

ЧТО НА САМОМ ДЕЛЕ ДАЛИ ПЯТНАДЦАТИЛЕТНИЕ ИСПЫТАНИЯ ПЕРЕДАЧ НОВИКОВА ТИПА ДЛЗ?

Г.А. Журавлев, к.т.н., зав. отделом конструктивной прочности
НИИ Механики и Прикладной Математики им. Вороновича И.И.,
Южный Федеральный Университет

Тезисы № 8 по анализу публикаций [1, 2] о путях развития редукторостроения.

Оппоненты не перестают рассказывать [1, 2] «...о результатах сравнительных испытаний нитроцементованных передач, которые ... проводили в Ижевске в течение 15 лет и которые показали 2-3-х кратное превышение нагрузочной способности передач Новикова по сравнению с эвольвентными аналогами по нагрузочной способности исходя из контактной прочности. Впоследствии аналогичные результаты были получены во ВНИИРедукторе на цементованных парах.»

На самом деле эти, так называемые «сравнительные испытания» стали одним из выдающихся софизмов оппонентов, развитие которого было начато еще во времена работы Координационного Совета (КС).

Что дали эти испытания? Сравнительную оценку эвольвентного зацепления и зацепления Новикова? Нет, это была сравнительная оценка **всего лишь морально устаревших представителей двух традиционных (эвольвентного и Новикова) систем зацеплений. Такие испытания не характеризуют возможности этих зацеплений в передаче с «твердыми зубьями».** Может быть они открыли новые представления о конструктивной гибкости ДЛЗ? Или новые возможности расширения конкурентоспособности ДЛЗ? Ничего подобного. Сравнительные испытания ДЛЗ (с «твердыми» колесами) проводились в рамках всего комплекса обычно допускаемых для ДЛЗ параметров, к тому же – путем исключения из рассмотрения любого реально конкурирующего варианта передачи (эвольвентного зацепления с углом исходного контура зубьев $\alpha \geq 25^\circ$ или смешанного зацепления IP), с подбором неконкуренентоспособного (устаревшего морально) варианта эвольвентной передачи и выбором «удобного» метода обработки экспериментальных результатов ДЛЗ.

Приведем здесь некоторые факты.

1. Оппоненты отрицают наличие (доказанное анализом теории и практики зубчатых передач [3, 6, 7]) резервов контактной прочности эвольвентного зацепления («Да и откуда им взяться» [1, 2]), что дает им возможность сравнивать ДЛЗ с морально устаревшими вариантами эвольвентного зацепления ($\alpha = 20^\circ$).
2. На момент проведения сравнительных испытаний в КС передачи ДЛЗ имели уже примерно 30-летний «стаж» широкомасштабных теоретических и экспериментальных исследований в различных странах и отраслях машиностроения. Этим возможности улучшения формы исходных контуров ДЛЗ были практически исчерпаны. Вот почему передачи ДЛЗ давно стали тупиковым направлением развития зацепления Новикова.
3. Оппоненты отрицают саму возможность развития зацепления Новикова вне рамок ДЛЗ. Говоря о смешанном зацеплении лишь как о «виртуальном» [1, 2], они придумывают любые доводы, буквально диктуя читателю мысль об отсутствии возможности развития зацепления Новикова в смешанном зацеплении: «В его смешанном зацеплении наряду с внеполюсными участками обязательно присутствует и околополюсная зона, что принципиально противоречит генеральной идее М.Л.Новикова.» [2]. Эта фраза постоянно звучит со времен КС. Когда-то она стала решающей для многих членов КС (в том числе – для Р.В. Федякина и В.А. Чеснокова), которые видели реальные преимущества смешанного зацепления IP. Но здесь оппоненты пошли на очередную ложь, поскольку речь шла о **внеполюсном** варианте [7] смешанного зацепления IP типа IP-Baf (рис. 1), на который обратили внимание (что и «задело» оппонентов) авторы статьи [10]: «... исследования..., направленные на создание

смешанного зацепления, аналогичного по принципу внеполюсного контакта передаче Новикова, являются, несомненно, полезными и своевременными.»

Между тем, в отличие от ДЛЗ, передачи пространственного смешанного зацепления IP, находясь на раннем (начальном) этапе своего развития в период работы КС, показали лучшие (чем ДЛЗ) результаты, содержали тогда и сейчас содержат значительные резервы своего совершенствования, оригинальны и имеют правовую защиту [8].

