

ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 004.946:681.2

ВИКОРИСТАННЯ ДОДАНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ПРИ СКЛАДАННІ ЦИКЛОЇДАЛЬНОГО РЕДУКТОРА

¹⁾Чигрін О. В., ¹⁾Барандич К. С., ^{1,2)}Гладський М. М.

¹⁾Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

²⁾Прогрестех-Україна, Київ, Україна

E-mail: o.chyhrin.pb11mp@kpi.ua; barandichk@ukr.net; gladsky@gmail.com

Сучасні виробництва все більше рухаються до повної автоматизації усіх процесів виробництва і складання продукції, проте деякі фізичні процеси на сьогоднішній момент неможливо повністю автоматизувати, виробництвом доводиться виконувати подібні задачі вручну, використовуючи робітничий ресурс. Подібні процеси виникають, як у масовому виробництві, так і при одиничному або експериментальному виробництві. У стартап проекті LineBar було запропоновано використати циклоїдальний редуктор для збільшення крутного моменту крокового двигуна, проте через складність конструкції доцільним було розробити застосунок для зменшення часу на підготовку до виконання складальної операції. Для реалізації такої задачі використано технології доданої реальності.

Стаття висвітлює процес розробки застосунку. Описана підготовка 3D моделі циклоїдального редуктора до роботи у застосунку Unity, що має весь необхідний функціонал для створення необхідного застосунку керування. Показано процес розробки базового функціоналу, що являє собою відображення 3D моделі на підготовленому маркері, анімацію складання та розбирання циклоїдального редуктора. Для розширення функціоналу додано можливість поетапно перемикаати анімацію складання редуктора. Керування анімаціями відбувається за допомогою створених кнопок «Анімація», «Вперед» і «Назад». Описано процес розробки функціоналу анотації 3D моделей, а саме створення 3D об'єктів анотації, розробка функціоналу відображення інформації за умови розміщення складальної одиниці по центру екрану, та реалізацію функціоналу розвороту анотації при повороті камери користувача. Результатом роботи є створений застосунок, що може бути використаний для зменшення часу на операцію складання циклоїдального редуктора. Проведене дослідження підтверджує зменшення витраченого часу на складальну операцію на 30 % за використання додатку порівняно з традиційним методом.

У подальшому запропоновано автоматизувати підготовку 3D моделей, їх анімацію та анутовання в сервовищі Unity, для зменшення часу на розширення функціоналу застосунку, що вплине на можливість масштабування застосунку на більші виробничі масштаби.

Ключові слова: складальні роботи; циклоїдальний редуктор; додана реальність; Unity.

Вступ

Застосування технології доповненої реальності (ДР) для керування процесом складання є новим підходом у вітчизняному виробництві. Доповнена реальність дозволяє інтегрувати віртуальну інформацію, таку як комп'ютерна графіка, текст, звук у фізичне середовище, щоб користувачі могли сприймати цю інформацію як існуючу в реальному часі [1]. Однією з перспектив розвитку технологій ДР є їх інтеграція у виробничий процес у якості «цифрових креслень», проте не в звичному до сьогодні форматі. Технологи на виробництвах під час розрахунку часу на виконання складальних робіт завжди враховують час, який витрачається на ознайомлення з кресленням, що значно збільшує кількість витра-

ченого часу. А це, в свою чергу, впливає на витрати на заробітну плату та собівартість продукції. У випадку складних складальних вузлів робітник здебільшого потребує постійної та поетапної перевірки виконаних дій, проте на сьогодні кресленники існують зазвичай лише у 2D формі на комп'ютері, планшеті/телефоні або на папері, що не є дуже зручним, оскільки робітнику доводиться розділювати свою увагу між фактичним складанням та інструкціями зі складання.

ДР – це комбінація цифрових і аудіовізуальних елементів, які поєднують реальний і цифровий світи. ДР [2] змінює спосіб зв'язку та взаємодії на виробництві, являє собою розширену версію навколишнього світу. Незалежно від обставин дисплеї, які

відображаються за допомогою ДР, інтегрують нову реальність у нашу поточну. У цілому ДР покращує виробничі можливості, роблячи її ідеальним інструментом для Індустрії 4.0.

