

А. А. Коева, П. В. Петров, В. А. Целищев

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА НМАР

Рассматриваются вопросы моделирования и автоматизации процесса исследования регуляторов с целью их предконструкторского синтеза, а также выявления влияния различных входных параметров, особенностей физических процессов на работу этих регуляторов. Приводится последовательность и возможности проводимых исследований систем автоматического регулирования в разработанном программном комплексе. *Математическое моделирование; вычислительный эксперимент; система автоматического регулирования*

В современном двигателестроении имеется тенденция к усложнению конструкции, а соответственно, к повышению требований в работе отдельных элементов систем регулирования двигателей. Таким образом, увеличение надежности работы регуляторов топливной автоматики двигателей летательных аппаратов и определение наиболее неблагоприятных режимов их работы позволяет добиться более эффективной и безотказной работы двигателей нового поколения.

Около 40% времени проектировочных работ тратится на доводку и отладку систем регулирования. Доводочные работы можно снизить уже на раннем этапе (проектирования), а не на этапе испытания, когда требуется гораздо большее вложение средств. Активное использование методов численного моделирования позволяет резко сократить сроки конструкторских и научных разработок. В тех случаях, когда натурный эксперимент трудно осуществим, математическое моделирование служит практически единственным инструментом исследования. Поэтому становится важным автоматизировать весь процесс исследования, когда требуется снизить процент отказов в системах гидроавтоматики, для чего необходимо создавать сопроводительные модели, позволяющие заранее выявлять наиболее эффективные режимы работы [1].

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Программные продукты, позволяющие строить статические и динамические характеристики систем регулирования, требуют в качестве ис-

ходной информации сведения об объекте регулирования в виде его математической модели. Авиационный двигатель, по-видимому, является наиболее сложным техническим устройством; в нем протекают многообразные физико-химические процессы. Главными особенностями авиационного двигателя являются разнообразие их типов, многорежимность, сравнительно большая расходунапряженность и большой диапазон изменения внешних условий [2].

При проведении анализа существующих на сегодняшний день программных продуктов, позволяющих строить статические и динамические характеристики систем регулирования авиационных двигателей, был выявлен ряд недостатков, присущих данным системам, а именно:

- линеаризация математических моделей, не учитывающая многие физические явления в системах регулирования двигателя, а также справедливые только в области рассмотрения малых отклонений переменных величин;
- отсутствие в некоторых программных продуктах расчета динамических характеристик;
- наличие в программах нелинейных звеньев, но в виде пространства состояний или в частотном виде;
- неадаптированность некоторых программных продуктов к решению задач гидроавтоматики;
- рассматривается и изучается ограниченное количество объектов исследования;
- при моделировании систем регулирования в основном отсутствует учет нелинейностей либо учитывается их ограниченный состав.

В связи с выявленными недостатками можно сделать вывод о том, что нужно произвести работу, направленную на развитие и совершенствование программных продуктов, позволяющих строить статические и динамические характеристики систем регулирования авиационных двигателей, с дальнейшей возможностью использования и пополнения баз данных.

Контактная информация: 8 (347) 273-09-44

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки РФ, ГК № 16.740.11.0253 от 22 сентября 2010 г. «Автоматизированное проектирование регуляторов топливной автоматики в производстве энергоэффективных авиационных двигателей нового поколения».

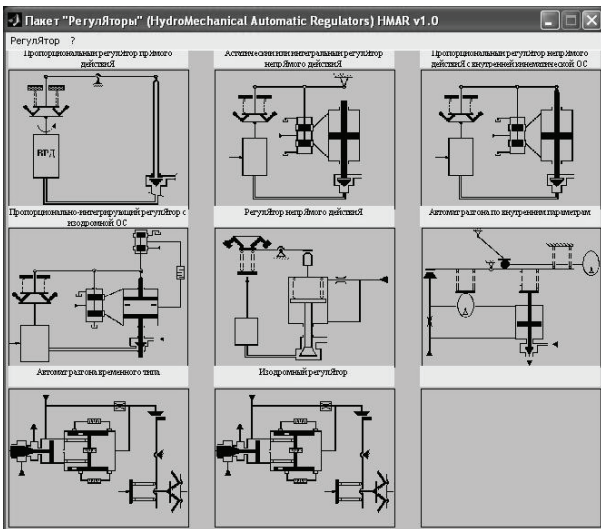


Рис. 1. Стартовая страница программы «HMAR»

