

## КТО И КАК ДОКАЗАЛ СПРАВЕДЛИВОСТЬ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ЗАЦЕПЛЕНИЯ НОВИКОВА?

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

Тезисы № 5 по анализу публикаций [1, 2] о путях развития редукторостроения.

Оппоненты [1, 2] постоянно поучают всех не согласных с их позицией, например, «Г.А. Журавлев жаждет получить комментарий об «ошибочности» основ зацепления Новикова. Но пусть он для начала в этой «ошибочности» убедит кого-нибудь из специалистов... Надо просто внимательно читать М.Л.Новикова, а не делать вольный перевод его текстов в свою пользу. С чего начал М.Л.Новиков? Он проанализировал взаимоогнбаемые линейчатые зацепления и показал, что получить высокую контактную прочность при любом характере контакта можно только на участках, достаточно удаленных от полюса. (Поэтому, кстати, вывод №4 [2] – не что иное, как плод фантазии Г.А.Журавлева).»

**На самом деле** софизм этих доводов оппонентов виден из приведенных здесь (на рис. 1...7) некоторых цитат (в виде фото текстов из книги М.Л. Новикова [4]), не позволяющих кому-либо «делать вольный перевод его текстов в свою пользу».

Оппоненты утверждают, что физические основы зацепления Новикова доказаны М.Л. Новиковым и не требуют дополнительных доказательств: «Надо просто внимательно читать М.Л.Новикова».

**На самом деле** этот софизм оппонентов легко разоблачить, именно прочитав М.Л. Новикова (рис. 1...7). Анализ взаимоогнбаемых линейчатых зацеплений и доказательство отсутствия возможностей кардинального снижения контактных напряжений в полюсе и в плоских зацеплениях для общего вида выполнил Ю.Н. Будыка [3]. Он же показал, что «при плоском зацеплении самого общего вида для точек зацепления вне полюса можно добиться значений контактных напряжений, меньших, чем в полюсе» (рис. 1) и сделал вывод: «Наиболее радикальный путь повышения передаваемой мощности для закрытых передач – не поиски новой системы зацепления, а изучение и борьба с самим явлением усталостного выкрашивания, лимитирующего передаваемую мощность» [3]. А.И. Петрусевиц дал анализ гидродинамики точечного контакта на базе решения плоской контактно-гидродинамической задачи (рис. 2). Решение плоской контактно-гидродинамической задачи не соответствует условиям точечного контакта, а его результаты противоречат данным эксплуатации передач Новикова. М.Л. Новиков принял ошибочные п.п. 1...3 физических основ без их анализа, обнаружив возможности (вывод № 4) кардинального снижения контактных напряжений, исключительно, в точечном пространственном зацеплении контакта (рис. 3...5) и показав альтернативный характер создания зацепления Новикова (рис. 6, рис. 7). Положения №№ 1...3 оказались ошибочными. Это доказано [5...7] анализом экспериментальных данных Ниманна – Рихтера и Зубарева – Игдалова, практикой совершенствования эвольвентных передач в передовых отраслях машиностроения, выявлением эффектов кривизны контакта и, наконец, мировым опытом освоения зацепления Новикова в виде передач ДЛЗ.

**На самом деле** софизм типа «Плод фантазии Г.А. Журавлева» [2] есть не что иное, как попытка оппонентов исказить действительную основу создания зацепления Новикова. Они приписывают М.Л. Новикову авторство положений 1...3 физических основ, хотя эти положения создавались многими поколениями ученых до М.Л. Новикова и он не претендовал на авторство (рис. 1 и рис. 2). И, наоборот, положение № 4 является единственным (и, безусловно, главным!) пунктом физических основ зацепления Новикова (внесенным самим М.Л. Новиковым), а не плодом «фантазии Г.А. Журавлева». Отметим, что в нашей редакции («о возможности значительного снижения контактных напряжений, исключительно, в точечном внеполюсном зацеплении Новикова» [5]) пункт № 4 по своей сути ничем не отличается от редакции М.Л. Новикова: «Следовательно,

новые высокоэффективные зубчатые передачи с существенно большей нагрузочной способностью могут быть созданы лишь на основе новых точечных систем зацепления» (рис. 5) [4].

