

*О. Р. СТРИЛЕЦЬ, О. В. МАЛАЩЕНКО, А. А. СТЕПАНЮК*

### **ЗАСТОСУВАННЯ ТРЬОХМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗМІРІВ ПРИБОРУ КЕРУВАННЯ ЗМІНОЮ ШВИДКОСТІ ЗУПИННИКОМ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ У ВИГЛЯДІ ЗАМКНУТОЇ ГІДРОСИСТЕМИ**

Метою даної роботи є виконати трьохмірну модель нового пристрою зміни швидкості за допомогою інженерної CAD системи Solidworks. Зокрема, у статті описуються методи комп'ютерної побудови трьохмірної моделі зупинника обертального руху у вигляді замкнутої гідросистеми пристрою для плавного керування змінами швидкості через зубчастий диференціал. Ланкою керування може бути або епіцикл, або водило, або сонячне зубчасте колесо. Розглянуті способи створення нових деталей пристрою, використання виробів зі стандартних бібліотек та узгодження їх розмірів у зборці. Можливість параметризувати розміри дозволяє автоматизувати створення як окремої деталі, так і всього пристрою конкретної конструкції, базуючись на заданих вихідних даних. Накладання спеціальних спів'язань для моделювання рухомих та нерухомих з'єднань дозволяє правильно розмістити деталі, контролювати правильність їх зборки, а в подальшому проводити кінематичні та силові дослідження пристрою, анімувати його елементи в русі. Робиться висновок, що використання комп'ютерного трьохмірного моделювання при проектуванні таких зупинників дозволяє: на початковій стадії проектування отримати візуальне уявлення про зупинник обертального руху; за допомогою комп'ютера оглянути створену модель з довільної точки; легко редагувати трьохмірні моделі, тобто вносити необхідні зміни; досягати великої економії часу і витрат на проектування; отримати велике число можливих варіантів проектних рішень, які потрібно детально та глибоко проаналізувати і вибрати раціональний, тобто самий кращий. Створена модель зупинника обертального руху дозволяє вибрати оптимальне місце установки його у зубчастому диференціалі пристрою зміни швидкості з точки зору використання мінімальних розмірів об'єму. Виходячи з цього, комп'ютерне моделювання має передувати конструюванню.

**Ключові слова:** трьохмірне моделювання; зупинник обертального руху; замкнута гідросистема; зубчастий диференціал

*О. Р. СТРИЛЕЦЬ, О. В. МАЛАЩЕНКО, А. А. СТЕПАНЮК*

### **ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕРОВ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЕМ СКОРОСТИ СТОПОРОМ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В ВИДЕ ЗАМКНУТОЙ ГИДРОСИСТЕМЫ**

Целью данной работы является выполнить трехмерную модель нового устройства изменения скорости с помощью инженерной CAD системы Solidworks. В частности, в статье описываются методы компьютерного построения трехмерной модели стопора вращательного движения в виде замкнутой гидросистемы устройства плавного управления изменениями скорости через зубчатый дифференциал. Звеном управления может быть или эпицикл, или водило, или солнечное зубчатое колесо. Рассмотрены способы создания новых деталей устройства, использование изделий из стандартных библиотек и согласования их размеров в сборке. Возможность параметризовать размеры позволяет автоматизировать создание как отдельной детали, так и всего устройства конкретной конструкции, основываясь на заданных исходных данных. Наложение специальных сопряжений, для моделирования подвижных и неподвижных соединений, позволяет правильно разместить детали, контролировать правильность их сборки, а в дальнейшем проводить кинематические и силовые исследования устройства, анимировать его элементы в движении. Делается вывод, что использование компьютерного трехмерного моделирования при проектировании таких стопоров позволяет на начальной стадии проектирования получить визуальное представление о стопорах вращательного движения; с помощью компьютера просмотреть созданную модель с любой точки; легко редактировать трехмерные модели, то есть вносить необходимые изменения; достигать большой экономии времени и затрат на проектирование; получить большое число возможных вариантов проектных решений, которые нужно детально и глубоко проанализировать и выбрать оптимальный, то есть самый лучший. Созданная модель стопора вращательного движения позволяет выбрать оптимальное место установки его в зубчатом дифференциале устройства изменения скорости с точки зрения использования минимальных размеров и объема. Исходя из этого, компьютерное моделирование должно предшествовать конструированию.

