

ТЕХНІЧНІ ТА ТВОРЧІ АСПЕКТИ КОМП'ЮТЕРНОЇ АНІМАЦІЇ

Дейнеко Ж.В.

к.т.н., професор, кафедра «Медіасистеми та технології»
Харківський національний університет радіоелектроніки

Зелений О.П.

к.т.н., доцент, кафедра «Медіасистеми та технології»
Харківський національний університет радіоелектроніки

Криворучко М.О.

магістр, кафедра «Медіасистеми та технології»
Харківський національний університет радіоелектроніки

***Анотація.** За останні роки анімаційний дизайн став частиною сучасної візуальної культури. Це діяльність, що використовується в рекламі, освіті, бізнесі, іграх, телебаченні. Метою роботи є систематизація сучасних знань про комп'ютерну анімацію, аналіз проблем, пов'язаних із технічними та творчими аспектами її створення, а також розробка рекомендацій для вдосконалення процесів анімації. Розглянуто ключові виклики, з якими стикаються фахівці, такі як створення унікального візуального стилю, баланс між реалістичністю та фантазією, а також технічна оптимізація процесів. Проаналізовано взаємозв'язок технічних рішень і творчих підходів у 2D- та 3D-анімації. Запропоновано шляхи вдосконалення методів створення анімації, які сприяють розв'язанню актуальних проблем галузі та розширенню її можливостей у мистецтві, освіті та індустрії розваг.*

***Ключові слова:** КОМП'ЮТЕРНА АНІМАЦІЯ, АНІМАЦІЙНИЙ КОНТЕНТ, МОУШЕН-ДИЗАЙН (MOTION-DESIGN), РІГГІНГ, ТРЕНД, РЕНДЕРИНГ, СТОРІТЕЛІНГ, КЛІПОВЕ МИСЛЕННЯ, ШЕЙП, ЕКШЕН, ТАРГЕТИ.*

Вступ

Комп'ютерна анімація є однією з найперспективніших галузей сучасних цифрових технологій, що стрімко розвивається. Її технічний і творчий потенціал змінює уявлення про візуальне мистецтво, відкриваючи нові горизонти для індустрії розваг, освіти, реклами та наукових досліджень. Завдяки технічному прогресу, створення анімаційного контенту стає все більш доступним, але водночас вимагає глибокого розуміння як технологічних, так і творчих аспектів. У цьому контексті важливо не лише забезпечити якість зображень та реалістичність рухів, а й розвивати методи автоматизації, інноваційні підходи до моделювання та впроваджувати нові алгоритми для оптимізації процесу. Однак попри очевидні досягнення, галузь стикається із низкою викликів, які потребують глибокого осмислення та вирішення.

Метою цієї монографії є систематизація сучасних знань про комп'ютерну анімацію, аналіз проблем, пов'язаних із технічними та творчими аспектами її створення, а також розробка рекомендацій для вдосконалення процесів анімації.

Швидке впровадження штучного інтелекту, машинного навчання та автоматизованих інструментів у процес створення анімації актуалізує дослідження нових підходів до її розробки. Реалістичність та емоційна виразність персонажів, зручність і ефективність роботи з рігтами (кістками, каркасами) для анімації, адаптивність моделей до різних сценаріїв і платформ стають важливими аспектами конкурентоспроможності в індустрії. Одночасно підвищуються вимоги до художнього стилю, який повинен залишатися впізнаваним, привабливим і відповідати сучасним культурним тенденціям [1-4].

Актуальність теми визначається стрімким розвитком комп'ютерних технологій і зростаючою потребою в якісній анімаційній продукції. В умовах конкуренції на ринку анімаційних фільмів і відеоігор, підвищуються вимоги до реалістичності руху, деталізації персонажів і об'єктів, а також до інноваційного підходу у візуальному сторітелінгу. Окрім того, використання анімації в освітніх і наукових проєктах також зростає, адже вона дає змогу наочно демонструвати складні концепції і процеси.

Серед ключових проблем, з якими стикаються творці комп'ютерної анімації, варто виділити технічні та творчі виклики. З технічного боку, створення анімації потребує значних обчислювальних ресурсів, особливо якщо йдеться про реалістичну тривимірну графіку. Рендеринг сцен з високою роздільною здатністю та фізично коректним освітленням часто є надзвичайно затратним процесом. Також існують проблеми, пов'язані з оптимізацією моделювання руху, симуляцією природних явищ (води, вогню, диму) та реалістичною анімацією персонажів.

З творчого боку, основною складністю є створення візуального образу, який зможе одночасно захопити увагу глядача і передати задум автора. Це потребує синтезу художнього бачення і технологічних знань. Крім того, зростає значення таких аспектів, як культурна автентичність зображених персонажів і подій, етичність контенту та його відповідність запитам сучасної аудиторії.

Основні проблеми створення комп'ютерної анімації можна розділити на кілька категорій:

- технічні виклики: створення складних рігтів для персонажів, які поєднують простоту використання з гнучкістю та багатофункціональністю; обмеження швидкості рендерингу та високі вимоги до обчислювальних ресурсів; інтеграція штучного інтелекту для генерації рухів, які виглядають природно і відповідають законам фізики;

- творчі аспекти: розробка оригінального візуального стилю, який відповідатиме художньому задуму; синтез традиційних прийомів анімації з інноваційними технологіями; підтримка емоційної виразності персонажів через реалістичну міміку та рухи;

- організаційні та освітні проблеми: відсутність доступу до універсальних інструментів або платформ, які дозволяють інтегрувати різні етапи розробки; недостатній рівень підготовки фахівців, особливо в аспектах, що поєднують творчість і технології.

Однією з визначальних характеристик анімації є її здатність передавати складні ідеї та емоції у вигляді візуального оповідання [2, 3]. Створюючи динамічних персонажів та довкілля, анімаційні ролики можуть залучити аудиторію до процесу, який неможливий під час використання статичних зображень чи тексту. Анімація може бути використана для передачі гумору, драми і навіть соціальних коментарів, що робить її універсальним та потужним видом мистецтва.

Мета та задачі дослідження

Метою монографії є систематизація знань у галузі комп'ютерної анімації, дослідження технічних і творчих аспектів процесу її створення, а також формулювання рекомендацій для подолання існуючих проблем.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання.

1. Визначити основні технічні труднощі у створенні анімації, зокрема обчислювальну складність і особливості використання програмних засобів.

2. Проаналізувати творчі виклики, що постають перед фахівцями, такі як створення унікального візуального стилю та збереження балансу між реалістичністю і фантазією.

3. Дослідити взаємозв'язок технічних і творчих аспектів у процесі створення комп'ютерної анімації. Визначити основні технічні труднощі у створенні анімації, зокрема обчислювальну складність і особливості використання програмних засобів.

4. Запропонувати шляхи вдосконалення підходів до розробки анімації, які дозволять вирішувати актуальні проблеми галузі.

5. Провести огляд сучасних інструментів для створення комп'ютерної анімації, таких як ріггінг, автоматизовані системи руху та генерація виразів обличчя.

6. Вивчити роль алгоритмів штучного інтелекту у вдосконаленні процесів анімації, зокрема в автоматизації рутинних завдань.

7. Дослідити взаємозв'язок між технічними й художніми аспектами анімації, зокрема як технології можуть підсилити емоційний та художній вплив анімаційного продукту.

Комп'ютерна анімація – це синтез мистецтва та технологій, який вимагає постійного вдосконалення технічних рішень та інноваційних підходів. Творчі й технічні виклики, що постають перед дизайнерами, художниками, митцями, є одночасно джерелом нових можливостей для галузі. Унікальна здатність анімації передавати емоції, ідеї та створювати захоплюючі візуальні історії забезпечує її невід'ємне місце у сучасному світі. Розвиток технологій, таких як штучний інтелект та інтерактивні інструменти, відкриває перед фахівцями нові горизонти, але водночас підвищує вимоги до їхньої майстерності. В результаті анімація стає універсальним засобом комунікації, що знаходить своє застосування у мистецтві, науці, освіті та розвагах.

Таким чином, анімація не лише є потужним засобом візуального мистецтва, але й виступає ключовим інструментом комунікації, маркетингу та освіти. Її здатність адаптуватися до нових технологій та викликів сучасного суспільства робить її невід'ємною частиною глобальної культури.

Основна частина

Постановка задачі та основні напрями розвитку анімації

Анімація стала невід'ємною частиною сучасної медіакультури, яка глибоко проникла у різні сфери діяльності й охопила різноманітну аудиторію. Вона представлена в художніх і документальних фільмах, рекламі, освітніх матеріалах, комп'ютерних іграх і навіть у додатках віртуальної реальності. Сьогодні нікого не здивувати анімованими вставками, які створюють яскраві фантастичні світи або надають реалістичності персонажам. Геометричні форми, що динамічно змінюються в моушен-дизайні, захоплюють увагу та буквально занурюють глядача у гіпнотичний транс.