Компанії все більше інвестують у розвиток взаємодії людини та машини (рис. 1). Щоб залишатися конкурентоспроможними, провідні виробники продовжують запроваджувати автоматизацію для виконання простих повторюваних завдань і відстеження даних. Однак ручні процеси досі вкрай актуальні.

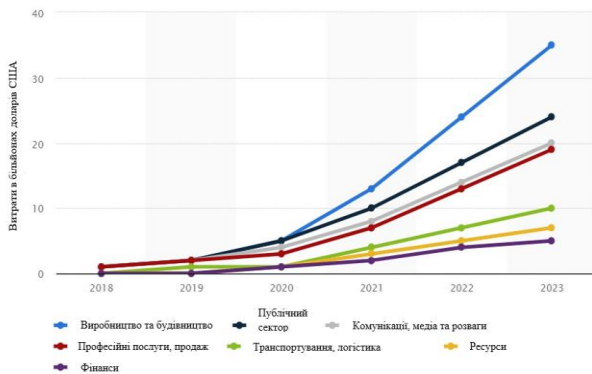


Рис. 1. Очікуваний зріст ринку ДР після врахування ефекту пандемії [3]

Зараз існує три основних типи ДР, які використовуються для підтримки виробничих і монтажних операцій. Кожен з методів забезпечує ефект відображення інформації у своїй манері. Тільки знаючи, що саме необхідно підприємству, можна правильно обрати тип відображення ДР [4].

Перший тип – технологія доповненої реальності з використанням планшетів або планшетна ДР. Це комбінація планшетів та інших портативних пристроїв (наприклад, смартфонів), які надають робочі інструкції через програми доповненої реальності.

Наступний тип – доповнена реальність в окулярах. Технологія ДР проектує накладання графіки на навколишнє середовище за допомогою окулярів ДР або гарнітури.

І третій тип – рішення ДР для виробництва з проекцією на поверхню. Проектована ДР використовує комбінацію проекторів і датчиків зору для відображення віртуальної покрокової інтерактивної графіки на будь-якій робочій поверхні.

На сьогодні деякі компанії вже використовують ДР технології для вирішення та пришвидшення виконання виробничих задач. Інженери компанії Boeing продемонстрували застосунок, що використовує ДР для допомоги робітникам при складанні літаків [5]. Випробування з використанням доданої реальності призвело до покращення продуктивності монтажу проводки на 40 %.

Інженери в Iowa State University [6] працюють над системою, що здатна розпізнавати та відстежувати деталі під час складання, накладати на них 3D моделі цих деталей та відображати наступні кроки складального процесу. Проте для того, щоб відстежувати позицію деталі у реальному часі, їм необхід-

но використовувати прилад із датчиками глибини, який за допомогою інфрачервоного проектора створює тривимірне зображення об'єкта.

Розглянуті вище рішення мають спільний недолік. Для їх роботи, не враховуючи створення самого застосунку, необхідно виконати багато підготовчих робіт, що ускладнює процес інтеграції у виробництво. Ці розробки відображають лише технологічний процес складання, проте у багатьох випадках робітникам потрібно отримати інформацію, що стосується складальних одиниць, і функціонал анування 3D моделей вирішив би це завдання.

В результаті аналізу існуючих рішень в області вирощання ДР при виконанні складальних робіт та потреб виробництва наразі запропоновано розробити застосунок та методику використання ДР при виконанні складальних робіт на прикладі циклоїдального редуктора.

Метою даної розробки є зменшення часу складання приладів в умовах одиничного виробництва за рахунок використання технологій ДР. Для досягнення поставленої мети розроблено застосунок у середовищі розробки Unity та запропоновано методику його використання.

Розробка застосунку

Циклоїдний привід або циклоїдний редуктор (рис. 2) – механізм, який використовується для зменшення частоти обертання вхідного валу на певне співвідношення. Циклоїдні редуктори швидкості мають відносно високі числа передач (1:120) в компактних розмірах із дуже низьким люфтом (20 arcsec).