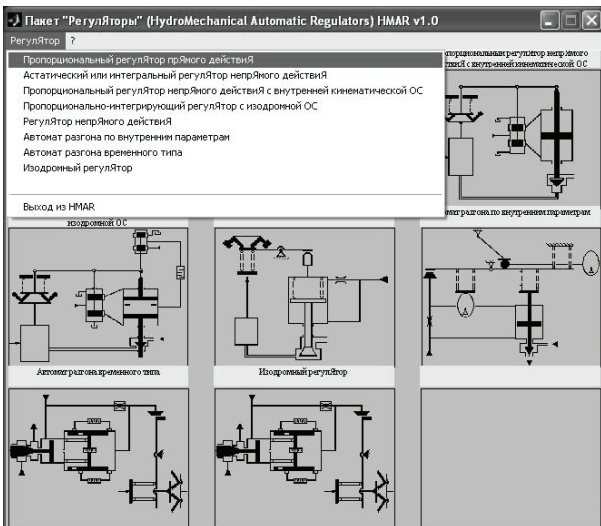


Рис. 2. Выбор типа регулятора

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Объектами исследования в пакете прикладных программ «HMAR» являются системы автоматического регулирования частоты вращения, где объектом регулирования является реактивный двигатель, с которым регулятор образует замкнутый контур регулирования [3].

Исходя из выявленных недостатков существующих пакетов в качестве оптимального варианта разработан программный продукт для расчета систем регулирования авиационного двигателя, включающий в себя следующие компоненты: автоматический вывод математических моделей на экран; автоматический вывод принципиальных схем рассматриваемых регуляторов; автоматическое моделирование статики различных типов регуляторов; автоматическое моделирование динамики по нелинейным моделям различных типов регуляторов.

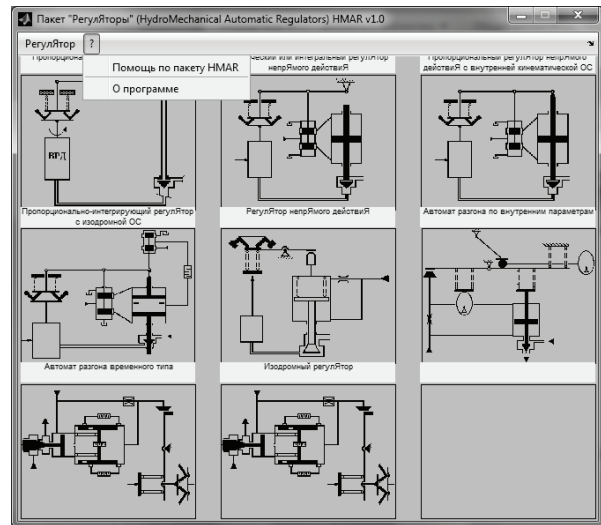


Рис. 3. Раздел «Помощь» в «HMAR»

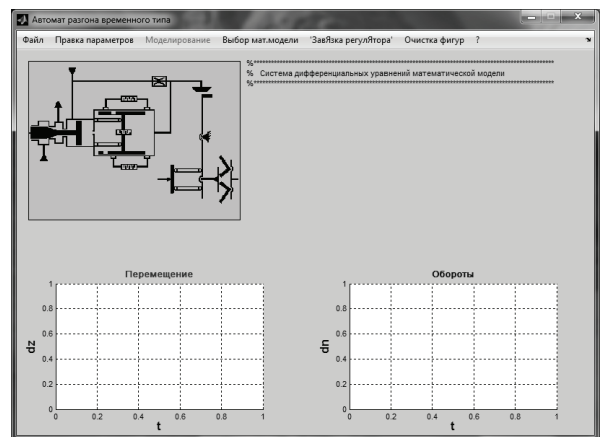


Рис. 4. Окно исследуемого регулятора

3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В структуру разработанного пакета «HMAR» входят следующие разделы (рис. 1):

- регулятор для выбора типа исследуемого устройства (рис. 2);
- помощь для описания правил работы с программой и подсказки пользователю при выборе устройства, а также для получения сведений о программе (рис. 3).

