

## ОБЩИЙ ПОДХОД К АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТА МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

**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 рассмотрен общий подход к формализации расчета и анализа механической части электропривода. Сформирован соответствующий алгоритм. Также определены требования к программному обеспечению и приведено описание программы, реализующей данную методику.

**ключевые слова**

электропривод, механическая часть электропривода, автоматизированное проектирование

Свойства всякой сложной технической системы описываются ее структурой и ее связями с окружающей средой. В этом отношении системы автоматизированного электропривода (САЭП) не отличаются от других сложных технических систем. Общая структура САЭП [1] свидетельствует о трех точках сопряжения САЭП с внешней средой, являющихся исходным пунктом проектных разработок:

- 1) «система электропривода – рабочая машина»;
- 2) «система электропривода – сеть»;
- 3) «система электропривода – уровень управления».

Объектом разработки программного обеспечения автоматизированного расчета в данном случае является механическая часть (МЧ) электропривода (ЭП), обеспечивающая точку сопряжения «система электропривода – рабочая машина», объединяющая в своем составе рабочую машину, передаточное устройство, электродвигатель и обеспечивающая прохождение потока механической энергии. Этот поток создается электродвигателем для обеспечения технологического режима работы исполнительного механизма, а особенности прохождения потока механической энергии обусловлены кинематикой МЧ ЭП. В этой связи проектирование электропривода обычно начинают с анализа кинематической схемы и требований технологического процесса, на основе которых получают нагрузочную диаграмму (НД) и тахограмму (ТГ) исполнительного механизма (ИМ) или электродвигателя (ЭД), выбор которого определяет в конечном итоге работоспособность спроектированного электропривода [2]. При этом необходимо, чтобы программное обеспечение было инвариантным к объекту проектирования. Важность расчета механической части электропривода подтверждается и зарубежным опытом проектирования [3].

Целью работы является создание алгоритма и программы автоматизированного расчета механической части электропривода, инвариантного к объекту проектирования, основываясь на

известной методике приведения параметров МЧ ЭП к валу двигателя [4].

Программу автоматизации процесса синтеза механической части электропривода, целесообразно строить по принципу редактора плоских схем [5], позволяющего решать задачи построения сложных диаграмм, структурных схем, электрических схем и других проектов, в которых необходимо установить связи между объектами, представленными на экране в виде условных изображений. К числу программ, решающие подобные задачи, можно отнести программы PCAD, Visio Pro, ErWin и некоторые другие. В общем случае программы автоматизации процесса синтеза МЧ ЭП должны:

- вводить в проект условные обозначения объектов;
- устанавливать связи между объектами;
- перемещать и удалять объекты и связи;
- вводить нагрузочную диаграмму и тахограмму исполнительного механизма;
- автоматически приводить параметры НД, ТГ и механической части к валу ЭД;
- осуществлять выбор электродвигателя и последующую его проверку.

В случае автоматизации процесса проектирования механической части ЭП к перечисленным функциям добавляется также умение назначать и изменять параметры объектов и связей. Таким образом, программный продукт, формализующий процесс расчета и анализа МЧ ЭП должен реализовывать следующие проектные процедуры:

- 1) ввод блоков механической части электропривода с возможностью их параметрирования;
- 2) ввод и редактирование НД и ТГ исполнительного механизма;
- 3) приведение параметров объектов МЧ, нагрузочной диаграммы и тахограммы исполнительного механизма к валу электродвигателя с визуализацией расчетной схемы МЧ ЭП;
- 4) выбор электродвигателя и проверка его по нагреву, условиям пуска и перегрузочной способности;
- 5) расчет N-массовой механической части электропривода.

Согласно этим требованиям была написана программа «Механика». Данное программное обеспечение (ПО) реализует первый этап проектирования электропривода [1].

Общий алгоритм работы программы представляет совокупность шагов, каждый из которых эквивалентен проектной процедуре, заканчивающейся проектным решением, являющимся результатом законченной переработки определенной массива исходной информации. С учетом сказанного ниже приведен обобщенный алгоритм, формализующий расчет МЧ ЭП, выбор ЭД по требуемой мощности и проверку выбранного электродвигателя.

