РАЗДЕЛ XX. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Абдулмажидов Х.А., Матвеев А.С., Абдулмажидов Р.А.
Проектирование и расчет вала в программе Inventor Pro

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К.А. Тимирязева»
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/lj-12-2018-165

idsp: ljjournal-12-2018-165

Аннотация

В статье представлены основы проектирования валов и их прочностной расчет в системе Inventor Pro. Описаны модули программы Inventor Pro, позволяющие проектировать различные конструкции валов и анализировать их напряженное состояние. Представлены возможности формирования объемных деталей и получения технической документации на изготовление валов. Рассмотрены возможности получения сечений местных разрезов и выбора подшипников для валов.

Ключевые слова: механические передачи, валы, оси, передаточное число, нагрузки в зубчатом зацеплении, проектирование зубчатого зацепления в системе Inventor Pro, прочностной расчет вала.

Abstract

The article presents the principles of design and their calculation of Inventor Pro system. Describes the modules Inventor Pro, which will help you to design various designs and analyze their stress state. Features of formation of voluminous details and obtain technical documentation for manufacturing of shafts. Considered the possibility of obtaining sections of local incisions and choice of bearings for shafts.

Keywords: mechanical transmission, shafts, axles, gear ratio, load the spline is, designing gearing system Inventor Pro, calculation of the shaft.

Важным элементом механической передачи или редуктора является вал, который воспринимает нормальную нагрузку и, в отличие от оси, передает вращающий момент. В качестве опор вала применяются подшипники, конструкции которых выбираются в зависимости от возникающих детали нагрузок. Для вала прямозубой передачи выбираются радиальные подшипники, воспринимающие нормальные нагрузки и вращающий момент, а для вала косозубой передачи вследствие возникновения осевых нагрузок выбирают радиально-упорные. Радиальные подшипники могут работать при определенных осевых нагрузках, однако при их значительных величинах следует применять радиально-упорные. В зависимости от назначения передачи конструкции валов могут быть различны. Существуют валы гибкие, прямые, ступенчатые и коленчатые. Вал, изготавливаемый заодно с зубчатым колесом, называется вал-шестерней. Обычно вал-шестерня является ведущим элементом передачи, а в качестве ведомого элемента выступает вал, на который насажено зубчатое колесо. Диаметр ведомого вала обычно больше диаметра ведущего. В предварительном расчете диаметр выходного конца вала редуктора определяется исходя из соотношения крутящего момента T к полярному моменту сопротивления кручению W по формуле:

$$d = \sqrt[3]{\frac{T}{0,2 \cdot [\tau]}}, \quad (1)$$

где T – крутящий момент, Н·м, $[\tau]$ – допускаемые касательные напряжения, Н/мм². При этом действующие значения напряжений должны быть меньше допускаемых значений $[\tau]$. Величины диаметров других участков ступенчатого вала определяются исходя из конструктивных особенностей детали, к примеру, диаметр участка вала под подшипник должен быть кратным 5, поскольку стандартные подшипники изготавливаются с внутренними диаметрами с соответствующим шагом.

В деталях машин, находящихся под нагрузкой, обычно возникают два вида напряжений: нормальные σ и касательные τ . Нормальные напряжения в свою очередь можно рассматривать как сумму напряжений сжатия $\sigma_{сж}$ и напряжений изгиба $\sigma_{изг}$. По правилам прочностного расчета действующие в детали напряжения должны быть меньше допускаемых значений, которые приводятся в справочной литературе. Особенностью вала является то, что в процессе работы в нем возникают все три вида напряжений вследствие действия сил сжатия, изгиба и кручения. В таких случаях при расчете на прочность нужно определять, кроме частных случаев напряжений сжатия, изгиба и кручения, и эквивалентные напряжения с последующим сравнением их с допускаемыми значениями [1, 2].

Программа Inventor Pro обладает специальным модулем, позволяющим проектировать твердотельные объемные валы различных конструкций, получать техническую документацию на их изготовление, выполнять стандартные элементы на валах (как элементы резьбы, шпоночные канавки, фаски, сопряжения, внутренние отверстия и т.д.). Кроме того, существует возможность проведения анализа напряжений с учетом всех действующих нагрузок, вращающих моментов и реакций опор. Также с помощью методов ассоциативного черчения можно получать различные виды, изометрические представления, местные разрезы и сечения. Важной опцией в проектировании валов в системе Inventor Pro является определение массы, объема и масс-инерционных характеристик детали, которые необходимы при проведении анализа напряжений [2, 3].

Генератор вала в программе Inventor Pro позволяет в выбранном стандарте создавать участки вала с определенным диаметром и длиной. Участки вала могут быть с круглым или квадратным сечением, также модуль позволяет создавать конические участки.