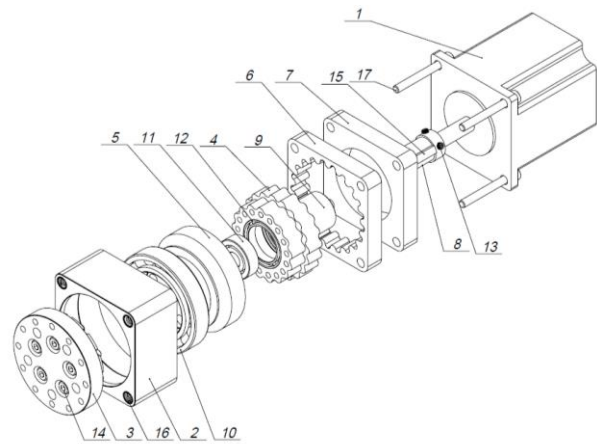


Рис. 2. Циклоїдальний редуктор

Вхідний вал (поз. 8) приводить в рух ексцентричну втулку (поз. 9), яка, у свою чергу, приводить циклоїдний диск (поз. 4) у ексцентричний, циклоїдний рух. Поверхня цього диска знаходиться у контакті з шестернею першої ступені (поз. 6) та шестернею другої ступені (поз. 5).

Друга ступінь приводить у рух вихідний вал (поз. 3) під час обертання циклоїдального диска

(поз. 4). Радіальний рух диска (поз. 4) не передається на вихідний вал (поз. 3).

Перед початком роботи в застосунку Unity необхідно підготувати модель циклоїдального редуктора. Така необхідність виникає через те, що середовище розробки не підтримує форматів файлів, що використовує програма SolidWorks, в якій створено модель циклоїдального редуктора. Unity працює з полігональними 3D моделями. Для зберігання даних 3D-багатокутників є багато форматів, обрано формат файлу .fbx. Для того, щоб зробити цей процес максимально швидким, обрано програму Analysis Situs з функціоналом, що дозволяє конвертувати формат файлу .stp, який може зберегти застосунок SolidWorks, в формат файлу .fbx.

Першим кроком розробки застосунку створено об'єкт під назвою Image Target. Image Targets [7] представляють зображення, які SDK (набір для розробки програмного забезпечення) Vuforia Engine [8] може виявляти та відстежувати. Механізм виявляє та відстежує зображення, порівнюючи витягнуті природні особливості із зображення камери з відомою цільовою базою даних ресурсів.

Для того, щоб застосунок мав можливість відобразити модель саме на маркері, додано 3D модель як об'єкт нащадок до об'єкту Image Target.

Спрощення взаємодії з застосунком досягається завдяки реалізованій можливості складати і розбирати (рис. 3) 3D модель натисканням однієї кнопки. Для цього створено цикл з анімацій, що виконуються у запрограмованому порядку і з визначеною швидкістю та виконуються за умови активності додатково створеного тригера, що буде контролювати користувач.

Для реалізації анімацій в середовищі розробки Unity створено Animator [9]. Інструмент Animator потрібен для застосування анімації до об'єктів, що знаходяться у проєкті. Контролер аніматора дозволяє керувати набором анімацій для об'єкту та перемикається між ними при виконанні умови. Контролер контролює переходи між анімаціями, використовуючи так звану State machine, свого роду програму, яка написана візуальною мовою програмування в Unity. Як базовий функціонал виконано анімацію розбирання та складання 3D моделі циклоїдального редуктора.

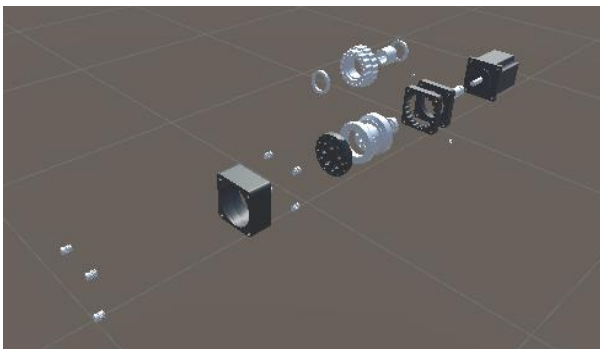


Рис. 3. Розібрана 3D модель циклоїдального редуктора

Для керування анімаціями складання та розбирання 3D моделі циклоїдального редуктора, у робочому просторі створено елемент Animation Button. З метою розширення функціоналу застосунку додано можливість змінювати стан 3D моделі зі складеного в розібраний іншим, а саме покроковим шляхом.