**Ключевые слова:** трехмерное моделирование; стопор вращательного движения; замкнутая гидросистема; зубчатый дифференциал

*О. STRILETS, O. MALASHCHENKO, A. STEPANIUK*

### **APPLICATION OF THREE-DIMENSIONAL MODELING TO OPTIMIZE THE DIMENSIONS OF THE SPEED CONTROL DEVICE WITH ROTARY STOPPER IN THE FORM OF A CLOSED-LOOP HYDRAULIC SYSTEM**

The aim of this work is to create a three-dimensional model of a new speed change control device using an engineering CAD system Solidworks. In particular, the article describes the methods of computer construction of a three-dimensional model of a rotary stopper in the form of a closed-loop hydraulic system of the device for smooth control of speed changes through a gear differential. The control link can be either a ring gear, or a carrier, or a sun gear. Ways of creating new parts of the device, use of elements from standard libraries and coordination of their dimensions in assembly have been considered. The ability to parameterize the dimensions allows you to automate the creation of both a single part and the whole device of a particular design, based on the specified source data. The application of special meshes for modeling movable and fixed joints allows you to correctly place the parts, control the correctness of their assembly, and then conduct kinematic and power studies of the device, animate its elements in motion. It has been concluded that the use of computer three-dimensional modeling in the design of such stoppers allows: at the initial stage of design to get a visual idea of the stopper of rotational motion; use a computer to view the created model from any point; easy to edit three-dimensional models, i.e. make the necessary changes; achieve great savings in time and design costs; get a large number of possible design solutions that need to be analyzed in detail and in depth to choose the rational, i.e. the best fit. The created model of the stopper of rotational movement allows to choose the optimal place of its installation in a gear differential of the device of speed change from the point of view of use of the minimum sizes and volume. Based on this, computer simulation must precede design.

© О. Р. Стрілець, О. В. Малащенко, А. А. Степанюк, 2021

**Keywords:** three-dimensional modeling; rotary stopper;

closed-loop hydraulic system; gear differential

**Вступ.** Пристрої зміни швидкості знайшли саме широке поширення в найрізноманітніших областях техніки. В даний час багато відомих пристроїв у вигляді ступінчастих і безступінчастих коробок швидкостей використовують у транспортних, гірничих, будівельних, дорожніх, меліоративних і сільськогосподарських машинах, автомобілях і тракторах, на судах, літальних і підводних апаратах, у верстатах, на підйомно-транспортному устаткуванні тощо. Основними недоліками ступінчастого керування швидкістю за величиною та напрямком є: складність конструкції пристроїв, висока матеріаломісткість, великі динамічні навантаження, які виникають під час переходу з однієї швидкості на другу навіть зі синхронізаторами. Для безступінчастого керування швидкістю через зубчасті диференціали основним недоліком є інтенсивне спрацювання деталей внаслідок тертя із-за використання блокувальних фрикційних стрічкових, колодкових і дискових гальм і блокувальних фрикційних муфт. Вказані недоліки негативно впливають на довговічність і надійність деталей механічних приводів і машин в цілому.

Крім того, зубчасті диференціали володіють двома степенями вільності, тому можуть мати дві ведучі ланки, а одну – ведену, або дві ведені, а одну ведучу ланки. Із трьох основних рухомих ланок: епіцикла, водила, або сонячного зубчастого колеса приймаємо за ланку керування з кутовою швидкістю  $\omega_k = \omega_{k \max}$  до 0 і на веденій ланці отримуємо зміну швидкості ( $\omega_{вд} = var$ ) при постійній швидкості ведучої ланки ( $\omega_{вч} = const$ ).

