

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

**Сведения об авторах:**

Фролов Юрий Михайлович – к.т.н., профессор каф. ЭМСЭС ВГТУ

Романов Андрей Владимирович – к.т.н., доцент каф. АИТС ВГТУ, E-Mail: andr-romanov@narod.ru

**Аннотация:**

В статье проанализированы общие тенденции развития автоматизации процесса проектирования электроприводов. Приведены примеры существующего отечественного и зарубежного программного обеспечения.

**ключевые слова**

электропривод, автоматизированное проектирование

Автоматизации процессов технического проектирования в настоящее время уделяется много внимания и в этой области достигнуты значительные успехи.

Впервые представление о проектировщике, сидящем перед консолью и использующем интерактивные графические средства было разработано в 1963 году Сазерлендом в системе Sketchpad [1]. Важность данной системы трудно переоценить, поскольку в ней впервые была продемонстрирована возможность формирования изображений и манипулирования ими в реальном в масштабе времени. В первой половине 70-х годов двадцатого века были проведены теоретическая разработки, заложившие основы САПР. В 80-е годы САПР становится обычным инструментом в проектно-конструкторских организациях, постоянно развиваясь и совершенствуясь. Современные САПР – это мощнейший инструмент, позволяющий повысить производительность труда, сократить затраты на процесс синтеза и анализа технической системы, провести полномасштабные исследования.

Под термином САПР понимается *система проектирования, в которой органично объединены творческие усилия проектировщиков, возможности математических методов и ЭВМ на всей совокупности взаимосвязанных этапов проектирования с применением развитых средств программного и информационного обеспечения для коренного улучшения качества проектных работ и сокращения их сроков.*

И хотя системам автоматизированного проектирования присущи общие принципы построения структуры системы, компонентов её обеспечения, однако для конкретных отраслей САПР имеют определенные специфические особенности.

Не избежало подобного фактора и проектирование такой сложной технической системы как современный автоматизированный электропривод (АЭП). Решение проектно-расчетных задач проектирования электрического привода (ЭП) сталкивается с существенными трудностями автоматизации, формализации и алгоритмизации по следующим причинам [2, 3]:

- расчетные процедуры для автоматизированного проектирования электроприводов бывают как проблемно-ориентированные, так и объектно-ориентированные;

- проектирование осуществляется, как правило, в несколько итераций, опираясь во многом на эмпирические зависимости и допущения;

- процесс проектирования электроприводов осложняется многообразием механизмов, управляемых с помощью ЭП, наличием для однотипных механизмов различных методик расчета, отсутствием однозначных критериев для выбора подходящей методики;

- необходимо большое количество разнородной информации для проектирования различных элементов ЭП;

- привлечение ЭВМ для решения технологических задач обуславливает необходимость в постановке и решении дополнительных задач. Прежде всего, они связаны с формальной структуризацией данных и реализацией пользовательского интерфейса, причем последняя компонента может составлять до 80 % трудоемкости разработки прикладного программного обеспечения (ПО).

Первое упоминание в научно-технической литературе о программных продуктах, предназначенных для проектирования ЭП, была работа ленинградских ученых под руководством А.В. Башарина [4]. В ней рассматривалась инструментальная среда для решения матричных, дифференциальных и др. уравнений, а также для построения временных и частотных характеристик. И на примере использования разработанного программного средства, написанного на языке Фортран – IV, авторами был предложен набор решений для типовых задач анализа динамики электропривода.

Работы по автоматизации процесса проектирования электроприводов на кафедре «Автоматика и информатика в технических системах» Воронежского государственного технического ведутся под руководством авторов статьи с 1982 года по настоящее время. С самого начала был взят курс на создание *взаимосвязанного* программного обеспечения в соответствии с системными принципами организации работы

САПР, т.е. на разработку *системы автоматизированного проектирования электроприводов* – САПР ЭП.

Разработанные программные продукты принципиально можно разделить на две категории, связанные с развитием технической базы: программы, разработанные под операционную систему MS DOS, и ПО, разработанное под Windows. Этой же причиной обусловлено и наличие двух различных вариантов структур САПР.

Первый вариант структуры САПР электроприводов (рис. 1) разрабатывался под опера-

ционную систему MS DOS. Основной особенностью первого варианта был изначально объектно-ориентированный характер расчетных процедур [1]. Выбирался отдельный типовой механизм из predetermined вариантов, а далее на основании известной технологии определялась нагрузочная диаграмма (НД) и тахограмма (ТГ), рассчитывалась эквивалентная мощность электродвигателя (ЭД), выбирался сам двигатель. Далее производился функционально-стоимостный анализ (ФСА), на основе которого пользователь определялся с системой управления электроприводом.

