна з яких – проєціююча.

**Хід проведення заняття.** На початку заняття студентам роздаються стереоокуляри для розглядання стереозображень, у тому числі динамічних стереоскопічних моделей.

На першому академічному часі заняття викладач за традиційною формою навчання роз'яснює метод побудови проєкцій багатогранника та прямої лінії на площинах проєкцій, користуючись набутим досвідом та достатнім рівнем сформованості просторової уяви студентів для виконання цих операцій.

Другий час занять проводиться за розробленою авторами методикою у наступній послідовності.

**Підготовчий етап заняття.** Студентам пропонується надіти стереоокуляри. Для підготовки студентської аудиторії до сприйняття стереозображень впродовж 1 хвилини демонструються стереоскопічні картинки, наприклад, наведені на Рис. 16.

Потім, протягом 1-3 хвилин демонструються стереоадаптаційні відеоролики: “Кубик, що обертається” (Рис. 6) та “Літера А” (Рис. 7). Під час демонстрації відеороликів викладач з'ясовує, чи відбулася адаптація стереозору у більшості студентів. З'ясування проводиться шляхом опитування аудиторії про появу стереоскопічного сприйняття зображень. У разі негативної реакції більшості студентів викладач повторює показ стереокартинок, потім стереоадаптаційних роликів, продовжуючи час їх демонстрації додатково до 4 хвилин.

До **основного етапу заняття** викладач переходить після того, як більшість студентів (не менше ніж 90%) залучилися до роботи і спроможні наочно сприймати динамічні стереоскопічні моделі.

Навчальний матеріал подається на прикладі вправи на тему “Визначення точок перетину прямої лінії з поверхнею трикутної піраміди”. Перш за все викладач коректно формулює умову вправи, чітко визначаючи, що задано і що треба визначити (побудувати). Умова вправи складається із текстової і графічної частини.

Текстова частина умови вправи: „Визначити точку перетину прямої лінії  $a$  з поверхнею трикутної піраміди  $SABC$ ”. Повний текст вправи викладач диктує усно, а на дошці записує її у символічній формі:

$$\text{Дано: } \frac{a(a_1, a_2) \quad SABC(S_1A_1B_1C_1, S_2A_2B_2C_2)}{}$$

$$\text{Знайти: } a \cap SABC = ?$$

Перед тим як зобразити графічну частину умови вправи та приступати до її розв'язання викладач пропонує аудиторії відповісти на наступні запитання.

- Скільки граней має трикутна піраміда?
- Скільки точок перетину може мати пряма лінія з поверхнею

багатогранника, піраміди?

– На яких гранях поверхні піраміди можуть бути розташовані точки перетину?

– Чи можуть точки перетину бути розміщені на одній і тій же грані?

– Чи може одна з точок перетину бути розташована на основі піраміди?

– Чи можуть точки (точка) перетину розміщуватися на основі піраміди?

– Чи обов'язково повинні існувати точки перетину прямої і поверхні піраміди?

В обговоренні поставлених питань повинні приймати активну участь більшість студентів. Після обговорення наведених вище питань викладач приводить на дошці зображення графічної частини умови вправи – комплексний рисунок Монжа у двох проекціях – горизонтальній і фронтальній (Рис. 17).