**Шаг 1. Создание и параметрирование элементов функциональной схемы механической части электропривода.**

В МЧ ЭП можно выделить основные объекты электропривода:

- электродвигатель;
- различные типы передаточных устройств (редукторы, преобразователи вращательного движения в поступательное, например, винт-гайка, цепные и ременные передачи);
- исполнительный механизм.

Так как объекты МЧ выполняют разные задачи, то в зависимости от типа они описываются различными наборами параметров. Соединяются объекты бинарными линиями связями, эквивалентными механическим с известными значениями упругости этих соединений. Таким образом, вместо реальной кинематической схемы МЧ ЭП проектировщик в редакторе плоских схем создает функциональную схему механической части электропривода (рис.1) и параметрирует ее элементы с помощью диалоговых окон, показанных на рис.2, и вызываемых для выбранного объекта с помощью контекстного меню (см. рис.1). Учитывая различные формы движения в МЧ, некоторые блоки предусматривают преобразование вращательного движения в линейное и обратно.

Таким образом, на данном шаге САПР получает часть исходной информации, необходимой для дальнейшего проектирования.

**Шаг 2. Ввод нагрузочной диаграммы и тахограммы.**

Данный шаг является логическим продолжением первого, поскольку также предназначен для определения исходной информации по проектированию.

Ввод нагрузочной диаграммы и тахограммы предусмотрен в двух вариантах, которые не исключают друг друга. В первом варианте они вводятся для объекта типа «Исполнительный механизм», что соответствует задаче синтеза электропривода на основе технологических требований. Второй вариант предусмотрен для объекта типа «Электродвигатель», когда требу-

ется модернизация уже имеющегося электропривода.

Ввод НД и ТГ осуществляется с помощью специального программного модуля, в котором основная форма ввода этих диаграмм, показанная на рис. 3, вызывается пунктом контекстного меню (рис.1), подобно вызову форм параметрирования объектов. При этом формы отличаются поясняющими надписями для вращательного и поступательного движений. Ввод и редактирование данных (частоты вращения, статического момента, момента инерции для вращательного движения; скорости, силы сопротивления, массы для линейно-поступательного движения) происходит для отдельных временных интервалов, на которые разбивается тахограмма и нагрузочная диаграмма. Возможно определение вводимых данных с помощью аналитического выражения (с поддержкой, помимо стандартных математических функций, взаимозависимости величин), которое рекомендуется формировать с помощью специального мастера, внешний вид которого показан на рис. 4.

При аналитическом определении данных на отдельных временных интервалах массивы информации данных, введенных пользователем, и данных, используемых для расчета, отличаются.

Программное обеспечение «Механика» разрабатывалась как инструмент, инвариантный к объекту проектирования. В то же время, для типовых механизмов (например металлообрабатывающих станков, поворотной платформы, крановых электроприводов и т.п.), у которых известны как типовая кинематическая схема, так и типовой рабочий цикл, логично разработать отдельные программные средства, реализующие требуемые для конкретного механизма расчеты в автоматизированном режиме [1].

Наличие известных конструктивных и технологических данных типовых объектов позволяет проектировщику использовать базы данных, из которых исходные данные можно выбирать с помощью библиотечных объектно-ориентированных программ. Это позволяет применить *альтернативный вариант* ранее рассмотренным шагам алгоритма.

#### **Альтернативный вариант шагам 1 и 2.**

*Определение исходных проектных данных с помощью библиотечных объектно-ориентированных программ.*

Программная реализация такого альтернативного определения исходных данных выполняется с помощью файла данных проекта. Из главного меню ПО «Механика» вызывается библиотечная программа для конкретного механизма. При вызове программы ей в качестве параметра передается имя файла данных проекта. После выполнения автоматизированного расчета в этот файл записываются проектные данные по типовой функциональной схеме ЭП