Для реалізації безперешкодної зміни анімацій у довільному порядку створено змінну типу int під назвою step, а як умову для зміни блоків анімацій використовується порівняння значення цієї змінної із номером кроку, який має відбутись при натисканні кнопки. Для програмування кнопок прописано дві функції, що змінюють змінну step, яка порівнюється з вище описаними умовами на кожному кроці. Функція StepForward() викликається кожного разу, коли натискається кнопка «Наступний крок». Для реалізації переходу до попереднього блоку анімації, прописано функцію StepBack(), що має аналогічну логіку, тільки у випадку виконання усіх умов, значення змінної step зменшується на 1. Таким чином відбувається перехід до попередньої анімації. Отримавши робочий функціонал зміни блоків анімацій, розроблено анімацію для кожного кроку складання та розбирання циклоїдального редуктора. Для зручності запропоновано розробляти кроки анімацій, починаючи із зібраного стану редуктора.

Відтворення функціоналу анутовування 3D моделей складається з чотирьох частин:

- створення об'єктів, на яких буде відображена інформація про 3D модель;
- написання програмного коду для анімації відображення анотації та функціоналу обертання раніше створених об'єктів;
- написання програмного коду для забезпечення відображення анотацій тільки за певної умови, що залежить від дій користувача;
- створення сітки для кожної 3D моделі для реалізації умови відображення анотації.

Перший пункт розробки функціоналу анутовування починається зі створення 3D об'єктів анотації: Quad – площина для відображення тексту, Cube та Text. У тексті анотації вказується необхідна інформація для складального процесу: квалітет точності поверхонь, граничні відхилення, посадки, допуски на відхилення форми та розмірів, шорсткість тощо.

Для реалізації функціоналу, який дозволяє анотації завжди бути повернутою до камери, створено скрипт під назвою Face. У функції Start() змінний сам надано посилання на головну камеру у застосунку, тобто камеру користувача. За допомогою функції LookAt() [10] переданий об'єкт обертається до камери користувача.

Наступним кроком кути, на які повернувся об'єкт, зберігаються у раніше створену змінну targetAngle класу Vector3 і надалі для забезпечення обертання тільки за віссю Y значення кутів обертання за всіма X та Z прирівнюються до нуля.

Третім етапом реалізації функціоналу анотацій є відображення інформації тільки за певної умови. З

цією метою розроблено функціонал, при якому аотація відображається за умови наведення центру камери на об'єкт. У функції Update(), що виконується з кожним кадром застосунку, спочатку перевіряється умова: чи створений промінь перетинає будь який з об'єктів, тобто, чи знаходиться 3D модель складальної одиниці в центрі екрану. Функцією CompareTag виконується перевірка, чи має обраний об'єкт додаткову інформацію для відображення. Усі об'єкти, для яких створюється аотація, позначено тегом hasInfo. За наявності потрібного тегу викликається функція OpenInfo, до якої передається компонент <InfoBehavior>() об'єкту, що обробляється на даний момент. У випадку, якщо теги відрізняються, викликається функція CloseInfo.

Останнім етапом реалізації функціоналу аотаваних 3D моделей створено віртуальні габарити об'єкту, його сітку.

Розроблений застосунок може бути скомпільований та інсталюваний на будь-який Android пристрій. Загальний вигляд 3D моделі циклоїдального редуктора в розробленому застосунку представлено на рис. 4.

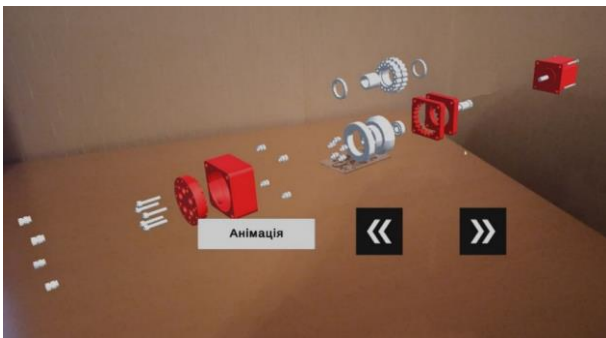


Рис. 4. Загальний вигляд інтерфейсу застосунку на мобільному пристрої

Отримання даних за результатами тестування, їх аналіз та налагодження застосунку

Експериментальне використання застосунку відбувалося на базі стартап проекту LineBar з метою складання циклоїдального редуктора.