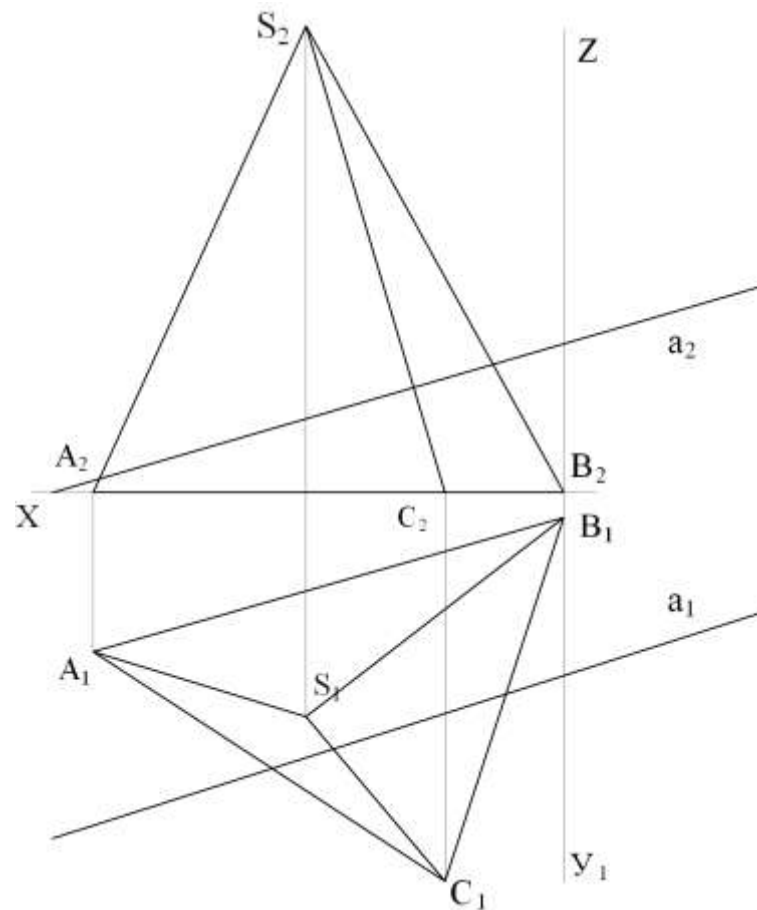


Рис. 17. Комплексний рисунок перетину піраміди прямою лінією

При цьому викладач нагадує аудиторії, що двох проекцій об'єкта завжди достатньо, щоб однозначно визначити положення у просторі всіх його точок, тому що наявні проекції містять всі три координати точок.

Викладач нагадує аудиторії наступні аксіоми та алгоритми побудов нарисної геометрії:

- аксіому про належність прямої – площині;
- аксіому про належність точок – прямій;
- аксіому про належність точок, що лежать на прямій, площині, на якій лежить дана пряма;

- алгоритм визначення точок перетину прямої і площини.

Далі демонструються стереоскопічна аксонометрична проекція піраміди і прямої без зображення точок перетину (Рис. 18).

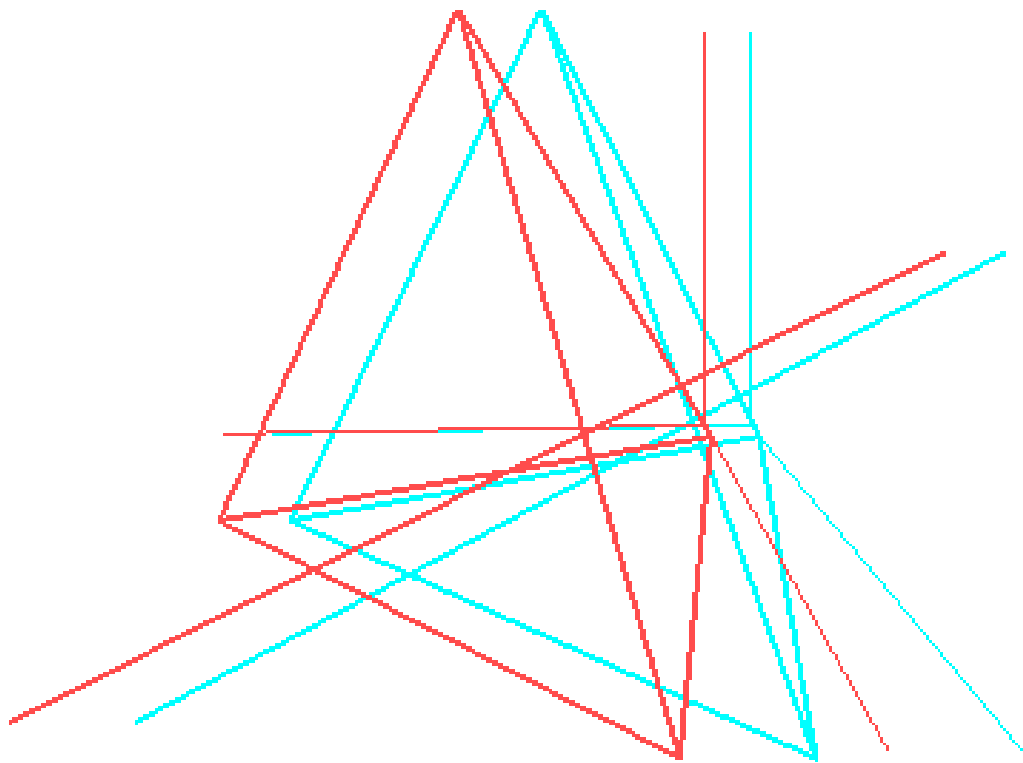


Рис. 18. (Стерео). Стереоскопічне зображення піраміди і прямої лінії

На наступному етапі викладачем пропонується висловити думку аудиторії про способи вирішення цієї вправи. Використовуючи пропозиції студентів, що приймають участь у обговоренні порядку вирішення вправи, викладач складає усний план вирішення вправи.

