

## ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 62-93

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.6.1/02>

**Габовда О.В.**

Мукачівський державний університет

**Одошевський О.С.**

Мукачівський державний університет

### ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ ЗАСОБАМИ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ SOLIDWORKS

*Парадигма параметричного моделювання, появі якого завдячуємо американській компанії PTC (Parametric Technology Corporation), що випустила у 1987 році програмний продукт Pro/ENGINEER (сучасна назва CreoParametric), використовується у більшості сучасних систем автоматизованого проектування. В статті представлена методика параметричного моделювання черв'ячної передачі з одно-, дво- або чотирьох західним архімедовим черв'яком. На відміну від зубчастих передач, де елементи відрізняються тільки параметрами, параметризація черв'ячних передач з використанням інструменту «Рівняння» не практикується через неоднорідність форм їх елементів. Черв'як має гвинтову форму, що передбачає застосування спіралі при його побудові, процес параметричного представлення якої має свої особливості. Але, враховуючи величезні переваги параметризації, пов'язані з ефективністю проектування виробів, автори вважають доцільним створення черв'ячної передачі через параметризацію. Черв'ячні передачі, як й всі механічні передачі, є типовими конструкціями, що масово виготовляються та широко використовуються у промисловості, тому скорочення часу проектування нових моделей передач шляхом зміни параметрів або геометричних співвідношень на даний час є дуже актуальним. Система автоматизованого проектування SolidWorks є лідируючою серед програмних комплексів середнього класу завдяки зручному інтерфейсу, багатofункціональності та наявності гнучкої системи налаштувань. Параметризація за допомогою рівнянь у SolidWorks дозволяє створювати взаємопов'язані параметри елементів зачеплення черв'ячної пари, що автоматично оновлюються при їх зміні. Мета роботи – прискорити процес проектування нових конструкцій черв'ячних передач засобами параметризації SolidWorks, розробивши параметричні моделі черв'яка і черв'ячного колеса, з акцентуванням уваги на способах уникнення параметричних ускладнень при побудові спіралі.*

**Ключові слова:** моделювання, черв'ячна передача, параметризація, математична модель, рівняння, ефективність проектування.

**Постановка проблеми.** Підвищення ефективності проектування, скорочення термінів випуску нових технічних систем потребує широкого застосування параметризації, яка дає можливість на основі однієї моделі створювати багато подібних конфігурацій шляхом зміни параметрів (розмірів та взаємозв'язків між її компонентами), що значно полегшує роботу конструктора.

Механічні передачі є невід'ємними складовими приводів машин та інших механізмів, тому проектується і масово виготовляються в різно-

манітних модифікаціях. Найбільш розповсюдженими є зубчасті передачі, для яких розроблено багато рішень параметричного моделювання.

На відміну від них, розробка моделей черв'ячних передач не має такої практики у зв'язку з неоднорідністю форм елементів передачі, що ускладнює процес параметризації. Черв'як має форму гвинта з одним чи декількома заходами. Стандартом регламентовано виготовлення одно-, дво- та чотирьох західних черв'яків. Тому для створення параметричної моделі черв'яка, крім

Уравнения, глобальные переменные и размеры

Отфильтровать все поля

Имя	Значение / Уравнение	Равняется	Заметки
<input type="checkbox"/> Глобальные переменные			
"m"	= 3.5	3.50	Модуль
"z1"	= 4	4.00	Кількість заходів червяка
"z2"	= 50	50.00	Кількість зубів колеса
"q"	= 12.5	12.50	Коефіцієнт діаметра червяка
"d1"	= "m" * "q"	43.75	Дільний діаметр червяка
"da1"	= "m" * ("q" + 2)	50.75	Діаметр вершин червяка
"df1"	= "m" * ("q" - 2.4)	35.35	Діаметр западин червяка
"b1"	= int ("m" * (12.5 + 0.09 * "z2" ))	59.00	Ширина нарізаної частини червя
"p"	= pi * "m" * "z1"	43.98	Хід витка спіралі

Добавить глобальную переменную

OK  
Отмена  
Импорт...  
Экспорт...  
Справка

Рис. 1. Глобальні зміни в файлі «Черв'як»