Телебачення, соціальні мережі й освітні установи активно використовують анімацію для різноманітних цілей: від розваг до привернення уваги до важливих соціальних питань чи передачі складної інформації у доступній формі. Наприклад, у сфері освіти дедалі частіше використовуються інтерактивні анімовані модулі, які допомагають учням краще зрозуміти складні концепції, такі як процеси в природі чи механізми роботи технічних пристроїв. Моделі клітин, симуляції природних процесів чи навіть демонстрації історичних подій набувають нового виміру завдяки інтерактивності. Такий підхід робить навчання цікавішим і сприяє кращому запам'ятовуванню матеріалу.

Завдяки універсальності анімація здатна захоплювати людей будь-якого віку та професій. Її чарівна властивість «оживляти» об'єкти й події робить її інструментом, що впливає на емоції та уяву глядачів. Цей ефект пов'язаний із самим поняттям «анімація», яке походить від латинського *anima*, що означає «душа» [5]. Це слово яскраво передає сутність процесу, адже анімація буквально «надає душу» статичним зображенням.

Історично анімація виникла як технологія множення кадрів – процес, який раніше називали «мультиплікацією» (від латинського слова, що означає «множення»). Проте сучасне розуміння анімації виходить за межі механічного розмноження зображень і стає потужним інструментом творчості. Наприклад, у 1928 році Уолт Дісней створив першого популярного анімаційного персонажа – Міккі Мауса. Його «душа» завоювала серця мільйонів людей, а сам образ досі є впізнаваним у всьому світі [3-5].

Феномен «оживлення» анімації досліджували такі видатні автори, як Сергій Ейзенштейн, який бачив у ній нову форму мистецтва, що дозволяє розкрити невидимі зв'язки між рухом і емоціями. Юрій Норштейн, творець легендарного фільму «Їжачок у тумані», де прості образи набули глибокого філософського змісту. Для них анімація була способом розкриття емоцій і

створення нової реальності. Така здатність анімації поєднувати технічну досконалість із художньою унікальністю робить її унікальним явищем.

Анімацію також варто розглядати з технічної точки зору, оскільки вона вимагає складних рішень у сфері програмування, математичного моделювання та апаратного забезпечення. Наприклад, студія Pixar створила спеціалізовані алгоритми для симуляції руху волосся, води чи одягу, які застосовувалися в таких фільмах, як «Корпорація монстрів» та «Крижане серце». Це підкреслює, що анімація є синтезом мистецтва та інженерії.

З огляду на величезний потенціал анімації, її можна вважати не лише мистецтвом, але й інноваційною технологією, яка розвивається на стику науки, творчості та інженерії.

За останні тридцять років анімація зазнала значних трансформацій, перетворившись із засобу розваги для дітей на універсальний інструмент мистецтва, комунікації та маркетингу. Хоча традиційно анімацію сприймали як дитячий жанр, ще в 80-х і 90-х роках з'являлися мультсеріали для дорослої аудиторії, які висміювали соціальні проблеми й пороки суспільства. Знаковими прикладами таких проєктів стали «Сімпсони» у США, що поєднували сатиру з гумором, і серіал «Козаки» в Україні [6, 9], який використовував анімацію для популяризації культурних традицій та гумористичного осмислення сучасності.

Після феноменального успіху «Сімпсонів» стало очевидним, що анімація має набагато ширший потенціал, ніж дитячі розваги. Цей жанр швидко знайшов застосування в рекламі, дозволяючи брендам привертати увагу аудиторії різного віку. Одним із яскравих прикладів стала рекламна кампанія Nestlé з персонажем-кроликом Квіккі, який рекламував продукцію «Nesquik» (рис. 1). Завдяки цьому анімаційному ролику образ кролика став настільки популярним серед дітей, що вони масово просили батьків купувати шоколадні кульки, батончики чи какао. Анімація, яка виступила в ролі маркетингового інструменту, зробила бренд впізнаваним і бажаним.



Рисунок 1 – Кролик Квіккі багато років приваблював увагу дітей та батьків

Особливість анімації полягає в її здатності виділятися серед потоку стандартного відеоконтенту. На відміну від звичайної реклами, яка часто

викликає роздратування, анімаційні ролики сприймаються як розважальний жанр, здатний захоплювати і викликати позитивні емоції. Крім того, анімація значно розширює виражальні можливості реклами. У ній можна реалізувати найсміливіші фантазії: змусити ожити чайний пакетик, змалювати співаючу кукурудзу з банки Bonduelle чи створити танцюючий холодильник.

Анімація дозволяє рекламувати не лише функціональні переваги товару, але й цінності бренду, візуалізуючи їх у творчій формі. Наприклад, компанія Coca-Cola використовувала анімацію для створення різдвяної кампанії з участю полярних ведмедів, які стали символом свята та сімейного затишку. У 2000-х роках бренд M&M's розробив анімованих персонажів-шоколадних драже, які досі асоціюються з веселістю та індивідуальністю бренду [7].

Таким чином, анімація стала не лише інструментом художньої творчості, але й важливим засобом взаємодії з аудиторією, що дозволяє брендам та компаніям створювати оригінальні ідеї, які залишаються в пам'яті на довгі роки.

З розвитком комп'ютерних технологій анімація почала проникати в різні сфери, від мистецтва до бізнесу, стаючи потужним інструментом комунікації та візуалізації. Її активно використовують для представлення даних, зокрема у звітності. Завдяки анімації «сухі» цифри оживають: на очах у глядачів ростуть стовпчики діаграм, динамічно змінюються графіки виробничих процесів, з'являється жива, інтерактивна інфографіка [8]. Таке подання даних не тільки спрощує їхнє розуміння, але й викликає емоційний відгук у глядачів.

Анімація також увійшла в освітній процес, де її використовують для створення інтерактивних і захоплюючих матеріалів. Сучасні молоді люди, які виросли в умовах візуальної культури, мають так зване кліпове мислення [9]. Цей термін походить від англійського слова "clip", що означає фрагмент тексту або відео. Вони сприймають інформацію короткими, яскравими візуальними образами, замінюючи довгі фільми серіалами, газети – соціальними мережами, а довгі статті – заголовками. Щоб привернути увагу сучасної аудиторії, необхідно використовувати яскраві та запам'ятовувані засоби комунікації. Анімаційний контент чудово справляється з цим завданням, забезпечуючи динаміку й емоційність подачі інформації.

У XXI столітті анімація трансформується, розширюючи свої функції та змінюючи підходи до її створення. Сьогодні вона розглядається не лише як засіб «оживлення» образів, а й як просторово-часове мистецтво, яке здатне створювати художні образи за допомогою руху будь-яких об'єктів [10].

Сучасні дослідники виділяють два основні напрями розвитку анімації.

1. Некомерційна анімація – це авторське, творчо-орієнтоване мистецтво, яке зосереджене на пошуку нових виразних форм і засобів для реалізації ідей автора. Прикладом може бути фестиваль авторської анімації «LINOLEUM», де митці презентують експериментальні короткометражні роботи. Фестиваль – це найбільший показ авторської анімації в Україні. Крім конкурсних програм, фестиваль складається з серії майстер-класів та лекцій від професіоналів індустрії, показів експериментальної анімації та відеоарту, тематичних

позаконкурсних скринінгів та дитячої програми. Головна мета показати, що анімація це не тільки розвага для дітей, але й вид сучасного мистецтва, де за допомогою нових технологій можна піднімати актуальні теми, залучаючи до цього широку інтелектуальну аудиторію.

2. Комерційна анімація – анімаційний продукт, орієнтований на масову аудиторію, створюється з метою отримання прибутку. Вона включає мультфільми, рекламні ролики, а також анімацію для відеоігор. Відомий приклад – анімаційна реклама M&M's, у якій персонажі-драже стали символом бренду та підвищили продажі.

В останні десятиліття, з розвитком комп'ютерних технологій, появою соціальних мереж та інших каналів комунікації, зміною способів сприйняття інформації та потреб, анімація трансформується. Поряд із некомерційною та комерційною анімацією з'являється ще один її вид анімації – motion-design (моушен-дизайн).

