

УДК 531.23(07)

А. И. Гридасов

старший преподаватель кафедры физики и методики преподавания физики БГПУ

К МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ СТУДЕНТАМИ, БУДУЩИМИ ОРГАНИЗАТОРАМИ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА, ОСОБЕННОСТЕЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИЛ ИНЕРЦИИ БЫСТРОВРАЩАЮЩИХСЯ ТЕЛ

Введение. Подготовка специалистов для работы с учащимися в системе дополнительного образования требует непрерывного совершенствования методов изучения дисциплин, связанных с будущей профессиональной деятельностью педагога-организатора в техническом кружке. Специфической особенностью преподавания в кружке технического творчества является опережающий характер обучения. В технические кружки приходят дети в возрасте 9–10 лет, а иногда и 7–8. Они открыты новому знанию и способны к пониманию некоторых закономерностей поведения технических систем, но не владеют необходимыми знаниями физики, математики и других наук для адекватного отображения этого понимания. Поэтому перед педагогом-организатором технического творчества стоит комплекс задач, связанных с выбором методических приемов изложения закономерностей поведения технических систем и форм изучения физических закономерностей, лежащих в основе работы тех или иных технических устройств.

В данном контексте *цель работы* – на примере рассмотрения специфической темы возникновения инерционных сил вследствие дисбаланса вращающихся масс выявить методические подходы к возможности изучения данной темы студентами – будущими педагогами-организаторами технического творчества – для дальнейшего изложения материала учащимся технических кружков.

Как известно из курса теоретической механики, при движении механизма в кинематических парах, кроме статических, возникают дополнительные усилия, так называемые динамические нагрузки. Эти нагрузки, будучи переменными по величине и направлению, являются причиной вибраций как отдельных звеньев, так и всего механизма в целом [2]. Возникающие при движении модели динамические нагрузки увеличивают силы трения в точках опоры вращающихся

валов, увеличивают износ подшипников и создают в отдельных частях механизма добавочные напряжения. Поэтому в процессе проектирования технических устройств ставится задача полного или частичного погашения указанных динамических нагрузок. Эта задача называется задачей об уравновешивании масс механизмов или об уравновешивании сил инерции механизмов. Необходимо отметить, что задачи данного класса являются типовыми для конструкторов и, следовательно, для студентов машиностроительных специальностей. Для изучения методов решения таких задач предлагаются лабораторные работы, в которых будущие инженеры-механики на специальном оборудовании изучают способы устранения дисбаланса [1–3]. Соответственно, методы освоения данных разделов технических дисциплин базируются на уровне подготовки студентов машиностроительного профиля. В школе же тема возникновения динамических нагрузок вследствие неуравновешенности вращающихся масс не изучается. В то же время юные техники, занимающиеся в модельных кружках (авто-, авиа- и судомоделирования), постоянно сталкиваются с такого рода задачами, поскольку в современном спортивном моделизме имеется большой класс моделей и механизмов с быстровращающимися звеньями. Так, например, широко применяются электродвигатели с числом оборотов ротора от 1500 до 38000 об/мин и более, модельные двигатели внутреннего сгорания 2000 ÷ 15000 об/мин и более и т. д. При таких скоростях силы инерции могут достигать очень больших величин и во многих случаях превосходят внешние силы.

Основная часть. Рассмотрим, каким образом происходит знакомство студентов технического профиля с изучаемыми понятиями. Вначале в соответствии с ГОСТом [4] осваиваются определения, относящиеся к данной тематике, например:

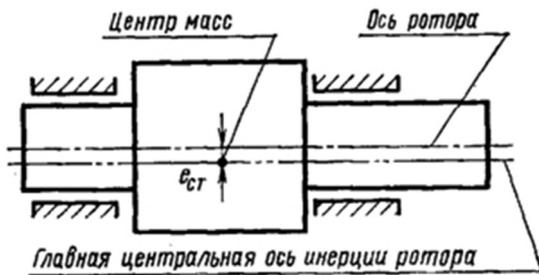


Рисунок 1 – Статическая неуравновешенность ротора

Ротор – тело, которое при вращении удерживается своими несущими поверхностями в опорах.