основних параметрів, потрібно враховувати ще три його модифікації, які залежать від кількості заходів червяка. Крім того, за формою профілю витків у торцевій площині черв'як може бути архімедів, конволютний та евольвентний. Відмінність у створенні моделей цих черв'яків полягає у виборі положення додаткової площини, що проходить через початок спіралі, на якій буде будуватися профіль кожного з них. Автори статті обмежились дослідженням побудови архімедова червяка і відповідного йому черв'ячного колеса.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Параметричне проектування передбачає створення конструктором математичної моделі на основі алгоритму опису кожного компоненту об'єкту. Математична модель є системою рівнянь, «...що описують виділені фізичною моделлю істотні процеси, а також початкові і граничні умови... За допомогою математичного моделювання рішення наукової або інженерної задачі зводиться до вирішення математичної задачі» [1, 2]. «Створення параметризованої конструкції на практиці означає створення алгоритму, який забезпечує синтез конструкції з окремих геометричних елементів, що передбачає можливості модифікації конструкції в певному діапазоні, описує закони функціонування конструкції» [3].

На перевагах параметричного моделювання акцентовано увагу багатьох науковців-практиків, які підкреслюють, що автоматизований спосіб конструювання під час проектування механічних елементів гарантує їх оптимальну функціональність [4-7].

**Постановка завдання.** Задачею авторів було розробити методику побудови параметричних моделей робочих елементів черв'ячної пари зачеплення у програмному комплексі SolidWorks, застосовуючи інструмент «Рівняння» у зв'язку з відсутністю такої практики.

**Виклад основного матеріалу.** Моделювання черв'ячної пари з циліндричним архімедовим

черв'яком виконується після попередніх кінематичного та силового розрахунків з подальшим виконанням проектного розрахунку, що передбачає визначення основних геометричних параметрів. Такими параметрами є: модуль зачеплення  $m$ , кількість заходів червяка  $z_1$ , кількість зубців черв'ячного колеса  $z_2$ , коефіцієнт діаметра червяка  $q$ . На їх основі розраховуються інші параметри: всі необхідні діаметри, уточнена міжосьова відстань  $a$ , довжина нарізаної частини червяка  $b_1$ , ширина зубчастого вінця колеса  $b_2$ , хід витка червяка  $p$  та інші. Основним інструментом параметризації є інструмент «Рівняння», що викликається через пункт меню «Інструменти». На рисунку 1 у вікні «Рівняння, глобальні змінні, розміри» представлені всі глобальні змінні, що беруть участь у процесі параметричного моделювання деталі червяка.

Моделювання червяка починається з побудови циліндричного тіла за допомогою операції «Повернута бобишка» з подальшим виконанням фаски величиною  $2.2m$  (рис. 2).

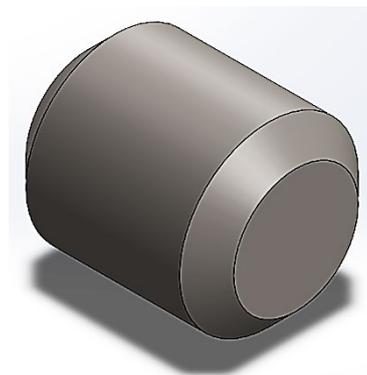


Рис. 2. Заготовка для червяка

Гвинтова навивка на циліндричній поверхні моделюється в середовищі SolidWorks за допомогою операції «Виріз за траєкторією», для здійснення якої потрібний ескіз профілю западини

черв'яка та ескіз траєкторії. В якості траєкторії використовується спіраль. Оскільки черв'як може мати один, два та чотири заходи, потрібно виконати спочатку чотири спіралі, попередньо створивши для кожної ескіз (коло, що дорівнює ділильному діаметру черв'яка) (рис. 3) на додатковій площині (елемент «Довідкова Геометрія-Площина»), паралельній торцю заготовки на довільній відстані (10–30 мм).