Із-за недоліків безступінчастого керування змінами швидкості запропонований новий спосіб і пристрій для керування змінами швидкості на основі зубчастих диференціалів з зупинниками обертального руху у вигляді замкнутих гідросистем, наприклад, [1]. Для цього використано приклад [2] пристрою керування змінами швидкості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** До уваги взяті роботи, у яких виконані дослідження, присвячені пристроям зміни швидкості з зубчастим диференціалом, застосуванням комп'ютерного 3D моделювання [3–8]. В [3] запропоновано комп'ютерне 3D моделювання пристрою для плавного керування змінами швидкості через зубчастий диференціал з замкнутою гідросистемою.

В [4] розглядається планування проектування та зборки механічних елементів у редукторі з використанням прикладних пакетів програм, в тому числі AutoCAD Mechanical для побудови моделей.

В [5] описана методика моделювання HYGESim зовнішніх шестеренних насосів, що працюють з ньютонівими рідинами, що мають різні характеристики в'язкості, а також описано кілька порівнянь між результатами моделювання та експериментальними даними, отриманими для перевірки представленої методики.

В [6] проведено тривимірне числове моделювання зовнішнього шестеренного насоса для

вивчення впливу параметрів 3D геометричного проектування на експлуатаційні характеристики насоса, такі, як витрата внутрішнього тиску, локальної кавітації та пульсації тиску подачі. Метод (ISM) був використаний для імітації роботи насоса в екстремальних умовах з високою швидкістю обертання. В [7] розглядається трьохмірне моделювання поверхонь зубців коліс зубчастих передач у CAD системах для генерації програм до верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК).

В [8] приведені матеріали у вигляді тез, що доповідалися на Міжнародних науково-технічних конференціях і симпозіумах, які відносяться до трьохмірного (3D) комп'ютерного моделювання пристроїв зміни швидкості.

Із аналізу останніх публікацій видно, що наукові роботи, пов'язані з застосуванням трьохмірного моделювання до пристроїв зміни швидкості через зубчасті диференціали з шестеренчастими гідронасосами, мало застосовані.

**Мета роботи** – виконати трьохмірну (3D) модель у CAD системах [9–12] пристрою зміни швидкості за допомогою зубчастого диференціала і зупинника обертального руху в вигляді замкнутої гідросистеми, коли ланкою керування є водило, а ведучою може бути або сонячне зубчасте колесо, або епіцикл.

**Вклад основного матеріалу.** На рис. 1 показаний пристрій для керування швидкістю з зубчастим диференціалом та зупинником обертального руху. Детальний опис конструкції та принципу роботи такого пристрою наведений в [2].

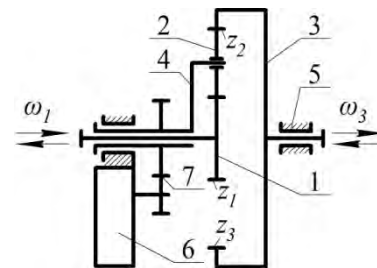


Рисунок 1 – Схема пристрою для керування змінами швидкості через водило: 1 – сонячне зубчасте колесо; 2 – сателіти; 3 – епіцикл; 4 – водило; 5 – корпус

На рис. 2 показана схема зупинника обертального руху, де він містить шестеренчастий гідронасос 1 із всмоктувальним 2 і напірним 3 патрубками. На всмоктувальному патрубку 2 встановлений зворотний клапан 4, а на напірному патрубку 3 – регулювальний кран 5. Рідина 6 розміщена в ємності 7, а може бути розміщена в картері корпуса зубчастого диференціала.