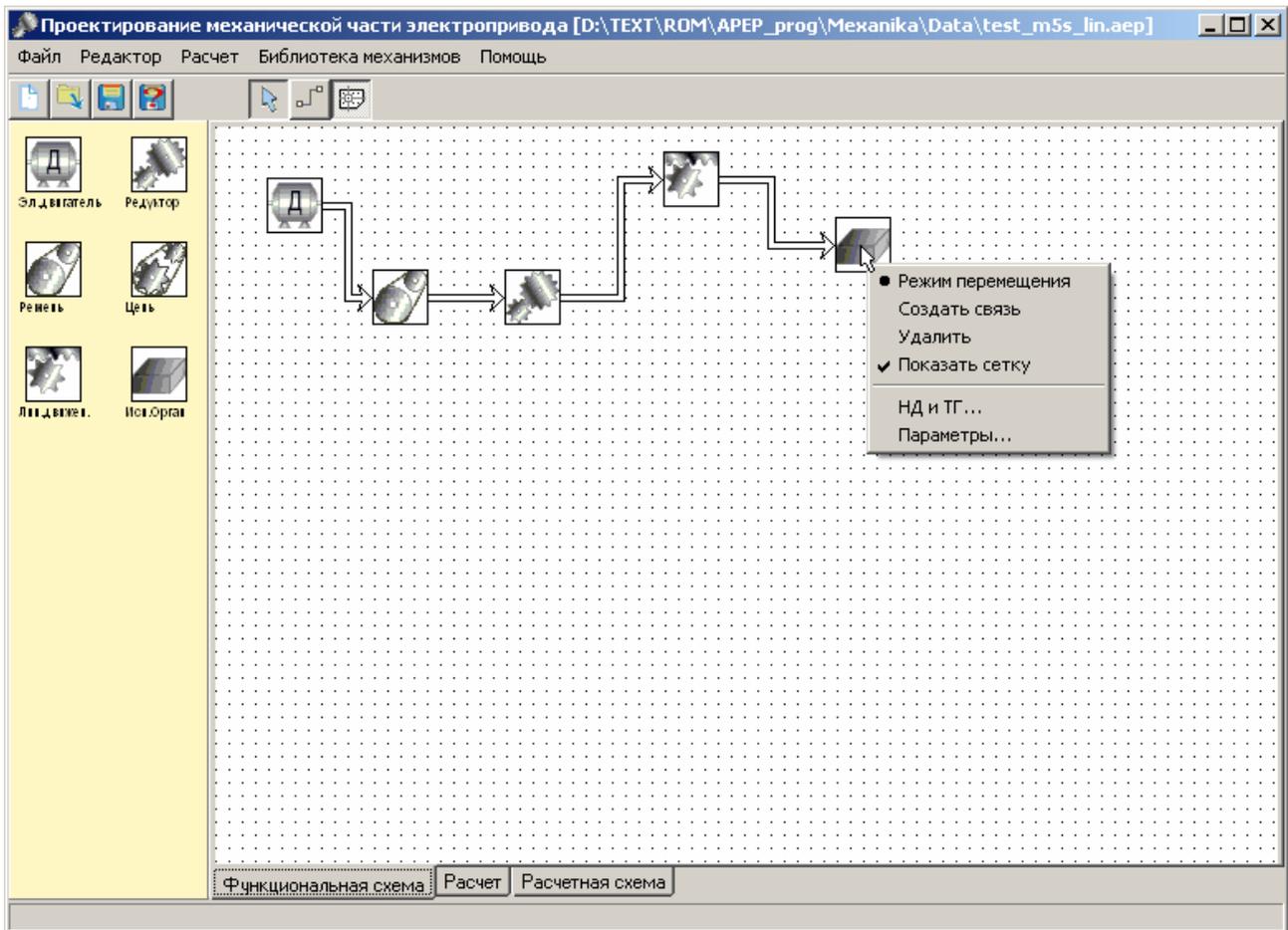
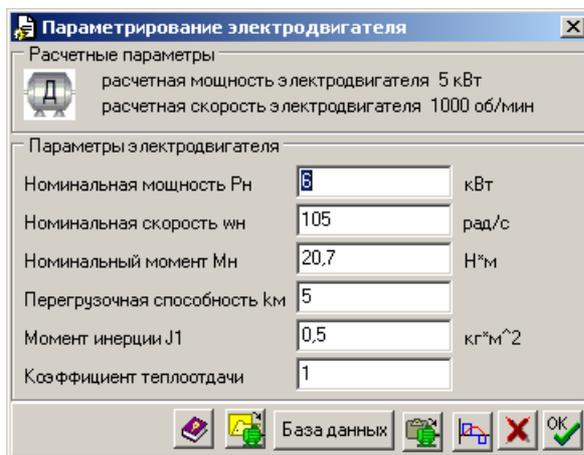
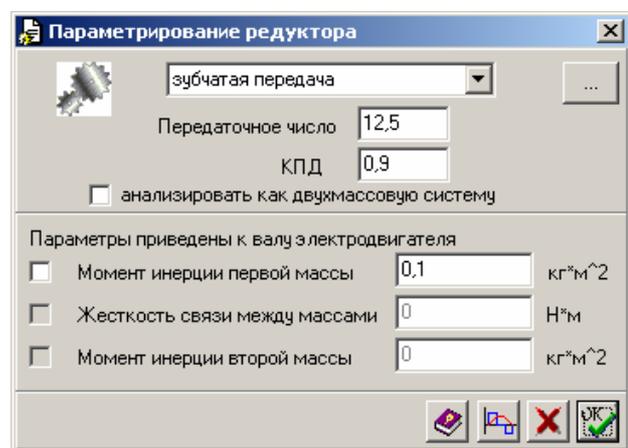