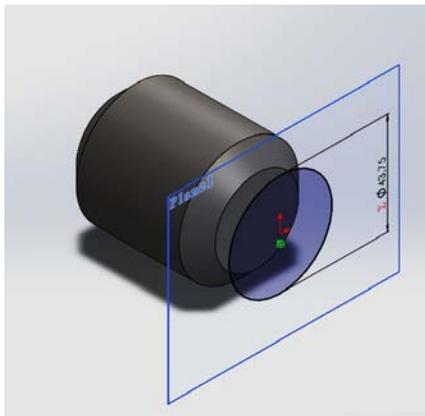


Рис. 3. Побудова додаткової площини та ескізу спіралі на ній

За ескізом будується перша спіраль (інструмент «Гелікоїд і спіраль» елементу «Криві» Менеджера команд). Цей елемент є достатньо специфічним, адже під час створення не піддається параметризації. Параметризація цієї кривої можлива, проте відбувається вона іншим шляхом, а саме: у вікні «Спіраль» попередньо у полі «Крок» вводиться числове значення ходу витка спіралі, кількість обертів вказується довільно (наприклад, 5, але спіраль має вийти за межі заготовки черв'яка), напрямок навивки – за годинниковою стрілкою, після чого необхідно двічі клацнути по спіралі лівою клавішею мишки. В результаті буде отри-

мано доступ до її параметрів, далі необхідно ще раз клацнути по розміру ходу витка спіралі та відкриється вікно «Змінити» в якому вже можна ввести глобальну змінну  $p$  – хід витка. Також у вікні «Спіраль» встановлюється кут положення початкової точки. Для першої спіралі він дорівнює  $0^\circ$  (рис. 4). Аналогічно створюються ще три спіралі. Для кожної спіралі на побудованій раніше додатковій площині треба створити окремий ескіз. Початкові кути наступних спіралей –  $90^\circ$ ;  $180^\circ$  та  $270^\circ$ .

Для побудови чотирьох профілів западін черв'яка необхідно створити дві додаткові площини: одна має бути паралельною площині «Зверху», друга – площині «Спереду». Площини мають збігатися попарно з початковими точками спіралей (рис. 5).

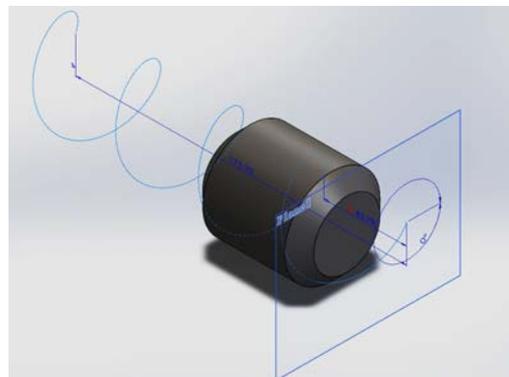


Рис. 4. Побудова спіралі

Під час побудови профілю вирізу додається точка. Між цією точкою та спіраллю встановлюються взаємозв'язок «Точка пронизання», а також проставляється кут профілю  $40^\circ$ , товщина западни, що дорівнює  $\pi t/2$ , висота ніжки витка величиною  $1,2t$  та висота головки витка  $t$ . Аналогічно будуються ще три профілі на відповідних

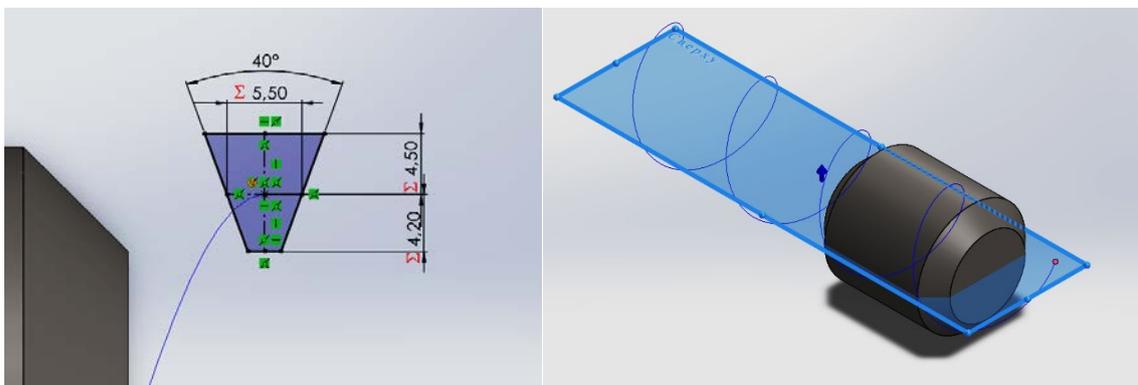


Рис. 5. Створення додаткової площини та ескізу профілю на ній

попередньо побудованих додаткових площинах. Нарізання витків відбувається за допомогою операції «Виріз за траєкторією» (рис. 6).

