

К ВОПРОСУ О ПЕРЕДАЧАХ НОВИКОВА

А.И. Мироненко

Александр Иванович Мироненко – начальник отдела редукторов ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект» (Николаев)

Знакомство с журналом «Редукторы и приводы» для меня и моих коллег явилось приятной неожиданностью. Журнал содержит полезные данные для специалистов, имеющих непосредственное отношение к зубчатым передачам. Кроме того, журнал дает определенную информацию о лицах, которые занимаются редукторной наукой как в России, так и на Украине, в связи с чем читатель может определить: кто есть кто.

С большим интересом ознакомился со статьей Г.А.Журавлева «Ошибочность физических основ зацепления Новикова как причина ограниченности его применения». Статья интересная и нужная. Приходится сожалеть по поводу того, что она появилась так поздно. Если бы указанная статья вышла в свет 25-30 лет назад, то в настоящее время исследователям в области эвольвентных зубчатых передач, по-видимому, не пришлось бы выдерживать столь мощный прессинг сторонников зацепления Новикова.

Основная цель прессинга – попытки доказать, как мне кажется, в первую очередь самим себе, что передачи Новикова чуть ли не опередили время, в связи с чем эвольвентным передачам приписывается роль передач с исчерпанными резервами их дальнейшего развития и совершенствования.

Как специалист в области зубчатых передач я не могу согласиться с высказываниями тех лиц, которые принижают роль традиционных классических эвольвентных зубчатых передач в современном машиностроении.

Я понимаю позиции тех людей, которые связали свою жизнь с передачами Новикова, защитив по ним диссертации и получив ученые степени и ученые звания. Долг таких людей – защищать эти передачи, и в этом нет ничего предосудительного. Но защита защите рознь. Любая защита или доказательство должна строиться не на желании убедить других в том, что «это хорошо, а это плохо», а на выполненных исследованиях и проверенных фактах, на глубоких, может быть даже исчерпывающих, познаниях в области контактной и изгибной прочности зацепления зубьев системы Новикова.

При разработке зубчатых передач с точечной системой зацепления выпукло-вогнутых зубьев М.Л. Новиков, его сподвижники и последователи исходили и исходят до сих пор из высокой нагрузочной способности указанных передач по контактным напряжениям в ущерб их изгибной прочности.

Уже в первые годы появления передач Новикова стало очевидным, что вследствие торцевого взаимодействия зубьев при их входе и выходе из зацепления возрастает примерно вдвое изгибающий момент, определяющий изломную прочность зубьев [2, 3].

Однако о низкой изгибной прочности зацепления заговорили позже, когда в процессе испытаний передач Новикова начались поломки зубьев усталостного характера. Особенно наглядно это проявилось на нашем предприятии, на котором В.Г. Тетерятченко проделал огромную работу по разработке и проведению экспериментальных исследований передач Новикова с целью их внедрения в судостроение, которое, увы, так и не состоялось.

Не лучшим образом обстоит дело и с контактной прочностью пространственного точечного зацепления выпукло-вогнутых зубьев. Так как рекламируется высокая нагрузочная способность указанных передач по контактным напряжениям, то возникает необходимость в достаточно достоверном определении нагрузочной способности. Но как ее определить - никто не знает. И тогда, на основе всего лишь предположений, всплывает спасительное утверждение по поводу того, что передачи Новикова хороши как класс передач невысокой твердости.

При таком утверждении все становится как будто на свои места. Выпукло-вогнутые зубья в данном случае в течение непродолжительного периода времени прирабатываются практически, как это утверждается, по всей их рабочей высоте. В связи с этим передача вместо пространственного точечного сопряжения зубьев приобретает статус передачи с линейным контактом зубьев, расчет которой можно производить по известной формуле Герца.

