

# ЗАЦЕПЛЕНИЕ НОВИКОВА НЕ НАШЛО ШИРОКОГО ПРИМЕНЕНИЯ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С.Л. Иванов, д.т.н., проф.



Сергей Леонидович Иванов – горный инженер-механик, доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование горных машин и технология машиностроения», декан горно-электромеханического факультета Санкт-Петербургского горного института. В 2005 году стал лауреатом Всероссийского конкурса «Инженер года». Автор и разработчик метода повышения ресурса горных выемочных машин на основе оценки энергонагруженности элементов их трансмиссий. Разработки и технические решения С.Л. Иванова отмечены золотыми медалями на выставке «Эврика-2003» в Брюсселе, в 2004 г. – на IV Московском международном салоне инноваций и инвестиций, на 32 Международном салоне изобретений новой техники и товаров «Женева-2004», на Международном салоне изобретений «Конкурс-Лепин-2004» в Париже. Результаты научно-педагогической деятельности С.Л. Иванова нашли отражение в 140 опубликованных работах, в том числе в девяти монографиях и учебных пособиях.

**В**згляды Г.А. Журавлева мне близки, и идеи его я вполне разделяю. Статья Г.А. Журавлева, опубликованная в предыдущем номере журнала «Редукторы и приводы», безусловно, интересна, причем не только узкому кругу специалистов (хотя им, бесспорно, в первую очередь), но и широкой аудитории. Главным же образом она интересна тем, кто занимается приобретением и эксплуатацией соответствующего нового оборудования. Очень важно, на мой взгляд, то, что автор уделяет в ней серьезное внимание эвольвентному зацеплению, доказывая, что оно, в отличие от зацепления Новикова, еще имеет значительные резервы.

Сама история и практика применения передачи Новикова в производстве свидетельствует о том, что она не нашла широкого применения не только у нас, но и за рубежом. В свое время появление зацепления Новикова стало существенным шагом вперед в области зубчатых передач, оно позволило в значительной степени повысить контактную прочность зубчатых передач в сравнении с традиционным эвольвентным. Но говорить о нем как о панацее вряд ли возможно. Достаточно сравнить количество публикаций в 60–70-е годы, когда наблюдался бум материалов на эту тему, с сегодняшним днем: зацепление Новикова не обсуждается и о нем редко говорится.

Всестороннего применения оно, к сожалению, не получило, хотя было предпринято много попыток его внедрения в самых разных областях. Это зацепление не нашло широкого применения и в горной промышленности. В этой области в основном ис-

пользуется проверенное временем и далеко еще не исчерпавшее своего потенциала эвольвентное зацепление. На это есть ряд причин. Во-первых, изгибная прочность зубчатых передач с зацеплением Новикова не столь велика, как у эвольвентных передач, а нагрузки, которые испытывают горные машины, их трансмиссии – высокодинамичные, имеющие стохастический характер. Зацепление Новикова требует использования специального инструмента, и, кроме того, если одно из колес выходит из строя, необходимо заменить и второе. В эвольвентных же передачах, в принципе, достаточно заменить только одно колесо (хотя это тоже не самый оптимальный вариант).

И «слабые места» зацепления Новикова, и его неоспоримые достоинства достаточно подробно описаны в рассматриваемой статье Г.А. Журавлева, равно как и в более ранних его работах. Так, я принципиально согласен с ростовским ученым в том, что взаимосвязи основных факторов контакта имеют нелинейный характер. Спорить здесь уместно, пожалуй, только по поводу предлагаемых им коэффициентов: насколько адекватно они оценивают этот эффект. Но надо отметить, что когда было предложено зацепление Новикова, проведение специальных экспериментов не представлялось возможным, поэтому и многочисленных вопросов на этот счет не возникало. В любом случае, линейность – это только один из частных случаев.

Что касается проблем смазки, и, в частности, таких сложных элементов, как зубчатые передачи, то здесь и

сегодня существует масса противоречивых вопросов, решая которые, мы, в конечном счете, идем эмпирическим путем. Вопросы смазки, как и гидродинамическая теория, зависят от множества факторов, неучет любого из которых может вести к самым разным результатам.

По поводу распространенного тезиса о высоком гидродинамическом эффекте зацепления Новикова я бы также согласился с Г.А. Журавлевым в том, что в действительности этот эффект не настолько велик. Многое здесь зависит от окружных скоростей – именно поэтому сейчас широко используются управляемые электромеханические трансмиссии, где изменение скорости определяется векторным и частотным управлением асинхронного двигателя. Следовательно, мы выходим не к проблеме определенных скоростей, а к их диапазону, что требует уже совершенно иного подхода к вопросу выбора смазок, с учетом не только вязкости, но температуры и смазывающей способности последних.

