

К дискуссии о силах вообще и силах инерции в частности

В механике машин при кинетостатических и динамических расчетах пользуются понятием «сила инерции», полагая ее приложенной к звену, для которого определяются реакции, действующие со стороны входящих с ним в кинематическую пару звеньев. Сила инерции считается реальной силой, поскольку в результате ее действия в деталях механизма возникают определенной величины напряжения, в ряде случаев выходящие за пределы прочности, что приводит к разрушению звеньев.

Вопрос о реальности или фиктивности сил инерции оказался далеко не праздный. Он имеет не только методологическое, но и большое практическое значение, потому что отчетливое физическое представление об их происхождении позволяет решить ряд важных практических задач. Разумеется, что в этом отношении нет нужды искать каких-то новых законов механики. Вся проблема решается, если последовательно и логично применять законы Ньютона, исследуя динамику системы подвижно связанных тел, которая представляет собой конкретный механизм. Важно поставить вещи на свое место и тогда не может возникнуть ни сомнений, ни споров о фиктивности или реальности сил инерции. В науке не может быть приверженности к той или иной точке зрения. Законы природы вполне определенным образом устанавливают связи между взаимодействующими материальными системами, в какой бы форме они не представлялись. Существо проблемы не должно затемняться терминологическими спорами, о фиктивности или реальности определенной категории, в данном случае силы инерции. Вопрос, очевидно, должен быть поставлен иначе, а именно, удачен или неудачен сам термин.

В 30-е годы текущего столетия на страницах научной печати возникла страстная дискуссия по поводу сил инерции. Реальны они или нет. Поводом для дискуссии послужила заметка профессора Л. Б. Левенсона, в которой излагалась просьба к читателям исправить некоторые неточности в определении сил инерции, допущенные в книге «Общая теория машин». В этой книге, например, говорится о парности сил инерции, что конечно неправильно (центробежной и центростремительной). После этой заметки на страницах журнала «Вестник инженеров и техников» появилась статья Шора, в которой Л. Б. Левенсон обвинялся в том, что он глубоко заблуждается в простом, но важном вопросе о силах инерции. Это послужило началом длительной дискуссии, перекинувшейся на ряд научных журналов. Спор закончился нулевым результатом. Практики, утверждавшие на основе опыта, что под действием сил инерции происходит разрушение деталей машин, в частности под действием сил инерции разрушаются маховики, имели основание считать силы инерции реальными. Противники этой точки зрения остались при своем мнении, а именно: поскольку силы инерции действуют не на тело, а на связи, то перенос их на тело переводит их в категорию фиктивных сил.

Спор о реальности или фиктивности сил инерции возник, как мне представляется, вследствие того, что из поля зрения спорящих сторон исчезло главное, а именно, собственно определение понятия силы как некоего оператора меры

направленного действия, оказываемого на тело, именно тело, обладающее массой, поскольку рассматривается механическое движение.

Всякое внешнее действие на материальное тело, независимо от происхождения этого действия, представляется как сила, т. е. как величина, имеющая определенную меру и направление. Действие может оказывать одно тело на другое, притом локальное, если контакт между ними происходит в точке, или распределенное, если контакт реализуется по поверхности. Действие на тело может оказывать поле - электрическое, магнитное, электромагнитное, гравитационное, жидкость сжимаемая или несжимаемая и пр. Все многообразие действий может быть охарактеризовано одним оператором, удобным для анализа поведения материального тела, силой, изображая ее в виде вектора, если даже внешнее действие на тело распределенное. Этим самым получаем удобный для анализа аппарат, в котором используется изображение действия направленным отрезком со стрелкой на конце, именно только изображение. В действительности, конечно, никакой стрелки в зоне действия нет и не может быть. Здесь уместно привести некоторые выдержки из «Диалектики природы» Ф. Энгельса, касающиеся определения силы. «Представление о силе заимствовано, как это признается всеми (начиная от Гегеля и кончая Гельмгольцем), из проявления деятельности человеческого организма по отношению к окружающей его среде. Мы говорим о мускульной силе, о поднимающей силе рук, о прыгательной силе» («Диалектика природы», с. 56). И еще: «Во всякой области естествознания, даже в механике, делают шаг вперед каждый раз, когда где-нибудь избавляются от слова сила...» (с. 122).

От применения принципа Даламбера, следовательно, от использования понятия о силе инерции, при анализе движения механической системы можно отказаться, используя три основных закона механики, сформулированные Ньютоном:

1. Закон инерции: тело стремится сохранить прямолинейно-поступательное движение с постоянной скоростью, т. е. вывести из этого состояния тело можно только внешним воздействием.

2. Ускорение материальной точки прямо пропорционально силе (действию) и обратно пропорционально массе. Для вращающегося тела дополнительное условие: угловое ускорение тела прямо пропорционально моменту сил и обратно пропорционально моменту инерции массы.