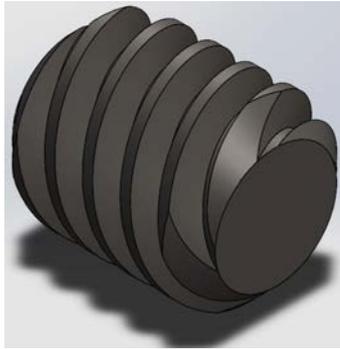


Рис. 6. Результат виконання операції «Виріз за траєкторією»

Для того, аби в межах одного файлу моделі мати можливість змінювати кількість заходів черв'яка, необхідно за допомогою функції *if()* додати погашення елементів в залежності від значення глобальної змінної *z1*. Для цього в інструменті «Рівняння» необхідно додати продемонстровані на рисунку 7 три елементи та прописати функцію *if()* з відповідними аргументами.

Після цього буде отримано можливість змінювати кількість заходів черв'яка. Результат перетворення моделі при зміні глобальних змінних представлено на рисунку 8.

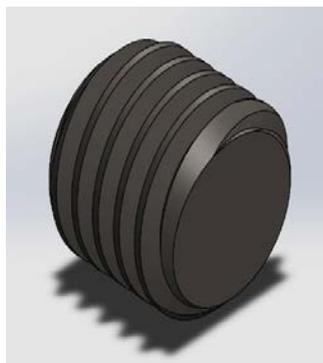
Після створення параметричної моделі черв'яка можна приступати до створення параметричного черв'ячного колеса, враховуючи параметри відповідного черв'яка. Глобальні змінні представлені на рисунку 9. Далі створюється заготовка черв'ячного колеса (рис. 10).

Наступним етапом є побудова траєкторії та профілю вирізу. Траєкторія являє собою спіраль, яка має складатися з двох частин. Для побудови цих двох кривих необхідно створити відповідні ескізи кіл на площині «Справа» (рис. 11). На основі окремо створених ескізів від площини симетрії колеса (у даному випадку площина «Справа») будуються дві частини спіралі по 0,25 обертів, для яких необхідно вказати свої параметри.

Вся траєкторія вирізу буде складатися з двох фрагментів (рис. 12). Після створення двох спіралей обов'язково подвійним натисканням по ним необхідно задати кожній з них хід витка як глобальну змінну.

Имя	Значение / Уравнение	Равняется	Заметки
<b>Глобальные переменные</b>			
"m"	= 3.5	3.50	Модуль
"z1"	= 4	4.00	Кількість заходів червяка
"z2"	= 50	50.00	Кількість зубів колеса
"q"	= 12.5	12.50	Коефіцієнт діаметра червяка
"d1"	= "m" * "q"	43.75	Діляльний діаметр червяка
"da1"	= "m" * ("q" + 2)	50.75	Діаметр вершин червяка
"df1"	= "m" * ("q" - 2.4)	35.35	Діаметр западин червяка
"b1"	= int ("m" * (12.5 + 0.09 * "z2"))	59.00	Ширина нарізаної частини червя
"p"	= pi * "m" * "z1"	43.98	Хід витка спіралі
Добавить глобальную переменную			
<b>Элементы</b>			
"Cut-Sweep2"	= IIF ("z1" = 1, "suppressed", "unsuppressed")	Не погашен	
"Cut-Sweep3"	= IIF ("z1" = 4, "unsuppressed", "suppressed")	Не погашен	
"Cut-Sweep4"	= IIF ("z1" = 4, "unsuppressed", "suppressed")	Не погашен	
Добавить погашение элемента			

Рис. 7. Створення команди за допомогою функції *if()*



Имя	Значение / Уравнение	Равняется	Заметки
<b>Глобальные переменные</b>			
"m"	= 6.3	6.30	Модуль
"z1"	= 2	2.00	Кількість заходів червяка
"z2"	= 68	68.00	Кількість зубів колеса
"q"	= 20	20.00	Коефіцієнт діаметра червяка
"d1"	= "m" * "q"	126.00	Діляльний діаметр червяка
"da1"	= "m" * ("q" + 2)	138.60	Діаметр вершин червяка
"df1"	= "m" * ("q" - 2.4)	110.88	Діаметр западин червяка
"b1"	= int ("m" * (12.5 + 0.09 * "z2"))	117.00	Ширина нарізаної частини червя
"p"	= pi * "m" * "z1"	39.58	Хід витка спіралі
Добавить глобальную переменную			