В таких случаях уже некорректно говорить о передачах Новикова с пространственным точечным зацеплением зубьев, так как точка в процессе эксплуатации перерождается в линию. Однако сторонники зацепления Новикова избегают указанного названия передач. Возникает вопрос – почему? Да потому, что такое определение не соответствует статусу передач Новикова, относящихся к тому же классу передач невысокой твердости. В связи с этим предпринимаются попытки создания методов расчета передач Новикова на контактную прочность с учетом пространственного точечного зацепления выпукло-вогнутых зубьев – как класса передач высокой твердости.

При этом стоит упомянуть работы Б.С. Ковальского [4], Е.Г. Росливкера [5], М.А. Рыжика [6] и т.п. Однако предпринимаемые попытки по созданию методов расчета передач Новикова на контактную прочность так и остались на уровне попыток.

И только лишь проф. А.П. Попову удалось в полном объеме выполнить фундаментальные исследования по контактной прочности передач Новикова ОЛЗ и ДЛЗ с пространственной точечной системой зацепления зубьев, которые, к сожалению, мало известны российскому читателю журнала «Редукторы и приводы».

Основные направления исследований проф. А.П. Попова: контактная прочность передач Новикова ОЛЗ и ДЛЗ с учетом линейной и нелинейной зависимостей между упругими перемещениями зубьев и возникающими в них напряжениями; контактная прочность передач Новикова при

входе и выходе зубьев из зацепления, а также при наличии перекоса зубьев; влияние приработки и продольной модификации зубьев на контактную прочность зацепления; контактная прочность передач Новикова с эллиптическими, эллиптически-круговыми зубьями и с линейным контактом зубьев; разработка нового практического метода расчета контактной прочности передач Новикова и т.д. К сказанному следует добавить, что большая часть разработок защищена патентами на изобретения.

Без преувеличения можно сказать, что проф. А.П. Попов сделал то, что должны были сделать сторонники передач Новикова за 50 лет их существования. В связи с этим его статья «Передачи Новикова: вымыслы и реальность» – не «плод воображения», не «седьмое чувство», не «озарение» и т.п., которые ему приписал В.И. Короткин, защищая передачи Новикова (от кого и от чего – остается гадать), а реальная констатация фактов, подтвержденная жизнью и выполненными исследованиями.

Поэтому целиком и полностью согласен с мнением проф. А.П. Попова, высказанном им по поводу передач Новикова в указанной статье, а также достаточно убедительно в комментариях на комментарии В.И. Короткина.

Проф. А.П. Попов в комментариях озвучил 10 вымыслов, приписанных передачам Новикова, которые в действительности не имеют к ним никакого отношения. Указанные вымыслы достаточно убедительно опровергнуты им целым рядом позиций реального положения дел, подтвержденных, как уже указывалось, эксплуатацией и выполненными исследованиями, а также природой зацепления выпукло-вогнутых зубьев.

Более того, в своей статье «Передачи с точечной и двухпарной системой зацепления эвольвентных зубьев», опубликованной в Интернете, проф. А.П. Попов показал и доказал, что нагрузочная способность указанных передач по контактным напряжениям существенно выше таковой передач Новикова. Ограниченная нагрузочная способность передач Новикова как по контактным, так и по изгибным напряжениям является объективным фактором, обусловленным расположением линии контакта почти перпендикулярно к направлению зуба.

При таком положении линии контакта, если речь идет о передачах Новикова как классе передач низкой твердости, длина рабочего участка контактной линии не превышает $1,5 m_n$ (m_n – модуль зацепления в нормальном сечении). Однако при этом приведенные радиусы кривизны R_{np} профилей, полученные сечением поверхностей зубьев плоскостью, перпендикулярной контактной линии, достигают достаточно больших размеров, равных 1000–3200 мм.

В судовых зубчатых передачах с эвольвентными зубьями наблюдается обратная картина, заключающаяся в том, что длина контактной линии намного (в 15–46 раз) выше таковой в передачах Новикова. Однако приведенные радиусы кривизны ρ_w боковых профилей эвольвентных зубьев в полюсе зацепления в 27–85 раз меньше ρ_w выпукло-вогнутых зубьев зацепления Новикова.

