

УДК 621.833 + 514.2

ГЕОМЕТРИЧНЕ УЗАГАЛЬНЕННЯ ПОБУДОВИ ЗУБЧАСТИХ ЗАЧЕПЛЕНЬ

Сівак Є.М., к.т.н.,

lskolos@i.ua, ORCID: 0000-0002-5526-8544

Матюшенко М.В., к.т.н.,

matushenkonikolay@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4727-8993

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут» (Україна)

Розглядаються деякі питання визначень та понять основних термінів теорії зубчастих зачеплень та запропоновані нові терміни, а також доведено узагальнення побудови будь-яких зачеплень. Відомо, що невід'ємною частиною більшості сучасних машин, частиною, яка визначає їх якість та надійність є зубчасті передачі, будучі одним із найпоширеніших видів механічних передач.

Актуальність теми визначається необхідністю дослідження та удосконалення існуючих та створенню нових технологічних схем систем зачеплення. Дослідження показали, що вже тільки за рахунок зміни геометрії зачеплення можна досягти значного поліпшення умов роботи зубчастих передач, збільшити термін служби при збереженні інших умов.

У технічній літературі існують певні визначення, наприклад, «плоске зачеплення», «лінія зачеплення гвинтових коліс», «теорема просторових зачеплень»... Стаття вказує на те, що поняття «плоске зачеплення» не зовсім вірно. Правильніше характеризувати плоску чи просторову передачу, при цьому зачеплення може бути однаковим в обох випадках; «лінія зачеплення» залежить від виду самого зачеплення, а не від виду коліс; теорема для «плоских зачеплень» така, як для «просторових зачеплень» і так далі.

У роботі подана доцільність дати назву «модулю», як геометричному критерію зубчастої передачі – «модуль передачі», від якого залежать розміри передачі, від яких вже залежить робоча діянка лінії зачеплення.

Визначення «вісі зачеплення» пов'язано нерозривно з визначенням «площини зачеплення», яке практично зовсім не використовується у теорії зачеплень. Запропоновано використовувати поняття «площина зачеплення», яке дозволяє розглядати кожну передачу, як плоску.

Уточнюються визначення «кута зачеплення», та інші поняття, такі, як «коефіцієнт перекриття», «коефіцієнт питомого ковзання».

Запропоновано ідеї для подальших досліджень, пов'язаних з темою геометричних параметрів зубчастих зачеплень та їх теоретичних характеристик.

Наведено перспективу продовження вказаного напрямку досліджень і реалізації в інноваційних різноманітних розробках з пропозицією до сумісної дослідницької роботи та обговоренню за даною темою.

Ключові слова: плоска передача; просторова передача; модуль; вісь зачеплення; лінія зачеплення; кут зачеплення; коефіцієнт перекриття.

Постановка проблеми. Виникає постійно багато питань, пов'язаних з термінологією та визначеннями у теорії зубчастих зачеплень. Проблеми з визначенням лінії зачеплення, контактної лінії, кутом зачеплення, плоскими та просторовими передачами, модулем, іншими поняттями та визначеннями. Також проблема торкається і стандартів оскільки зазвичай прийнято виходити з прийнятих у літературі визначень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи удосконалення надійності зубчастих передач отримали останнім часом достатній розвиток.

Зубчасті передачі можуть бути використаними для передавання обертового руху між валами, які довільно розташовані у просторі, мають високий коефіцієнт корисної дії, зручно та легко компануються в окремі агрегати для серійного виробництва, наприклад, редуктори, можуть забезпечувати достатній діапазон передаточних чисел.

Відносно високі вимоги до монтажу та точності виготовлення, потреба у постійному змащуванні, шум при роботі з достатньо високими швидкостями, неможливість у безступеневої зміни передаточного числа відносимо до недоліків зубчастих передач.

При порівнянні з іншими механічними передачами зубчасті передачі, відомо, мають певні переваги:

- сталість передаточного числа;
- довговічність роботи;
- великий діапазон навантаження;
- достатня компактність конструкції;
- незначні навантаження на вали;
- високу надійність.