Рис. 8. Модель двозаходного черв'яка

Имя	Значение / Уравнение	Равняется	Заметки
<b>Глобальные переменные</b>			
"m"	= 3.5	3.50	Модуль
"z1"	= 4	4.00	Кількість заходів червяка
"z2"	= 50	50.00	Кількість зубів колеса
"q"	= 12.5	12.50	Коефіцієнт діаметра червяка
"a"	= "m" * ("q" + "z2") / 2	109.38	Міжосьова відстань
"alpha"	= 20	20.00	Кут зачеплення
"d2"	= "m" * "z2"	175.00	Ділільний діаметр колеса
"db2"	= "d2" * cos ("alpha")	164.45	Діаметр основного кола
"da2"	= "m" * ("z2" + 2)	182.00	Діаметр вершин
"df2"	= "m" * ("z2" - 2.4)	166.60	Діаметр западин
"dam"	= "da2" + 6 * "m" / ("z1" + 2)	185.50	Максимальний діаметр колеса
"b2"	= int ( 0.67 * "m" * ("q" + 2) )	34.00	Ширина вінця
"p"	= pi * "m" * "z1"	43.98	Хід витка спіралі

Рис. 9. Глобальні змінні у файлі «Черв'ячне колесо»



Рис. 10. Модель заготовки черв'ячного колеса

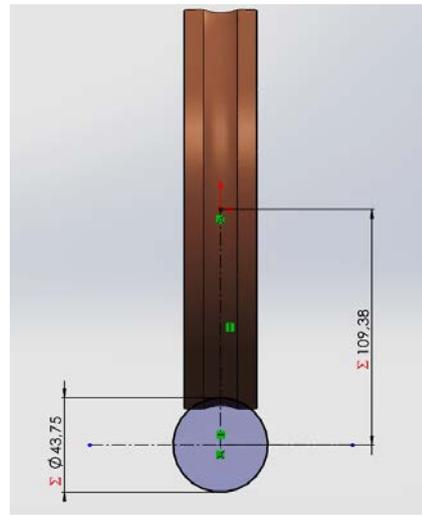


Рис. 11. Створення ескізів для побудови спіралей

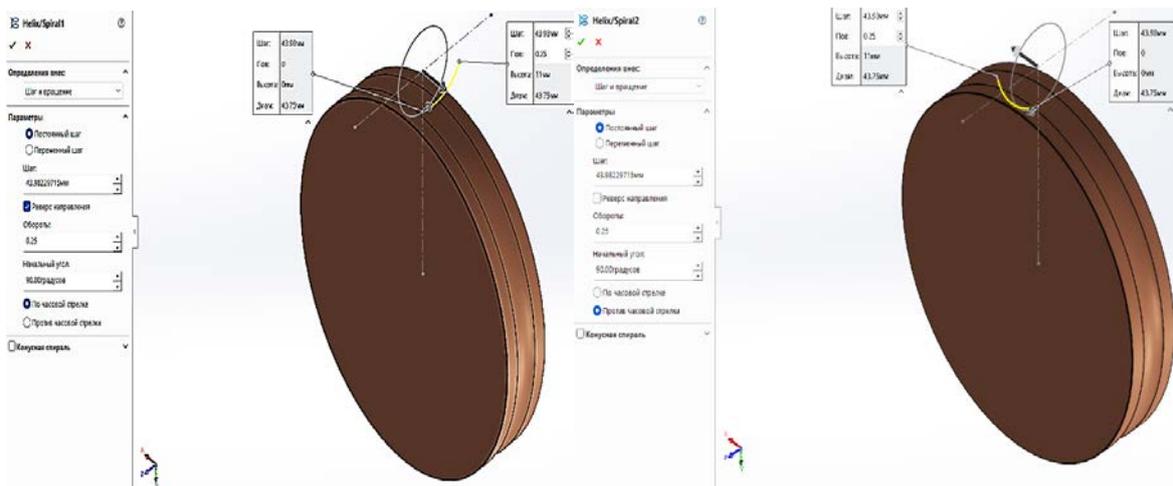


Рис. 12. Побудова окремих частин потрібної спіралі

Для побудови профілю вирізу необхідно створити відповідні ескізи на додаткових площинах, які проходять через точки на кінцях спіралей паралельно площині «Зверху». На створених елементах довідкової геометрії будуються

два ідентичні профілі, один з яких показано на рисунку 13.

