

## RESEARCH OF DRIVING SYSTEMS - CHALLENGES AND POSSIBLE SOLUTIONS 2

---

### **Prof. Antoaneta Dobreva, PhD**

Department of Machine Science, Machine Elements, Engineering Graphics and Physics,  
“Angel Kanchev” University of Ruse  
Phone: +359 887 746 311  
E-mail: [adobreva@uni-ruse.bg](mailto:adobreva@uni-ruse.bg)

### **Gergana Mollova**

Department of Machine Science, Machine Elements, Engineering Graphics and Physics,  
“Angel Kanchev” University of Ruse  
Tel.: +359 82 888 437  
E-mail: [gergana\\_mollova@yahoo.co.uk](mailto:gergana_mollova@yahoo.co.uk)

***Abstract:** The paper reviews existing boundaries of application of mechanical drive systems. The significance of mechanical gear trains as main components of mechanical drive systems has been taken into consideration. The focus of the research has been orientated to gear sets and gear boxes, which have extremely wide application in automotive and mechanical engineering industry. Special attention is dedicated to the importance and the investigation of worm gears and their modifications. Conclusions have been deduced*

***Keywords:** Driving Systems, Mechanical Gear Trains, Involute Gear Boxes, Worm gears*

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Предаването на енергия от механични задвижващи системи е трансфер на енергия от мястото на нейното генериране до мястото, където тя се прилага за извършване на полезна работа. Предаването на мощност е може да бъде осъществено от съединители, ремъчни, верижни, конусни, планетни, цилиндрични и червячни зъбни предавки. От всички изброени механични предавки и механизми, цилиндричните зъбни еволвентни предавки и задвижващите системи с червячни предавки се характеризират с най-добри якостни параметри и със значителна трайност.

Границите на приложение на механични предавки като елементи на задвижващи системи се определят от мощността, която трябва да предават, от ъгловата скорост на задвижващия компонент, от необходимото предавателно число и от взаимното разположение на валовете.

### **ТЕОРЕТИЧЕН АНАЛИЗ НА ЕВОЛВЕНТНИ ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ КАТО ЕЛЕМЕНТИ ОТ ЗАДВИЖВАЩИ СИСТЕМИ**

Усъвършенстването на методиките в областта на теорията на проектирането и на изследването на задвижващи системи изисква анализирането и прилагането на научните достижения на световноизвестни учени и професионалисти в тази област. Това наложи извършването на задълбочено теоретично изследване на постиженията на известни автори в областта на значими характеристики на задвижващи системи и дефиниране на основните предизвикателства в разглежданата изследователска област.

Приложението на зависимостите, отнасящи се до собствените честоти и режимите на вибрации, по отношение на геометричните и експлоатационни параметри на задвижващи системи дава възможност да се модифицират зоните на резонанс спрямо действащите скорости.

---

<sup>2</sup> Докладът е представен на пленарната сесия на 28 октомври 2021 с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗАДВИЖВАЩИ СИСТЕМИ – ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА И ВЪЗМОЖНИ РЕШЕНИЯ

Този процес включва минимизиране на влиянието на резонанса и оптимизация на конструкцията на задвижващи системи. Факторите, които влияят върху динамичното поведение на задвижващи системи, могат да се класифицират в две основни групи: вътрешни (коравина на зацепването, грешки в трансмисията) и външни (изменение на натоварването и/или на скоростта) фактори.

Особено важен проблем в областта на честотния анализ на задвижващи системи е определянето на ограничения, които могат да пренасочат собствените честоти в област, отдалечена от резонансната за зъбното зацепване. В задвижващите системи, включващи цилиндрични зъбни предавки, еволвентното зацепване или не е модифицирано, или е предвидена незначителна корекция.

Тримерни нелинейни вибрации в задвижващи системи са изследвани в (Eritenel, T. & Parker, R., 2012). Авторите Eritenel и Parker изтъкват, че нелинейният характер на параметрите се дължи на това, че части от линиите на зацепване губят контакт и се наблюдава явлението частична загуба на контакт.

Тази специфична особеност е анализирана подробно и в (Eritenel, T. & Parker, R., 2011). Зъбното зацепване, анализирано в изследването, се отличава с използването на произволни модификации на зъбните профили. Според авторите, описаните модификации и преместванията, които са в резултат от установените вибрации, разделят елементи от зъбните повърхнини (които съгласно изчисления се очаква да бъдат в контакт по линията на зацепване).

В значим брой публикации се твърди, че модификациите на зъбните повърхнини и неточностите в зацепването и в другите елементи на трансмисиите водят до частична загуба на контакт в зацепването. Авторските екипи (Velex, P., Maatar, M. & Raclot, J., 1997) и (Raclot, J. P. & Velex, P., 1999) доказват на базата на поредица от аналитични процедури, че неточностите в зъбните колела се характеризират с частична загуба на контакт, дори и при статично натоварване.