Знати доцільні способи, методи, порядок створення нових конструкцій зубчастих зачеплень, а також способи, методи виготовлення спеціальних складових частин, матеріалу із якого конструкція виготовлена, принципи взаємодії частин дозволяє грамотно проектувати на обґрунтованій базі геометричних характеристик та взагалі раціонально експлуатувати сучасні зубчасті передачі.

Необхідно працювати з конструкцією:

- яка буде виготовлена з мінімальними затратами праці та засобів в умовах відповідного підприємства;
- мати високі експлуатаційні показники;
- з певною продуктивністю;
- з високою безпекою обслуговування, точністю, з високим

- ступенем автоматизації;
- яка є екологічною;
- з деякими елементами естетіки.

Підвищення технічних характеристик зубчастих передач особливо на стадії проектування є традиційно важливим та актуальним завданням [1].

Геометричні дослідження проведені для багатьох характеристик передачі, враховуючи при цьому різні визначення.

Міцність передачі визначається контактними та згинальними напруженнями. Отримати інженерні формули розрахунку цих напружень, у тому числі, і для еволютних зачеплень [2], дозволило геометричне моделювання зони контактної напруги.

Евольвентне зачеплення було розроблено з майже вичерпною повнотою. Однак, незважаючи на загально визнані переваги, цей вид зачеплення, що базується на принципі взаємоогинальних поверхонь, має і суттєві недоліки і не може повністю задовольнити вимоги сучасної техніки. Ця причина спонукала багатьох дослідників зайнятися пошуком нових систем зачеплення. Деякі з цих систем були плоскими, що мають лише торцеве перекриття зубів.

Кардинально вирішити задачу підвищення навантажувальної здатності зубчастих передач вдалося Новікову М.Л., який створив геометричну теорію точкового зачеплення для зубчастих передач з паралельними осями, що перетинаються і схрещуються.

Величезною перевагою зачеплення Новікова [3] стало те, що воно базується на контактних лініях, не вимагає взаємоогинання в площині, перпендикулярної лінії зачеплення, що незмірно розширює можливості вибору поверхонь зубів.

Застосування геометричних досліджень до видів просторових передач визначило їх оптимальну форму. Нею виявилася гіперболоїдна передача.

Передача, де зачеплення відбувається від точки входу до зачеплення до полюса, названа передачею з одностороннім зачепленням. Якщо контактують передачі по ділянці лінії зачеплення, названі такі передачі дозаполюсними. У передачах Новікова [3] використано таке найменування передач. Чітких рекомендацій щодо вибору вихідного контуру коефіцієнта перекриття дозаполюсного варіанта немає.

Дається різне трактування ряду геометричних характеристик зубчастих зачеплень.

Формулювання цілей статті. Метою статті є уточнити поняття та визначення стосовно зубчастих зачеплень, щоб зняти деякі неточності наявні у технічній літературі.

Основна частина. Поняттю «зачеплення» у технічній літературі дані різні визначення. Процес контактування та закон за яким відбувається контактування сполучених поверхонь має назву «зачеплення» [4]. Сполученими поверхнями є поверхні, які у відносному русі будуть мати у точках контакту загальні нормалі, при цьому ніякого впровадження однієї

поверхні в іншу не відбувається. Вид зачеплення визначається відповідними рівняннями і не залежить від виду самих коліс.

Можливі два види зачеплення – лінійне і точкове. До лінійних відносяться евольвентне, циклоїдалне, еволютне тощо. Прикладом точкового зачеплення є зачеплення Новікова. Якщо в будь-якій передачі, виготовленої як передачі з евольвентним зачепленням, за якимись причинами не відбувається лінійного контакту, то ця передача є з точковим контактом.

Розрізняємо передачі плоскі та просторові. До плоских передач слід віднести передачі, які мають осі обертання однієї передачі лежать в одній площині. Це циліндричні, конічні передачі чи їх комбінації циліндрично-конічні. Решта інших типів передач, у яких осі схрещуються, слід віднести до просторових. Це гіпоїдні, черв'якові, гвинтові, спіроїдні, гіперболоїдні пердачі.

Геометричний критерій зубчастої передачі, просто «модуль» або «модуль зачеплення» іменується у технічній літературі, у стандартах. До самого «зачеплення» поняття «модуль» має непряме ставлення. Доцільно йому дати назву «модуль передачі», тому що від його значення залежать розміри передачі; від розмірів передачі залежить робоча ділянка лінії зачеплення.