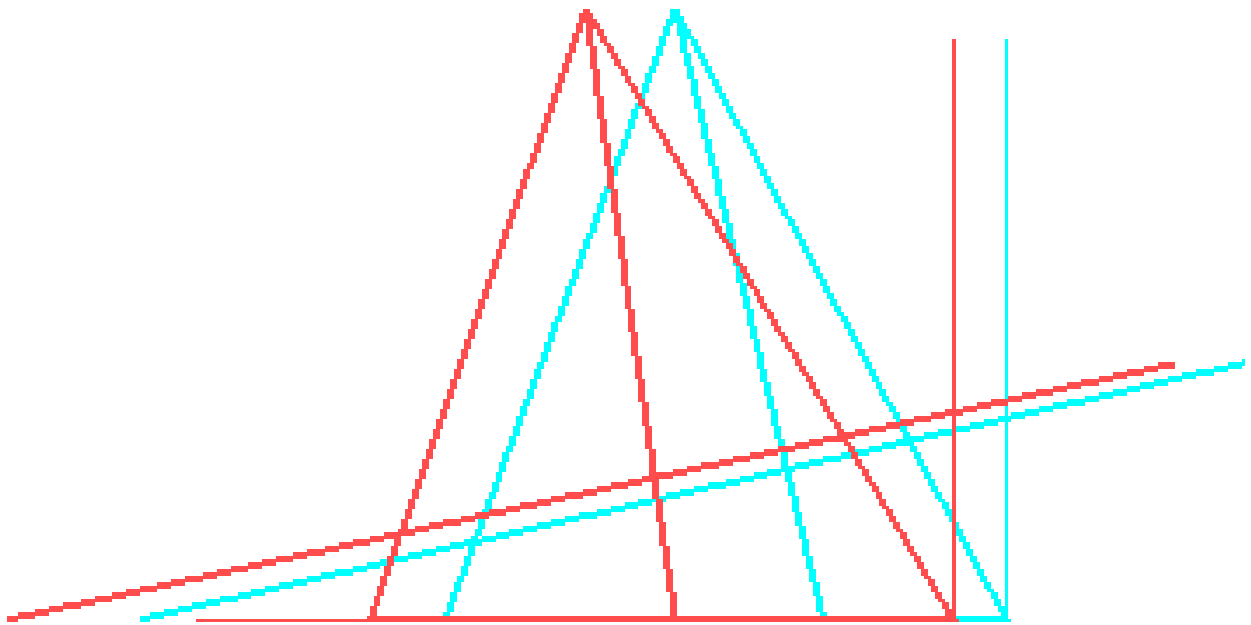
Після складання плану вирішення вправи викладач приводить на дошці алгоритмічний запис цього плану:

1.  $a \subset \Sigma(\Sigma_2) \perp \Pi_2: \Sigma_2 \equiv a_2;$
2.  $\Sigma \cap SAB C = \Delta I23;$
3.  $a_1 \cap \Delta I_1 2_1 3_1 = K_1 \wedge N_1;$
4.  $K_1 \uparrow \cap a_2 = K_2, N_1 \uparrow \cap a_2 = N_2.$

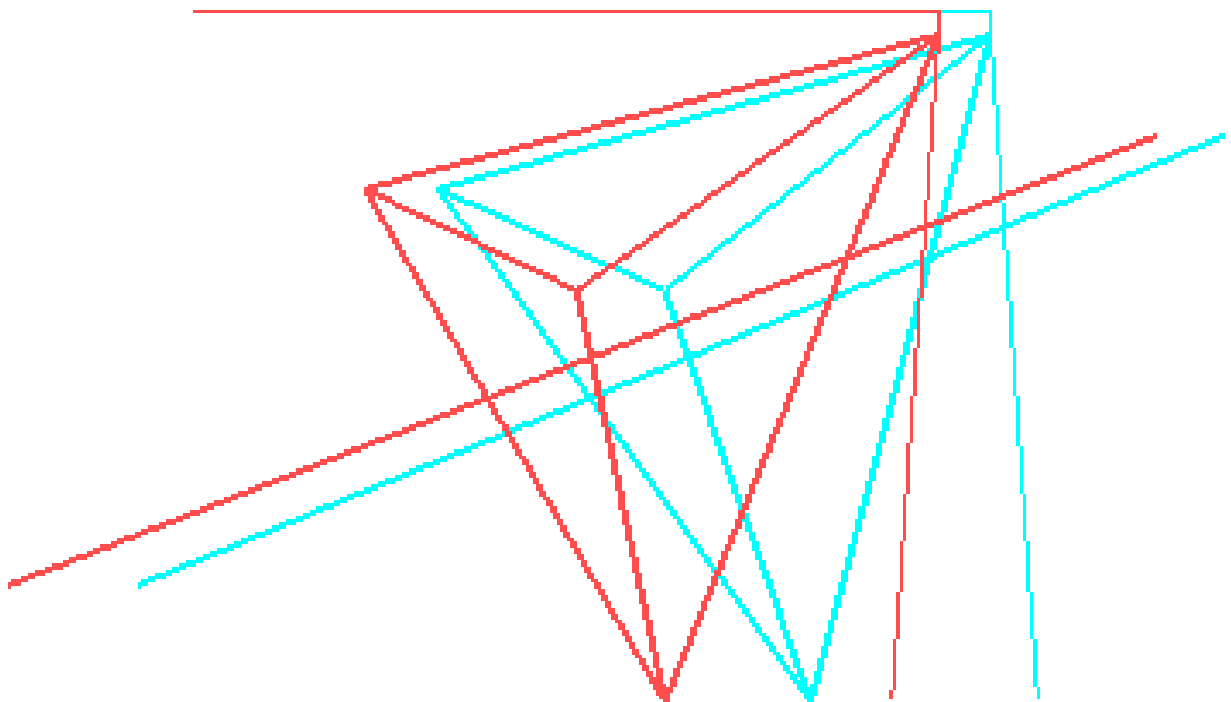
Далі демонструються фронтальна та горизонтальна стереоскопічні проекції (Рис. 19), тобто наочне зображення умови вправи у стереоскопічному вигляді. Комплексний рисунок умови вправи (Рис. 17) і її стереоскопічне зображення (Рис. 18) демонструються паралельно, що надає студентам можливість за рахунок порівняння плоского і об'ємних зображень мобілізувати свою просторову уяву.