Не является уникальной и опора на кинематический принцип в зацеплении Новикова, как это совершенно справедливо отмечается Г.А. Журавлевым. Конечно, оно получило соответствующие приоритеты в патентах, но это только частный случай, который в силу сложившихся обстоятельств нашел достаточно широкое применение. Если посмотреть на патентные исследования, станет достаточно очевидно, что зубчатых передач, работающих на кинематическом принципе, великое множество.

Неоправданно резко, на мой взгляд, поставлен Г.А. Журавлевым вопрос об ошибочности физических основ зацепления Новикова. Об ошибочности как таковой говорить вряд ли правомерно, место имеют скорее выявляемые недостатки. Если бы физические основы зацепления Новикова были абсолютно ошибочны, то оно в принципе вряд ли бы существовало и работало. Аналогичным образом можно соглашаться или не соглашаться с теорией Эйнштейна: при внимательном исследовании, без сомнения, выявятся неизбежные недостатки, что уже было неоднократно доказано. Таким образом, вопрос скорее связан с нашими личными пресуппозициями, а не с объективными явлениями.

Я считаю, что сам этот вопрос возник из-за широко распространенного мнения о зацеплении Новикова как о панацее. В процессе эксплуатации, равно как и в процессах длительного наблюдения и лабораторных исследований, появляются факты, которые свидетельствуют о том, что не все так безупречно, как виделось вначале. Однако это естественный порядок вещей. Главное – не отмахиваться и не закрывать глаза, а объединить самые ценные знания, полученные о разных зацеплениях, и принимать решения, исходя из этого изначального многообразия, но, опять-таки, не фронтально реализуя вопросы теории, а исходя из конкретной ситуации.

«Только в многообразии проявления жизнеспособна идея», – говорили великие. Мы же можем сделать вывод о том, что неконструктивно фиксироваться на чем-то одном. Чем больше многообразия, тем лучше. Каждое решение имеет свою область эффективного применения, и у каждого зацепления существует свой оптимум, то есть рациональный диапазон, где его целесообразно применять в зависимости от каждой конкретной ситуации. Многое зависит и от геометрии, и от материалов, и от смазок, и от технологий изготовления, сборки, технического обслуживания и так далее.

Несомненно, зацепление Новикова имеет право на существование, и при определенных условиях все, что было заложено, будет работать. Несмотря на то, что опыт эксплуатации не позволяет говорить о преобладающем техническом превосходстве этих передач, у зацепления Новикова, как и у других зацеплений, есть своя, сравнительно узкая область применения, в которой оно доказало свою состоятельность. Но очень важно всегда определить границы конструктивной применимости! То есть принимать решение нужно в каждой отдельной конкретной ситуации, отдавая себе отчет в том, что в других условиях оно может оказаться неверным.

Взгляды Г.А. Журавлева мне близки, и идеи его я вполне разделяю.

С.Л. Иванов

В действительности нет ни одной передачи (это касается и эвольвентного, и новиковского зацеплений), которая бы точно соответствовала теории, всегда существует ряд допущений: абсолютная жесткость, абсолютно точный профиль и так далее. Не бывает совершенных материалов, существуют износ и накопление повреждений. Даже если сейчас достаточно широко рассматриваются эвольвентные передачи под нагрузкой, и за счет деформаций мы приходим к необходимому профилю, все равно получаем искажения, которые дают износ. Однако, если говорить об эвольвентном профиле, они, на мой взгляд, не настолько велики и оказывают не столь сильное влияние, как искажения, получаемые при использовании зацепления Новикова. Все это ограничивает область применения, а в ряде случаев неучет, казалось бы, незначительных условий, может привести к совершенно неправильным решениям.