Технологічні та когнітивні аспекти моушен-дизайну

Моушен-дизайн, як сучасний напрям у галузі цифрового мистецтва, поєднує технологічні досягнення, художні ідеї та психологічні принципи сприйняття. Його роль виходить за межі створення візуально привабливого контенту, адже цей напрям вимагає наукового підходу до аналізу глядацької уваги, оптимізації технічних процесів і вивчення впливу руху на когнітивне сприйняття [10, 15]. Моушен-дизайн є синтезом кількох дисциплін: комп'ютерна графіка – технології створення візуальних ефектів, текстур і анімації, що забезпечують реалістичність або стильність рухомих зображень; програмування – для автоматизації процесів, створення інтерактивних елементів та оптимізації рендерингу (наприклад, використання скриптів у Adobe After Effects або інтеграція алгоритмів у Cinema 4D; фізика та математика – для моделювання руху, симуляції поведінки об'єктів і розрахунку траєкторій.

У науковій літературі визначається моушен-дизайн як палітра технологій та інструментів для візуалізації будь-якої ідеї та мети у сфері теледизайну, реклами, медіаресурсів, а також як стиль виробництва медіаконтенту для реклами, для Інтернету, айдентики телеканалів, створення «цифрових декорацій», концертів, презентацій, створення титрів до фільмів [10]. Моушен-дизайн – це візуальний супровід або оформлення якого-небудь інформаційного продукту. Він носить прикладний характер, ніж мистецтво анімації, посилює вплив статичного зображення, яке може бути самостійним продуктом.

Моушен-дизайн – це технологія створення контенту або продукту, анімація – це мистецтво поживлення образів і предметів. Технологія моушен-дизайну є синтез анімації, дизайну, різних візуальних ефектів, відео, фотографії та багатьох інших. За допомогою моушен-дизайну інформація набуває інтерактивного характеру, а такій візуальній та захоплюючій формі людині легше сприймати та засвоювати інформацію [10].

Одним із ключових аспектів моушен-дизайну є використання технологій для створення складних анімаційних ефектів. Наприклад, у рекламі автомобілів часто застосовують симуляції реалістичних рухів, таких як їзда по нерівній дорозі чи розбрикування води з-під коліс. Ці елементи створюються за допомогою програмного забезпечення, такого як Cinema 4D чи Houdini, що дозволяє імітувати фізичні явища на екрані.

Моушен-дизайн також активно використовує когнітивні принципи сприйняття. Рух є одним із найбільш природних стимулів для людського мозку, що робить динамічний контент особливо ефективним для привернення уваги. Наприклад, у телевізійних заставках (рис. 2) рух елементів, які з'являються на екрані, спонукає глядача концентруватися на ключових повідомленнях. Яскравий приклад – заставка до серіалу Game of Thrones, де рухомі елементи карти світу не лише привертають увагу, але й передають глядачам важливу інформацію про сюжет.



Рисунок 2 – Рухомі елементи карти світу передають інформацію про сюжет (заставка до серіалу «Ігри престолів»)

Сучасний моушен-дизайн інтегрує в себе досягнення штучного інтелекту (ШІ). Наприклад, алгоритми машинного навчання використовуються для автоматизації створення переходів між елементами, оптимізації композиції чи навіть створення анімацій з нуля. У 2021 році Google презентував проект "DeepDream" для автоматичної генерації візуальних ефектів у відео, який знайшов застосування у моушен-дизайні для експериментальних і рекламних проєктів. Важливо зазначити, що моушен-дизайн є не лише технічним, але й художнім процесом. Творці моушен-дизайну часто беруть натхнення з традиційного мистецтва, додаючи нові виміри до класичних концепцій. Наприклад, у рекламі відомого бренду Apple моушен-дизайн використовується для створення мінімалістичних, але водночас дуже емоційних роликів. Динамічні переходи між кольорами та об'єктами підкреслюють інноваційність і естетику бренду.

Іншою важливою складовою моушен-дизайну є інтерактивність. Завдяки таким платформам, як Unity або Unreal Engine, глядачі можуть безпосередньо взаємодіяти з анімованими об'єктами, що додає новий рівень занурення у контент. Наприклад, інтерактивні презентації на виставках або інсталяції в музеях, які реагують на рухи глядача, створюють новий досвід сприйняття інформації. Окрім того, моушен-дизайн активно впроваджується в освіту. Інтерактивні інфографіки та анімаційні відео дозволяють ефективно пояснювати

складні концепції, такі як фізичні процеси чи економічні теорії. Наприклад, освітній проєкт "Kurzgesagt – In a Nutshell" («Коротко кажучи») на YouTube використовує яскраві анімації для популяризації науки, що зробило його одним із найуспішніших освітніх каналів (рис. 3).



Рисунок 3 – Освітній проєкт "Kurzgesagt" («Коротко кажучи»)

Дослідження у сфері когнітивної психології та нейроестетики допомагають визначити, як рух впливає на сприйняття глядача:

- вплив руху на увагу. Рухомі об'єкти природно привертають увагу людини. Це явище використовується в моушен-дизайні для виділення ключових елементів. Наприклад, акцент на бренді у рекламних роликах;
- ефект кліпового мислення. Короткі, яскраві сцени відповідають сучасним трендам у сприйнятті інформації, коли глядач концентрується на фрагментах контенту;
- емоційний вплив. Швидкість і амплітуда руху впливають на емоційний фон. Плавні, спокійні рухи заспокоюють, тоді як різкі й динамічні викликають збудження.

Моушен-дизайн дозволяє ефективніше передавати інформацію завдяки візуалізації складних даних (динамічні графіки та інтерактивні інфографіки забезпечують краще розуміння, ніж статичні зображення); узгодженню руху та інформації (наприклад, у навчальних відео синхронізація руху об'єктів із поясненнями сприяє кращому запам'ятовуванню).

До засобів власне моушен-дизайну належать технології створення та обробки образів, пов'язані з розвитком комп'ютерних технологій. Один з найбільш доступних та популярних способів роботи з анімацією – комп'ютерні програми, в яких створюється комп'ютерна графіка, такі як Adobe Illustrator, Adobe Animate, Adobe After Effects, Blender, Autodesk Maya, Moho Pro та інші. Вони дозволяють створювати вражаючі анімаційні проєкти, які впливають на масову аудиторію.

Моушен-дизайн – відносно новий напрям, що поєднує візуальні технології та інструменти для створення контенту. Моушен-дизайн застосовують у телебаченні, рекламі, медіаресурсах, цифрових декораціях, презентаціях, а також для створення титрів до фільмів [2, 13]. Він має прикладний характер і посилює вплив статичного зображення за допомогою руху.

Моушен-дизайн є синтезом анімації, графічного дизайну, візуальних ефектів, відео та фотографії. Це дозволяє робити інформацію інтерактивною, що

значно полегшує її сприйняття. Наприклад, сучасні освітні платформи, такі як Coursera або Khan Academy, активно використовують моушен-дизайн у своїх відео для пояснення складних концепцій.

Серед популярних інструментів для створення анімації та моушен-дизайну: Adobe Illustrator, Adobe Animate, Adobe After Effects, Blender, Autodesk Maya, Moho Pro та інші програми.

Анімація як витвір мистецтва самодостатня і неутилітарна, а моушен-дизайн завжди є частиною системи комунікацій або просування чого-небудь і має утилітарне призначення. Хочеться зауважити, що мистецтво завжди має свою власну самодостатню ідею, тоді як моушн-дизайн виступає засобом реалізації будь-якої ідеї, що знаходиться поза ним. Анімація як вид мистецтва не може існувати без філософсько-світоглядного змісту, але може заради сенсу пожертвувати унікальністю технічного рішення [16]. Моушен-дизайн – навпаки, виділяє саме технічне рішення, прийом, досліджуючи його можливості та використовуючи їх максимально для досягнення потрібного комунікативного або поведінкового ефекту. Тому в моушен-дизайні пріоритет віддається саме виразності зображення, його яскравості, привабливості, тоді як в анімації вся увага зосереджена на значенні.

Таким чином, анімація та моушен-дизайн стали невід’ємною частиною сучасного світу, пропонуючи безліч можливостей для творчості, комунікації та комерційного успіху. Моушен-дизайн є універсальним інструментом, який поєднує мистецтво, науку та технології. Його унікальна здатність привертати увагу та передавати складну інформацію робить його надзвичайно важливим у сучасній цифровій культурі. Використання передових технологій, таких як штучний інтелект і інтерактивність, дозволяє моушен-дизайну залишатися інноваційним та актуальним інструментом комунікації, освіти й розваг.

Творчі виклики, пов’язані зі створенням анімації

Створення анімації – це не лише технічний процес, але й складне мистецтво, яке вимагає від фахівців постійного пошуку нових ідей, експериментів із візуальними стилями та розв’язання творчих викликів. У сучасній анімаційній індустрії питання унікальності образів і стилю є одним із ключових, оскільки глядачі дедалі частіше звертають увагу на оригінальність, а конкуренція в цій сфері зростає.