В разделе «Регулятор» (рис. 2) существует возможность выбора для исследования следующих основных типов регуляторов:

- пропорциональный регулятор прямого действия;
- астатический или интегральный регулятор непрямого действия;

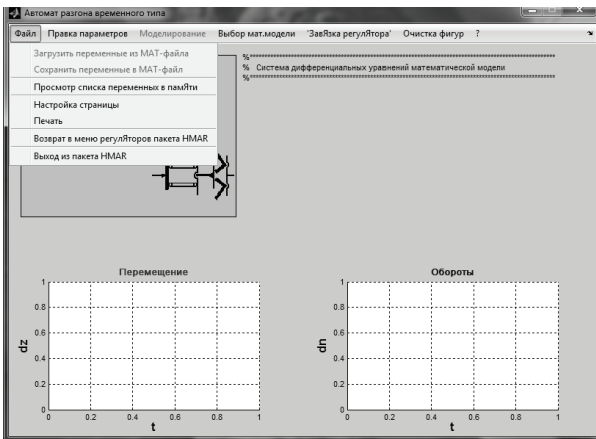


Рис. 5. Вкладка «Файл»

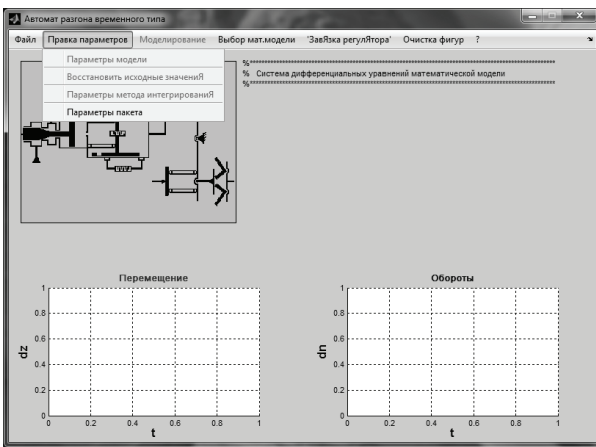


Рис. 6. Вкладка «Правка параметров»

- пропорциональный регулятор непрямого действия с внутренней кинематической обратной связью;
- пропорционально-интегрирующий регулятор с изодромной обратной связью;
- регулятор непрямого действия;
- автомат разгона временного типа;
- автомат разгона по внутренним параметрам;
- изодромный регулятор.

Пакет «HMAR» предназначен для расчета и построения статических и динамических характеристик по нелинейным моделям различных типов регуляторов. Рассмотрим последовательность операций при исследовании автомата разгона временного типа.

Выбираем исследуемый регулятор (см. рис. 2).

Открывается окно со схемой исследуемого регулятора (см. рис. 4) и полями для последующего выбора типа системы дифференциальных уравнений математической модели и получения результатов на графиках.

