

Автоматизация начальных стадий проектирования приводов с зубчатыми передаточными механизмами

04, апрель 2015

Андриенко Л. А.^{1,*}

УДК: 621.83

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

*la-andr2013@yandex.ru

Введение

Внедрение систем автоматизированного проектирования (САПР) является основным способом повышения качества и производительности труда проектировщиков. Номенклатура САПР для различных отраслей машиностроения превышает 200 типов. В основном они направлены на автоматизацию инженерных расчетов, чертежно-графических работ, создание текстовой документации, а также разработку программ для станков с ЧПУ [1].

Однако, как показывают исследования, проектные решения, принятые на начальных стадиях проектирования, определяют до 70% стоимости всего проекта, а допущенные при этом ошибки на последующих стадиях проектирования практически не устранимы [2].

Известно, что количество вариантов проектных решений необозримо. Поэтому нельзя ставить задачу создания универсальной САПР. Необходимо решать задачу проектирования конкретного семейства машин, одним из которых является приводы с зубчатыми передаточными механизмами. Несмотря на большой интерес к САПР приводов, в настоящее время еще не решен вопрос автоматизации начальных стадий проектирования, что ведет к снижению качества проекта в целом. САПР механических приводов (САПР-МП) может работать как самостоятельная система, а также адаптирована в качестве подсистемы в уже имеющиеся САПР механических изделий и, таким образом, расширить их возможности.

Этапы и процедуры проектирования

Процесс проектирования начинается с анализа технического задания (ТЗ) и разработки технического предложения. На основании принятых на этом этапе решений выполняются последующие стадии проектирования (эскизный, технический проект и т.д.).

На этапе технического предложения решаются следующие основные задачи:

а) определение рациональной кинематической схемы передаточного механизма привода;

б) определение оптимальных геометрических параметров зубчатых передач в составе передаточного механизма по выбранным критериям качества с учетом ограничений, заданных в ТЗ;

в) расчет технических характеристик привода с выбранными параметрами зубчатого передаточного механизма.

На втором этапе проектирования в САПР-МП решаются задачи, охватывающие стадии эскизного и технического проекта при традиционном проектировании.

На стадии эскизного проекта необходимо решить следующие задачи:

- проверить правильность принятых конструктивных решений;
- выбрать оптимальный вариант для дальнейшего проектирования с анализом технических характеристик и соответствие их требованиям ТЗ.

По результатам эскизного проекта выполняется стадия технического проекта, на которой принимаются окончательные технические решения по кинематике и конструкции привода. На этой стадии создаются чертежи всех элементов привода, решаются вопросы доступа при ремонте и контроле, привязки к объекту установки. Также уточняются принципиальные вопросы технологии и стоимости с учетом особенностей производства, которому предстоит изготовление привода.

2. Алгоритм проектирования в САПР-МП

Общая принципиальная методика автоматизированного проектирования реализуется в виде алгоритма функционирования САПР, который определяет, какие процедуры выполняет ЭВМ, а какие - проектировщик [2].

Проектирование является многоэтапным процессом. На предварительном этапе необходимо построение допустимого множества входящих в зубчатый передаточный механизм элементов. Так для рассматриваемого класса приводов на основании конструкций существующих аналогов в качестве исходной элементной базы (ИЭБ) выбраны цилиндрические, планетарные зубчатые передачи, а также волновая зубчатая передача [3].

Далее анализируя требования, предъявляемые к зубчатому передаточному механизму и приводу в целом, определяются критерии оценки качества привода, а также функциональные, конструктивные и критериальные ограничения.

На следующем шаге проектирования производится построение вариантов кинематических схем зубчатых передаточных механизмов. В предлагаемой САПР-МП для формализации этой процедуры проектирования использован метод динамического программирования, а добавляемая очередная ступень зубчатого передаточного механизма определяется переборным алгоритмом.

Компоновка зубчатого передаточного механизма начинается с наиболее нагруженной тихоходной ступени.

В методе динамического программирования при анализе вариантов кинематических схем зубчатых передаточных механизмов кроме тихоходной ступени необходимо учитывать еще и возможные предступени неизвестной на данном шаге проектирования структуры. Для этой цели разработаны эмпирические математические модели. В них предступени (зубчатые передачи из ИЭБ) обладают наилучшими значениями всех критериев качества, которые являются функциями передаточного отношения и нагрузки. Перспективным для дальнейшего проектирования является вариант с наилучшей комплексной оценкой качества привода (обобщенного критерия).

На следующем шаге проводится проверка полученного конструктивного решения требованиям ТЗ, в случае несоответствия этим требованиям, анализируется причина и принимается решение о возможной корректировке компоновочной схемы передаточного механизма.

После того как завершена компоновка зубчатого передаточного механизма, проводится выбор оптимальных параметров всех ступеней, начиная с тихоходной ступени.