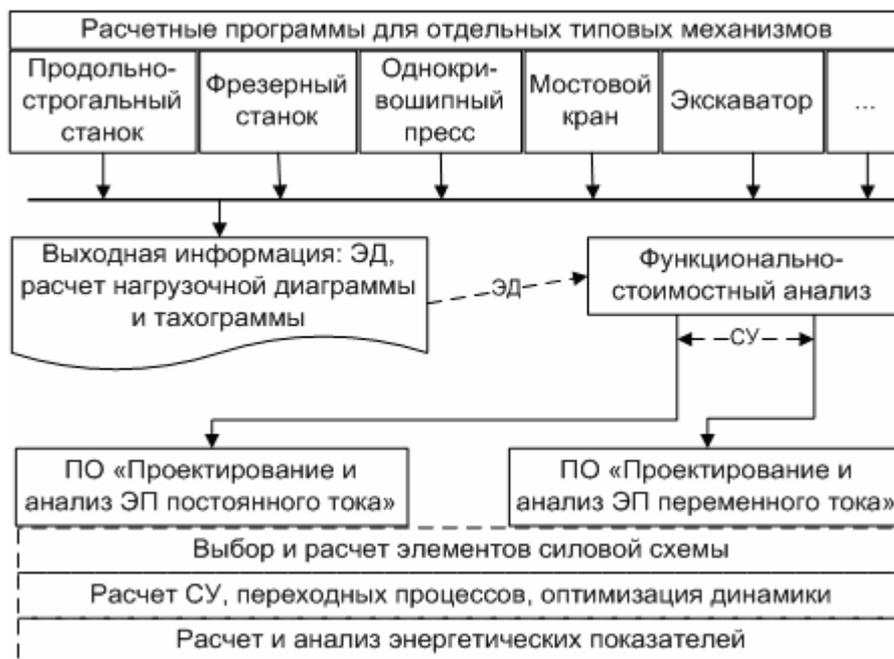


Рис. 1. Первый вариант структуры САПР ЭП

Далее процесс проектирования мог идти по двум взаимоисключающим вариантам, связанным с родом тока: постоянным или переменным. В процессе проектирования использовались типовые расчетные процедуры по выбору силовой схемы, определению параметров системы управления, расчету переходных процессов, оптимизации динамических характеристик, расчету и анализу энергетики.

Из разработанного программного обеспечения, в частности, были созданы: база данных для проектирования электроприводов, программы расчета механической части электроприводов кривошипно-шатунного пресса, фрезерного, токарного, продольно-строгального [5] станков, программа расчета силовой части тиристорного преобразователя в ЭП постоянного тока [6], программы синтеза и оптимизации динамики систем ЭП постоянного тока с упругими механическими связями, построенных по принципу подчиненного управления [7], программы расчета и анализа энергетики электроприводов постоянного и переменного тока [8].

В таком варианте САПР электроприводов функционировала достаточно успешно до вво-

да в действие второго варианта структуры САПР ЭП.

Второй вариант структуры САПР электроприводов (рис. 2) разрабатывался под операционную систему Windows. Для этого варианта характерно наличие библиотек типовых механизмов, силовых схем, систем управления, применяемых в процессе автоматизированного проектирования. Второй вариант структуры САПР ЭП содержит четыре этапа:

- расчет механической части электропривода, о содержании которого достаточно полно изложено в [9];
- расчет силовой части системы управления;
- расчет информационной части системы управления, включая оптимизацию динамики;
- расчет энергетических показателей спроектированного электропривода.

В настоящее время второй вариант структуры САПР ЭП находится в разработке. Некоторые программы первого варианта были адаптированы к операционной системе Windows, в частности это база данных, программа расчета

силовой части тиристорного преобразователя [6], программы расчета и анализа энергетики

[8]. Ведутся новые разработки [9].