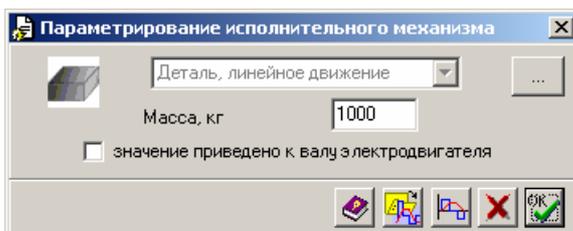
Рис. 1. Внешний вид программы «Механика»



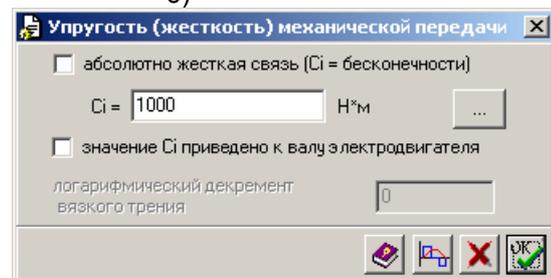
а)



б)



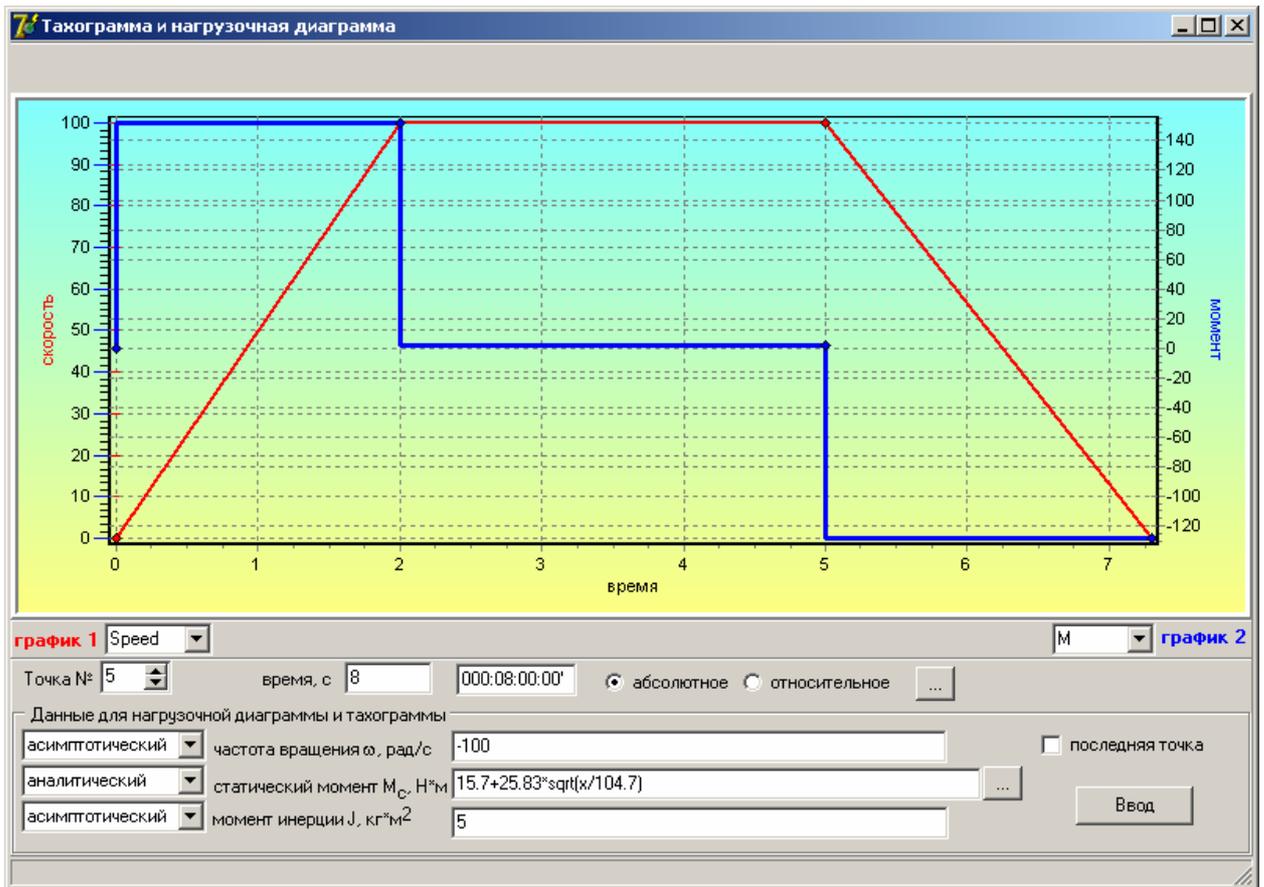
в)