Поскольку число вариантов конструктивного исполнения зубчатых передаточных механизмов невелико, элементную базу в САПР-МП, используемую на стадии эскизного проекта, можно представить в виде унифицированных узлов. Проектировщик должен решить задачу о возможном использовании этих узлов, проанализировать результаты расчета качественных критериев привода в целом и соответствие полученной конструкции требованиям ТЗ. Когда преимущества одного из конкурирующих вариантов неочевидны, окончательное решение проектировщик принимает, опираясь на свой опыт или интуицию.

Формализовать опыт квалифицированных специалистов в рамках САПР-МП возможно, например, с помощью экспертной системы. Создание такой системы значительно облегчит работу конструктора, избавив его от необходимости помнить многочисленные проверки.

Для математического описания работы привода, а также для составления всей проектной документации в рамках САПР необходима информационная модель. Она содержит переменную часть, связанную с проектируемым объектом, которая на каждом этапе проектирования обновляется и пополняется, и постоянную часть, в состав которой входят библиотеки конструкций-прототипов, конструктивных элементов, типовых узлов, а также нормативно-справочные материалы.

В информационной модели свойства конструктивного элемента представлены одним обобщающим параметром - кодом элемента ($\mathcal{E}$) [3]. Для конструкции K , состоящей из n элементов, можно записать

$$K = (\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3 \dots \mathcal{E}_i), i = 1, n.$$

Положение конструктивного элемента в пространстве определяется вектором ϕ

$$\mathcal{E}_i = (\mathcal{E}_i, \phi).$$

Вектор ϕ содержит три линейные (x, y, z) и три угловые (α, β, γ) координаты

$$\phi_i = (x_i, y_i, z_i, \alpha_i, \beta_i, \gamma_i).$$

Размеры конструктивного элемента можно выразить вектором U

$$U_i = (U_1, U_2, U_3 \dots U_g),$$

где $U_1, U_2, U_3 \dots U_g$ - размеры, g - число размеров, характеризующих данный элемент.

Тогда код элемента можно записать

$$\mathfrak{D}_i = (\mathfrak{D}_i, U_i).$$

Если учесть отклонения координат вектора φ через $\Delta\varphi$, а отклонения вектора U через ΔU и произвести соответствующие подстановки, то получим

$$K = (\mathfrak{D}_1, x_1, y_1, z_1, \alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \Delta\varphi, U_1, \Delta U_1). \quad (1)$$

Выражение (1) является обобщенной информационной моделью конструкции узла. Она содержит сведения об элементах узла, их свойствах, взаимном расположении с другими узлами и размерах.

Проиллюстрируем алгоритм работы САПР-МП на стадии эскизного проекта на примере проектирования одноступенчатой цилиндрической зубчатой передачи (рис.1).

На первом шаге осуществляется поиск готовых проектных решений из элементной базы и соответствие его требованиям ТЗ. Если же такого решения нет, то переходят к проектированию нового конструктивного варианта.