Такий зупинник обертального руху працює так. Ланка, яку потрібно зупиняти, приводить в рух шестеренчастий гідронасос 1, який засмоктує через зворотний клапан 4 всмоктувального патрубку 2 рідину 6 із ємності 7, або із картера зубчастого диференціала, і подає її у напірний патрубок 3, а

далі через регулювальний кран 5 назад у ємність 7 або у картер зубчастого диференціала, коли цей регулювальний кран 5 відкритий. Коли регулювальний кран 5 закритий, тоді шестеренчастий гідронасос 1 застопорений, тобто зупинений. Від пропускної здатності регулювального крана 5 буде залежати кутова швидкість шестерень гідронасоса 1 і вала, що зупиняється. Тобто в залежності від пропускної здатності регулювального крана 5 кутова швидкість шестерень гідронасоса 1 буде плавно зменшуватись до нуля і його зупинки. Оскільки на всмоктувальному патрубку 2 поставлений зворотній клапан 4, то він забезпечує надійність його стопоріння – не дозволяє виходити із стопорного стану гідросистеми.

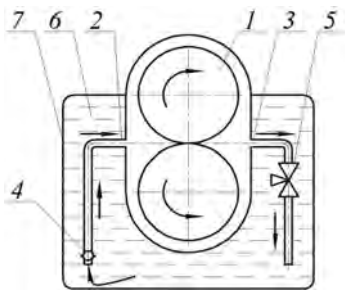


Рисунок 2 – Гідравлічна схема зупинника:

1 – шестеренчастий гідронасос; 2 – всмоктувальний патрубок; 3 – напірний патрубок; 4 – зворотний клапан; 5 – регулювальний кран; 6 – рідина; 7 – ємність для рідини

Розглянемо випадок, коли ведучою ланкою буде сонячне зубчасте колесо, а веденою – епіцикл. Керування зміною швидкості веденої ланки – епіцикла здійснюється через водило. Якщо прийняти куту швидкість ведучої ланки за  $\omega_1 = \text{const}$ , тоді за рахунок зміни швидкості водила ( $\omega_4 = \text{var}$ ) за допомогою замкнутої гідросистеми можна плавно змінювати швидкість веденої ланки – епіцикла ( $\omega_3$ ). Маємо те, що водило через зубчасту передачу приводить у рух шестеренчастий гідронасос, який перекачує рідину в замкнутій гідросистемі, або

зупинений, як пояснено вище. Таким чином, залежно від пропускної здатності регулювального крана швидкість водила ( $\omega_4$ ) змінюється від  $\omega_{4 \max}$  до 0 і при цьому змінюється швидкість епіцикла ( $\omega_3$ ). Аналогічно буде виконуватись зміна швидкості в зворотному напрямку, коли ведучою ланкою буде епіцикл, а веденою ланкою – сонячне зубчасте колесо.

Будь-яке дослідження конструкцій нових пристроїв не може обійтись без їх конструювання, виготовлення експериментального зразка та проведення експериментальних досліджень. Даний процес є одним із найзатратніших етапів розробки технічних об'єктів. Сучасні комп'ютерні технології дозволяють зменшити вартість виготовлення та фінального експерименту за рахунок використання комп'ютерного моделювання та стимуляційних досліджень з використанням сучасних CAD/CAM систем, таких як, наприклад, Solidworks, Autodesk Inventor чи Fusion 360.

Вищезгадані інженерні САПР дозволяють створити твердотільні 3D моделі необхідних пристроїв, вдосконалити їх будову, провести кінематичні дослідження та силові розрахунки без виготовлення реального зразка та необхідності шукати додаткове експериментальне обладнання.

Розробка трьохмірних моделей – це творчий процес, в якому одну і ту ж модель можна побудувати різними способами та в іншому порядку. Оскільки ми маємо справу із віртуальними об'єктами, їх конструкцію можна неодноразово і швидко переосмислювати і переробляти без необов'язкових витрат матеріалів та виробничих ресурсів. В процесі переробки ми одразу можемо побачити зображення очікуваного результату та або прийняти його як остаточний, або внести подальші правки. Це дає нам можливість відточити конструкцію до оптимальної, з врахуванням розміщення деталей, мінімальних габаритів, ресурсозберігаючого виготовлення, зручності збирання та обслуговування.