г)

а) для объекта «Электродвигатель»; б) для объекта «Редуктор»; в) для объекта «Исполнительный механизм»; г) для объекта «Упругость механической передачи»

Рис. 2. Диалоговые окна параметрирования элементов функциональной схемы ЭП



### 3. Форма параметрирования нагрузочной диаграммы и тахограммы

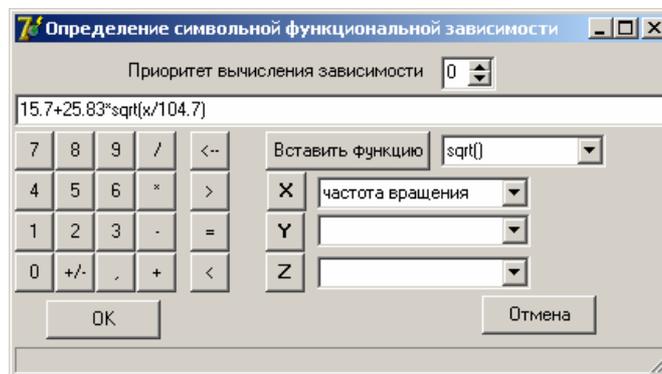


Рис. 4. Мастер определения аналитических выражений

и цикле работы. Таким образом, после завершения работы в библиотечной программе, основное ПО «Механика» имеет точно такие же данные, как и при прямом выполнении шагов 1 и 2. Необходимо отметить, что вызов подобных модулей предпочтительнее, поскольку в файл данных проекта автоматически будут записаны различные требования (в том числе и для последующих этапов) для проектирования данного типового механизма, которые в ином случае придется определять самостоятельно и вводить вручную.

#### Шаг 3. Анализ исходных данных.

Задачей этой проектной процедуры является проверка исходных данных и выполнение

необходимых предварительных расчетов. Данная проектная процедура включает в себя несколько больших проектных операций. В качестве проектного решения выступают расчетные данные и флаги, контролирующие корректность хода проектирования.

#### Анализ данных функциональной схемы электропривода.

В первую очередь проверяется линейность введенной функциональной схемы ЭП и наличие «лишних» объектов. ПО позволяет вводить и хранить подобные объекты для удобства проектирования. Единственное требование к таким объектам – они не должны быть соединены линиями механической связи с другими объектами. После выполнения проверки линейности

функциональной схемы ЭП устанавливается флаг, сбрасываемый добавлением нового объекта или редактированием существующего, что заставит пользователя повторить выполнение шага 3. Здесь же осуществляется приведение элементов функциональной схемы ЭП к валу электродвигателя.

*Расчет нагрузочных диаграмм и тахограмм от исполнительного механизма.*

Если заданы НД и ТГ для исполнительного механизма, то следует ее пересчет по всем объектам функциональной схемы ЭП с учетом передаточных чисел и КПД вплоть до электродвигателя. Рассчитанные нагрузочные диаграммы и тахограммы доступны для просмотра и анализа, но недоступны для редактирования. Их внешний вид подобен показанному на рис. 3, но без панели редактирования нагрузочной диаграммы и тахограммы.