Після цього по черзі демонструються фронтальна та горизонтальна динамічні стереоскопічні моделі (ДСМ). У процесі демонстрації ДСМ проекції

перетворюються з об'ємних, наведених на рис. 19, у плоскі і навпаки. Таке динамічне перетворення сприяє появі в уяві студентів жорсткої відповідності ортогональної проекції об'єкта і його об'ємного стереоскопічного зображення.



а)



б)

Рис. 19. (Стерео). Фронтальна (а) і горизонтальна(б) стереоскопічні проекції піраміди і прямої

З'ясувавши план розв'язання вправи і усвідомивши його у символійній формі, викладач переходить безпосередньо до її вирішення через наступні кроки.

**Крок I.** Через задану пряму  $a$  проводиться фронтально-проектуюча площина  $\Sigma$  у вигляді її фронтальної проекції  $\Sigma_2$ , що співпадає із проекцією  $a_2$ , тобто  $\Sigma_2 \equiv a_2$ . При цьому викладач з'ясовує, чи знає більшість аудиторії про збиральні властивості слідів-проекцій проектуючих площин, а саме: завдяки збиральним властивостям фронтально-проектуючої площини  $\Sigma$ , фронтальна проекція прямої  $a$ , фронтальна проекція площини  $\Sigma$  і фронтальна проекція лінії перетину площини з пірамідою співпадають, тобто  $a_2 \equiv \Sigma_2 \equiv \Delta A_2 B_2 C_2$  (Рис. 20).

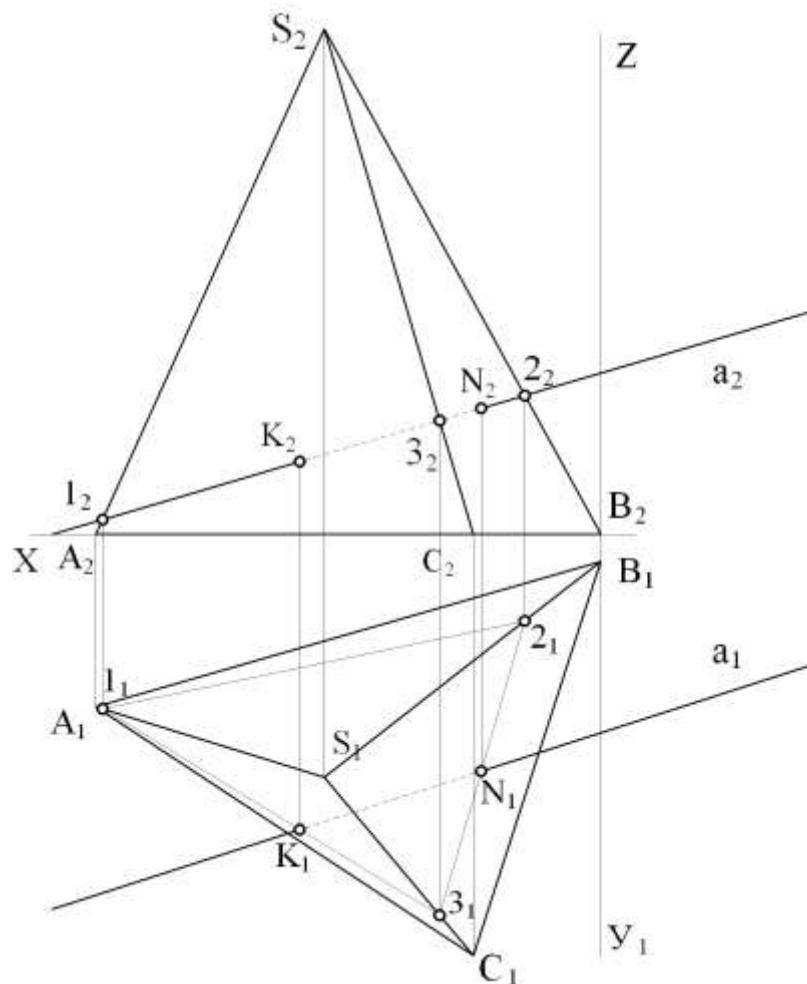


Рис. 20. Визначення точок перетину прямої лінії з пірамідою (комплексний рисунок)