Рисунок 3 – Моделі деталей зубчастого диференціала

Так на рис. 3 сформовані та показані твердотільні моделі деталей зубчастого диференціала, створені за допомогою Solidworks. Деталі, розподілені по лівій

стороні рисунку, відносяться до ведучого сонячного зубчастого колеса, а по правій стороні – до веденого вала і епіцикла з корпусом, орієнтуючись на те, щоб

у частинах корпусів із розподілених моделей деталей утворити зборки.

Далі моделюємо деталі зупинника обертального руху у вигляді замкнутої гідросистеми і його привода від водила (показані на рис. 4).

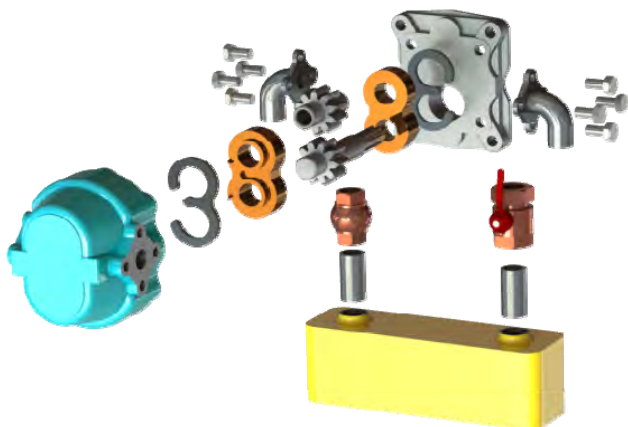


Рисунок 4 – Моделі деталей замкнутої гідросистеми

У даному випадку нами змодельовані всі деталі, які входять до складу замкнутої гідросистеми, в тому числі і гідронасос, розміри якого взяті із [13] і модель його достатня за зовнішніми розмірами як покупної деталі.

Окрім вказаних переваг трьохмірного моделювання, додаткової зручності додає те, що інженеру не потрібно створювати стандартні деталі. Переважна більшість їх внесена до стандартних бібліотек CAD систем. Підшипники, деталі нарізевих з'єднань, шпонки, манжети та інші вироби занесені в різноманітні стандарти, що найчастіше використовуються в практиці машинобудування, можна просто взяти з бібліотеки, вибравши необхідний стандарт та розміри.

Отримані змодельовані деталі та необхідні типові вироби із бібліотек збираємо в складальні одиниці, звертаючи увагу на утворення правильних спряжень – нерухомих, де необхідно, але особливо рухомих, щоб забезпечити можливість проведення в подальшому кінематичних досліджень чи простого анімування пристрою засобами обраної САПР.

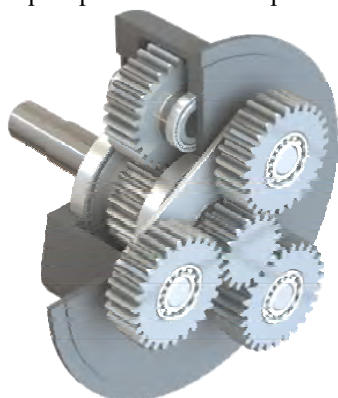


Рисунок 5 – Модель зборки деталей водила з колесом привода замкнутої гідросистеми

Далі на рис. 5 і 6 наведено моделі зборок,

відповідно, ведучого і веденого валів з іншими деталями зубчастого диференціала приводу пристрою.



Рисунок 6 – Модель зборки зубчастого колеса – епіцикла, корпус і веденого вала

На рис. 7 показана модель зборки замкнутої гідросистеми з окремою ємністю для рідини. У приводі гідросистеми ємність рідини може замінити картер корпусу зубчастого диференціала.