Возможно ли усовершенствование редукторов с зацеплением Новикова? Конечно, усовершенствовать можно очень многое, а значит, и получить зацепление Новикова, которое будет высокоточным и малочувствительным к погрешностям. Вопрос заключается в другом: насколько это эффективно и целесообразно? Сделать возможно многое, но каждый раз это будут единичные случаи, а нас интересует поточное крупносерийное производство, когда достичь полученного в единичных условиях оказывается почти



невозможно. Показатели, которые были получены в лабораторных условиях, могут быть в принципе недостижимы в условиях серийного производства. Кроме того, что касается зацепления Новикова, нельзя не учитывать большие технологические трудности, с которыми неизбежно сталкиваются специалисты промышленных предприятий в связи с требованием высокой точности и сложности изготовления инструмента (в отличие от стандартного), а также в связи с использованием специальных технологий. Здесь не столь сложным является проектирование, сколько непосредственное изготовление! Вопрос в том, насколько выигрыш, который мы, возможно, получим при использовании такого зацепления – по контакту, по изгибной прочности, по долговечности – будет оправдан теми финансовыми вложениями, которых он потребует.

В любом случае, по сравнению с зацеплением Новикова, передача, предложенная Г.А. Журавлевым, представляется, безусловно, более предпочтительной; кроме того, по технологии изготовления она значительно проще. Что касается предложенной Г.А. Журавлевым геометрии зубчатой передачи, она действительно дает возможность увеличивать и приведенный радиус кривизны, и угол зацепления, что, безусловно, дает выигрыш по контактной выносливости зубчатых передач. Кроме того, поскольку профиль несимметричный, это позволяет достичь определенного выигрыша и по изгибной прочности, а также благотворно сказывается на износе зубьев, так как при увеличении этих параметров снижается коэффициент трения и уменьшается интенсивность изнашивания. Следовательно, ресурс по износу такой передачи будет повышенным. Однако эта передача также требует использования нестандартного инструмента при нарезании зубьев, что удорожает саму продукцию и делает ее менее конкурентоспособной.

Как дальше будет развиваться теория и практика зубчатых передач, предсказать невозможно. Рынок сам определяет, какие зацепления являются наиболее перспективными. Но, на мой взгляд, эвольвентное зацепление было, есть и еще очень долго будет приоритетным, поскольку оно легко воспроизводимо технологически. Так, Г.А. Журавлев, в частности, показывает перспективы его эффективного совершенствования.

Что касается нашего Горного института, то мы довольно подробно говорим о комбинированном смещении в эвольвентном зацеплении для прямозубых цилиндрических передач (при наличии радиального смещения есть еще и тангенциальное в коническом, выполняемое одним и тем же инструментом, радиальный зазор в зацеплении может отличаться от стандартного). Применение комбинированного смещения дает возможность при использовании стандартного инструмента, стандартных технологий, стандартного оборудования получить выигрыш в нагрузочной

способности зубчатой передачи: она возрастает. Его применение позволяет также, не изменяя параметров инструмента (хотя их тоже можно менять и получать конкретные выгоды), значительно повысить (до двух-трех раз) изгибную прочность зубьев. Кроме того, можно увеличить (также за счет повышения угла зацепления и приведенного радиуса кривизны) контактную прочность зубьев, вписаться в заданные межосевые расстояния, проектировать передачи с заданным коэффициентом перекрытия.

Поскольку в горной промышленности передачи не такие точные, как, скажем в авиации, и двупарная зона зацепления, как мы знаем, не всегда реализуется, то проектировать их целесообразно с коэффициентом перекрытия около 1,2. При этом интенсивность износа и потери в зацеплении снижаются, повышается их долговечность.

В заключение хотел бы сказать несколько слов о самом журнале «Редукторы и приводы». Это издание, в котором я нахожу действительно много интересного и полезного. Большая работа, которая ведется редакционным коллективом, я думаю, приносит и еще принесет в будущем свои плоды. Кроме конструктивно выполняемых рекламных функций журнал является и средоточием современных тенденций в машиностроении. И от радно, что редукторы общемашиностроительного применения рассматриваются в публикациях как модульные

...Хотел бы сказать несколько слов о самом журнале «Редукторы и приводы». Это издание, в котором я нахожу действительно много интересного и полезного... Кроме конструктивно выполняемых рекламных функций журнал является и средоточием современных тенденций в машиностроении.

С.Л. Иванов

варианты. Хотя специфика горной промышленности не всегда дает возможность применения таких редукторов, особенно в подземных горных машинах (где требуются как высокие мощности, так и очень большие передаточные числа – от 1000 и более), но и нам интересны подобные материалы, потому что в них поднимаются серьезные вопросы, разворачивается серьезная полемика. Вероятно, можно было бы пожелать журналу освещать не только проблемы общего машиностроения, но и специального, в том числе горного. Вашу позицию можно определить как «на острие». Дай вам Бог и дальше успешно развиваться!