Візуальний стиль анімації є її обличчям і водночас основним засобом комунікації з аудиторією. Одним із головних творчих викликів для аніматорів є розробка стилю, який був би впізнаваним, але водночас відповідав би сюжету, тематиці та емоційному наповненню історії. Наприклад, студія Ghibli, заснована Хаяо Міядзакі, відома своїми плавними анімаціями та деталізованими мальованими задніми планами, що створюють унікальний, майже магічний настрій. Водночас, сучасні анімаційні проекти, такі як Spider-Man: Into the Spider-Verse, демонструють інший підхід: поєднання 3D-анімації з елементами графічного стилю коміксів. Цей експериментальний стиль привернув увагу не

лише шанувальників коміксів, але й широкої аудиторії, отримавши визнання за інноваційність і художню майстерність.

Фахівці також стикаються з необхідністю адаптації візуального стилю до різних платформ і форматів. Наприклад, стиль, що добре працює в кінотеатрі, може виглядати перенасиченим на екранах смартфонів, що вимагає від митців гнучкості у використанні кольорів, текстур і композиції.

Ще одним важливим творчим викликом є пошук балансу між реалістичністю й фантазією. Реалістична анімація забезпечує глядачам відчуття достовірності, що особливо важливо для проєктів, які імітують реальний світ. Наприклад, у фільмах студії Pixar реалістичність рухів і міміки персонажів сприяє емоційному залученню аудиторії. У *Ratatouille* ретельно відтворено рухи кухонного посуду, текстури їжі та поведінку щурів, щоб створити достовірний світ. Однак надмірна реалістичність може знизити магію й фантазію, яка є сутністю анімації. Наприклад, фільм *The Lion King* (2019) [11], створений із застосуванням технології CGI, отримав критику за те, що його надто реалістичні персонажі втратили виразність, яку мали оригінальні мальовані герої. У жанрах фентезі чи фантастики важливо зберігати фантазійність світу, але не втрачати логіки його побудови. Наприклад, у *Avatar* Джеймса Кемерона, хоча світ Пандори виглядає вигаданим, він має внутрішню фізику, що забезпечує йому цілісність і довіру глядача.

Іншим аспектом створення унікального стилю є інтеграція культурних елементів. Художники-аніматори все частіше звертаються до національних традицій і міфології, щоб виділитися серед інших проєктів. Наприклад, *Мавка. Лісова пісня* – український анімаційний фільм, який використовує національні мотиви, щоб передати унікальний дух української культури. Проте робота з культурними темами потребує делікатності, щоб уникнути стереотипізації чи спрощення.

Основні технічні труднощі у створенні анімації

2D-анімація є одним із найстаріших, але водночас найбільш популярних видів анімації, яка залишається затребуваною в багатьох сферах: від кіно та телебачення до реклами, мобільних додатків і відеоігор [3-5, 12]. У процесі створення 2D-анімації нерозривно пов'язані творчі й технічні аспекти. Аніматор має враховувати не лише художню ідею та стиль, а й технічні обмеження та можливості, які визначають кінцевий результат.

Створення сучасної комп'ютерної анімації вимагає значних технічних зусиль та потужних інструментів, що обумовлено складністю процесу. Основною проблемою є обчислювальна складність, яка залежить від типу анімації (2D, 3D, моушен-дизайн, візуальні ефекти) та її масштабу. Окрім цього, важливим аспектом є особливості програмного забезпечення, яке використовується для досягнення поставлених цілей.

Обчислювальна складність у створенні анімації полягає в обробці великих обсягів даних. Наприклад, рендеринг 3D-анімації потребує обчислення фізики

руху, текстур, світла та тіней, що вимагає значної кількості ресурсів. Для реалістичних проектів необхідно враховувати взаємодію об'єктів, симуляцію рідин, газів чи тканин, що ускладнює задачі. В середньому, один кадр високоякісної 3D-анімації може займати години обчислень, а повноцінний фільм – місяці рендерингу навіть на кластері потужних серверів.

Наприклад, при створенні відомого мультфільму «Крижане серце» (Frozen) студія Disney використовувала суперкомп'ютери для симуляції снігу, льоду та тканин. Лише на симуляцію плаща головної героїні під час однієї сцени було витрачено понад 30 годин обчислень [1, 4, 6, 11].

У 2D-анімації складність може бути пов'язана із необхідністю створення великої кількості кадрів вручну або з використанням програм, що автоматизують проміжні переходи між ключовими кадрами. Проте й тут виникають виклики, пов'язані з інтеграцією стилізованої графіки та плавності рухів. Хоча 2D-анімація менш ресурсоемна, ніж 3D, вона все одно може бути технічно складною, особливо якщо включає багатопланові сцени, складні ефекти або велике розмаїття рухів. Наприклад, створення анімації з високим рівнем деталізації, як у мультфільмах студії Ghibli, вимагає обробки величезного обсягу даних, що може бути викликом для стандартного обладнання.

Для створення 2D-анімації використовується спеціалізоване програмне забезпечення, таке як Toon Boom Harmony, Adobe After Effects, Adobe Animate, Moho Pro та інші. Кожна програма має свої особливості, які впливають на процес роботи. Наприклад, Toon Boom Harmony пропонує розширені можливості для ріггінгу, що дозволяє створювати складні кісткові структури для персонажів, але вимагає значного досвіду для ефективного використання.

Одним із технічних викликів є забезпечення плавності руху. У 2D-анімації кожен кадр має бути ретельно промальований або створений за допомогою tweening – технології, яка автоматизує проміжні кадри між ключовими. Наприклад, у програмі Moho Pro використовуються автоматизовані інструменти для плавних переходів, однак вони вимагають точного налаштування, щоб уникнути штучного вигляду.

Різні платформи, такі як мобільні пристрої, телевізійні екрани чи соціальні мережі, мають специфічні технічні вимоги. Наприклад, анімація для Instagram повинна бути оптимізована за розміром і тривалістю, тоді як реклама для телебачення потребує високої роздільної здатності та адаптації до широкоформатних екранів.

Процес створення 2D-анімації є постійним балансом між творчими задумками та технічними можливостями. Наприклад, якщо художник хоче створити унікального персонажа з багатьма деталями, це може ускладнити процес анімації через необхідність промальовувати велику кількість елементів у кожному кадрі. Використання ріггінгу допомагає автоматизувати цей процес, але також обмежує гнучкість рухів персонажа.

Взаємозв'язок технічних і творчих аспектів у 2D-анімації формує основу для створення високоякісного контенту, який одночасно відповідає естетичним і

функціональним вимогам. Творчі ідеї неможливо реалізувати без розуміння технічних обмежень, а технічні досягнення, у свою чергу, розширюють межі художнього вираження. Подальший розвиток технологій, таких як штучний інтелект і автоматизація процесів, дозволяє очікувати нових можливостей для інтеграції технічних і творчих підходів у 2D-анімації.

Технічні проблеми при створенні ріггу персонажів

Основні технічні труднощі у створенні комп'ютерної анімації виникають через обчислювальну складність процесів і необхідність адаптації до різних програмних засобів, які використовуються на різних етапах розробки. Одним із найбільш ресурсоємних процесів є рендеринг [12, 18], тобто фінальне створення високоякісного зображення або відео на основі тривимірних моделей, текстур, світлових ефектів і анімаційних рухів. Для реалістичної анімації, яка включає складні симуляції, наприклад, реалістичну взаємодію світла з поверхнями або симуляцію природних явищ, таких як вода, дим чи тканини, потрібні значні обчислювальні ресурси. Навіть із використанням сучасних графічних процесорів (GPU) обчислення може займати багато годин, що ускладнює робочий процес і вимагає постійної оптимізації.

Важливим аспектом анімації є побудова ріггу – скелетної структури, яка дозволяє анімувати тривимірні моделі. Рігг повинен забезпечувати не тільки реалістичні рухи, але й бути зручним для роботи аніматора. Складність полягає в тому, щоб налаштувати систему так, щоб вона відповідала фізіології персонажа або суті об'єкта анімації, водночас забезпечуючи можливість легкого налаштування та модифікації. Наприклад, для анімації людини потрібно враховувати складну будову кісток, м'язів і суглобів, а для фантастичних істот доводиться розробляти унікальні рішення, що не мають реальних аналогів.

Додаткову складність додає використання різних програмних засобів, таких як Autodesk Maya, Blender, Cinema 4D, Unreal Engine тощо, які часто мають несумісні формати файлів і інструменти. Наприклад, модель, створена в Blender, може втратити частину властивостей, якщо її імпортувати в Unreal Engine, що може вимагати додаткових виправлень і часу. Ще одна проблема – відмінності у підходах до текстурування, налаштування матеріалів і роботи зі світлом, що ускладнює створення однорідного візуального стилю, особливо в великих проєктах із залученням кількох команд.