При цьому викладач пропонує обговорити такі питання.

- Які геометричні фігури можуть бути отримані у результаті перетину трикутної піраміди і площини у загальному випадку?
- Чи може площина перетинати основу піраміди?
- Чи може бути відсутнім перетин площини і піраміди?
- Чи може результатом перетину площини і піраміди бути точка, відрізок прямої, трикутник, чотирикутник і т.д.?

Паралельно із цими поясненнями і побудовами на дошці демонструється стереозображення побудови площини  $\Sigma$  – Рис. 21.

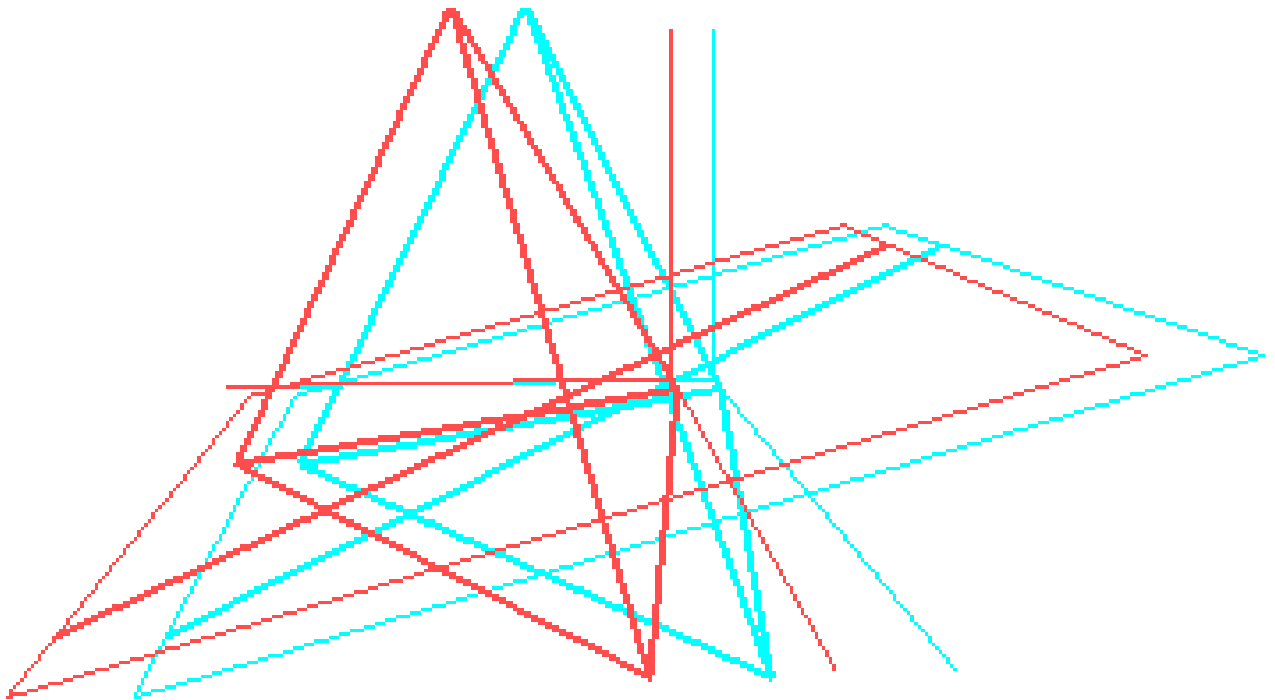


Рис. 21. (Стерео). Аксонометрична стереоскопічна проекція піраміди і прямої лінії з допоміжною фронтально-проєкціуючою площиною

**Крок II.** Визначається лінія перетину площини  $\Sigma$  з поверхнею піраміди  $SABC$  – трикутник  $\Delta 123$ . Кожна з точок трикутника –  $1, 2, 3$  знаходиться як точка перетину відповідного ребра піраміди –  $SA, SB, SC$  – із площиною  $\Sigma$  за алгоритмом визначення точки перетину прямої і площини.

Викладач нагадує аудиторії алгоритм визначення точки перетину прямої з площиною, який складається з трьох етапів.