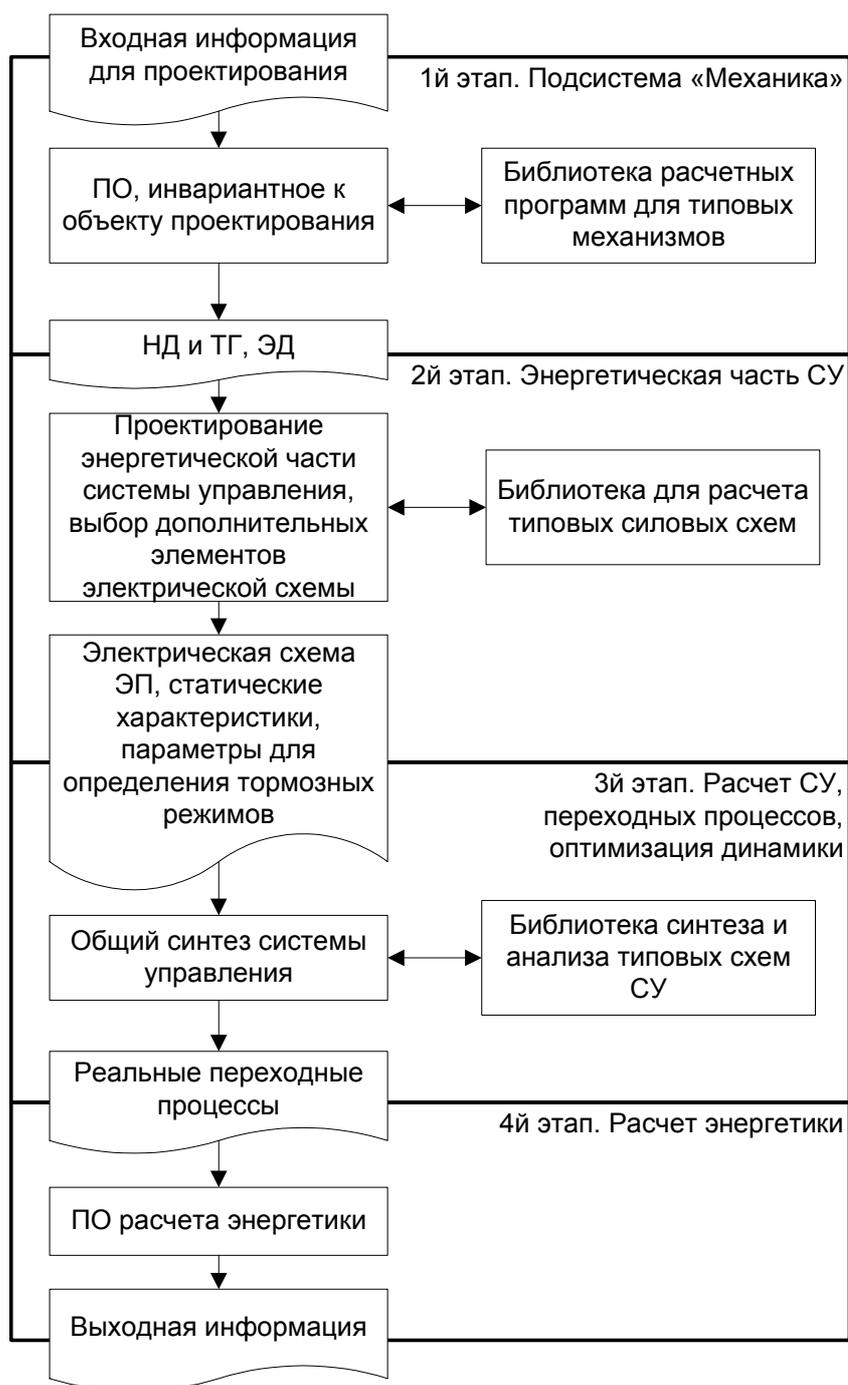


Рис. 2. Второй вариант структуры САПР ЭП

Большинство кафедр отечественных и зарубежных ВУЗов, связанных с проектированием электроприводов, рекомендуют использовать в качестве прикладного программного средства пакет MatLab. Данное ПО наилучшим образом подходит для анализа динамики электроприводов. Что касается синтеза ЭП, то здесь предполагается реализация процедур выбора различных технических решений, а значит, организация диалога между проектировщиком и ЭВМ. Как среда программирования MatLab, безусловно, может быть использована для разработ-

ки программных средств автоматизированного проектирования.

В Ивановском государственном энергетическом университете в качестве программного средства с 2001 г. используется компьютерный комплекс имитационного моделирования IDS 1.0, разработанный под руководством Колганова А.Р. [10]. Работа в данном программном средстве подобна работе в среде Simulink MatLab. Модели различных электротехнических устройств собираются из базовых «кубиков» и параметрируются. При проектировании элект-

тропривода в среде IDS 1.0 применяется структурная модель обобщенной электрической машины, подробно приводятся внутренние схемы блоков.