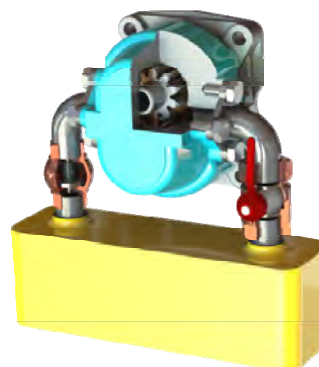


Рисунок 7 – Модель зборки замкнутої гідросистеми

На рис. 8 показана модель зборки привода замкнутої гідросистеми, яка містить два зубчасті колеса, одне на водилі, а друге – на приводному валу шестеренчастого гідронасоса.



Рисунок 8 – Модель зборки привода гідросистеми

Після завершення моделювання окремих деталей і простіших зборок зубчастого диференціала і пристрою у вигляді замкнутої гідросистеми для плавного керування змінами швидкості виконуємо зборку загального вигляду моделі, показану на рис. 9. Зборка є завершальним етапом любого виробу в CAD системах.

Таку модель можна анімувати для демонстрації

принципів її роботи та порядку збирання і розбирання, проводити дослідження кінематичних параметрів.

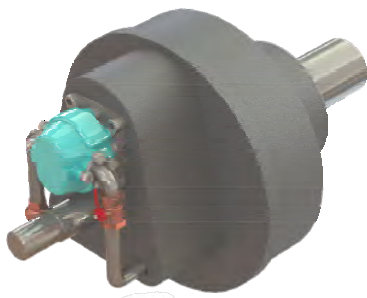


Рисунок 9 – Модель-зборка диференціала із замкнутою гідросистемою керування через водило

І, на кінець, для виконаної зборки змодельованої зубчастої диференціальної передачі з пристроєм у вигляді замкнутої гідросистеми для плавного керування змінами швидкості через водило виконують розрізи, щоб максимально відкрити і відобразити її внутрішню будову (рис. 10).

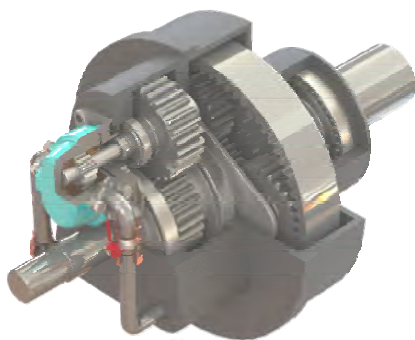


Рисунок 10 – Модель-зборка диференціала з замкнутою гідросистемою і внутрішньою будовою

При необхідності проведення силових досліджень окремих деталей чи з'єднань потрібно спростити конструкцію цих виробів для полегшення роботи програми. Однак цей процес не є складним, якщо вже є розроблена точна модель.

**Обговорення результатів.** Використання комп'ютерного тривимірного моделювання при проектуванні пристроїв для керування змінами швидкості дозволяє:

- на початковій стадії проектування отримати візуальне уявлення про пристрій та оглянути його за допомогою комп'ютера з довільної точки;

- легко редагувати трьохмірні моделі, тобто вносити необхідні зміни і з-за цього підвищувати точність проектування, досягати великої економії часу і витрат;

- отримати велике число можливих варіантів проектних рішень, які потрібно детально та глибоко проаналізувати і вибрати раціональний з оптимальними розмірами;

- можливість параметризувати розміри дозволяє автоматизувати створення як окремої деталі, так і всього пристрою конкретної конструкції, базуючись на заданих вихідних даних;

- накладання спеціальних спряжень для моделювання рухомих та нерухомих з'єднань, дозволяє правильно розмістити деталі, контролювати правильність їх зборки, а в подальшому проводити кінематичні та силові дослідження пристрою, анімувати його елементи в русі.

Створена модель зупинника обертального руху дозволяє вибрати оптимальне місце установки його у зубчастому диференціалі пристрою зміни швидкості з точки зору використання мінімальних розмірів об'єму, та зручності монтажу.