При плоском зацеплении самого общего типа для точек зацепления вне полюса можно добиться значения контактных напряжений, меньших, чем в полюсе, выбирая с этой целью в качестве линии зацепления соответствующую кривую (см. работу Ю. Н. Будыка [19]). Однако существенного снижения напряжений для точек, находящихся вблизи полюса, практически получить невозможно в связи с тем, что профили в плоском зацеплении, которое исследуется в работе [19], должны быть взаимно огибаемыми кривыми без особых точек и должно отсутствовать заострение зубцов при заданном коэффициенте перекрытия.

Рис. 1. Фото части с. 16 из монографии М.Л. Новикова [4]

По предварительным подсчетам А. И. Петрусевича масляная прослойка в передачах с точечным зацеплением значительно толще (до 10 раз), чем для эвольвентного зацепления. Увеличение толщины масляной прослойки приводит дополнительно к уменьшению контактных напряжений.

Рис. 2. Фото части с. 12 из монографии М.Л. Новикова [4]

Превосходство точечного зацепления в отношении контактной прочности на 400% и более является исключительно большим преимуществом и в связи с этим все вопросы, относящиеся к новому зацеплению, и в первую очередь вопросы геометрической теории заслуживают самого пристального изучения.

Рис. 3. Фото части с. 23 из монографии М.Л. Новикова [4]

Точечное зацепление обладает большой конструктивной «гибкостью» и позволяет наилучшим образом удовлетворить требованиям, предъявляемым к зубчатой передаче.

Рис. 4. Фото части с. 12 из монографии М.Л. Новикова [4]

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Применяющаяся в настоящее время эвольвентная система зацепления обладает известными принципиальными недостатками:

а) контактная прочность зубцов, зависящая от радиусов кривизны сопряженных поверхностей, не может быть существенно повышена;

б) чрезмерно велика чувствительность к неточностям изготовления и деформациям деталей зубчатых передач;

в) сравнительно велики потери на трение.

Указанные недостатки свойственны также всем другим системам зацепления с линейчатым контактом. Следовательно, новые высокоэффективные зубчатые передачи с существенно большей нагрузочной способностью могут быть созданы лишь на основе новых точечных систем зацепления.

Рис. 5. Фото части Заключения (с. 181) из монографии М.Л. Новикова [4] (подчеркнуто нами).

Точечное зацепление, сопряженные поверхности которого образованы на базе предлагаемого метода, свободно от недостатков, присущих эвольвентному зацеплению.

Несущая способность по контактным напряжениям передач с точечным зацеплением в 3—4 раза и более выше несущей способности эвольвентных передач. Объясняется это широкими возможностями в выборе кривизны сопряженных поверхностей. Снижение контактных напряжений открывает возможность использования для колес легких конструкционных материалов с небольшой поверхностной твердостью. Соответствующая прочность зубцов в отношении изгиба и среза при точечном зацеплении всегда может быть обеспечена.

Рис. 6. Фото части с. 12 из монографии М.Л. Новикова [4]

6. Новые системы точечного зацепления могут найти успешное применение практически во всех отраслях машиностроения, начиная от высоконапряженных передач большой мощности в транспортной технике (в самолетах, кораблях, электровозах, автомобилях, танках и пр.) и кончая недорогими передачами для сельскохозяйственных машин. Только в так называемых кинематических передачах, в которых вопросы прочности стоят на втором месте и где требуются малые осевые размеры зубчатых колес (например, в часах и им подобных механизмах), преимущества остаются на стороне существующих систем линейчатого зацепления.