В связи с этим для прямозубых колес нагрузочная способность передач с линейным контактом зубьев в 1,17–1,365 раза меньше нагрузочной способности передач Новикова.

При углах наклона зубьев $\beta \leq 20^\circ$ (косозубые колеса) и $\beta \leq 40^\circ$ (шевронные колеса) нагрузочная способность эвольвентных передач с линейным контактом зубьев примерно в 1,12–1,28 раза ниже таковой по сравнению с передачами Новикова.

Если исходить из пространственного точечного зацепления выпукло-вогнутых зубьев Новикова применительно к классу передач высокой твердости, то в этом случае корректно и уместно сравнивать передачи Новикова с передачами, для которых характерно точечное зацепление эвольвентных зубьев. А в этом случае, как следует из уже упомянутой статьи проф. А.П. Попова, нагрузочная способность передач Новикова по контактным напряжениям просто не в состоянии конкурировать с нагрузочной способностью эвольвентных зубчатых передач с пространственным точечным зацеплением зубьев.

Приведенные выводы убедительны и они не требуют так называемого научного оппонирования, на котором настаивает В.И. Короткин. Прежде чем ставить вопрос о научном оппонировании, необходимо очертить круг вопросов, выносимых на обсуждение.

Если речь идет об ошибочности физических основ зацепления Новикова как причине ограниченности его применения, то в этом направлении Г.А. Журавлев дал исчерпывающий ответ. Если речь идет о природе зацепления выпукло-вогнутых зубьев системы Новикова, то в этом случае проф. А.П. Поповым также дан ответ на основе выполненных им исследований. И, наконец, если речь идет о контактной и изгибной прочности выпукло-вогнутых зубьев, то и здесь можно обойтись без оппонирования, ознакомившись с трудами проф. А.П. Попова.

Что касается проблем изготовления и точности передач Новикова, областей их применения и перспектив дальнейшего использования, то и здесь, на мой взгляд, все более или менее ясно.

Во-первых, найдется не так много желающих в каждом конкретном случае при изготовлении выпукло-вогнутых зубьев изготавливать отдельно для шестерни и колеса исходные контуры. И не просто изготавливать, а с учетом жестких и не всегда выполнимых требований.

Общеизвестно, что эвольвентное зацепление нечувствительно к погрешностям межосевого расстояния как в самой передаче, так и при нарезании зубьев. В то же время передачи Новикова, наоборот, очень чувствительны к допускам на межосевое расстояние, в связи с чем уменьшение указанной чувствительности – головная боль для технологов, конструкторов и прочнистов.

Поэтому если есть Заказчик, которому нравятся передачи Новикова в силу ранее разрекламированных их достоинств и преимуществ, а также имеется Исполнитель, готовый выполнить заказ, то здесь все ясно и никто против такого соглашения не выступает. Однако при этом не следует забывать, что времена СССР, когда передачам Новикова был дан зеленый свет за счет государственного кармана, уже миновал. В настоящее время, в условиях рыночных отношений, не так просто Исполнителю найти Заказчика. Если указанные связи между Заказчиком и Исполнителем

сохранились до сих пор, то это, скорее, всего дань уважения привычке и консерватизму, начисто лишенная прагматизма.

О применении передач Новикова в различных отраслях машиностроения достаточно сказано проф. А.П. Поповым в его статье «Передачи Новикова: вымыслы и реальность». В качестве примера приведу южные регионы Украины, напичканные судостроительными и машиностроительными предприятиями, в которых, увы, заказам на передачи Новикова места не нашлось и уже не найдется.

Исследование передач Новикова в судостроении – вымысел, построенный на непонятных и не имеющих к судостроению данных. Те, которые говорят об использовании передач Новикова в судостроении, по-видимому, не представляют всего спектра проблем при изготовлении не только редукторов, но и сложнейших редукторных систем: очень большие передаваемые мощности (от 40–60 до 100 МВт), окружные скорости до 225 м/с и выше, наличие больших величин температур в зоне контакта зубьев (до 450 °С), нетрадиционные условия подвода и отвода смазки, а также необходимость устранения негативного влияния барботажных процессов смазки на работу зубчатых передач, улучшения виброакустических характеристик зацепления, снижения весогабаритных показателей передач и многое другое.