**Висновки.** Виходячи з отриманого досвіду створення трьохмірної моделі зупинника обертального руху пристрою зміни швидкості, можна зробити висновок, що комп'ютерне моделювання має передувати конструюванню.

#### Список літератури

1. Пат. 146683, Україна, МПК F16D71/00. *Зупинник обертального руху*. Стрілець О.Р., Малащенко В.О., Стрілець В.М.; опубл. 10.03.21, Бюл. №5.
2. Стрілець О.Р. Керування процесом зміни швидкості за допомогою диференціальної передачі через водило. *Вісник Кременчуцького національного університету*. Кременчук: Кр.НУ, 2015. Вип. 6(95). С. 72–76
3. Стрілець О. Комп'ютерне моделювання диференціальних передач з пристроєм для керування швидкістю. *Всеукраїнський науково-виробничий журнал «Машинознавство»*. 2009, № 4 (128), С. 35–39.
4. Letić D., Davidović B., Berković I., Radulović B., Savičić J. Planning of designing and installation of mechanical elements at the gear speed reducer on the basis of the parameter technology. *J. Metalurgija*, 2013, Vol. 52, No. 1, pp. 115-118.
5. Yonghan Yoon, Byung-Ho Park, Jaesool Shim, Yong-Oun Han, Byeong-Joo Hong, Song-Hyun Yun, Numerical simulation of three-dimensional external gear pump using immersed solid method. *Applied Thermal Engineering*, 2017, Vol. 118, pp 539–550. doi:10.1016/j.applthermaleng.2017.03.014
6. Rituraj, F.; Vacca, A. External gear pumps operating with non-Newtonian fluids: Modelling and experimental validation. *Mech. Syst. Signal Process.*, 2018, Vol. 106, pp. 284–302. doi:10.1016/j.ymssp.2017.12.042
7. Стрельников В. Н., Суков М. Г. Трехмерное моделирование поверхностей зубьев в САД системах для генерации программы к станкам с ЧПУ. *Вестник национального технического университета «ХПИ»: Сб. научных тр.: Серия «Машиноведение и САПР»*. Харьков : НТУ «ХПИ», 2018. №25 (1301). С. 135–139. doi:10.20998/2079-0775.2018.25.25.
8. Стрілець О.Р. Використання 3D моделювання для оптимізації розмірів при проектуванні пристрою керуванням зміною швидкості через епіцикл. *Матеріали Міжнародної наук.-техн. конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» (14-15 травня 2020р.)*, Тернопіль : ТНТУ, С. 113–114.
9. Дудаєва Н., Загайко С. *Самоучитель Solid Works 2010*. Санкт-Петербург : BHV-СПб, 2011. 416с.
10. Кидрук М.И. *Компас–3D V10*. СПб. : Питер, 2009. 560 с
11. Козяр М.М., Фецуц Ю.В. *Комп'ютерна графіка AutoCAD : Навчальний посібник*. Херсон : Грінв Д.С., 2015. 304 с.
12. Козяр М. М., Фецуц Ю. В., Парфенюк О. В.

Комп'ютерна графіка. SolidWorks : Навчальний посібник. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. 252 с.

13. Насосы шестеренные. Каталог. URL: <https://www.hydsosila.com>. (дата звернення: 10.04.2021).