Съществува обаче значителна разлика в анализите и изводите, изложени от една страна в (Velex, P., Maatar, M. & Raclot, J., 1997) и (Raclot, J. P. & Velex, P., 1999) и от друга – в (Eritenel, T. & Parker, R., 2012). Частичната загуба на контакт в зацепването според (Velex, P., Maatar, M. & Raclot, J., 1997) и (Raclot, J. P. & Velex, P., 1999) се дължи на специфични неточности, но в (Eritenel, T. & Parker, R., 2012) се твърди, че тази загуба възниква в резултат от динамични несъответствия, независимо от това, че зъбните колела са монтирани прецизно и точно в общата конструкция.

Теоретичният анализ на състоянието на проблема има за цел да уточни най-важните характеристики на моделите за динамичното поведение на задвижващи системи. От извършеното изследване става ясно, че основната цел на голяма част от теоретичните изследвания в областта на динамичното поведение на тези системи е дефинирането на условия за намаляване на шума и на вибрациите.

Извършеният теоретичен анализ на разгледаните публикации показва, че независимо дали съществуват или не модификации, вибрациите в зъбни предавки имат нелинеен характер близо до резонансната зона в резултат на частична или пълна загуба на контакт в зацепването. Частичната загуба на контакт в зацепването води до намаляването на коефициента на припокриване.

Някои от представените подходи са нови и особено значими при сложни задвижващи системи, съдържащи значителен брой компоненти, и при системи с повече от едно зацепване. Налага се изводът, че точно при тези задвижващи системи създаването на прецизни динамични модели е особено трудно.

В заключение, може да се обобщи, че повечето от анализиранияте модели прилагат дискретно, параметрично представяне, включващо елементи от зацепването като твърди тела и комбинация от еластични елементи, които представят зъбите в зацепването и коравината на лагерите. Анализиранияте модели се характеризират с различно ниво на сложност при разглеждане на зацепването, валовете, лагерите и корпуса. Уточненото теоретично и

експериментално изследването на динамичното поведение на завиващи системи, освен това, изисква съвременна и в известен смисъл - уникална апаратура.

## ТЕОРЕТИЧЕН АНАЛИЗ НА ЧЕРВЯЧНИ ПРЕДАВКИ КАТО ЕЛЕМЕНТИ ОТ ЗАДВИЖВАЩИ СИСТЕМИ

Друга важна тема, подложена на теоретичен анализ в областта на задвижващите системи, е енергийната ефективност на червячни предавки и възможностите за нейното подобряване.

В някои стандарти и каталози е посочена информацията относно загубите на мощност в червячни задвижвания. Подобна обобщена информация е представена сравнително добре от авторите (Dereyne, S., Defreyne, P., Algoet, E., Derammelaere, S. & Stockman, K., 2016) и (Stockman, K., Dereyne, S., Vanhooydonck, D., Symens, W., Lemmens, J. & Deprez, W., 2010).

Данни за механични и хидравлични загуби на мощност в червячното зацепване са анализирани от (Höhn, B. R., Michaelis, K. & Wimmer, A., 2007) и (Yenti, C., Phongsupasamit, S. & Ratanasumawong, C., 2013). Учените подчертават, че общите загуби в една механична предавка представляват комбинация от загуби в лагерите, в уплътненията, загуби от разпръскване на маслото и загуби в зацепването.

Незначителен брой публикации анализират общия коефициент на полезно действие на червячна предавка. Производителите задават този параметър в каталозите като функция на броя на степените на механична предавка. Поради тази причина, дадена стойност на общия коефициент на полезно действие съответства на голям диапазон червячни предавки, която я прави относително неточна.

Изключително интересно изследване е направено и патентовано в (Jarchow, F. & Predki, W., 1984). Патентът посочва зависимости за ъгъла на наклона по делителната окръжност на цилиндричното колело, за модула в нормално сечение на колелото и за средния делителен диаметър на глобоидния червяк, които са предпоставка за определяне на оптимална геометрия на зацепването.

Според авторите на патента, оптимизираната зъбна предавка достига по-голяма трайност по критериите: контактна якост, износване и по-висок КПД в зацепването. Патентът се отнася за червячни предавки, които се състоят от цилиндрично колело с наклонени зъби и глобоиден червяк. Като недостатък може да се отчете фактът, че все още липсват конкретни научни разработки за оптимално проектиране на червячни задвижвания от описания тип по отношение на контактната якост, на средната височина на смазочния слой и на КПД в зацепването.

Извършени теоретични изследвания на съществуващи методи за изчисляване на загубите на мощност в червячни предавки са представени в следните публикации на авторския колектив, в които са анализирани и цитирани значителни достижения на голям брой научни публикации на известни учени в разглежданата област: (Mollova, G., 2020), (Dobrev, A., 2013), (Dobrev, A. & Dobrev, V., 1993, 2018).

На базата на изводите и заключенията от представеното научно изследване са разработени и представени за публикуване следните материали на авторския колектив: (Dobrev, A., Dobrev, V. & Mollova, G., 2021), (Mollova, G. & Dobrev, V., 2021), (Stoyanov, S. & Dobrev, A., 2021). В тези публикации са представени съществени изследвания на червячни предавки като елементи на задвижващи системи. Описани са възможни решения за увеличаване на енергийната ефективност и на функционалната годност на червячни предавки.