Рис. 7. Фото пункта 6 Заключения (с. 182) из монографии М.Л. Новикова [4]

Не только физические основы зацепления Новикова, но и другие традиционные физические основы совершенствования силовых зацеплений (эвольвентного зацепления и обоснования конкурентоспособности новых силовых зацеплений) базируются на линейной взаимосвязи:  $F_p = c\rho$  (где:  $F_p$  – допускаемое значение силы сжатия контактирующих тел  $F$ ;  $c$  – константа,  $\rho$  – приведенный радиус кривизны контактирующих тел) основных факторов контакта, вытекающей из решения плоской контактной задачи Герца:

1. На базе решения плоской контактной задачи Герца в сочетании с выводом [3] о наличии значительных резервов внеполюсного зацепления и об отсутствии перспектив снижения контактных напряжений при линейчатом плоском зацеплении общего вида («наиболее радикальный путь повышения передаваемой мощности для закрытых передач – не поиски новой системы зацепления, а изучение и борьба с самим явлением усталостного выкрашивания, лимитирующего передаваемую мощность» [3]) традиционное эвольвентное зацепление с углом зацепления  $\alpha_{tw} \approx 20^\circ$  (например – ГОСТ 13755-81, ГОСТ 21354-81 или DIN 3990) обосновано как лучшее среди возможных полюсных и внеполюсных плоских систем зацеплений.
2. На базе решения плоской контактной задачи Герца в сочетании с положением о влиянии увеличения гидродинамического эффекта на рост допускаемых контактных напряжений (исходя из анализа физики усталостных разрушений) дан качественный (без количественной оценки) вывод [8] о целесообразности максимально возможного увеличения значения угла зацепления эвольвентной передачи  $\alpha_{tw} \rightarrow \max$ .
3. На базе решения плоской контактной задачи Герца в сочетании с положением о влиянии сил трения на снижение силы сжатия зубьев в их контакте [9] дан вывод о целесообразности максимально возможного уменьшения значения угла зацепления эвольвентной передачи  $\alpha_{tw} \rightarrow \min$ .
4. На базе решения плоской контактной задачи Герца в сочетании с выводом [3] о наличии значительных резервов внеполюсного зацепления и об отсутствии перспектив снижения контактных напряжений при линейчатом зацеплении дано обоснование возможности значительного снижения контактных напряжений, исключительно, в точечном внеполюсном зацеплении Новикова [4].

Нами показано, что традиционные физические основы весьма противоречивы, не имеют достаточного обоснования и не соответствуют современным тенденциям развития техники [5, 6, 7].

Книга М.Л. Новикова [4] не содержит доказательств справедливости основ создания зацепления Новикова. Первые три положения этих физических основ, которые базируются на решениях плоских (контактной и контактно-гидродинамической) задач, разработаны не М.Л. Новиковым и являются ошибочными [5...7].

Положение № 4 определяет высокую конкурентоспособность и альтернативный характер зацепления Новикова относительно представлений о линейчатых зацеплениях по положениям № 1 и № 2. Оно было бы вполне справедливым, если бы были справедливы положения № 1...2 об отсутствии резервов снижения контактных напряжений в полюсной и внеполюсной фазах плоского зацепления общего вида. Уровень достоверности именно этих положений физических основ и определяет, в конечном счете, уровень достоверности положения № 4 и конкурентоспособность зацепления Новикова. Вот почему достоверность положений № 1...2 и нуждается в доказательстве с учетом материалов дискуссии [5...7]. Положение № 4 сохраняет свою достоверность в рамках достоверности положений № 1 и № 2 как частный случай – для хорошоприрабатываемых, «мягких» и и/или низкоскоростных, широковенцовых и малодеформативных передач. Уровень практической значимости зацепления Новикова можно увеличить его сочетанием с прогрессивными системами линейчатых зацеплений на базе сверхаддитивного смешанного зацепления IP, например, полюсным и внеполюсным вариантами IP – Vaf [7].