Симуляція фізичних явищ також є важливим аспектом, який часто потребує ручного налаштування або розробки спеціальних алгоритмів. Наприклад, для реалістичної симуляції тканини необхідно враховувати взаємодію з іншими об'єктами, такими як тіло персонажа чи вітер. Подібні завдання, як правило, вирішуються за допомогою фізичних симуляторів, однак вони також є обчислювально складними і потребують оптимізації, щоб уникнути зниження продуктивності на етапі рендерингу.

Значну роль ускладнення процесу відіграє потреба в автоматизації. Наприклад, створення натовпу персонажів у сцені потребує застосування

алгоритмів, які дозволяють персонажам взаємодіяти між собою, уникаючи колізій і виглядаючи природно. Подібні завдання вирішуються за допомогою систем типу Houdini або спеціальних плагінів для інших програм, однак їх використання потребує високого рівня технічних знань і додаткового часу на налаштування [14, 17, 23].

Таким чином, основні технічні труднощі у створенні анімації пов'язані із великою обчислювальною складністю процесів, труднощами у створенні ефективного та гнучкого ріггу, адаптацією до програмних засобів і оптимізацією фізичних симуляцій. Для їх подолання необхідна тісна співпраця між програмістами, художниками й аніматорами, а також використання інноваційних технологій, таких як штучний інтелект і машинне навчання, які можуть автоматизувати рутинні завдання й значно підвищити ефективність роботи.

Створення складних ріггів для персонажів, які поєднують простоту використання з гнучкістю та багатофункціональністю, є одним із найбільш технічно складних аспектів комп'ютерної анімації. Рігг – це скелетна структура, що складається з кісток, суглобів, контролерів та інших елементів, яка дозволяє аніматорам керувати рухами персонажів і об'єктів у тривимірному просторі. Завдання побудови такого ріггу полягає в тому, щоб створити систему, яка була б одночасно інтуїтивною для користувача й достатньо потужною для забезпечення всіх необхідних рухів і деформацій.

Найвагомішим фактором при створенні рігу персонажу є його призначення та роль (головна чи другорядна) у майбутньому анімаційному продукті. До факторів, що визначають майбутній функціонал та структуру рігу слід відносити наступні аспекти:

- концепція анімаційного продукту (особливості, що відрізняють стиль та напрям анімації);

- «час життя» – відносна кількість екранного часу персонажа;

- визначений діапазон функціоналу та перелік майбутніх дій персонажу.

Автоматизація процесів, частіше за все, потрібна в роботі над великою кількістю задач, в комплексних проєктах та при великих об'ємах виробництва. Побудова базового скелета в MoHo Pro є ключовим етапом у процесі створення анімаційного персонажа. Основою цього процесу є створення кісток, які забезпечують можливість управління рухами окремих елементів персонажа. У контексті простого персонажа базовий скелет включає мінімальний набір кісток, необхідних для забезпечення основних рухів, таких як згинання рук, ніг, обертання голови чи тіла. Кістки створюються за допомогою інструменту Bone Tool, який дозволяє розміщувати їх у потрібних точках персонажа, формуючи ієрархічну структуру.

Ієрархія кісток є фундаментальним принципом рігінгу. Вона визначає, як рух однієї кістки впливатиме на інші. Наприклад, рух основної кістки тулуба автоматично тягне за собою рух прикріплених до неї кісток рук чи ніг. Такий підхід забезпечує логічність і природність рухів персонажа, а також спрощує процес налаштування. У MoHo Pro створення залежностей між кістками

здійснюється автоматично в процесі їх додавання, але за потреби ці зв'язки можна редагувати вручну [17, 18, 20-24].

Прив'язка векторних точок до кісток є наступним важливим кроком у створенні скелета. У MoHo Pro існує декілька методів прив'язки, які забезпечують різний рівень контролю над рухами. Прив'язка точок (Bind Points) дозволяє закріпити окремі векторні точки до певної кістки, що забезпечує точний контроль над деформаціями. Прив'язка шару (Bind Layer) закріплює весь шар до вибраної кістки, що є зручним для роботи з простими елементами. Крім того, автоматична прив'язка (Auto Flexi-Binding) дозволяє системі самостійно визначати вплив кісток на точки, що значно пришвидшує процес роботи з великими об'єктами. Кожен із цих методів має свої переваги та використовується залежно від складності персонажа та вимог до анімації [21, 22].

Побудова базового скелета завершується тестуванням його роботи. Цей етап дозволяє переконатися, що всі кістки функціонують правильно, і що рухи персонажа є природними. У випадку виявлення неточностей здійснюється корекція налаштувань або додаткове редагування прив'язки, щоб досягти бажаного результату. У підсумку, створення базового скелета є основою для подальшого розширення функціональності персонажа, включаючи додавання Smart Bones чи інших інструментів для більш складної анімації.

Основні аспекти при створенні рігтів персонажів.

1. Простий у використанні рігг дозволяє ефективно виконувати свої завдання без необхідності глибоких технічних знань. Це досягається створенням контролерів, які відображаються як інтерактивні елементи. Наприклад, для анімації рук персонажа можуть бути створені контролери у вигляді простих кривих, що забезпечують зручне керування пальцями та зап'ястям.

2. Гнучкість ріггу полягає в здатності працювати з різними видами анімації та сценаріями. Наприклад, для персонажів, які виконують як реалістичні, так і стилізовані рухи, рігг повинен підтримувати як фізично коректну симуляцію, так і перебільшені деформації. Для цього додаються спеціальні контролери, які дозволяють змінювати форму або пропорції персонажа, адаптуючи його до різних художніх вимог.

3. Багатофункціональний рігг надає можливість при створенні персонажів виконувати широкий спектр завдань, від основних рухів до складних динамічних ефектів. Наприклад, у сучасних системах часто інтегруються інструменти для автоматизації, такі як контролери інверсної кінематики (ІК), які дозволяють фіксувати кінцівки персонажа в певних положеннях, або автоматичні динамічні деформації для симуляції м'язів і шкіри.

4. Складність створення ріггу часто пов'язана із забезпеченням точності деформацій моделі під час руху. Для цього використовуються такі методи, як покращена скітчінгова прив'язка (skin binding), корекція за допомогою морф-мішків (blend shapes) або спеціалізованих симуляцій тканин. Наприклад, у ріггах для обличчя складність полягає в створенні природної міміки, яка б враховувала тисячі варіантів комбінацій рухів.

5. Одна з сучасних тенденцій – автоматизація створення рiгiв. За допомогою спеціальних плагiнiв можна значно скоротити час створення базової скелетної структури [14, 17, 19, 20]. Проте автоматичнi рiшення не завжди відповідають специфiчним потребам, i їх доводиться модифiкувати вручну.

6. Штучний iнтелект i навчання на основi даних. Останнi досягнення у сферi штучного iнтелекту дозволяють створювати рiгги, якi автоматично адаптуються до рiзних моделей персонажiв. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть аналізувати топологiю сiтки i створювати оптимальний рiгг iз мiнiмальним втручанням аніматора.

Доволi часто, кiнцiвки створюються методом вiдмальовки цiлiсного векторного шейпу, або окремих шейпiв, що поєднанi без суглобу, разом зi створенням i налаштуванням екшену для бiльш гладкого згину кiнцiвки (рис. 4). Цей спiсiб доволi простий в реалiзацiї, проте має обмежений потенцiал у позицiонуванні передплiччя в просторi та може мати неякiсне вiдтворення згину кiнцiвки.

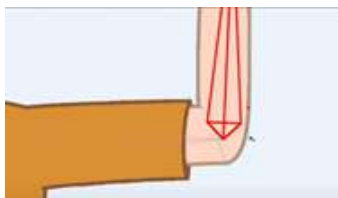


Рисунок 4 – Побудова кiнцiвки без суглобу

Якщо намалювати разом плече та передплiччя одним шейпом, поставити точки лiктьового згину i прокласти кiстки (рис. 5), то при згинаннi кiсток, у мiсцях згину одна векторна точка буде заходити за iншу, ламаючи персонажу руку [18, 21].