Після цього здійснюється операція «Виріз за траєкторією». Аналогічно все проводиться з іншого боку, після чого в утвореній запа-

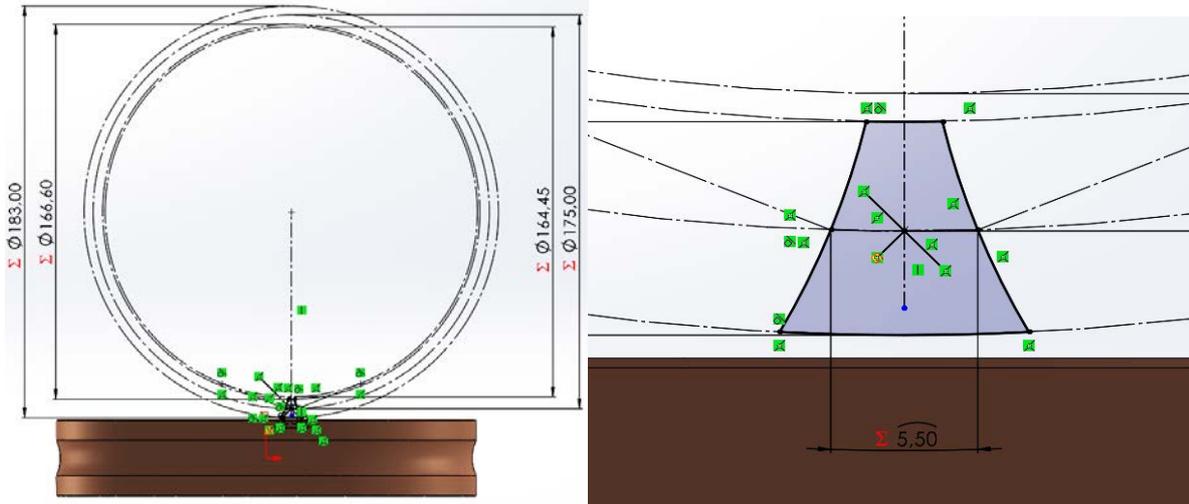


Рис. 13. Побудова допоміжної площини та ескіз профілю западини колеса

дині робиться заокруглення величиною  $0.2m$  та робиться круговий масив з вказанням кількості екземплярів рівній глобальній змінній  $z_2$ . В результаті буде отримано готову параметричну модель черв'ячного колеса (рис. 14).

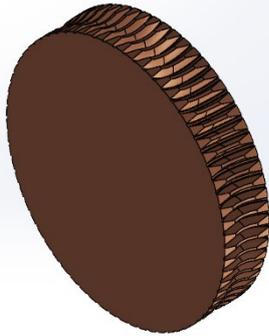


Рис. 14. Готова параметрична модель черв'ячного колеса

Результат перетворення моделі при зміні глобальних змінних представлено на рисунку 15.

**Висновки.** Було проаналізовано дослідження науковців-практиків, які працювали над питаннями параметричного моделювання технічних об'єктів машинобудівної галузі. Актуальність даного дослідження обумовлена потребами української промисловості в прискоренні процесу цифровізації виробництва. Осучаснення, зокрема, полягає у застосуванні параметричного моделювання під час проектування виробів, адже це дає можливість отримувати в межах єдиного файлу різні модифікації однієї і тої самої деталі.

За допомогою програмного комплексу SolidWorks було розроблено параметричні моделі черв'ячної пари на основі їх математичного опису. Параметричне моделювання автоматизує виконання різних завдань конструкторами під час проектування виробів. Розробка способів параметризації інших виробів різноманітного призначення є перспективами досліджень авторів.