Візьмемо поняття «вісь зачеплення», має характеристику, як «особливим чином розташовану пряму лінію, через яку проходять нормалі у всіх точках миттєвого контакту поверхонь, що взаємоогинаються». Для просторової передачі визначення дещо ускладнено. У плоских передачах «вісь зачеплення» знаходиться у площині, яка проведена через осі обертання. Якщо доповнити визначення наступним чином: «найкоротші відстані від точок на осі зачеплення до осей обертання оборотно пропорційні кутовим швидкостям», тоді для просторової передачі «вісь зачеплення» існує і є єдиною [5]. «Вісь зачеплення» завжди проходить через полюс зачеплення – точку, яка розташована на міжцентровій лінії.

Нерозривно пов'язані поняття «вісі зачеплення» з «площиною зачеплення», яке раніше не використовувалося у теорії зачеплень. Під «площиною зачеплення» можна приймати площину, яка проведена у поточній точці контакту перпендикулярно до осі зачеплення. Визначення «площини зачеплення» дозволяє розглядати кожну передачу як плоску.

Уявимо простір усіх можливих точок контакту в зубчастому зачепленні [6], [7]. Перетин цього простору з площиною зачеплення дає «лінію зачеплення». Зазвичай говоримо «лінія зачеплення для лінійного зачеплення» та «лінія зачеплення для точкового зачеплення Новікова». Але у точкового зачеплення не існує «лінії зачеплення». Визначення поняття «контактна лінія», яку створюють на робочій поверхні зуба одночасно контактуючі точки, неточно. Стосовно точок контакту, які утворюють лінії на поверхні зубу у процесі їх переміщення у точковому зачепленні, рухаються робочими лініями. Положення точок контакту у нерухомому

просторі утворює «вісь контакту», але не «лінію зачеплення» точкового варіанта.

Уточнимо деякі визначення. Наприклад, «кут зачеплення» – кут між полюсною лінією, яка з'єднує точку контакту з полюсом зачеплення та міжцентровою лінією. Не у кожного зачеплення «лінія зачеплення» пряма. У загальному випадку «кут зачеплення» змінна величина. Отже, значення у полюсі зачеплення слід вважати номінальним значенням «кута зачеплення».

Коефіцієнт одночасності зачеплення – «коефіцієнт перекриття» можна уявити, як відношення кута повороту протягом якого контактує деяка пара зубів, до «кутового кроку», інакше ніж [4] «шлях, пройдений точкою торкання пари профілів по лінії зачеплення» – визначити складніше. Частина повного оборота колеса слід приймати як «кутовий крок». Частина ділильного кола, яка припадає на один зуб слід приймати «лінійним кроком».

Якщо відбувається торкання профілів поза полюсом зачеплення має місце їх відносне ковзання. Введено поняття «коефіцієнт питомого ковзання». Можна визначити його, як відношення різниці швидкостей ковзання вздовж поверхонь до їх середнього значення.

Висновки. Геометричне узагальнення побудови зубчастих зачеплень, спільність понять та визначень дозволяє поєднати зусилля технологів, проєктантів, дослідників у створенні найбільш досконалих зубчастих передач.

Література

1. Бережний В.О., Матюшенко М.В., Федченко Г.В. Побудова 3D моделі зубчастого колеса у додатку GEARTEQ. *Вісник НТУ “ХПІ”*: збірник наукових праць. 2018. № 25 (1301). С. 22–25.
2. Protasov R., Andrienko S., Ustinenko A., Bondarenko A., Matushenko N. Geometry modeling of gear and chain drive with evolute profile and research of its contact stress. *Fiabilitate și durabilitate (Fiability & Durability): "Constantin Brâncuși" University of Târgu Jiu*. 2017. 1(19) P. 287–293.
3. Матюшенко М.В., Федченко Г.В., Шеліхова І.Б. Побудова алгоритму визначення інтерференції в циліндричних передачах Новікова з двома лініями зачеплення нарізаних методом обкатки. *Вісник НТУ “ХПІ”*: збірник наукових праць. 2016. № 21 (1193). С. 61–73.
4. Павлов А. И. Современная теория зубчатых зацеплений. Харьков: ХНАДУ, 2005. 100с.
5. Павлов А.И. Ось зацеплений пространственной передачи. *Вестник НТУ “ХПІ”*. 2002. Вып. 7, т. 2. С. 58–59.