И здесь, хотим мы этого или не хотим, нет места передачам Новикова, поэтому необходимо свыкнуться с мыслью, что судостроение – отдельно, а передачи Новикова – отдельно.

Невозможность использования передач Новикова в судостроении основана не на симпатии или антипатии отдельных лиц или целых коллективов применительно к данным передачам, а на природе зацепления Новикова.

Проф. А.П. Попов показал, что в силу природы зацепления выпукло-вогнутых зубьев системы Новикова, при сопряжении которых линия контакта перемещается в направлении, почти перпендикулярном направлению зуба, невозможно получить приведенные радиусы кривизны $R_{пр}$ аппроксимирующих цилиндров, принимаемых равными приведенным радиусом кривизны активных поверхностей зубьев, необходимые для получения той контактной прочности зубьев, о которой так много и часто рассуждают сторонники передач Новикова в течение последнего полувека.

В заключение хочу отметить, что дальнейшие дискуссии по передачам Новикова не приведут к общим точкам соприкосновения оппонированных сторон. Среди сторонников зацепления Новикова нет в настоящее время запоминающихся личностей, которые бы внесли существенный вклад в развитие контактной прочности выпукло-вогнутого зацепления зубьев.

Что касается разработок проф. А.П. Попова по данной проблеме применительно к зацеплению Новикова, то они, на наш взгляд, на сегодняшний день не имеют аналогов в области не только передач Новикова, но и любых других передач с произвольной формой зубьев.

Однако проф. А.П. Попов не сторонник восторженных тезисов в адрес передач Новикова, хотя раньше таковым и являлся, по причине осознания им природы данного зацепления и невоз-

возможности их использования в тех масштабах и в тех отраслях, о которых так много говорится оппонировавшей стороной.

В связи с этим заявление В.И. Короткина в журнале «Редукторы и приводы» по поводу ожидаемого им так называемого научного оппонирования является, мягко говоря, не только некорректным, но и в определенной степени несерьезным. И это достаточно убедительно показано и доказано в комментарии проф. А.П. Попова к комментарию В.И. Короткина, опубликованном на сайте Интернета журнала.

Хочется верить и надеяться, что в следующем 2008 году в журнале «Редукторы и приводы» исчезнет дух противостояния по принципу «стенка на стенку», а болезненное отношение отдельных лиц, в том числе и В.И. Короткина, к разработкам Г.А. Журавлева, А.П. Попова и других талантливых исследователей сменится здоровым прагматизмом и определенным вкладом в развитие редукторной науки как в России, так и на Украине, в котором так нуждаются два самых мощных славянских государства.

Библиография

1 Журавлев Г.А. Ошибочность физических основ зацепления Новикова как причина ограниченности его применения // Редукторы и приводы. – 2006. -- №1(04). – С. 38-45.

2 Попов А.П. Зубчатые муфты в судовых агрегатах. –Л.: Судостроение, 1985. – 240 с.

3 Weleauer N.J., Seireg A.K. Bending strength of Gear Teeth by Cantilever – Plate Theory. Paper ASME, 1950. – A50.

4 Ковальский Б.С. Контактная задача в инженерной практике // Известия вузов «Машиностроение». – 1960. – № 6.

5 Росливкер Е.Г. Прочность и жесткость зубьев передач с зацеплением М.Л.Новикова // Прочность корпусов судов и надежность деталей машин: Труды ГИИВТ. – 1975. – Вып.138. – С. 50-96.

6 Рыжик М.А. К вопросу о расчете колес Новикова на контактную прочность // Зубчатые передачи с зацеплением Новикова: Сб.работ НИИТМ. – 1964. –Вып.10. – С. 139-160.