Неуравновешенность ротора – состояние ротора, характеризующееся таким распределением масс, которое во время вращения вызывает переменные нагрузки на опорах ротора и его изгиб.

Статическая неуравновешенность ротора – неуравновешенность ротора, при которой ось ротора и его **главная центральная ось** инерции параллельны (рисунок 1).

Дисбаланс – **векторная величина**, равная произведению неуравновешенной массы на ее **эксцентриситет** ($e_{ст}$).

Балансировка ротора – процесс определения значений и **углов дисбалансов** ротора и уменьшение их корректировкой его масс.

Статическая балансировка – балансировка, при которой определяется и уменьшается **главный вектор дисбалансов ротора**, характеризующий его статическую неуравновешенность.

Этот же ГОСТ предлагает расчетную схему для определения искомых величин в слу-

чае моментной неуравновешенности ротора, при которой ось ротора и его главная центральная ось инерции пересекаются в центре масс ротора (рисунок 2).

Моментная неуравновешенность полностью определяется: главным моментом дисбалансов ротора или двумя равными по значению антипараллельными векторами дисбалансов, лежащими в двух произвольных плоскостях, перпендикулярных оси ротора.

Жирным шрифтом выделены понятия, которые в принципе не могут быть восприняты учащимися даже 9–11 классов, занимающимися в технических кружках, хотя «интуитивно» они понимают суть происходящих физических явлений.

Правильно спроектированная с точки зрения полного **уравновешивания** деталь все же может иметь некоторую неуравновешенность вследствие неоднородности материала, неточности обработки и т. д. При **уравновешивании** вращающегося звена, имеющего небольшие относительные размеры вдоль оси вращения, достаточно добиться того, чтобы **главный вектор** сил инерции материальных точек звена был равен нулю. Такое **уравновешивание** обычно называют статической балансировкой.

Для выявления статической неуравновешенности тело располагают в поле постоянных магнитов (рисунок 3в), или на призмах (рисунок 4в) так, чтобы оно могло свободно поворачиваться. Если тело в каком-то положении остается неподвижным, то либо оно статически уравновешено, либо случайно центр масс оказался под осью вращения O в положении S_0 (рисунок 4а).