Таблиця 1. Порівняння часу складання циклоїдального редуктора з використання розробленого застосунку та без нього

	Робітник 1	Робітник 2	Робітник 3	Робітник 4
Складання з застосунком, хв	5,4	5,8	5,1	4,8
Складання без застосунку, хв	6,9	7,0	6,7	6,8

Для ознайомлення та опрацювання кожного кроку, реалізовано просту та покрокову анімацію складання і розбирання 3D моделі.

Використовуючи кнопки Back та Forward, користувач може переміщуватись по анімації, від розібраного циклоїдального редуктора до зібраного.

Під час виконання складальних робіт, у випадку, коли робітникові необхідна певна інформація

з використанням застосунку робітниками, що ніколи не виконували складальні операції циклоїдального редуктора, час на складання в середньому скоротився на 30 % (табл. 1) порівняно з використанням тільки складального кресленика.

Під час складання робітниками підприємства виявлено деякі недоліки та надані пропозиції щодо покращення застосунку. А саме, запропоновано в аотаціях до 3D моделей вказувати номер позиції деталі та її назву. Незважаючи на складність конструкції, кожен робітник зібрав циклоїдальний редуктор без помилок.

Рекомендації щодо впровадження розробки у виробництво

Використання розробленого застосунку для відображення додаткової цифрової інформації під час складального процесу розраховане на дрібносерійне, одиничне або експериментальне виробництво. Розробка дозволяє зменшити підготовчо-заклучний та основний час процесу складання, цифрові підказки допомагають працівникові швидше зорієнтуватись у нестандартному завданні.

У випадку крупносерійного виробництва із малою кількістю номенклатури також можливе застосування аналогічної розробки, проте тільки у випадку впровадження нової продукції, технологія складання до якої ще не відпрацьована.

Методика використання розробки

Розроблений застосунок має використовуватись працівником у робочий час, під час виконання робочих обов'язків.

Отримавши завдання, роздрукувавши кресленик, робітник направляється на своє робоче місце.

Ознайомившись з креслеником і розташувачи його у безпечному місці, працівник може відкрити застосунок і почати ознайомлюватись з 3D моделлю об'єкту, з яким необхідно проводити складальні роботи.

щодо конкретних складальних одиниць, потрібно розмістити деталь по центру екрану. Якщо застосунок має інформацію для відображення, аотація з'явиться над 3D моделлю деталі.

Перспективи подальших напрямків розвитку розробки

До перспектив розвитку розробленої системи має бути віднесено застосування автоматизації

процесу підготовки моделей складальних одиниць, процесу їх анування та анімації.

Зі зменшенням часу на підготовку цифрових інструкцій збільшується кількість випадків, коли доцільним буде використовувати ДР на складальних ділянках виробництва.

Перспективою описаних досліджень є виконання автоматичного звітування про виконані операції та час, витрачений на них.

Висновки

У роботі розглянуто існуючі способи використання доданої реальності, що використовуються на виробництві для складальних робіт.

Запропоновано розробити застосунок та методику використання ДР при виконанні складальних робіт на прикладі циклоїдального редуктора. Описано функціонал застосунку з анімацією складання і розбирання 3D моделі редуктора.

Функціонал анімацій розділено на повне розбирання та складання, а також поетапну анімацію з можливістю керування.

Реалізовано функціонал анування 3D моделей. Контроль відображення анотацій реалізовано за допомогою керуючої програми, що відображає анотацію за умови розміщення 3D моделі по центру екрану пристрою користувача. Для зручності роботи з застосунком реалізовано функціонал повороту 3D об'єктів анотацій, під час переміщення камери.

Показано, що використання робітниками створеного застосунку під час складання циклоїдального редуктора, може зменшити основний час складання до 30 %.

Як удосконалення розробки запропоновано в подальшому розглянути автоматизацію процесів програмування анімацій та створення анотацій 3D моделей.

Література

- [1] M. L. Yuan, S. K. Ong, & A. Y. C. Nee, "Augmented reality for assembly guidance using a virtual interactive tool", *International Journal of Production Research*, 46:7, 1745-1767, 2008. DOI: 10.1080/00207540600972935.
- [2] 6 Uses of Augmented Reality for Manufacturing In Every Industry. LightGuide, 2022. [Online]. Available: [https://www.lightguidesys.com/resource-](https://www.lightguidesys.com/resource-center/blog/6-uses-of-augmented-reality-for-manufacturing-in-every-industry/)

[center/blog/6-uses-of-augmented-reality-for-manufacturing-in-every-industry/](https://www.lightguidesys.com/resource-center/blog/6-uses-of-augmented-reality-for-manufacturing-in-every-industry/) .