А. Через пряму проводиться, як допоміжна, одна з проєкціуючих площин (горизонтально-проєкціуюча або фронтально-проєкціуюча).

В. Визначається лінія перетину допоміжної площини з заданою площиною.

С. Визначається точка перетину заданої прямої з отриманою лінією перетину, що і є точкою перетину заданої прямої з заданою площиною.

Викладач нагадує студентам, що при цьому можуть мати місце три випадки: пряма перетинається з площиною і існує одна загальна точка – точка перетину; пряма не перетинає площини (пряма і площина – паралельні) і точки перетину не існує; пряма співпадає з площиною і має нескінченну кількість сумісних точок перетину.

Щодо вправи, що розв'язується, викладач звертає увагу, що в ній визначається перетин не прямих з площиною, а відрізків. У цьому випадку точки перетину можуть бути відсутніми і в тих випадках, коли відрізки не паралельні площині. Паралельно з побудовами на дошці демонструється стереозображення рис. 22.

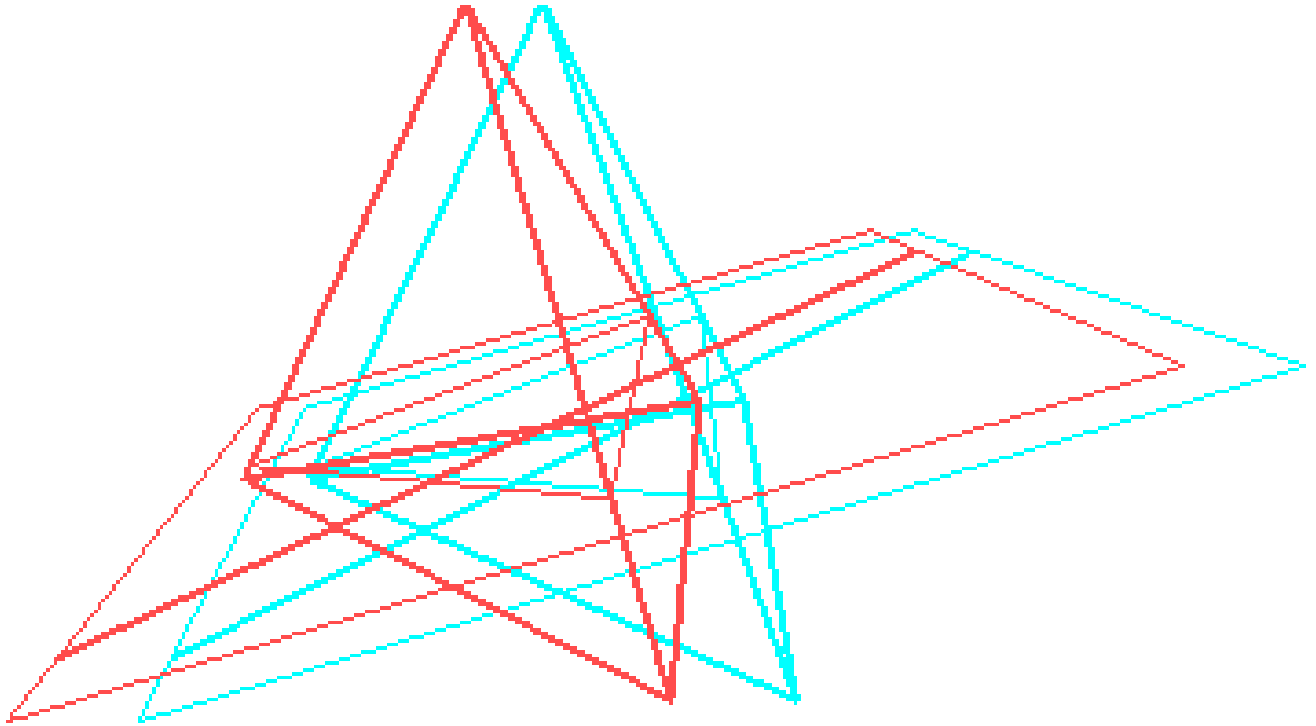


Рис. 22. (Стерео). Аксонометрична стереоскопічна проекція піраміди і прямої лінії з фігурою перетину допоміжною фронтально-проєкційною площиною

**Крок III.** На горизонтальній проекції визначаються спільні точки для прямої  $a$  і  $\Delta 123$  – точки  $K$  і  $N$  через їх проєкції  $K_1$  і  $N_1$ , як точки перетину горизонтальних проєкцій  $a_1$  і  $\Delta 1_1 2_1 3_1$ .  $K_1$  і  $N_1$  – горизонтальні проєкції точок перетину лінії  $a$  і піраміди  $SABC$ . Викладач пропонує аудиторії згадати аксіому про належність точки прямій. Нагадує, що якщо точка належить прямій, то проєкції точок належать відповідним проєкціям прямої.