Достаточно сравнить динамику развития ДЛЗ и IP. Смешанное зацепление IP эффективно при любой продольной форме зубьев, оно прошло успешные испытания в прямозубой узкозвенцовой бортовой цилиндрической передаче тракторов «ДТ-75» и «ВТ-150» и в узкозвенцовой цилиндрической передаче с арочным зубом грузового автомобиля «КАЗ-608». Обе передачи, естественно, выполнены с высокой твердостью зубьев зубчатых колес, не имеют осевого компонента усилий в зацеплении. Прямозубые и косозубые цилиндрические передачи IP показывают уровень шума, примерно на 3 дБА ниже шума эвольвентной передачи [9].

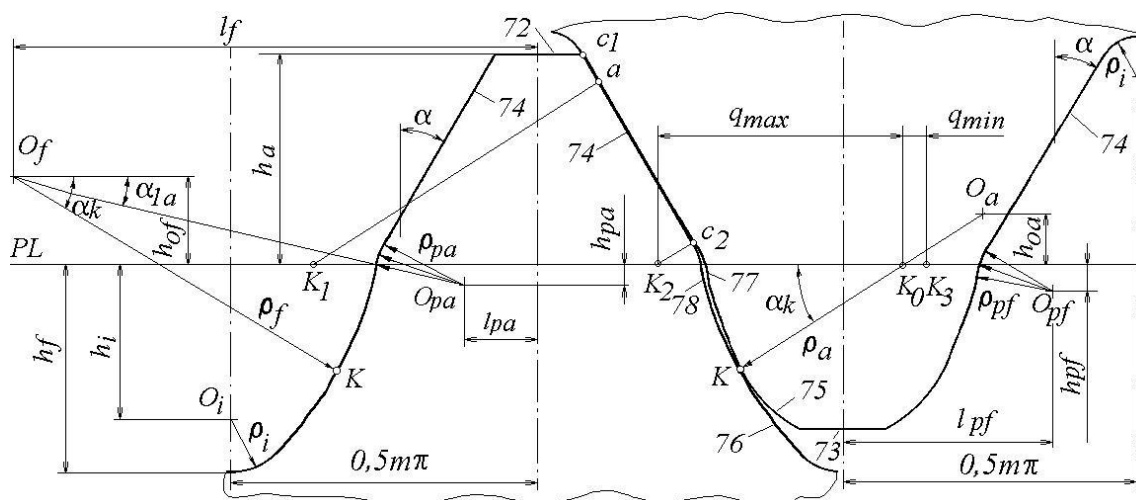


Рис.1. Пара неидентичных исходных контуров зубьев внеполюсной пространственной передачи сверхаддитивного смешанного зацепления IP-Baf

4. Координационный Совет (КС) неоднократно принимал решения о необходимости сравнительных испытаний передач РГУ-5 и передач смешанного зацепления IP (IP 31-33В или РГУ-1). Но исходный контур РГУ-5 не был представлен ни на одни такие сравнительные испытания в процессе работы КС. Это дало возможность оппонентам избежать экспериментального сравнения передачи РГУ-5 (ДЛЗ) с передачей смешанного зацепления IP-В, которая уже в двух сериях сравнительных испытаний показала лучшие результаты относительно всех представленных там передач ДЛЗ. Интриги и ложь оппонентов доведены до такого уровня, что оппоненты уже говорят [1, 2] о какой-то неудаче с исходным контуром РГУ-1 (IP 31-33 В) в КС. Как будто испытания смешанного зацепления потерпели поражение – в чем? Зачем же теперь столько лжи понадобилось оппонентам? Ведь РГУ-5 участвовал лишь в кулуарных сравнительных испытаниях с морально устаревшей эвольвентной передачей.
5. К принципиальным проблемам (которые не были решены 50-летним развитием передач ДЛЗ) относятся ограничения конструктивной гибкости и сферы рационального применения зацепления Новикова; условий по ширине зубчатого венца $b_w > P_x$, повышенные уровни компоненты осевых усилий в зацеплении, виброакустики, высокая чувствительность к отклонениям межосевого расстояния, ограниченная несущая способность передач с «твердыми» колесами и т.д. Передачи ДЛЗ имеют весьма низкую конструктивную гибкость, но оппоненты утверждают противоположное. Современные тяжелонагруженные передачи (с рациональными

параметрами зацепления) лимитируются не только уровнем контактной прочности зубьев, но и изгибной прочностью и задиростойкостью зубьев, габаритом опор, осевым габаритом колес, долговечностью подшипников и виброзвуковой активностью. Отсутствие возможности преодоления этих и многих других ограничений является одним из показателей совершенно низкой конструктивной гибкости зацепления Новикова.

6. Обработка результатов испытания ДЛЗ на изгибную выносливость идет по одной ветви кривой усталости. Наши работы [4, 5] показали, что многопарность зацепления зубьев передач ДЛЗ приводит к весьма специфическому изменению условий оценки усталостного разрушения зубьев.