На этом шаге также устанавливается специальный флаг, сбрасываемый изменением исходной НД и ТГ для ИМ. Сброс флага также инициирует освобождение памяти для рассчитанных НД и ТГ объектов. Отсутствие данных по нагрузочной диаграмме и тахограмме исполнительного механизма приведет к информационному сообщению пользователю.

*Расчет нагрузочных диаграмм и тахограмм от электродвигателя.*

Данная проектная операция аналогична предыдущей, только происходит по заданным НД и ТГ для электродвигателя. После окончания расчета также устанавливается соответствующий флаг, отсутствие которого потребует от пользователя возврата на шаг 2.

**Шаг 4. Выбор и проверка электродвигателя.**

Содержанием данной проектной процедуры является, во-первых, выбор электродвигателя и проверка его по заданным критериям в случае проектирования нового электропривода, во-вторых, проверка двигателя существующего ЭП при изменении нагрузки и технологических условий работы исполнительного механизма. На рис. 2а показано окно параметрирования объекта «Электродвигатель», где помимо ручного ввода данных предусмотрена информация о требуемых расчетных параметрах ЭД (определяемая при пересчете НД и ТГ исполнительного механизма к валу двигателя), а также такая проектная операция как выбор ЭД из базы данных. Для грамотного использования этой проектной операции необходима исходная информация. С этой целью в основном окне параметрирования НД и ТГ (рис. 3) в контекстном меню доступен пункт «Рекомендации по выбору ЭД», позволяющий получить информационное сообщение о максимальной и минимальной скоростях, эквивалентной мощности, эквивалентном и максимальном моменте, что, несомненно,

поможет пользователю сделать корректный выбор электродвигателя.

Факты проверки ЭД и получения рекомендаций также фиксируются соответствующими флагами, сбрасываемыми изменением данных электродвигателя или НД и ТГ.

**Шаг 5. Расчет N-массовой механической части электропривода.**

Выбором электродвигателя, осуществляемом на 4 шаге, заканчивается первый этап проектирования. Но существует еще одна актуальная для некоторых механизмов задача – определение расчетной схемы механической части ЭП. Это возможно после окончательного выбора всех элементов кинематической схемы механической части и проверки линейности схемы (шаг 3). Фактически программный код ПО «Механика» построен таким образом, что все необходимые предварительные расчеты для анализа МЧ ЭП как многомассовой системы реализуются при анализе данных функциональной схемы электропривода (шаг 3). Если же произойдет редактирование элемента функциональной схемы ЭП, то, согласно вышеописанному, соответствующие флаги будут сброшены, и для продолжения проектирования 3 шаг должен будет быть выполнен заново.

Что касается проектного решения по данной проектной процедуре, то им является массив данных моментов инерций и упругостей, приведенных к валу ЭД, начиная от исходной N-массовой системы и заканчивая одномассовой. По этим данным может быть построена любая из требуемых расчетных схем.

Обобщенный алгоритм автоматизированного проектирования механической части электропривода, реализующий все пять шагов, приведен на рис. 5.

Подводя итоги, можно отметить, что разработан общий подход к проектированию механической части электропривода, в основу которого положены тахограмма, нагрузочная диаграмма исполнительного механизма и кинематическая схема электропривода.

По кинематической схеме нагрузочная диаграмма и тахограмма исполнительного механизма пересчитываются к валу электродвигателя, что позволяет определить расчетную мощность электрической машины для предварительного выбора двигателя с последующей его проверкой по заданным критериям. При наличии существующего электропривода в случае изменения нагрузочной диаграммы и тахограммы проверяется возможность работы двигателя в новых условиях.

Путем приведения параметров элементов механической части к валу двигателя по желанию проектировщика составляется расчетная схема электропривода, начиная от исходной N-массовой системы и заканчивая одномассовой.