#### References (transliterated)

1. Pat. 146683, Ukraine, IPC F16D71/00. *Zurupnyk oberta'noho rukhu* [Rotary stopper]. Strilets O. R., Malashchenko V. O., Strilets V. M.; publ. 10.03.21, Bull. no.5.
2. Strilets O. R. Keruvannya protsesom zminy shvydkosti za dopomohoyu dyferentsialnoi peredachi cherez vodylo [of Speed change process control by epucyclic gear thain through the carrier]. *Herald of Kremenchuk National University*. Kremenchuk: KrNU, 2015. Iss. 6(95). pp. 72–76
3. Strilets O. Kompiuterne modeliuвання dyferentsialnykh peredach z prystroiem dlia keruvannya shvydkistiu [Computer modelling of differential gears with speed control device.]. *J. «Mashynoznavstvo»*. 2009, № 4 (128), pp. 35–39.
4. Letić D., Davidović B., Berković I., Radulović B., Savičić J. Planning of designing and installation of mechanical elements at the gear speed reducer on the basis of the parameter technology. *J. Metalurgija*, 2013, vol. 52, no. 1, pp. 115-118.
5. Yonghan Yoon, Byung-Ho Park, Jaesool Shim, Yong-Oun Han, Byeong-Joo Hong, Song-Hyun Yun, Numerical simulation of three-dimensional external gear pump using immersed solid method. *Applied Thermal Engineering*, 2017, vol. 118, pp 539–550. doi:10.1016/j.applthermaleng.2017.03.014
6. Rituraj, F.; Vacca, A. External gear pumps operating with non-Newtonian fluids: Modelling and experimental validation. *Mech. Syst. Signal Process*, 2018, vol. 106, pp. 284–302. doi:10.1016/j.ymsp.2017.12.042
7. Strel'nikov V. N., Sukov M. H. Trekhmernoye modelirovaniye poverkhnostey zub'yev v CAD sistemakh dlya generatsii programmy k stankam s ChPU [Three-dimensional modelling of surfaces of teeth in CAD systems to generate programs to machine tools with CAD]. *Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series: Engineering and CAD*. Kharkiv : NTU «KhPI», 2018, no. 25 (1301), pp. 135–139. doi:10.20998/2079-0775.2018.25.25.
8. Strilets O. R. Vykorystannya 3D modelyuvannya dlya optymizatsiyi rozmiriv pry proektuvanni prystroyu keruvannyam zminoyu shvydkosti cherez epitsykl [Application of 3D modeling to optimize dimensions when designing a speed change control device through the ring gear]. *Materialy Mizhnarodnoyi naukovy-tekhnichnoyi konferentsiyi «Fundamental'ni ta prykladni problemy suchasnykh tekhnolohiy» (14-15 travnya 2020r.)* [Proc. of the Int. Sc. and Tech. Conf. "Fundamental and Applied Problems of Modern Technologies" (May 14-15, 2020)], Ternopil : TNTU, pp. 113–114.
9. Dudaeva N., Zahaiko S. *Samouchitel' Solidworks 2010* [Solidworks 2010 Tutorial]. SPb. : BHV- SPb, 2011. 416 p.
10. Kidruk M.I. *Kompas – 3D V10*. SPb. : Piter, 2009. 560 p.
11. Koziar M.M., Feshchuk Ju.V. *Kompiuterna hrafika AutoCAD* [Computer graphics in AutoCAD]. Kherson : Hrin D.S., 2015. 304 p.
12. Koziar M. M., Feshchuk Ju. V., Parfeniuk O. V. *Kompiuterna hrafika Solidworks* [Computer graphics in Solidworks]. Kherson: OLDI-PLUS, 2018. 252 p.
13. Gear pumps. Calalogue. Available at: <https://www.hydsosila.com>. (accessed 10.04.2021).

Надійшла (received) 08.04.2021

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Стрілець Олег Романович (Стрилец Олег Романович, Strilets Oleh)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет водного господарства та природокористування, доцент кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства; м. Рівне, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3834-7176>; e-mail: o.r.strilets@nuwm.edu.ua.

**Малащенко Олег Володимирович (Малащенко Олег Владимирович, Malashchenko Oleh)** – учень, ДНЗ «Львівське вище професійне училище інформаційно-комп'ютерних технологій», Львів, Україна.

**Степанюк Антон Адамович (Степанюк Антон Адамович, Stepaniuk Anton)** – кандидат технічних наук, Національний університет водного господарства та природокористування, асистент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності; м. Рівне, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4213-9719>; e-mail: a.a.stepaniuk@nuwm.edu.ua.