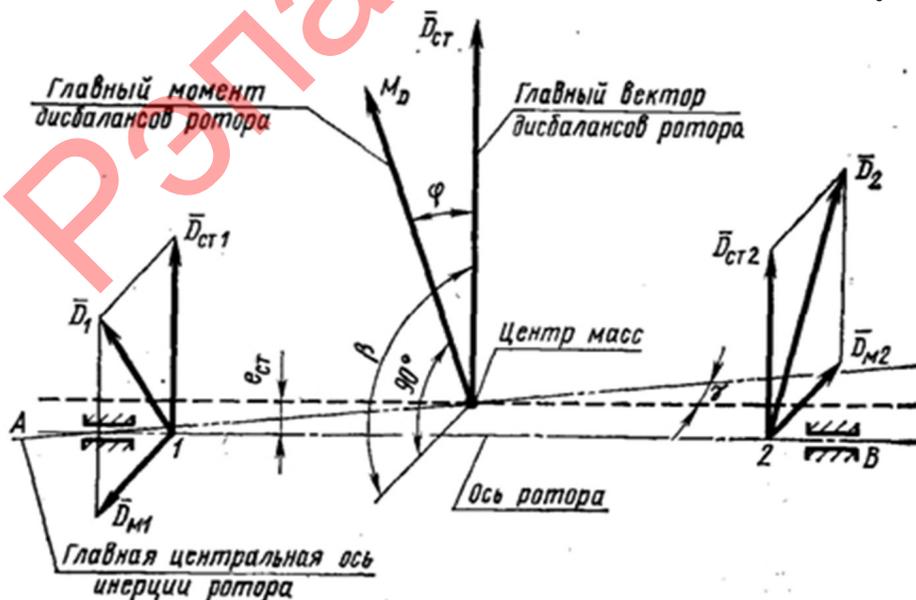


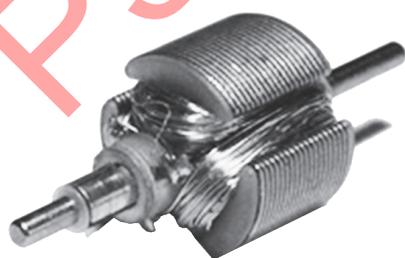
Рисунок 2 – Главный вектор дисбалансов ротора и главный момент дисбалансов ротора

Таким образом, понятийный аппарат студента предположительно пополнился следующими терминами: ротор, неуравновешенность (статическая и динамическая), дисбаланс, балансировка (статическая и динамическая). В дальнейшем, при выполнении лабораторных работ, терминология усваивается и изученные понятия переходят в разряд активной лексики.

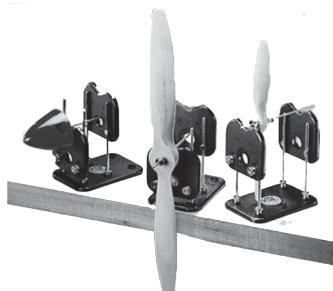
При всей правильности приведенных определений и расчетной схемы все же очевидно, что такое изложение не понятно воспитанникам технических кружков. Следовательно, первоочередной задачей педагога-организатора является выбор способов и методов изложения материала. При этом упор делается на постепенное развитие понятийного аппарата юных техников, связанное не с заучиванием нового, а замещением и развитием уже известных для них терминов. Например, ротор, имеющий скорость вращения около 38000 об/мин (рисунок 3а), – это подвижная часть электродвигателя, сообщающая вращательное движение другим деталям модели. Конечно, такое определение ни в коем случае не претендует на универсальность и не охватывает всех его составных частей (опоры, обмотки и т. п.), но оно близко и понятно юному технику именно потому, что он имеет дело с данным элементом модели, выполняющим именно такую функцию. Очевидно, что студент – будущий организатор технического творчества – вполне владеет терминологией моделизма и знает принцип действия элементов модельной техники.

На рисунке 3 (б, в) представлены другие детали моделей, развивающих высокие обороты при работе: б) авиамодельный винт (20000 об/мин и более), в) гребной винт судомодели класса FSR (12000 об/мин).

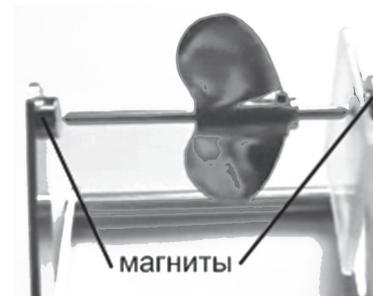
Необходимо отметить, что большинство моделистов на своем опыте сталкиваются с последствиями неуравновешенности деталей моделей: поломанные винты, погнутые оси и заклинившие электродвигатели. Естественно, у учащихся интерес к проблеме устранения дисбаланса исключительно практический. Соответственно и методы демонстрации данных физических явлений должны, на наш взгляд, иметь прикладной характер, но не исключать теоретической составляющей. При этом стенды для демонстрации и устранения неуравновешенности должны быть выполнены с учетом всех требований качества. Например, для исключения влияния силы трения ось с изучаемой деталью подвешивается в магнитном поле двух постоянных магнитов (рисунок 3в) [6–9]. Педагог дополнительного образования, несмотря на «неподготовленную» аудиторию, должен так провести эксперимент, чтобы его качественные и количественные аспекты надолго запечатлелись в сознании юных техников. Например, если винт авиамодели полностью удовлетворяет требованиям статической балансировки, при которой соотношение его длины к диаметру (L/D) составляет 0,2...0,25 (рисунок 3б), винт судомодели не всегда удовлетворяет данному соотношению (рисунок 3в), то ротор электродвигателя совершенно не годится для «классической» статической балансировки [4]. Учитывая отсутствие специального оборудования (балансировочный станок Б. В. Шитикова) и сложность для учащихся технических кружков методики проведения операции балансировки и последующего расчета противовесов, в ознакомительных целях можно ограничиться только статической балансировкой.