- [3] Market spending on extended reality (XR) technologies worldwide from 2018 to 2023, by industry. Statista, 2021. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/1096765/global-market-spend-on-xr-technologies-by-industry/>
- [4] Konstantinos Lotsaris, Nikos Fousekis, Spyros Koukas, Sotiris Aivaliotis, Niki Kousi, George Michalos, and S. Makris, "Augmented Reality (AR) based framework for supporting human workers in flexible manufacturing", *Procedia CIRP*, 96, pp. 301-306, 2021. ISSN 2212-8271. DOI:10.1016/j.procir.2021.01.091.
- [5] Boeing Tests Augmented Reality in the Factory. [Online]. Available: [www.URL:https://www.boeing.com/features/2018/01/augmented-reality-01-18.page](http://www.boeing.com/features/2018/01/augmented-reality-01-18.page), 19.01.2018.
- [6] R. Radkowski, "Object tracking with a range camera for augmented reality assembly assistance", *J. Comput. Inf. Sci. Eng.*, 16(1), 011004, Mar 2016. DOI: 10.1115/1.4031981.
- [7] Markerless vs. Marker-based AR with Examples – Aircards. [Online]. Available: www.aircards.co/blog/markerless-vs-marker-based-ar-with-examples (accessed Dec. 07, 2021).
- [8] Unity Technologies, "Unity - Manual: Vuforia," Unity3d.com, 2018. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/2018.4/Documentation/Manual/vuforia-sdk-overview.html> (accessed Nov. 28, 2022).
- [9] Control units |Visual Scripting| 1.5.2. [Online]. Available: [docs.unity3d.com. https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.visualscripting@1.5/manual/vs-control.html](https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.visualscripting@1.5/manual/vs-control.html) (accessed Nov. 28, 2022)
- [10] С. О. Цибульник, К. С. Барандич, *Технології розроблення програмного забезпечення. Частина 1. Життєвий цикл програмного забезпечення* [Електронний ресурс]: підручник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 270 с. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50623>

UDC 004.946:681.2

¹⁾Oleh Chyhrin, ¹⁾Kateryna Barandych, ^{1),2)}Maksym Gladskyi

¹⁾National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

²⁾Progresstech-Ukraine, Kyiv, Ukraine

AUGMENTED REALITY APPLICATION FOR ASSEMBLY DESIGN OF CYCLOIDAL GEARBOX

Modern productions are moving towards full automation of product manufacturing, however, for now some physical

processes cannot be fully automated, and that is why it remains some manual performance using labor resources. Similar processes occur both in mass production and in individual or experimental production.

In the startup project LineBar, it was proposed to use a cycloidal gearbox to increase the torque of the stepper motor, however, due to the complexity of the design, it was required to develop the tooling to reduce the time for assembly operation settlement. Augmented reality technologies were used to implement such a task.

This paper presents the tooling development process. It is described a preparation of 3D model of cycloidal gearbox for Unity application, which has all the necessary functions to create the tooling. The process of basic functionality development is shown, which is a display of 3D model on prepared marker, assembly and disassembly animation of cycloidal gearbox. To expand the functionality, the ability to step-by-step switch the animation of gear assembly has been added. Animations are controlled using the created "Animation", "Forward" and "Back" buttons.

The process of the annotation development function of 3D models is described, namely the creation of 3D annotation objects, the development of the information display function considering a placement of component unit at the center of the screen, and the implementation of the annotation reversal function when the user's camera is rotated.

The result of this work is created application, which can be used to reduce the time for the assembly operation of the cycloidal gearbox. It was found a 30% time reduction for assembly operation using the application compared to the regular method.

For future work, it is proposed to automate the preparation of 3D models, their animation and annotation in the Unity environment, to reduce the time for expanding the application functions, which will affect the scaling the application to larger production.

Keywords: assembly; cycloidal gearbox; augmented reality; Unity.

Надійшла до редакції

25 жовтня 2022 року

Рецензовано

18 листопада 2022 року



© 2022 Copyright for this paper by its authors.
Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).