Рисунок 5 – Згинання шейпiв без спеціальних технологiй побудови кiнцiвок

iснує кiлька способiв розв'язання цiєї задачі. Один iз них передбачає встановлення певного кута згину для кiстки передплiччя та створення для неї екшену. У процесi анімацiї, при змiнi положення кiстки вiд початкового до максимального чи мiнiмального кута, точки згину коригуються так, щоб уникнути вiзуального "зламу" руки. Цей пiдхiд дозволяє забезпечити природний вигляд руху кiнцiвки (рис. 6, а). Другий метод полягає у розподiлi кiнцiвки на три окремі сегменти. Наприклад, для руки це зап'ястя, передплiччя та плече, а для ноги – стопа, гомiлка i стегно. У мiсцях згинiв, таких як лiкоть, колiно чи кисть, додається додаткове коло. Дiаметр кола вiдповiдає товщинi кiнцiвки, а його колiр i контур збiгаються з параметрами вiдповiдної частини тiла. Iнструментом «Hide Edge» приховується обведення тiєї частини кола, яка звернена до плеча чи стегна. Коло розташовується за глибиною пiд передплiччям чи гомiлкою. Це забезпечує плавний перехiд мiж сегментами руки при її згинаннi, вiдкриваючи лише ту частину кола, яка необхідна для природного вигляду руки (рис. 6, б).

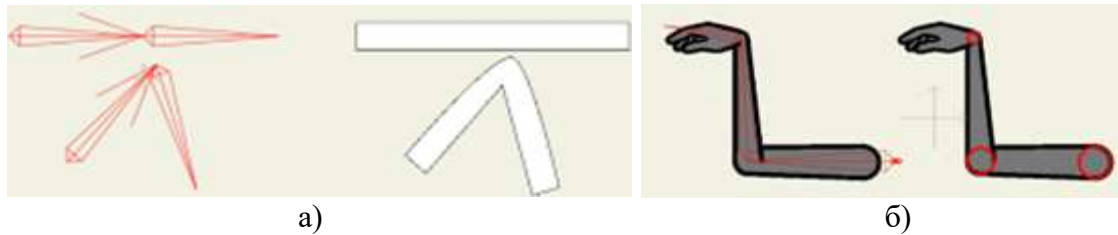


Рисунок 6 – Побудова кінцівок в скелеті та результат згину шейпу

Для коректної роботи цього методу, у зоні суглобів додаються допоміжні кістки, які забезпечують відсутність деформації під час руху кінцівки. Такий підхід дозволяє уникнути небажаних викривлень і зберегти естетичність рухів. Цей спосіб надає змогу реалізовувати згинання кінцівок без жодних деформацій місць згину та можливістю контролювати зміну порядку шарів для позиціонуванні передпліччя перед іншими шарами. Він набув широкої популярності й отримав назву «просуниті» кінцівки. Цей метод вирізняється складністю розробки, бо вимагає математичної точності в побудові векторного малюнку кінцівки, проте має значну перевагу в функціоналі та натуралістичній візуальній складовій (рис. 7).

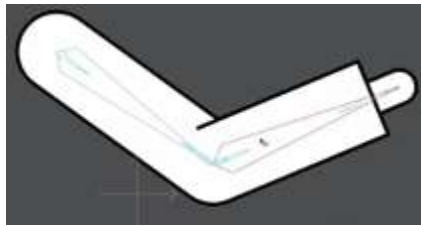


Рисунок 7 – Додаткові кістки для усунення деформації суглобів

Важливою функцією рігу є здатність закріплювати рухомий центр, для більш зручного процесу створення поз персонажа і точок опору в ногах або руках. Для цього у MoHo Pro є можливість створити так звані «target bones». Ці кістки впроваджують до певного ланцюжка кісток інверсну кінематику. Вони здатні змінювати параметри материнських кісток через зміну власної позиції (або через відсутність зміни позиції). При переміщенні таргетів, кістки змінюють свої позиції, намагаючись торкнутися свого таргету. Це надає змогу рухати лише таргет ноги (рис. 8), щоб усі кістки ноги рухались разом, згинаючи її та переставляючи в певну позицію.

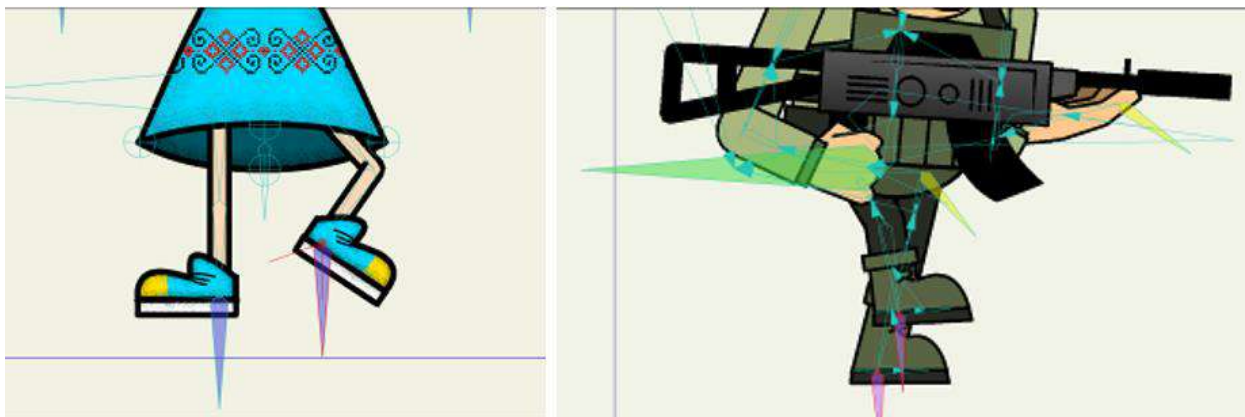


Рисунок 8 – Таргети ніг

Ця функція корисна не лише у випадку зі скелетом для ніг, що мають залишатися на певній позиції при зміні положення центру тяжіння персонажа, а й для рук, що спрощує формування їх позицій. В цьому випадку кістка передпліччя буде змінювати нахил і довжину за умови збільшення коефіцієнту розтягування при інверсній кінематиці (IK stretching) в кістках ніг, залежно від положення кістки-таргету.

Окрім основних кісток, що забезпечують рухи частин тіла персонажа, активно використовуються так звані "Smart Bones" – спеціальні кістки, які під час руху активують наперед заданий набір дій для окремих елементів. Завдяки цим кісткам процес роботи аніматора значно спрощується та автоматизується.

Для створення "Smart Bone" додається окрема кістка, після чого в панелі Actions створюється новий сценарій для неї. У режимі редагування цього сценарію виконується маніпуляція з кісткою, яка відповідатиме за виконання заданого набору змін (рис. 9). Після цього змінюється положення точок чи інші параметри елементів сцени, задаючи початкове значення у вихідній позиції кістки та кінцеве – в її фінальному положенні. Таким чином, бажані зміни в сцені можна реалізувати простим рухом "Smart Bone".

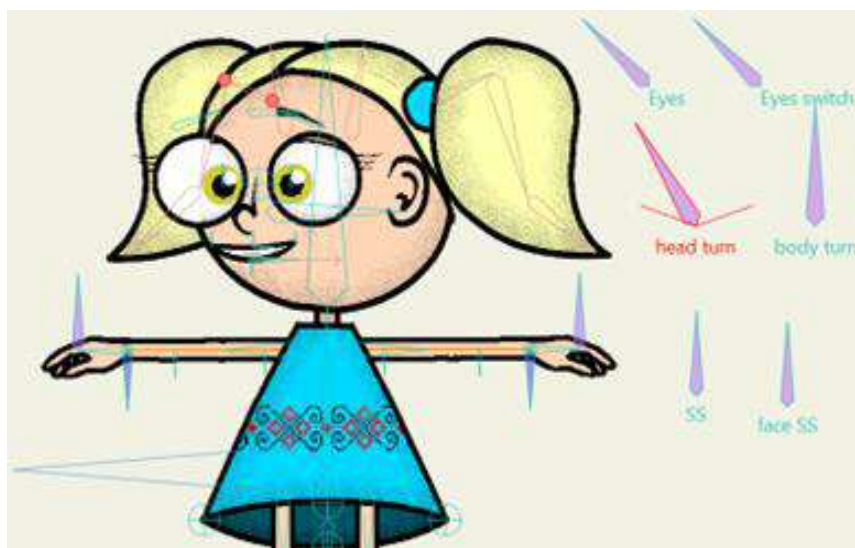


Рисунок 9 – Набір смартбонів повороту голови та кісток рук

Варіативність використання смартбонів обмежується винахідливістю розробника та запитам, щодо функціоналу рігу, що робить їх потужним засобом автоматизації анімаційних завдань. Серед можливих варіантів смартбонів найбільш популярними є наступні: смартбони з екшенами на пересування точок вий для закриття та відкриття очей; для переключення заздалегідь підготовлених фаз очей, рота, кистей, голови, тулуба, тощо; для згладжування згину шейпу; для стискання та розтягування окремих елементів; для повороту голови та тулуба, тощо. Зазначається, що широкий функціонал наявних смартбонів має великий вплив на автоматизацію процесів створення анімації.