6. Павлов А.И., Чайка Е.Г., Матюшенко Н.В. Зацепление для тяжело нагруженных зубчатых передач. *Наука і освіта 2003: матеріали VI міжнарод. наук.-практ. конф.* Дніпропетровськ, 2003. Т.12. С. 48–49.
7. Павлов А.И., Вербицкий В.И. Геометрическое моделирование зоны контакта при взаимодействии двух упругих цилиндров. *Геометричне та комп'ютерне моделювання: збірник наукових праць.* Харків: ХДУХТ, 2006. Вип. 15. С. 95–99.

GEOMETRIC GENERALIZATION THE CONSTRUCTION OF GEARINGS

Elizaveta Sivak, Nikolay Matushenko

Some issues of the definition and understanding of the basic terms of the theory of gear meshes are considered, new terms are proposed, and the generality of the construction of any meshes is given. It's known that an integral part that determines their quality and reliability, are gears, being one of the most common types of mechanical transmissions.

The relevance of the topic is determined by the need to research and improve existing and create new technological gearing schemes. Studies have shown that only by changing the geometry of the gearing, it is possible to achieve a significant improvement in the working conditions of the gearing, increase the service life while maintaining other conditions.

In the technical literature there are such definitions, for example, «flat gearing», «line of gearing of helical wheels», «theorem of spatial gearing»... The article indicates that the concept of «flat engagement» is not entirely correct. It is more correct to characterize a flat or spatial transmission, while the engagement may be the same in these cases; «the line of engagement depends on the type of engagement itself, but not on the wheels themselves; the theorem for «flat links» is the same as for «spatial links».

In the work it is proposed to give the name «module» as a geometric criterion of gear transmission – «transmission module», on which the dimensions of the transmission depend, on which the working section of the gearing line already depends.

The definition of «engagement axis» is inextricably linked with the definition of «engagement plane», which is practically not used at all in the

theory of engagement. It is proposed to use the concept of «engagement plane», which considers each gear as a flat one.

The definitions of «engagement angle», and other concepts, such as «overlap coefficient», «specific slip coefficient» are specified.

Ideas for further research related to the topic of the geometric parameters of gears, their theoretical characteristics are proposed.

The prospect of continuing the indicated direction of research, implementation in various innovative developments with proposals for joint research work and discussion of this topic is given.

Key words: flat gear; spatial gear; module; gearing axis; gearing line; gearing angle; overlap coefficient.

References

1. Berezhnij, V.A., Matushenko, N.V., Fedchenko, H.V. (2018). Construction 3D models gear wheel in the application GEARTEQ. *Bulletin of NTU “KhPI”*, 25 (1301), 22–25 [in Ukrainian].
2. Protasov R., Andrienko S., Ustinenko A., Bondarenko A., Matushenko N. Geometry modeling of gear and chain drive with evolute profile and research of its contact stress. *Fiabilitate și durabilitate (Fiability & Durability): "Constantin Brâncuși" University of Târgu Jiu*. 2017. 1(19) P. 287–293.
3. Matushenko, N.V., Fedchenko, H.V., Shelikhova, I.B. (2016). Construction of an algorithm for determining interference in cylindrical Novikov gears with two lines of engagement cut by the running-in method. *Bulletin of NTU “KhPI”*, 21 (1193), 61–73 [in Ukrainian].
4. Pavlov, A. I. (2005). *The modern theory of gearing*. Kharkov: KhNADU [in Ukrainian].
5. Pavlov, A. I. (2002). Spatial transmission gearing axis. *Bulletin of NTU “KHPI”*, 7, 2, 58–59 [in Ukrainian].
6. Pavlov, A. I., Chaika, E.G., Matushenko, N.V. (2003). The clutches for heavily loaded gears. *“Science and education 2003”: materials of the VI international scientific and practical conference*, 12, 48–49 [in Ukrainian].
7. Pavlov, A. I., Verbicki, V.I. (2006). Geometric modeling of the contact zone in the interaction of two elastic cylinders. *Geometrical computer modeling*, 15, 95–99 [in Ukrainian].