Вкладка «Расчет» генератора вала предназначена для проведения прочностного расчета вала по значениям параметров, заданным пользователем. Для задания материала вала, нагрузок и моментов на нем, необходимо выяснить в каких условиях и в какой механической передаче будет работать вал.

При проведении расчета на прочность вала, спроектированного в системе Inventor Pro, необходимо задать материал, добавить опоры и нагрузки с учетом того как в реальных условиях будет работать вал. Опоры на расчетной схеме в Inventor Pro обычно отображаются треугольниками, а нагрузки стрелками. Треугольники, обозначающие опоры могут быть с чертой для задания в этом месте осевой нагрузки. После того как заданы все нагрузки и опоры выполняется прочностной расчет. Результатами прочностного расчета являются множество таблиц и гистограмм на основе которых исследователь интерпретирует данные и делает выводы о возможности применения спроектированного вала в данных конкретных условиях эксплуатации [4, 5]. Наиболее важным показателем в этом смысле является запас прочности, который, к примеру, для стали, обычно находится в пределах от 1,5 до 2 единиц.

На рисунке 1 представлен ведомый, тихоходный вал одноступенчатого цилиндрического редуктора выполненный инструментами генератора вала в системе Inventor Pro. Вал имеет 5 участков, причем, первым, по формуле (1), определяется диаметр выходного конца с шпоночной канавкой и с учетом влияния изгиба от консольной нагрузки со стороны звездочки последующей цепной передачи при допустимых касательных напряжениях $[\tau] = 20$ Н/мм². Полученное значение диаметра

вала округляется до ближайшего из стандартного ряда. Диаметры остальных участков вала назначаются из конструктивных соображений при формировании редуктора [6, 7].

Рисунок 1. Ведомый вал одноступенчатого редуктора, выполненный в системе Inventor Pro

Второй участок вала рассчитан под подшипник соответствующего диаметра, далее следует участок с шпоночной канавкой под зубчатое колесо. Затем следует буртик, предотвращающий осевое смещение колеса на валу. Последней частью вала является участок под второй подшипник. На рисунке 2 представлен расчет ведомого (тихоходного) вала цилиндрического редуктора.

Рисунок 2. Расчет ведомого вала цилиндрического редуктора в системе Inventor Pro (определение напряжений при кручении)

При расчете вала определены реакции опор, нагрузки, действующие в соответствующих точках в виде нормальных и касательных сил со стороны зубчатого колеса и консольной нагрузки со стороны звездочки цепной передачи. По рисунку 2 видно, что для вала, изготовленного из стали напряжения кручения возникают между плоскостями приложения крутящих моментов. Выявлены значения напряжений изгиба, а также определено предельное напряжение. Концентрацию напряжений вызывает

наличие шпоночной канавки. Для рассматриваемого вала действующие напряжения находятся в допустимых пределах.

1. Абдулмажидов, Х.А. Обоснование основных параметров и режимов работы ковшовых каналоочистительных машин для зоны осушения. – Дис. канд. техн. наук. – М.: МГУП, 2000 г.
 2. Абдулмажидов, Х.А. Комплексное проектирование и прочностные расчеты конструкций машин природообустройства в системе Inventor Pro / Х.А. Абдул-мажидов, А.С. Матвеев // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2016. № 2 (72). С. 40-46.
 3. Абдулмажидов, Х.А. Совершенствование рабочего оборудования каналоочистителя РР-303. Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2011. №2 (47). – С. 58-60.
 4. Абдулмажидов, Х.А. Уточненные прочностные расчеты рабочих органов машин природообустройства в системе Inventor Pro / Х.А. Абдулмажидов, А.С. Матвеев // Международный технико-экономический журнал. 2018. № 3. С. 7-14.
 5. Абдулмажидов, Х.А. Уточненный прочностной расчет элементов машин методом конечных элементов в системе Inventor Pro / Х.А. Абдулмажидов // Тенденции развития науки и образования. 2018. Т. 39. № 3. С. 27-30.
 6. Абдулмажидов, Х.А. Основные задачи конструирования и возможности компьютерных программ при проектировании элементов наземных машин / Абдулмажидов Х.А. // Тенденции развития науки и образования. 2018. Т. 42. № 3. С. 43-45.
 7. Абдулмажидов, Х.А. Трехмерное моделирование элементов машин природообустройства в системе "AUTOCAD" / Х.А. Абдулмажидов // Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 280100 М-во сельского хозяйства Российской Федерации, ФГБОУ ВПО Московский гос. ун-т природообустройства. Москва, 2012.
-