Якщо звернути увагу на впровадження повороту голови чи тулуба навколо своєї осі у персонажа, то можна виділити два шляхи, за якими можна втілити даний функціонал. Перш за все, можна відмалювати окремі фази для анфасу,

повороту в $\frac{3}{4}$ кола в обидві сторони, профілю та повороту назад. Підв'язавши перемикач до смартбону можна переключати фазу у необхідний момент часу.

Більш комплексним та складним в реалізації підходом є створення екшену на плавне переміщення векторних точок голови з позицій при анфасі до позицій повороту в профіль, якісна анімація такого повороту в обидві сторони в якості екшену смартбона надає змогу в потрібний момент часу створювати імітацію 3D-повороту голови/тіла одним лише рухом смартбона.

Спираючись на 12 принципів анімації Діснея, вкрай раціональним є впровадження смартбонів на стискання та розтягування тіла персонажа. Основним викликом при створенні даного екшену є умова збереження об'єма тіла. У випадку при розтягуванні кісток тулуба вгору, що будуть тягнути за собою верхні векторні точки тулуба, необхідно досягти звуження тих точок, що знаходяться вздовж обох боків тіла. Цього ефекту можна досягти шляхом корегування позицій точок вручну, або автоматизувати цей процес в налаштуваннях кісток, що розтягуються. Результатом буде чітке збереження об'єму об'єкта, що прив'язано до даних кісток при зміні їхньої довжини.

Таким чином, наявність кожного зі смартбонів, за умови підготовки якісного екшену, позитивно впливає на зручність рігу та автоматизацію створення рухів (рис. 10).

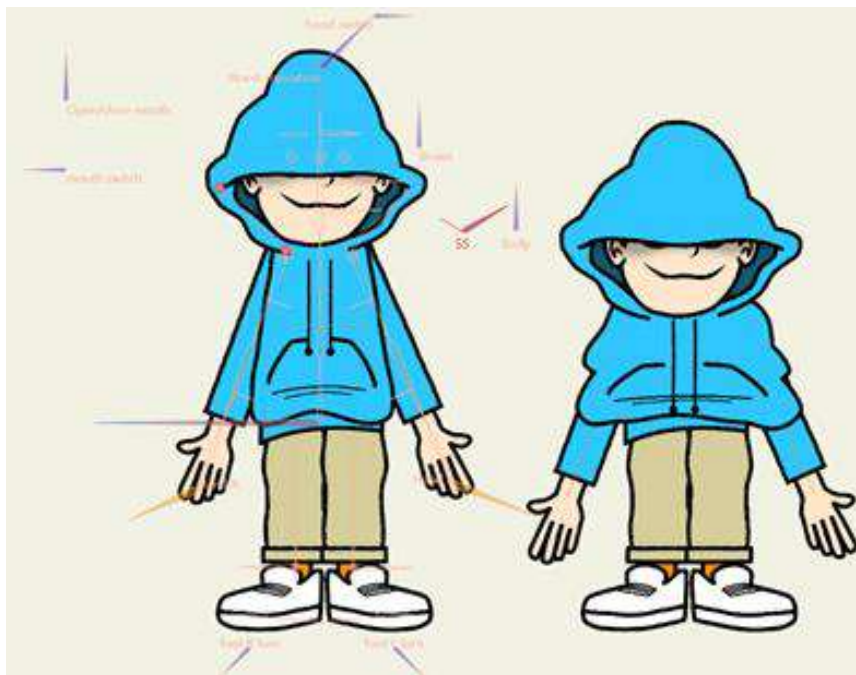


Рисунок 10 – Стискання та розтягування тіла персонажа з автоматичним збереженням об'єму

Створення складних ріггів – це процес, що вимагає балансування між технічною складністю, продуктивністю та простотою використання. Інтеграція новітніх технологій, таких як штучний інтелект і автоматизовані інструменти, дозволяє значно покращити якість роботи та скоротити час розробки, але все ще залишає простір для творчого та інженерного підходу до вирішення індивідуальних завдань.

У контексті 2D-анімації створення рігтів також має свою специфіку і технічні виклики, які, хоча й відрізняються від 3D-анімації, залишаються важливими для досягнення високоякісного результату. У 2D-анімації рігт являє собою систему шарів, сегментів або векторних елементів, з'єднаних через суглоби та контрольні точки, що дозволяють аніматору маніпулювати персонажем у межах двовимірного простору.

Головною проблемою рігтів у 2D-анімації є створення природних рухів без «ламання з'єднань» між сегментами шарів. Для цього фахівці-аніматори часто використовують додаткові інструменти корекції, такі як маски або морфінг (зміна форми), щоб забезпечити плавний перехід між різними позами. Наприклад, при анімації руки персонажа точка з'єднання плеча має виглядати природно навіть у крайніх положеннях.

Рігги у 2D-анімації дозволяють об'єднати творчий підхід із технологічними досягненнями, значно пришвидшуючи процес створення анімації. Хоча технічні виклики залишаються, інструменти для роботи з ріггами постійно вдосконалюються, що робить їх доступними для широкого кола митців і розробників. Успішне застосування рігтів у 2D- та 3D-анімації є ключовим елементом для досягнення якісного кінцевого продукту, який вражає своєю деталізацією та динамічністю.

Роль алгоритмів штучного інтелекту у вдосконаленні процесів анімації

Штучний інтелект (ШІ) стрімко змінює підходи до створення комп'ютерної анімації, спрощуючи процеси, автоматизуючи рутинні завдання та відкриваючи нові горизонти для творчості. Завдяки сучасним алгоритмам машинного навчання та глибинного навчання, аніматори отримують інструменти, які дозволяють скоротити час виробництва, знизити витрати й підвищити якість кінцевого продукту.

Автоматизація рутинних завдань. Один із найбільших викликів у створенні анімації – це велика кількість часу, яку займають повторювані процеси, такі як:

- промальовування проміжних кадрів (in-betweening);
- ретушування зображень;
- текстурування та анімація складних об'єктів;
- оптимізація рухів персонажів.

ШІ дозволяє автоматизувати ці процеси. Наприклад, технології, що базуються на машинному навчанні, здатні створювати проміжні кадри між ключовими з високою точністю і це значно спрощує процес і дозволяє розробнику зосередитися на творчих аспектах.

Генерація анімації. Сучасні нейронні мережі здатні самостійно генерувати анімацію, базуючись на заданих параметрах – алгоритми можуть аналізувати відеоматеріали або навіть текстові описи, генеруючи відповідну анімацію.

Також в анімаційних студіях застосовується технологія захоплення руху (*motion capture*), що доповнюється ШІ. Наприклад, система *Rokoko Smartsuit*

інтегрує алгоритми для автоматичної обробки рухів актора, спрощуючи їх перенесення на 3D-модель.

Інтелектуальне управління персонажами. ШІ також використовується для симуляції складних рухів і фізики об'єктів. Алгоритми дозволяють автоматично адаптувати анімацію персонажів до різних середовищ. Наприклад, технології компанії *NVIDIA* дозволяють створювати реалістичні симуляції тканин, волосся та інших динамічних об'єктів.

Для інтерактивних середовищ, таких як відеоігри, ШІ допомагає створювати анімацію персонажів, яка реагує на дії гравця в реальному часі. Наприклад, алгоритми в *Unity* забезпечують реалістичну адаптацію рухів до поверхні, рельєфу чи перешкод.

У постобробці анімаційних проєктів ШІ використовується для:

- зменшення шумів у рендерингу (AI-based denoising);
- оптимізації кольорів і текстур;
- покращення якості зображень у високій роздільній здатності.

Технології, такі як *Topaz Video Enhance AI*, дозволяють автоматично підвищувати чіткість і деталізацію кадрів, зберігаючи художній стиль.

Попри очевидні переваги, використання ШІ в анімації породжує й певні виклики. Наприклад, повна автоматизація може знизити потребу в участі аніматорів на початкових етапах, що ставить під питання роль людської творчості. Крім того, важливо забезпечити контроль якості, щоб результати роботи алгоритмів відповідали задуму дизайнера.

Алгоритми штучного інтелекту революціонізують процес створення анімації, надаючи потужні інструменти для автоматизації рутинних завдань. Це дозволяє не лише підвищити ефективність виробництва, але й відкриває нові можливості для творчості. Водночас важливо зберігати баланс між використанням технологій та художнім підходом, адже саме синтез інновацій та людської уяви створює унікальну анімацію. У майбутньому подальше вдосконалення ШІ забезпечить ще більше можливостей для інтеграції творчих і технічних аспектів у цій галузі.