## **ВЫВОДЫ**

1. Не только физические основы зацепления Новикова, но и другие традиционные физические основы совершенствования зацепления и обоснования конкурентоспособности эволюционного и новых силовых зацеплений базируются на линейной взаимосвязи основных факторов контакта (вытекающей из решения плоской контактной задачи Герца) и весьма противоречивы.
2. Работами [5...7] даны неопровержимые доказательства (теоретические и экспериментальные) ошибочности традиционных физических основ развития зубчатых зацеплений, в том числе – создания зацепления Новикова. Ни одни из них не соответствуют современным тенденциям развития машиностроения. Каждая из традиционных физических основ достоверна, исключительно, в некоторой своей узкой сфере применения и отражает некий частный случай, не имеющий большого практического значения.
3. Впервые разработаны физические основы развития силовых зубчатых зацеплений [5...7], которые базируются на эффектах механизма снижения контактных напряжений в упругих телах с близким к начально-линейному касанием, выявленных без ряда упрощений решения плоской контактной задачи Герца, принципиально не соответствующих условиям реального контакта зубьев зубчатых колес.
4. Ни одного научного оппонирования доказательства ошибочности традиционных физических основ зацепления Новикова до сих пор не получено. Используя то, что книга М.Л. Новикова недоступна большинству участников дискуссии, оппоненты предлагают (вместо собственного доказательства – с учетом материалов дискуссии [5...7]) «просто внимательно читать М.Л.Новикова». Но, книга М.Л. Новикова [4] не содержит доказательства справедливости основ создания зацепления Новикова.
5. Концепция М.Л. Новикова по принципиальному отказу от линейчатого контакта и от фазы зацепления в полюсе силовых зубчатых передач является ошибочной. Поддержание этой «незыблемой» концепции так называемыми «сторонниками» зацепления Новикова ярко проявляется в рекламировании ими передач ДЛЗ, ставшими тупиковой ветвью развития зацепления Новикова.

6. Методы ведения оппонентами дискуссии показывают, что действительные цели авторов статей типа [1, 2] далеки от поисков научной истины. Они направлены, исключительно, на искусственное поддержание устаревших физических основ зацепления Новикова, на «топтанье» зацепления Новикова в рамках устаревших представлений о принципиальной необходимости отказа от линейчатых зацеплений и от фазы зацепления в полюсе, на сохранение (любыми путями) тупикового направления развития зацепления Новикова в рамках традиционных передач типа ДЛЗ. Этот путь приводит к торможению прогресса в теории и практике зацепления Новикова, зубчатых зацеплений в целом.

## 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. Будыка Ю.Н. Теория зацепления и сравнительная износоустойчивость плоских зацеплений общего вида. Труды семинара по ТММ, Т.10, вып.39,М., 1951. С.56-74.
4. Новиков М.Л. Зубчатые передачи с новым зацеплением. М. ВВИА им. Н.Е.Жуковского. –1958. – 186С.
5. Журавлев Г.А. Ошибочность физических основ зацепления Новикова как причина ограниченности его применения// Редукторы и приводы. Санкт-Петербург. – 2006. – №1. – С. 38-45.
6. Журавлев Г.А. Эффекты кривизны упругих тел с близким к начально-линейному касанием// Труды III Всероссийской конференции по теории упругости. Изд. «Новая книга», г.Ростов-на-Дону. - 2004. С.163-165.
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. Niemann G., Richter H. Steigerung der Zahnflanker-Tragfähigkeit durch Evolventen-Sonderverzahnungen //Konstruktion.1960. №6. Bd12. S.239-241.
9. Сухоруков Ю.Н. Модификация эвольвентных цилиндрических зубчатых колес. Справочник// Киев, «ТЭХНИКА».– 1992 – 197 С.
10. Zhuravlev G.A. About Influence of Hydrodynamic Factors to Choice of a Pressure Angle// International Conf. «MECHANICAL TRANSMISSIONS and MECHANISMS» 1-4 July, Tianjin, CHINA, 1997. – P.554-558.
11. Zhuravlev G. Gear drive (Patent Application PCT/RU2005/000367. July 05, 2005) //Publication WO/2007/008096, F16H 55/08 (2006.01) – 18.01.2007).