3. Действие равно противодействию.

Эти законы собственно все и определяют. Они в то же время не дают основания считать силу инерции фиктивной, поскольку она якобы не приложена к телу. В самом деле, поскольку действие равно и противоположно противодействию, то при изменении состояния движения тела появляется, согласно закону инерции, кинетическая реакция, равная произведению ускорения и массы и направленная противоположно действию. Отсюда возникает вопрос, как можно оторвать кинетическую реакцию от тела, состояние движения которого изменяется, и

перенести ее на связи, А если, например, тело находится в состоянии свободного падения и никаких связей, кроме гравитационного поля, нет, что же кинетическая реакция исчезает? И если кинетическую реакцию, противоположно направленную ускорению, назвать силой инерции, то, конечно, ее нужно приложить как силу к телу. Как объяснить деформации шатунов, подъемно-качающихся столов прокатных станков, возникновение напряжений в замкнутых системах типа обода уравновешенного маховика; деформации звеньев быстроходных стержневых механизмов, влияющие на точность выходного движения, уменьшение тяговой способности ременных передач и др., если силу инерция считать действующей на связи, а не на тело. С этим неоспоримым фактом следует считаться, и в теоретических обоснованиях не должно быть никаких противоречий. Таким образом, слову «фиктивная», добавляемо му к словам «сила инерции», нужно сказать категорическое нет и изъять его из употребления, особенно в процессе преподавания теоретической механики.

Если на тело действуют связи, например, геометрические, определяющие закон изменения ускорения тела, как это имеет место в механизмах, то в них под действием сил инерции возникают соответствующие реакции, что находится в полном согласии с законами механики. Я остановился на вопросе о силах инерции потому, что этот вопрос имеет не только методологическое, но и большое практическое значение. Правильное представление о силах инерции позволяет найти эффективные решения при проектировании новых машин, особенно современных, к которым предъявляются повышенные требования в отношении надежности и точности.

Я хотел бы отметить в связи с этим одну из очень важных проблем современной механики машин, а именно проблему уравновешивания сил инерции механизмов, возрастающих пропорционально квадрату угловой скорости входного звена. Для транспортных машин - автомобилей, тракторов, самолетов, неуравновешенные силы инерции являются нежелательным возбудителем, переменных динамических нагрузок, часто причиной аварий. Силы инерции на стойку или фундамент не будут передаваться, если они будут заключены внутри механизма. Результирующая сила инерции звеньев механизма будет равна нулю только в том случае, если центр подвижных масс звеньев механизма будет неподвижен. Различные методы уравновешивания построены в основном с целью получения указанного результата путем соединения соответствующем образом подобных механизмов или установкой соответствующих противовесов. Освободив от воздействия сил инерции стойку механизма, мы сохраняем нагрузки, воспринимаемые звеньями механизма, в частности нагрузки на шатуны кривошипно-ползунных механизмов, в ряде случаев значительно увеличиваем вес машины.

Метод полного или частичного грузового уравновешивания, разработанный сначала в применении к поршневым двигателям, а затем перенесенный на другие машины, стал традиционным, однако от этого не приобрел универсальности. Задача, связанная с устранением перегрузок звеньев механизма, оставалась

нерешенной, в то время как для ряда машин указанная задача - устранение перегрузок звеньев - является более существенной, чем уравнивание сил инерции на фундаменте. Проблема была решена в результате отказа от грузового уравнивания путем разработки новых средств устранения перегрузок от действия сил инерции путем локализации их специальными устройствами и зоне, близкой к их возникновению. Принцип действия этих устройств основан на преобразовании кинетической энергии в потенциальную, и наоборот - потенциальной в кинетическую. Отличительной особенностью этих устройств является наличие звеньев, способных накапливать потенциальную энергию. Нетрудно заметить принципиальное отличие такого способа уравнивания сил инерции от грузового уравнивания. Если при грузовом способе уравнивания увеличение кинетической энергии одних звеньев происходило за счет уменьшения кинетической энергии других, то при использовании нового принципа уравнивания кинетическая энергия преобразуется в потенциальную, и наоборот.

Если, например, к возвратно-поступательно движущемуся ползуну кри-вошипного ползунного механизма присоединить шток пневматического механизма с цилиндром, укрепленным на фундаменте, и давление в полостях цилиндра при среднем положении ползуна сделать одинаковым, то нетрудно убедиться в том, что сила упругости сжимаемого воздуха всегда направлена противоположно силе инерции ползуна. Выбирая соответствующие параметры пневматического механизма и начальное давление воздуха, можно направить действие сил инерции через пневматический механизм на фундамент, разгружая этим шатун и коленчатый вал от действия сил инерции.

Сергей Николаевич Кожевников / [Боголюбов А.Н., Антонюк Е.Я., Федосова С.А.] – М.: Наука, 1998.– 236 с.