**Крок IV.** Відповідно до ліній проєкційного зв'язку на фронтальній проєкції  $\Delta 1_2 2_2 3_2$  знаходять фронтальні проєкції точки  $K$  –  $K_2$  і  $N$ .  $K_2$  і  $N_2$  – фронтальні проєкції точок перетину лінії  $a$  і піраміди  $SABC$ .

Під час виконання цього кроку викладач нагадує закони проєкційного зв'язку точок у просторі і на площинах проєкцій, при цьому записується алгоритм, наприклад, для точки  $A$ :

$A_1 A_2 \uparrow = A_1 \subset A_1 A_2 \perp OX$ , що означає: лінія проєкційного зв'язку, що зв'язує горизонтальні ( $A_1$ ) і фронтальні ( $A_2$ ) проєкції точки  $A$  – лінія  $A_1 A_2$ , проведена через точку  $A_1$  перпендикулярно осі  $OX$  ортогональної системи координат  $OXYZ$  до перетину з лінією зв'язку  $A_2 A_3$ .

Аналогічно для ліній зв'язку  $A_2 A_3$ ,  $A_1 A_3$ :

$$A_2 A_3 \uparrow = A_2 \subset A_2 A_3 \perp OZ;$$

$$A_1 A_3 \uparrow = A_1 \subset A_1 A_3 \perp OY.$$



**Крок V.** На останньому кроці виконується визначення видимості частин прямої на проєкціях.

Викладач роз'яснює аудиторії, що в залежності від відносного положення прямої і об'ємної геометричної фігури (у даному випадку – трикутної піраміди) частини прямої можуть мати три варіанти видимості: видимі, скриті і невидимі. Видимі частини прямої – це ті її частини, що на проєкціях знаходяться за зовнішнім контуром відповідної проєкції об'ємної фігури, тобто не мають з нею спільних точок. Скриті частини – частини прямої, що мають спільні точки з об'ємною фігурою, не тільки на проєкціях, а і на дійсних фігурі і прямій, тобто знаходяться усередині об'єму фігури. Скриті частини з'єднують точки перетину прямої з об'ємною геометричною фігурою. У нашому випадку – це частини  $K_1N_1$  і  $K_2N_2$ . Скриті частини прямої малюються, як правило, тонкою суцільною або пунктирною лінією. Невидимі частини – частини прямої, що на проєкціях перекриваються частинами об'ємної фігури від спостерігача. Невидимі частини з'єднують скриті частини і видимі частини прямої. На креслениках вони зображаються штриховою лінією. Треба відмітити, що скриті частини прямої мають між собою проєкційний зв'язок, а видимі і невидимі частини прямої такого зв'язку не мають і визначаються на кожній проєкції окремо.

Далі викладач нагадує про метод, за допомогою якого визначається видимість частин прямої. Це метод конкуруючих точок. Викладач приводить на дошці побудови видимих, невидимих і скритих частин прямої.

Наприкінці розв'язання вправи демонструється комплексний рисунок (Рис. 20) і стереоскопічне зображення результатів побудов (Рис. 23).