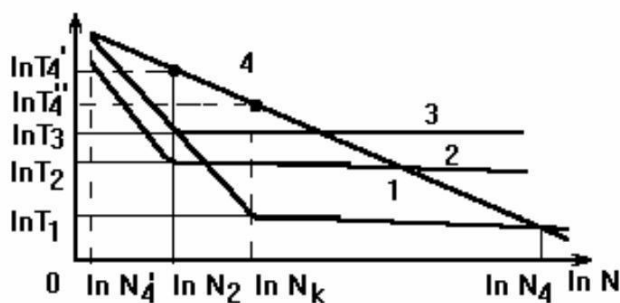


Рис. 2. Кривые усталости зубчатых передач с существенно разной многопарностью зацепления: 1 и 2 – после обработки экспериментов соответственно с многопарным контактом во всех фазах зацепления; 3 и 4 – для передач с многопарным контактом во всех фазах зацепления (кривые 3 и 4, построенные, соответственно, по испытаниям на базе усталости по линии 2 и из предположения об отсутствии перелома кривой усталости).

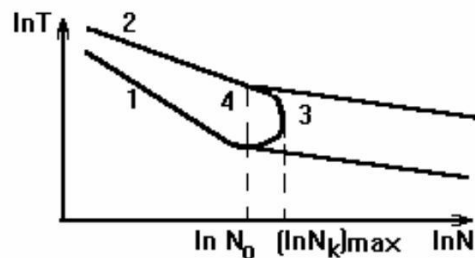


Рис. 3. Предельные положения кривых усталости зубьев зубчатых передач различной точности изготовления: 1 – грубо изготовленная передача, не реализующая номинальное многопарное зацепление; 2 – идеально точная передача; 3 и 4 – линии, описываемые условной точкой перегиба кривой усталости по мере повышения технологической и монтажной точности передач с номинально разной многопарностью (4 – с фазами однопарного зацепления).

На рис.2 (из работ [4, 5]) изображена экспериментальная кривая 1 передачи многопарного зацепления, построенная в осях $\ln T - \ln N$ на основе статистической обработки большого числа опытов с определением зоны плавного сопряжения левой и правой ветвей. Кривая имеет условную точку перегиба при $N = N_k$. Экспериментальная кривая 2 соответствует передаче с малой фазой двухпарного зацепления и имеет условную точку перегиба, например, при $N_2 = 4 \cdot 10^6$. Из сравнения кривых видно, что расчетная или экспериментальная оценка передач на базе N_2 , присущей традиционным передачам, приводящая к замене кривой 1 на кривую 3, дает искаженное представление о соотношениях прочностных свойств сравниваемых (в одинаковых по базе условиях) передач. На рис. 3 описываемые условной точкой перегиба кривой усталости по мере повышения технологической и монтажной точности передач с номинально разной многопарностью (4 – с фазами однопарного зацепления) показаны линиями 3 и 4. Это характеризует поведение кривой усталости (на основе предложенной модели), если увеличивать технологическую и монтажную точность, начиная с передачи, в которой многопарность зацепления полностью отсутствует, и заканчивая идеально точно изготовленной передачей.

Если же предположить, что база вообще отсутствует и можно аппроксимировать опыты одной прямой, то результатом будет прямая 4 (рис. 2). В первом варианте

обработки (на базе N_2) допускаемая нагрузка будет завышена в T_3 / T_1 раз, а во втором (без базы) в T_4' / T_3 при $N = N_2$ и в T_4'' / T_1 раз при $N = N_k$.

В то же время легко заметить, что обработка по второму варианту может дать некоторое занижение результата на малоцикловой нагрузке ($N < N_4'$), а в области $N > N_4'$ допускаемая нагрузка, полученная таким расчетом, может оказаться значительно ниже объективных показателей ее работоспособности.

Таким образом, в обоих случаях наблюдается существенное завышение нагрузочной способности передачи многопарного зацепления в наиболее важной для оценки ее прочностных свойств области. Степень этого завышения во многом зависит от соотношения чисел зубьев и точности изготовления передачи.

7. Работа КС и ограниченность развития зацепления Новикова рамками ДЛЗ стали тормозом развития зацепления Новикова. Эти 15 лет испытаний могли бы дать совершенно другие результаты, если бы длительным испытаниям были подвергнуты прогрессивные передачи – уже тогда хорошо известные (и освоенные в передовых отраслях машиностроения) эвольвентные передачи с углом исходного контура $\alpha \geq 25^\circ$, а в области зацепления Новикова – уже тогда показавшие лучшие результаты динамично развивающиеся передачи смешанного зацепления IP (типа IP-B) и наиболее перспективный вариант использования резервов зацепления Новикова и резервов эвольвентного зацепления во внеполюсном смешанном зацеплении IP (типа IP-Baf – рис. 1).