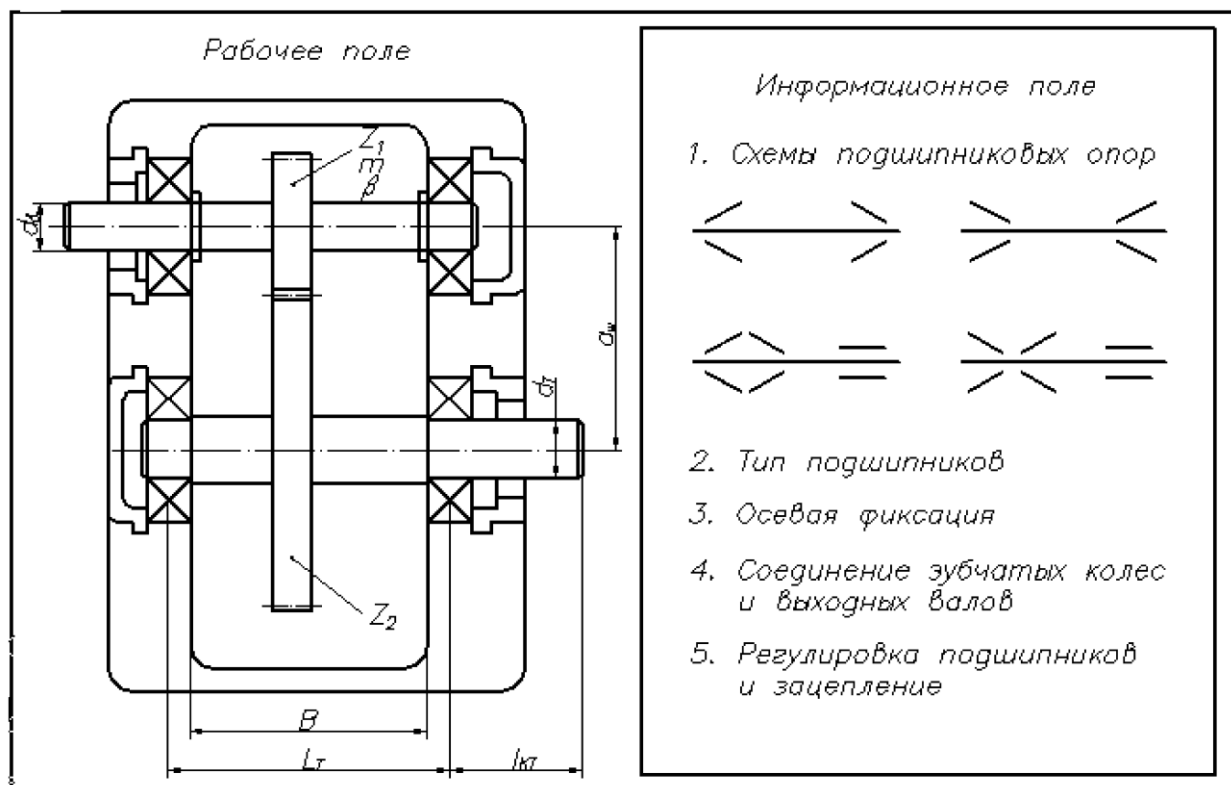


Рис. 1. Проектирование зубчатой передачи на стадии эскизного проекта

Проектирование в САПР-МП осуществляется в диалоговом режиме с конструктором.

В информационном поле экрана изображается элементная база унифицированных узлов и их элементов. Как правило, для проектирования зубчатых передаточных механизмов такими узлами и элементами являются подшипниковые узлы с различными типами подшипников и схемой их установки, соединения зубчатых колес с валами, узлы сателлитов и водила планетарных передач, узел генератора волн, гибкого колеса волновой зубчатой передачи, а также способы соединения двух валов.

Рассматриваемая конструкция одноступенчатой цилиндрической зубчатой передачи состоит из узла шестерни $\mathcal{E}_1$, узла колеса $\mathcal{E}_2$, подшипникового узла быстроходного вала $\mathcal{E}_3$ и подшипникового узла тихоходного вала $\mathcal{E}_4$. Ее информационная модель имеет следующий вид

Каждый из перечисленных выше узлов зубчатой передачи состоит из деталей и их элементов (например, ступеней вала), нумерация которых показана на рис.2.



2307-0595, Инженерный вестник, №04, 2015

$$\mathcal{E}_2 = (\mathcal{E}_{214}, \mathcal{E}_{213}\mathcal{E}_{41}, \mathcal{E}_{212}, \mathcal{E}_{212}\mathcal{E}_{23}, \mathcal{E}_{215}, \mathcal{E}_{216}, \mathcal{E}_{217}\mathcal{E}_{42}, \mathcal{E}_{216}, \mathcal{E}_{219})$$

Индекс элемента включает номер узла (первая цифра), номер детали в узле (вторая цифра) и номер элемента детали (третья цифра).

Например, $\mathcal{E}_{214}$ означает, что в узле 2 есть деталь 1 (вал), у которой, в свою очередь есть элемент 4. $\mathcal{E}_{213}\mathcal{E}_{41}$ - означает, что элемент 3 детали 1 узла 2 соединен (без промежуточных деталей) с элементом 1 (левым подшипником) узла 4 (подшипникового узла тихоходного вала).

Кроме того, каждый элемент характеризуется вектором ϕ , содержащем конструктивные размеры, предварительные значения которых задаются компоновочной схемой и могут изменяться в дальнейшем по мере детальной проработки конструкции.

Окончательное решение о конструкции проектировщик принимает после расчетов всех узлов зубчатого передаточного механизма и привода в целом.

Заключение

Рассмотрен один из подходов к оптимальному проектированию приводов с зубчатыми передаточными механизмами. Для формализации процедур начальных стадий проектирования использовался последовательный алгоритм, в основе которого лежит метод динамического программирования. В этой связи потребовалась разработка дополнительных математических моделей (эмпирических моделей). Предложенный алгоритм генерации дерева решений на начальных стадиях проектирования является быстродействующим, поскольку отсекает явно неперспективные варианты уже на ранних стадиях их формирования. Параллельно с проектированием создаются информационные модели всех конструктивных узлов. Они содержат сведения об элементах, взаимном расположении узлов и их элементов, а также кинематических, конструктивных и размерных связях. Эти данные необходимы для создания расчетных схем узлов и формирования чертежей.

Список литературы

1. Madhusudan G., Vijayasimha C.R. Approach to spur gear design // Computer-Aided Design. 1987. Vol. 19 (10). Pp. 555-559.
2. Андриенко Л.А. Автоматизированное проектирование приводов следящих систем // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 1997. № 4-6. С. 33-39.
3. Андриенко Л.А. Разработка новых методов проектирования и диагностики электро-механических приводов: дис. ... докт. техн. наук. М., 2001. 249 с.