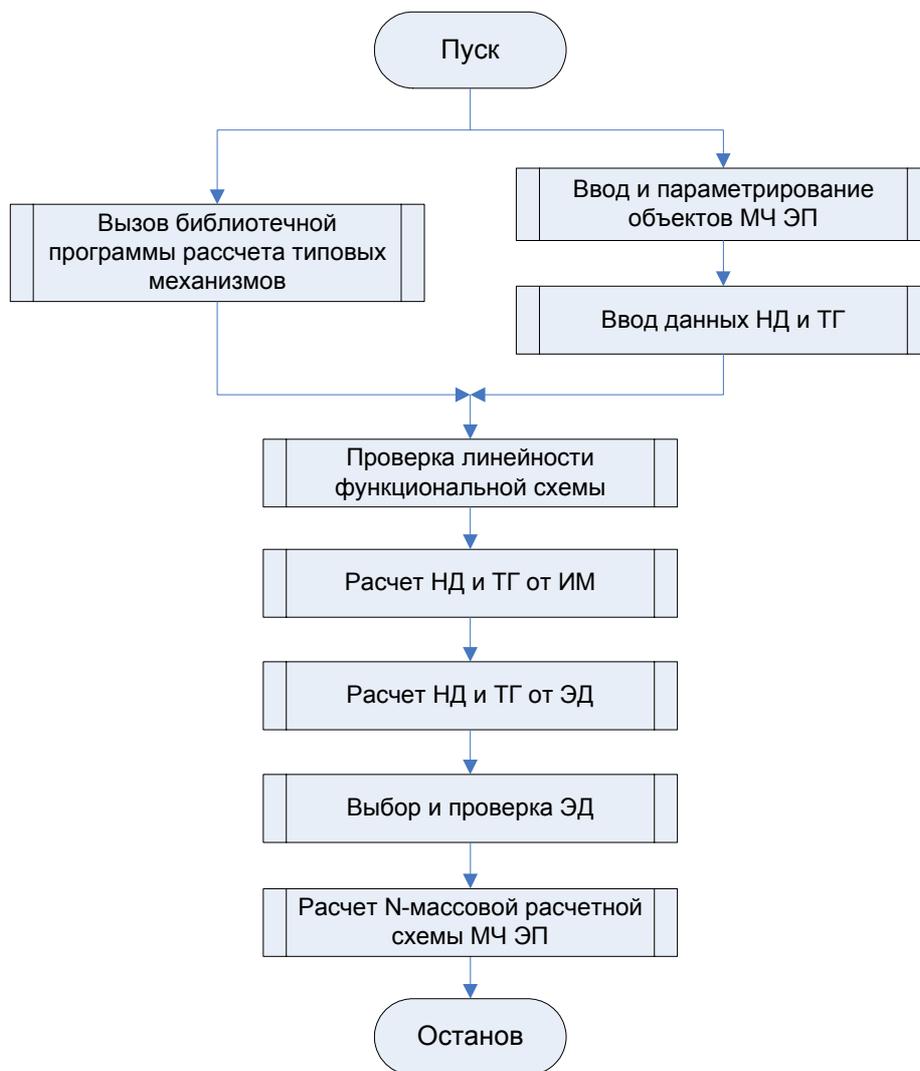


Рис. 5. Обобщенный алгоритм автоматизированного проектирования механической части электропривода

#### Литература

1. Фролов Ю.М., Романов А.В. Автоматизированное проектирование электроприводов: Учеб. пособие. Воронеж: гос. техн. ун-т, 2003. 205 с.

2. Романов А.В., Фролов Ю.М. Требования к программному обеспечению САПР электроприводов / Информатика: проблемы, методология, технологии : матер. шестой междуна. науч.-

метод. конф. / Воронеж : Воронежский государственный университет, 2006. – 551 с.

3. Практика приводной техники. Проектирование приводов. Издание 11/2001. 160 с. <http://www.sew-eurodrive.com>.

4. Ключев В.И. Теория электропривода.: Учеб. для вузов. -2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.

5. Тюкачев Н., Свиридов Ю. Delphi 5. Создание мультимедийных приложений. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2001. – 400 с.

Воронежский государственный технический университет

A.V. Romanov, U.M. Frolov

#### THE GENERAL APPROACH TO AUTOMATION OF CALCULATION OF A MECHANICAL PART OF THE ELECTRICAL DRIVE

In paper the general approach to formalizing calculation and analysis of a mechanical part of the electrical drive surveyed. The appropriate algorithm generated. The requirements to the software also are defined and the program description implementing the given technique is reduced.

**key words:** electrical drive, mechanical part of the electrical drive, computer-aided design