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Вращающиеся элементы моделей, испытывающих динамические нагрузки:
а) ротор электродвигателя, б) авиамодельный винт, в) судомодельный винт

При этом будущие педагоги дополнительного образования не должны ограничиваться одной качественной характеристикой процесса: только лишь демонстрацией перевеса одной стороны ротора. Как правило, учащиеся модельных кружков способны статически уравновесить авиамоделльные или судомоделльные винты самостоятельно. В данном контексте педагоги-организаторы должны показать также и количественную характеристику с позиций физики. Из всех формул для данной цели подойдет только формула расчета полной неуравновешенной силы инерции (10.2) [1], причем в скалярной форме:

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 \cdot r.$$

Несмотря на то что данная тема, как уже указывалось не изучается в школьном курсе физики, учащиеся, «прочувствовавшие» действие неуравновешенных масс, способны понять прямую пропорциональную зависимость неуравновешенной силы от массы, вызывающей дисбаланс, и квадрата угловой скорости ротора. Не так очевидно вводится понятие расстояния до центра масс неуравновешенного звена (r). Но, вернувшись к опыту изучения балансировки авиамоделльного винта, можно легко показать этот параметр, прикрепив к предварительно уравновешенному винту кусочек пластилина и убедившись, что винт после этого не занимает нейтрального положения. Расстояние от центра вращения до этого добавочного груза и является искомым r , а масса кусочка пластилина – m .

В качестве примера рассчитаем силу инерции, действующую на вал модельного

электродвигателя (рисунок 3а). Примем среднее число оборотов, равным 20 000 об/мин (двигатели для трассовых автомоделлей разгоняются и до 100 000 об/мин), массу дисбаланса $m=0,000001$ кг при собственной массе ротора 0,05 кг, а центр вала смещен «всего» на 0,1 мм. Величина силы инерции в этом случае составит

$$F = m \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 \cdot r \approx 0,44.$$

Сила инерции оказалась эквивалентной 0,044 кг, что почти соответствует собственной массе ротора. Таким образом, учащиеся на собственном опыте убеждаются, что «несущественная» масса в 1 мг, которую невозможно даже измерить без специальных весов, и погрешность всего в 0,1 мм вызывает силы, сопоставимые с силой тяжести ротора. Тогда юные техники, вспоминая, что они уравновешивали свои винты вполне реальной массой пластилина в десятки миллиграммов, способны в полной мере осознать разрушительное действие неуравновешенных масс. Такой опыт, на наш взгляд, способствует более глубокому усвоению физических закономерностей.

На данной стадии изучения материала целесообразно формализовать изученную тему построением расчетной схемы (рисунок 4). Причем студенты, освоившие какой-либо графический редактор (например, AutoCAD или КОМПАС), способны создать в нем 3D-модель, что существенно повышает ее наглядность и информативность (для сравнения, рисунок 4 (а, б), выполненные «от руки» и 4в, созданный в AutoCAD).