На база на проведеното теоретично изследване в областта на червячни предавки като елементи от задвижващи системи могат да се направят следните изводи:

1. Посочени са основните хапарактеристики на различните методи за изчисляване на загубите на мощност в червячни предавки.
2. Проведени и описани са възможни решения за увеличаване на енергийната ефективност на червячни предавки.

2. Възможно е постигането на значително подобрене на енергийната ефективност на червячни предавки при оптимален подбор на геометрията на зацепване, материалите, вида на смазочния слой и на режима на работа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В тази публикация е описано практическото решение на следния проблем: чрез теоретичен анализ на елементи от задвижващи системи, които включват цилиндрични еволвентни и червячни предавки, се установят основните актуални теми за изследване и оптимизиране на елементи от задвижващи системи.

В процеса на работа се наложи заключението, че съществени приноси от авторския колектив е възможно да се направят в областта на усъвършенстване на методиките за намаляване на загубите в червячни предавки. Практическото решаване на този проблем дава основание да се направи следния извод: Методиките за намаляване на загубите в червячни предавки подобряват значително функционалната годност и енергийната ефективност на червячни предавки.

## REFERENCES

Dereyne, S., Defreyne, P., Algoet, E., Derammelaere, S. & Stockman, K. (2016). *Efficiency measurement campaign on gearboxes*, Report of Ghent University, Campus Kortrijk, Department of Industrial System and Product Design, Belgium.

Dobрева, А. (2013). *Theoretical Investigation of the Energy Efficiency of Planetary Gear Trains*. Mechanisms and Machine Science, No 13, 289-298.

Dobрева, А. (2013). *Methods for Improving the Geometry Parameters and the Energy Efficiency of Gear Trains with Internal Meshing*. VDI – Berichte, No 2199.2, 1291 – 1302.

Dobрева, А., Добрев, В. & Моллова, Г. (2021). *Research of Gear Drives*. International Congress of Automobile and Transport Engineering AITS2021, Chisinau, Moldova, accepted & submitted for publishing.

Dobрева, А. & Добрев, В. (2018). *Innovative Methodology for Decreasing Mechanical Losses in Vehicles*. Proceedings of the 4th International Congress of Automotive and Transport Engineering (AMMA 2018), Springer Verlag, 234 - 242.

Dobрева, А. & Добрев, В. (1993) *Improving the Tribological Characteristics of Heavy Loaded Gear Boxes*. Proceedings of the First Balkan Conference on Tribology “Balkantrib’93”, Volume 2.3, Sofia, pp 166-170.

Eritenel, T. & Parker, R. (2011). *Nonlinear Vibration of Gear Pairs With Tooth Surface Modifications at Primary Resonance Using a Perturbation Method*. Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering, Washington, DC, August 28–31, ASME, Paper No. DETC2011/MSNDC-48689.10.1115/DETC2011-4868

Eritenel, T. & Parker, R. (2012). *Three-dimensional nonlinear vibration of gear pairs*. *Journal of Sound and Vibration*. 331. 3628–3648. 10.1016/j.jsv.2012.03.019.

Höhn, B. R., Michaelis, K. & Wimmer, A. (2007). *Low loss gears*, Gear technology magazine, 6, 55-59.

Jarchow, F. & Predki, W. (1984). *Stirnrad-Globoid-Schneckentriebe*. European Patent Office. Anmeldenummer: 84101318.8.

Mollova, G. (2020). *CAD systems applications developing gear drives*. Proceedings of University of Ruse, FRI-2.209-1-TMS-03, Vol 59 (4.1.), 23-27, <http://conf.uni-ruse.bg/bg/docs/cp20/4.1/4.1-3.pdf>

Mollova, G. & Добрев, В. (2021). *Design methodology for investigating worm gear transmissions with significant dimensions*. Proceedings of University of Ruse, FRI-ONLINE-1-TMS-07, Vol 60.

Raclot, J. P. & Velez, P. (1999). *Simulation of the dynamic behaviour of single and multi-stage geared systems with shape deviations and mounting errors by using a spectral method*. Journal of Sound and Vibration, Vol 220 (5), 861-903.

Stockman, K., Dereyne, S., Vanhooydonck, D., Symens, W., Lemmens, J. & Deprez, W. (2010). *ISO efficiency contour measurements results for variable speed drives*, International Conference on Electrical Machines and Systems, ICEMS 2009, Rome.

Stoyanov, S. & Dobрева, A. (2021). *Systems Analysis and Design of Gear Drives through Innovative Software Approach*. “International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies”, Turkey, accepted & submitted for publishing.

Velez, P., Maatar, M. & Raclot, J., (1997). *Some numerical methods for the simulation of geared transmission dynamic behavior formulation and assessment*, [asmedigitalcollection.asme.org](http://asmedigitalcollection.asme.org)

Yenti, C., Phongsupasamit, S. & Ratanasumawong, C. (2013). *Analytical and Experimental Investigation of Parameters Affecting Sliding Loss in a Spur Gear Pair*, *Engineering Journal*, 17, (1), 79–94.