Из программных средств 2002 г, используемых для автоматизированного проектирования ЭП, следует отметить работы Драчева Г.И. (Южно-Уральский государственный университет) [11], в которых он предлагает набор программ, с помощью которых рекомендуется вести проектирование ЭП. Приводятся примеры расчета графиков нагрузочных диаграмм реостатного пуска и торможения противовключением асинхронного двигателя, рассчитанные в

программе «READ». К сожалению, программные средства недоступны, поэтому ничего определенного о них сказать затруднительно. Каждая программа анализирует свою систему управления, строятся временные и статические механические и электромеханические характеристики.

Среди средств проектирования ЭП 2006 г. необходимо отметить программу **eDrive** В.М. Водовозова (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ") [12], которая предназначена для проектирования ЭП согласно алгоритму, представленному на рис. 3.



Рис. 3. Примерный алгоритм проектирования электропривода по работам Водовозова В.М.

Программа eDrive предназначена для:

- моделирования систем и компонентов асинхронного электропривода, сервопривода и электропривода постоянного тока с двигателями независимого возбуждения;
- выбора двигателей, преобразователей и редукторов в ходе проектирования электропривода из встроеной базы данных;
- анализа статических и динамических режимов работы электроприводов с разомкнутыми и замкнутыми схемами управления при питании от сети и преобразователей;
- настройки регуляторов электропривода, исследования влияния параметров, управляющих и возмущающих воздействий на поведение электропривода.

Практически это единственное ПО, поддерживающее многие расчетные процедуры для проектирования ЭП, которое бесплатно и доступно для изучения. Существенным ограничением для использования программы является англоязычный интерфейс. Также недостатками программы являются:

- отсутствуют средства для анализа механической части и определения технологического цикла работы механизма;
- ограниченная номенклатура компонентов во встроеной БД, к тому же отсутствуют многие параметры, необходимые для полноценного проектирования (необходимо отметить, что программа доопределяет примерные значения недостающих параметров);
- встроенные в код ПО математические модели, причем в файле помощи отсутствует информация о принятых допущениях;
- отсутствуют средства анализа энергетики ЭП.

Программные средства для автоматизации проектирования, разработанные за рубежом, имеют одну общую черту – они нацелены на работу с оборудованием конкретной фирмы, под эгидой которой и разрабатывается ПО. Ярким примером может служить программная продукция фирмы SEW-EURODRIVE, которая имеет четко выраженную ориентацию только на фирменную продукцию.

В зарубежной научно-технической литературе процесс проектирования электропривода ограничен синтезом механической части и заканчивается выбором электродвигателя [13], оставляя в стороне такие важные вопросы, как синтез системы управления, оптимизацию динамических характеристик, расчет энергетических показателей. Например, среди программных продуктов той же фирмы SEW-EURODRIVE существует программное средство, предназначенное для расчета ряда механизмов [13]:

- привода транспортного устройства;
- привода подъемного устройства;
- приводов цепного, роликового, ленточного конвейеров с преобразователем частоты;
- привода поворотного стола;

- привода кривошипно-шатунного механизма;
- привода ходового винта;
- сервоприводов портального подъемника.

Основное внимание в ПО уделено расчету механической части и правильному выбору редукторов, определены алгоритмы подобных расчетных процедур.

Другим примером может служить программное обеспечение, предоставляемое фирмой Siemens. Здесь имеется ряд полезных программ для обслуживания и выбора технического оборудования (например, электродвигателя, преобразователя, защитной аппаратуры и средств обеспечения электромагнитной совместимости), а также для проектирования систем управления не отдельного электропривода, а всего технологического комплекса.