Шляхи вдосконалення підходів до розробки анімації

Сучасна анімаційна індустрія розвивається з небаченою швидкістю завдяки новітнім технологіям, глобальній співпраці та доступності ресурсів. Проте, для подальшого зростання якості та ефективності створення анімаційних проєктів, необхідно вдосконалювати існуючі підходи та запроваджувати інноваційні методи. Слід виділити декілька напрямів використання та оптимізації технічних процесів створення анімації.

1. Інтеграція штучного інтелекту. Використання алгоритмів штучного інтелекту може суттєво спростити рутинні завдання, такі як створення проміжних кадрів, текстурування чи симуляція фізичних явищ. Інструменти на базі ШІ, наприклад, *DeepMotion* або *NVIDIA Omniverse*, можуть автоматизувати значну частину процесів і скоротити час виробництва. Наприклад, платформа

DeepMotion дозволяє автоматично генерувати реалістичні рухи персонажів із відео, що економить місяці роботи для аніматорів. Інший приклад – студія Disney використовує AI для вдосконалення текстур і деталей у 3D-моделях.

2. Віртуальна та доповнена реальність (VR/AR). VR/AR не тільки відкривають нові горизонти для користувача, але й полегшують роботу при створенні анімаційних роликів. Наприклад, Google Tilt Brush дозволяє художникам створювати тривимірні ескізи в реальному часі. Це значно покращує розуміння простору і композиції в процесі розробки. Це значно покращує розуміння простору і композиції в процесі розробки. Під час створення кліпу на пісню «Dance Monkey» були використані VR-інструменти для візуалізації сцен, що дозволило миттєво коригувати динаміку камери і пози персонажів, досягаючи максимальної синхронізації з музикою.

3. Хмарні обчислення та колаборативні платформи. Використання хмарних технологій, як-от платформи ShotGrid від Autodesk, дозволяє розподілити роботу між кількома командами або студіями в різних куточках світу. Команди з усього світу можуть працювати над різними аспектами анімації: моделюванням, текстуруванням, рендерами. Режисери можуть у реальному часі переглядати внесені зміни, даючи зворотний зв'язок миттєво. Хмарні обчислення не тільки полегшують робочий процес, а й дають можливість малим студіям конкурувати з великими гравцями завдяки доступності сучасних технологій. Це також сприяє більшій демократизації індустрії. Інтегровані середовища, як-от Blender, надають доступ до всіх необхідних інструментів в одному програмному забезпеченні

Підвищення художньої якості та покращення художніх процесів.

1. Поєднання традиційних і цифрових технік. Використання елементів традиційної анімації (наприклад, ручного малювання) у поєднанні з цифровими інструментами може створювати унікальні стилістичні рішення. Такі роботи, як Spider-Man: Into the Spider-Verse, демонструють, як поєднання традиційного стилю з новітніми технологіями може стати проривом у галузі.

2. Інвестиції у художню освіту. Одним із шляхів вдосконалення є розвиток навичок митців. Курси або навчальні дисципліни, що зосереджуються на концептарті, дизайні персонажів і основах анімації, забезпечують підготовку фахівців, здатних генерувати оригінальні ідеї.

3. Культурна автентичність. Важливою складовою вдосконалення є інтеграція культурних мотивів і традицій у анімаційний контент. Це дозволяє створювати унікальні історії, які приваблюють міжнародну аудиторію, водночас зберігаючи національну ідентичність. Український мультфільм «Мавка. Лісова пісня» є прикладом такого підходу, де використання народних мотивів і культурного контексту стало ключем до успіху.

Удосконалення підходів до розробки анімації потребує багатостороннього підходу, що включає технологічні інновації, творчий розвиток, освіту та екологічну свідомість. Завдяки інтеграції цих елементів анімаційна індустрія зможе не лише підтримувати високий рівень якості, але й прокласти шлях до нових горизонтів творчості.

Висновки

Розвиток комп'ютерної анімації стикається з численними викликами, які потребують нових підходів до виробництва, інтеграції інноваційних технологій та оптимізації процесів. З урахуванням технічних, творчих і організаційних проблем, які постають перед галуззю, необхідно шукати шляхи вдосконалення підходів до створення анімаційного контенту.

Комп'ютерна анімація, як важлива складова сучасної візуальної культури, вимагає інтегрованого підходу до вивчення її технічних і творчих аспектів. Проведений аналіз підтвердив, що розвиток анімації відбувається завдяки взаємодії технологічних інновацій і креативних ідей. Дослідження виявило основні проблеми, які впливають на ефективність створення анімаційного контенту: необхідність створення унікального візуального стилю, пошук балансу між реалістичністю та художньою фантазією, а також технічні обмеження, пов'язані з ресурсомісткістю процесів рендерингу та складністю ріггінгу.

Галузь комп'ютерної анімації перебуває на етапі динамічного розвитку, і запровадження нових методів, які поєднують технічний прогрес із креативними підходами, сприятиме її подальшому зростанню. Освітні ініціативи, міждисциплінарна співпраця та підтримка інновацій можуть стати основою для подальшого успіху анімаційної індустрії.

Вдосконалення підходів до створення анімації потребує одночасного розвитку технічних рішень і творчих методів. Інтеграція штучного інтелекту, хмарних платформ і інноваційних інструментів дозволяє вирішувати технічні проблеми, тоді як інвестиції в освіту та міждисциплінарну співпрацю сприяють зростанню художньої якості. Анімація, як унікальний синтез мистецтва та технологій, продовжує відкривати нові можливості для комунікації, розваг і освіти, залишаючи значний вплив на сучасну культуру.

Список літератури.

1. Гвінн, К., & Генні, І.Ф. (2012). Основи анімації: Вступ до цифрового мультимедіа. Київ: Видавець.
2. Кульчицький, О. (2005). Теорія і практика анімації. Київ: Ніка-Центр.
3. Вільямс, Р. (2019). Анімація: посібник по виживанню / пер. з англ.: Р. Дзюба, І. Миргородська. Київ: ArtHuss.
4. Селбі, Е. (2019). Анімація / пер. з англ. В. Заєць. Київ: ArtHuss.
5. Блер, П. (2021). Мальована анімація з Престоном Блером. Київ: ArtHuss.
6. Бендаці, Дж. (2020). Світова історія анімації. Книга перша: Від початку до Золотої доби. Київ: ArtHuss.
7. Божевільна реклама та розпусні цукерки m&m's. <https://www.youtube.com/watch?v=wXv0L7Rns9c>.
8. Анімована інфографіка в After Effects. <https://www.youtube.com/watch?v=UV9eYu47oqI>.
9. Лобач, Н.В. (2023). Мислення та сприйняття: логічне та кліпове мислення майбутніх фахівців. Вісник науки та освіти, 3(9), 430-440.
10. Opalev, M.L. (2012). Moution-design: nauka I vdohnovenie. Universitates. Nauka I prosveshchenie. 4(51), 69-75.
11. Living Lines Library. Collection of Animated Lines. <https://livlily.blogspot.com/>.

12. Кравцов, М. (2019). Історія анімації: Як народжується мистецтво. Серія «Креативна кар'єра». Київ : ArtHuss.
13. Крісп, Дж. (2014). Анімація: Світова історія. Київ: Нова Книга.
14. Ткаченко, В.П., & Криворучко, М.О. (2023). Використання скриптів при створенні 2D-анімації в Moho Pro. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 213-214).
15. Дейнеко, Ж.В., & Криворучко, М.О. (2022). Моушен-дизайн як анімаційне мистецтво. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. Т. 1. (с. 103-104).
16. Мурашко, М. (2015). Зв'язок озвучування із засобами виразності анімації у відео-рекламі. Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв, (7), 41-53. http://nbuv.gov.ua/UJRN/had_2015_7_10.
17. Moho Pro Advanced Features for 2D animation – Lost Marble Software, Inc. <https://moho.lostmable.com/pages/features>.
18. Arm Draw and Rig with Tools. Rigged Animation. <https://www.youtube.com/channel/UCS4R-7L27Fd5bOZrxHNnPiw>.
19. Create Limb 2 // Moho Scripts. https://mohoscripts.com/script/am_create_limb_2.
20. Move selected to coord. Moho Scripts. https://mohoscripts.com/script/sz_move_selected_to_coord.
21. Basic Smart Bones // Moho Animation Software. <https://www.youtube.com/watch?v=eQGLqROjatU>.
22. Moho Script. Create a bone between two coordinates. MoeU33. <https://www.youtube.com/watch?v=o-GvMwiYZPQ>.
23. Персонажная 2D анимация. APIStudio Automatic promotion intellect. <https://apistudio.ru/service/video/personazhnaya-2d-animatsiya/>.
24. Animation: 2D. Explainer Video Company. <https://darvideo.tv/dictionary/animation-2d/>.
25. Tones And I – Dance Monkey (Official Video). <https://www.youtube.com/watch?v=q0hyYWKXF0Q>.