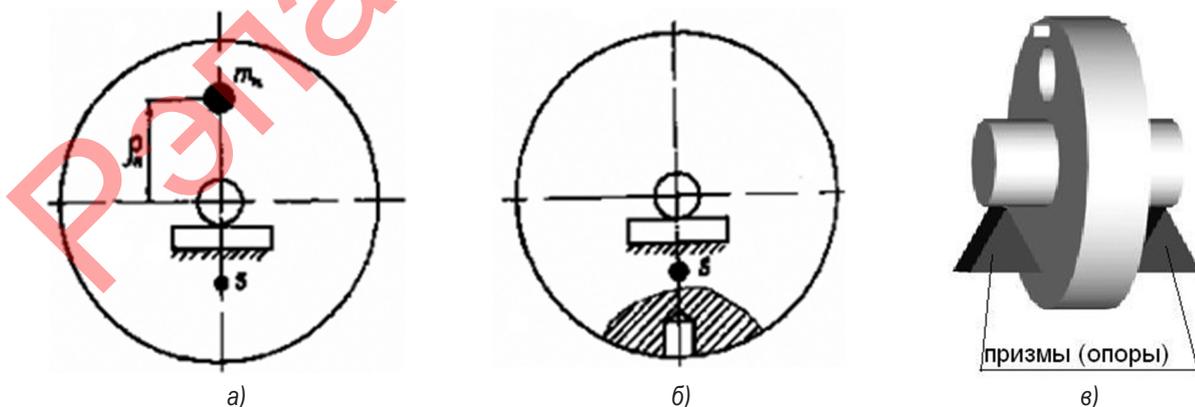


Рисунок 4 – Схема статической балансировки:
а – установкой противовеса m_n , б – удалением лишнего материала,
в – рисунок, выполненный в AutoCAD

Следовательно, процесс изучения физического закона может быть представлен для учащегося технического кружка как процесс создания конкретной детали модели с логически и технологически обоснованной необходимостью расчета, что способствует мотивации юных техников к углубленному изучению физики.

Заключение. В данной работе предложены методические приемы изучения студентами – будущими организаторами технического творчества – особенностей освоения темы возникновения динамических нагрузок быстровращающихся масс. На занятиях в кружках технического творчества такой подход позволяет сформировать у учащихся этих кружков устойчивый интерес к изучению физических законов, лежащих в основе работы модельной техники.

Данный подход может быть также использован на факультативных занятиях по физике в школах и гимназиях, при наличии в них минимального оборудования, которое, к тому же, может быть изготовлено силами самих учащихся.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потапов, В. М. Лабораторный практикум по теории механизмов и машин : учеб.-метод. пособие / В. М. Потапов. – Новосибирск : Изд. НГПУ, 2010. – 168 с.
2. Коренский, В. Ф. Теория механизмов, машин и манипуляторов : учеб.-метод. комплекс : в 2 ч. /

- В. Ф. Коренский. – Новополоцк : ПГУ, 2008. – Ч. 1. Организационные основы курсового проектирования технологических машин. – 300 с.
3. Теория механизмов и машин: лабораторные работы / сост. : П. А. Галкин, В. М. Червяков. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 32 с.
4. ГОСТ 19534-74 – Балансировка вращающихся тел. Термины.
5. Анципорович, П. П. Балансировка вращающихся масс : учеб.-метод. пособие к лабораторным работам по дисциплине «Теория механизмов, машин и манипуляторов» / П. П. Анципорович, В. В. Кудин, Е. М. Дубовская – 3-е изд., испр. – Минск : БНТУ, 2011. – 27 с.
6. http://modelist-konstruktor.com/v_mire_modelej/k-skorosti-cherez-prostotu
7. <http://rcview.ru/2012/02/01/dvigateli-radioupravlyaemyh-modelej/>
8. <http://navirazhah.ru/products/parts/ba/540>
9. <http://rc-club.by/forum/threads/1626/>

SUMMARY

The article is devoted to the teaching methods of the topical problem, dealing the appearance of dynamic loading due to the unbalance of rotating masses in the model mechanisms by the future organizers of technical creative activity.

Particular attention is paid to the experimental component of the learning process. It is known that physical laws studied in technical clubs may be realized directly in the process of a specific model tool creation. In such case the assimilation of the laws follows logically from the need to calculate loads for a creating model.

On the basis of a practice oriented approach the effectiveness of teaching and learning the laws of physics by the students of technical clubs is shown.

Поступила в редакцию 16.10.2015 г.