В заключение можно сделать следующие выводы:

- в настоящее время программы проектирования электроприводов имеют преимущественно объектно-ориентированный характер. Для зарубежных фирм, продвигающих свою продукцию на рынок, это вполне объяснимо и, пожалуй, может считаться положительным фактором, т.к. в подобном программном обеспечении учитываются особенности производимой техники. В этом ряду стоят и средства проектирования управляющих микропроцессорных программ для ЭП, ориентированные на определенные типы микроконтроллеров. А вот для программ, предназначенных для проектирования различных электроприводов, объектно-ориентированная реализация является недостатком, т.к. подобное ПО должно быть инвариантно к объекту проектирования;
- что касается выбора операционной среды, то здесь вполне очевиден выбор Windows или даже кросс-платформенные разработки, тем более, что в будущих версиях операционной системы компании Microsoft поддержка программ под MS DOS находится под вопросом;
- существуют очевидные сложности сочетания статических и динамических расчетов. Здесь требуется отметить, что наилучшим вариантом, по мнению авторов, является использование современных средств анализа динамики, таких как программа MatLab. Встраивание же математической модели в код программы является не лучшим решением;
- существует традиционная проблема данных для проектирования. Решение этой задачи лежит не только в разработке базы данных, но и в разработке информационных моделей элементов электропривода, которые, функционируя в составе ПО, были бы способны при необходимости восстанавливать недостающие параметры;

• нельзя не заметить, что практически отсутствуют средства оптимизации динамики и анализа энергетических показателей ЭП.

Причины такого положения, на взгляд авторов, заключаются в том, что разработке программ автоматизированного проектирования электроприводов уделялось и уделяется недостаточно внимания, хотя в последние годы и наметились положительные тенденции. Процесс разработки подобного программного обеспечения, особенно инвариантного к объекту проектирования, находится еще в самом начале своего развития.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фролов Ю.М. Автоматизированное проектирование электроприводов постоянного тока: учеб. пособие / Ю.М. Фролов; Воронеж. политехн. ин-т. Воронеж, 1992. 140 с.
2. Романов А.В. Проблематика автоматизированного проектирования электроприводов. / А.В. Романов, В.Л. Бурковский, Ю.М. Фролов. Вестник ВГТУ. Серия "Вычислительные и информационно-телекоммуникационные системы". Том 2. № 5. Воронеж: ВГТУ, 2006. 148 с.
3. Романов А.В. К вопросу организации работы программного обеспечения САПР электроприводов / А.В. Романов, Е.Н. Макарова. Промышленная информатика: Межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2006. 215 с.
4. Башарин А.В. Примеры расчета автоматизированного электропривода на ЭВМ: Учеб. пособие. / А.В. Башарин, Ю.В. Постников. 3-е изд. Л.: Энергоатомиздат, 1990. 512 с.
5. Программное средство "Автоматизированный расчет электропривода главного движения продольно-строгального станка" (PSS). / А.В. Романов, А.В. Воронин, А.В. Лесовой. ГОСФАП РФ, № 50990000134. М. 1999.
6. Программа автоматизированного расчета элементов силовой части системы "Тиристорный преобразователь - двигатель" (Sila). / А.В. Романов, А.И. Зоря, Ю.М. Фролов. ГОСФАП РФ, № 50200401485. М. 2004.
7. Программное средство "Оптимизация динамики упругих электромеханических систем" / А.В. Романов, Р. В. Пилюгин, Д.В. Бушнев, Ю.М. Фролов. ГОСФАП РФ, № 50980000004. М. 1998.
8. Программа автоматизированного расчета энергетики асинхронных электроприводов (Energo). / А.В. Романов, Р.В. Ковалев, Ю.М. Фролов. ГОСФАП РФ, № 50200200563. М. 2002.
9. Романов А.В. Общий подход к автоматизации расчета механической части электропривода / А.В. Романов, Ю.М. Фролов. Электротехнические комплексы и системы управления. Научно-технический журнал. № 1 (13). Воронеж: Изд. "Кварта". 2009. 64 с.
10. Колганов А.Р. Компьютерный комплекс функционального проектирования систем управления динамическими объектами: Практическое пособие / А.Р. Колганов, А.Б. Комаров. Иван. гос. энерг. ун-т. Иваново, 2001. 60 с.
11. Драчев Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие. / Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. Часть 1. 209 с.
12. Vodovozov V.M. eDrive. Version 0808 Unregistered. <http://www.edrive.narod.ru>.
13. Практика приводной техники. Проектирование приводов. Издание 11/2001. 160 с. <http://www.sew-eurodrive.com>.

Воронежский государственный технический университет

A.V. Romanov, U.M. Frolov

#### THE TENDENCIES OF A DEVELOPMENT OF A COMPUTER-ASSISTED DESIGN OF ELECTRICAL DRIVE

In paper the common tendencies of a development of automation of the process of designing of electrical drive are parsed. The examples of the existing domestic and foreign software are reduced.

**key words:** electrical drive, computer-aided design