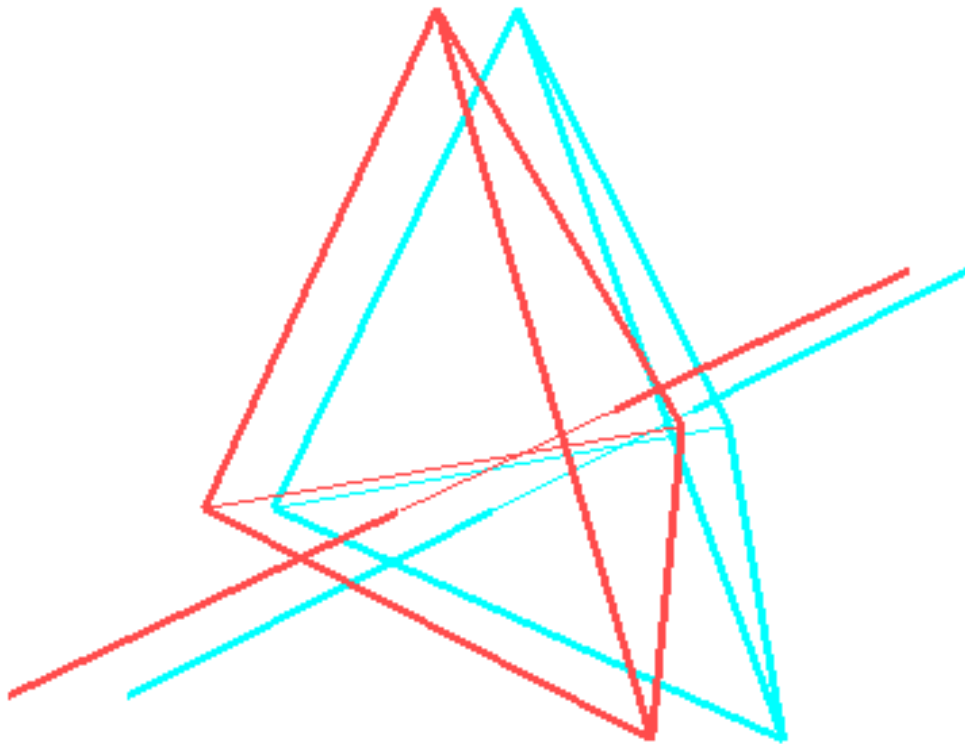


Рис. 23. (Стерео). Заключна стереоскопічна проєкція (рішення вправи)

На заключному етапі заняття викладач пропонує обговорення навчального матеріалу за темою заняття, коротко зупиняючись на кроках визначення точок перетину  $K$  і  $N$  і повторює демонстрацію фронтальної та горизонтальної динамічних стереоскопічних моделей і аксонометричних стереоскопічних зображень (рис. 18-23).

На практичному занятті за розглянутою темою, наприкінці заняття, з метою виявлення рівня засвоєння знань за даною темою проводиться поточний контроль у вигляді комп'ютерного тестування “Перетин поверхонь площинами і прямими”.

## Висновки

1. Проведено структурно-функціональний аналіз предметно-професійних знань і вмінь за стандартами вищої освіти з напрямів підготовки бакалаврів “Інженерна механіка”, “Транспортні технології” та інші. Це дозволило виявити перелік предметно-професійних знань, умінь і навичок, якими повинен оволодіти студент-бакалавр зазначених напрямів під час вивчення нарисної геометрії.

2. Авторами продовжено пошук нових методик навчання нарисної геометрії з використанням наочних дидактичних засобів. Ціллю розробленої методики є формування просторової уяви студентів при навчанні курсу “Нарисна геометрія” із використанням динамічних стереоскопічних моделей. Основна ідея запропонованої методики формування в студентів просторової уяви, як навичок розумової діяльності із створення просторових уявлюваних образів, складається у заміні на певних етапах навчання плоских зображень графічних об'єктів безпосереднім просторовим сприйняттям їх стереоскопічних зображень.

3. Заняття за розробленою авторами методикою складаються з трьох етапів: підготовчого, основного й заключного. Кожний з етапів поділяється на порції, що являють собою сценарій, об'єднаний єдиним змістом. Порції, у свою чергу, діляться на епізоди. Епізоди можуть бути статичними або динамічними.

4. Побудова стереоскопічних зображень, що використовуються в даній роботі, основана на створенні стереопар, як центральних проєкцій об'єкта на площину стереопроєкції, одержаних для двох центрів проєціювання, що моделюють очі глядача. Сепарація зображень здійснюється за допомогою стерео-окулярів із світлофільтрами різного кольору. Авторами розроблена і реалізована комп'ютерна програма автоматизованого розрахунку і побудови стерео-проєкцій у системі  $X'O'Z$  для системи точок, що визначають положення об'єкта у системі координат  $OXYZ$ .

7. Стереодаптаційні відеоролики як дидактичний засіб були створені авторами спеціально для вивчення процесів адаптації стереозору і попередньої підготовки студентів до перегляду стереоскопічних зображень на заняттях. Вони являють собою циклічні анімаційні фільми. Адаптаційні відеоролики можуть застосовуватися не тільки під час навчання курсу дисципліни “Нарисна геометрія”, а й для інших дисциплін, у курсах яких є потреба розглядання стереоскопічних зображень об'єктів.

8. Авторами запропоновано новий вид дидактичних засобів – динамічні стереоскопічні моделі (ДСМ), що являють собою відеоролики у вигляді кадрів, які послідовно переміняються з різним ступенем виразності стереоефекту за рахунок послідовної зміни характеристик стереоскопічного проектування. Динамічні стереоскопічні моделі дозволяють здійснювати наочні динамічні побудови і динамічні перетворення (трансформацію) стереоскопічних проєкцій у плоскі зображення й навпаки.

9. Розроблена методика пропонується для використання при груповій формі навчання під час лекційних та практичних занять з курсу нарисної геометрії, занять в малих групах. Запропонована методика також може з використовуватися для організації самостійної роботи студентів вищих навчальних закладів та розміщення навчального матеріалу в мережі Internet для дистанційного навчання студентів у процесі навчання нарисної геометрії.

10. Використання цієї методики стимулює ініціативу, пізнавальну активність, розвиває креативність у майбутніх інженерів у цілому і формує їх просторову уяву зокрема. Методика не передбачає змін у типовій програмі курсу нарисної геометрії.