ВЫВОДЫ:

1. Сравнительные испытания, проведенные оппонентами, характеризуются специальным подбором конкурирующего варианта; отказом от сравнительных испытаний с прогрессивными эвольвентными передачами (на базе исходных контуров $\alpha \geq 25^\circ$) и передачами смешанного зацепления IP. Результаты выполненных оппонентами испытаний ДЛЗ не характеризуют ни относительный уровень несущей способности передач ДЛЗ (поскольку не было сравнения с прогрессивными типами передач), ни уровень их конструктивной гибкости (поскольку не был выявлен какой-либо смысл сравнения с узкозубцовыми и/или прямозубыми передачами, с конструкциями, имеющими упрощенные опоры и/или повышенную деформативность и т.д.). Обработка оппонентами результатов усталостных испытаний без учета особенностей двухпарного характера зацепления ДЛЗ искусственно завышает результаты изгибной прочности зубьев передач ДЛЗ.
2. Передачи ДЛЗ давно (еще до 15-летних испытаний) исчерпали заметные резервы развития зацепления Новикова и отражают морально устаревший вариант реализации этого зацепления.
3. Избирательный подбор объекта сравнения ДЛЗ не только в рамках многочисленных ограничений (например, $b_w \geq p_x$), но и по типу передач (исключительно, морально устаревший вариант эвольвентной передачи с углом профиля исходного контура зубьев $\alpha = 20^\circ$) делает эти испытания неинформативными. Фактически оппонентами проведены сравнительные испытания морально давно устаревших вариантов передач – эвольвентного зацепления (с углом профиля исходного контура зубьев $\alpha = 20^\circ$) и зацепления Новикова (типа ДЛЗ).
4. Результаты выполненных испытаний ДЛЗ (как и физические основы создания зацепления Новикова) стали для оппонентов инструментом искажения реальной картины соотношения прочностных показателей передач Новикова типа ДЛЗ, эвольвентного и смешанного зацеплений. Они активно используются для торможения развития зацепления Новикова вне рамок ДЛЗ, для торможения развития теории и практики зубчатых передач.

5. Заметные резервы своей реализации зацепление Новикова сохраняет вне рамок передач ДЛЗ, например, в системе внеполюсного пространственного смешанного зацепления IP, типа IP-Vaf.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев В.А, Веретенников В.Я. и др. Совершенствование зубчатых передач Новикова остается одним из важнейших направлений развития редукторостроения// Вестник машиностроения – 2007. – № 5. – С. 28-35.
2. В.И. Короткин Сообщение # 238-240 (от 23.04.2008)// Форум журнала «Редукторы и приводы» (<http://www.reduktor-news.ru/>)
3. Журавлев Г.А. Ошибочность физических основ зацепления Новикова как причина ограниченности его применения// Редукторы и приводы. Санкт-Петербург. – 2006. – №1. – С. 38-45.
4. Журавлев Г.А., Прокопьев П.С. К оценке влияния условий многопарного зацепления на усталостную прочность зубчатых колес// Вестник машиностроения. М., 1989. – № 6. – С. 25-28.
5. Журавлев Г.А. К оценке усталостной прочности зубьев передачи Новикова. Тезисы докладов межреспубликанской научно-технической конференции «Опыт исследований, проектирования, изготовления и эксплуатации зубчатых передач Новикова». – Рига. – 1989. – С. 98-99
6. Журавлев Г.А. Эффекты кривизны контакта тел, моделируемых упругими круговыми цилиндрами, и физические основы совершенствования зубчатых передач// Редукторы и приводы// С.-Петербург. – 2007. – № 1, 2 (08). – С. 73. (полный текст – сайт <http://www.reduktorntc.ru>)
7. Журавлев Г.А. К обсуждению физических основ совершенствования зубчатых передач// Редукторы и приводы. С.-Петербург. – 2007. – № 1, 2 (08). – С. 74-85. (полный текст – сайт <http://www.reduktorntc.ru>)
8. Zhuravlev G. Gear drive (Patent Application PCT/RU2005/000367. July 05, 2005// Publication WO/2007/008096, F16H 55/08 (2006.01) – 18.01.2007).
9. Журавлев Г.А. Применение смешанного зацепления в зубчатых передачах с поэлементной взаимозаменяемостью// Visnik of the East Ukrainian national University. Изд СНУ, Украина, г. Луганск, №10(56). – 2002. – С. 103-106.
10. Матлин М. М., Иткис М. Я., Шандыбина И. М. Зацепление Новикова: реальные возможности// // Редукторы и приводы. Санкт-Петербург. – 2007. – №4, 5 (10). – С. 69-70.