Имя	Значение / Уравнение	Равняется	Заметки
Глобальные переменные			
"m"	= 6.3	6.30	Модуль
"z1"	= 2	2.00	Кількість заходів червяка
"z2"	= 68	68.00	Кількість зубів колеса
"q"	= 20	20.00	Коефіцієнт діаметра червяка
"a"	= "m" * ("q" + "z2") / 2	277.20	Міжосьова відстань
"alpha"	= 20	20.00	Кут зачеплення
"d2"	= "m" * "z2"	428.40	Дільний діаметр колеса
"db2"	= "d2" * cos ("alpha")	402.56	Діаметр основного кола
"da2"	= "m" * ("z2" + 2)	441.00	Діаметр вершин
"df2"	= "m" * ("z2" - 2.4)	413.28	Діаметр западин
"dam"	= "da2" + 6 * "m" / ("z1" + 2)	450.45	Максимальний діаметр колеса
"b2"	= int ( 0.67 * "m" * ("q" + 2) )	92.00	Ширина вінця
"p"	= pi * "m" * "z1"	39.58	Хід витка спіралі

Рис. 15. Черв'ячне колесо для двозахідного червяка

**Список літератури:**

1. Ворошук В.Я. SolidWorks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем. Навч. посібник / В.Я. Ворошук, Т.М. Вітенько. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с.
2. Understanding the power of parametric modeling. URL: <https://www.3ds.com/store/cad/parametric-modeling>.
3. Тарандушка Л.А., Йовченко А.В. Параметричне проектування 3D-моделі кривошипно-шатунного механізму автомобіля з використанням САПР SolidWorks. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36), ч.ІІ, С. 195–201. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.195-201](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.195-201)
4. Gordillo G.B., Rey G.G. Parametric Geometric Modeling of a Spur Gear Using SolidWorks. GEARsolutions. February 2017. URL: [https://gearsolutions.com/media/uploads/uploads/assets/Digital\\_Editions/2017/201702/0217-Gearsolutions.pdf](https://gearsolutions.com/media/uploads/uploads/assets/Digital_Editions/2017/201702/0217-Gearsolutions.pdf).
5. Rahman A., Kumar A.. Geometry Modeling of a Spur Gear using Parametric Equation & Global Variables. Research Square. April 2024. DOI:10.21203/rs.3.rs-4263821/v1.
6. Minggang Xu, Mingyue Ma, Zhe Wang and Zuhuang Liu. Parametric design research of large-scale high-speed shaft system detection device based on SolidWorks. *Journal of Physics: Conference Series* 2803 (2024) 012052. International Conference on Electrical Technology and Automation Engineering. DOI: 10.1088/1742-6596/2803/1/012052.
7. Теоретичні основи структурно-параметричного геометричного моделювання виробів машинобудування : монографія / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко, П.М. Яблонський. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 223 с.

**Habovda O.V., Odoshevskiy O.S. PARAMETRIC MODELING OF A WORM GEAR USING SOLIDWORKS SOFTWARE**

*The paradigm of parametric modeling, introduced by the American company PTC (Parametric Technology Corporation), which released the software product Pro/ENGINEER (currently Creo Parametric) in 1987, is used in most modern computer-aided design systems. The article presents a method for parametric modeling of a worm gear with a single-, double-, or four-start Archimedean worm. Unlike spur gears, where elements differ only by parameters, the parameterization of worm gears using the “Equations” tool is not commonly practiced due to the structural heterogeneity of their elements. The worm has a helical form, which requires the use of a spiral during its construction, and its parametric representation has unique features. However, considering the significant advantages of parameterization associated with improved design efficiency, it is advisable to create worm gears using a parameterization approach. Worm gears, like all mechanical transmissions, are standard components that are produced on a large scale and widely used in industry. Therefore, reducing the time required to design new models by modifying parameters or geometric relationships is highly relevant. SolidWorks is a leading mid-range CAD system due to its user-friendly interface, multifunctionality, and flexible configuration options. Parameterization using equations in SolidWorks enables the creation of interrelated parameters for the elements of a worm gear pair that automatically update when modified. The aim of the work is to accelerate the design process of new worm gear constructions in SolidWorks by developing parametric models of the worm and worm wheel, with emphasis on methods for avoiding parametric complications during spiral generation.*

**Key words:** modeling, worm gear, parameterization, mathematical model, equations, design efficiency.

Дата надходження статті: 25.11.2025

Дата прийняття статті: 11.12.2025

Опубліковано: 30.12.2025