Из окна регулятора есть возможности

- обратиться к вкладке «Файл» (рис. 5) для

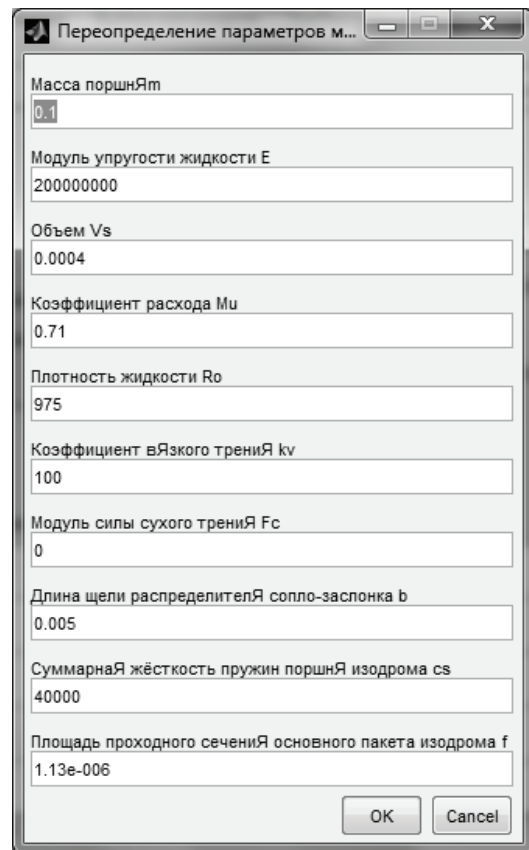


Рис. 7. Окно «Переопределение параметров модели»

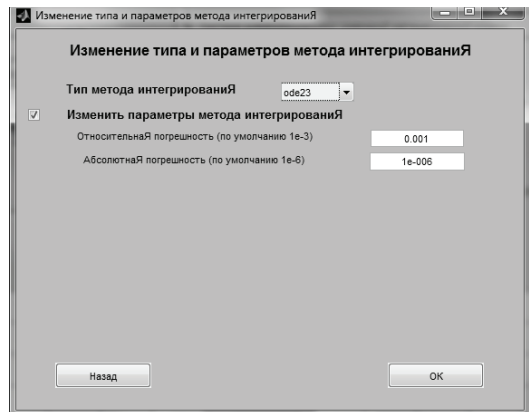


Рис. 8. Окно «Изменение типа и параметров метода интегрирования»

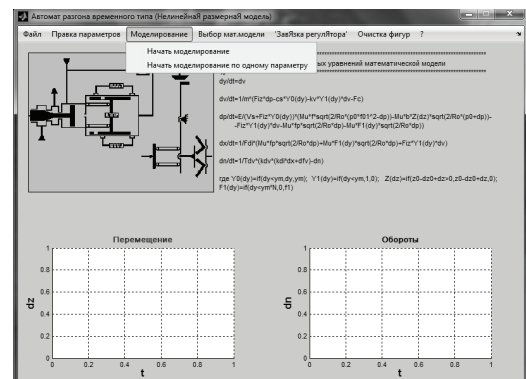


Рис. 9. Вкладка «Моделирование»

просмотра, изменения и последующего сохранения кода программы, просмотра списка участвующих в уравнениях переменных, настройки или печати страницы, возврата в меню выбора регуляторов (см. рис. 2) или выхода из пакета;

- обратиться к вкладке «Правка параметров» (см. рис. 6) для установления значений параметров модели (см. рис. 7), восстановления исходных значений моделирования регулятора, изменения типа и параметров метода интегрирования (см. рис. 8), выбора параметров пакета.

- обратиться к вкладке «Моделирование» (рис. 9) для начала процесса моделирования в целом (рис. 10, 11), прежде выбрав параметры интегрирования (рис. 12), или по выбранному параметру (рис. 13), например, по массе поршня (рис. 14), в результате чего получить сравнение результатов исследуемого регулятора в различных случаях работы (см. рис. 15, 16);

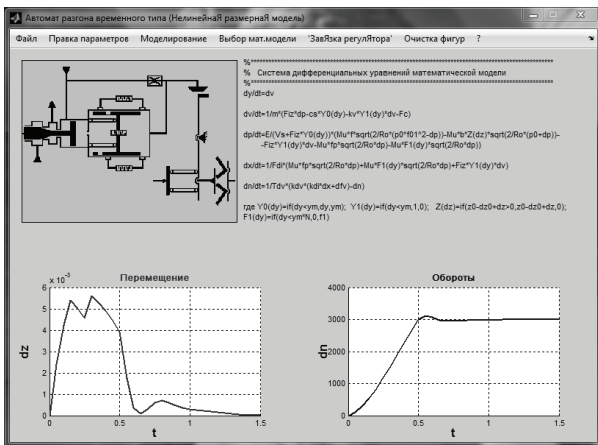


Рис. 10. Окно «Моделирование регулятора»

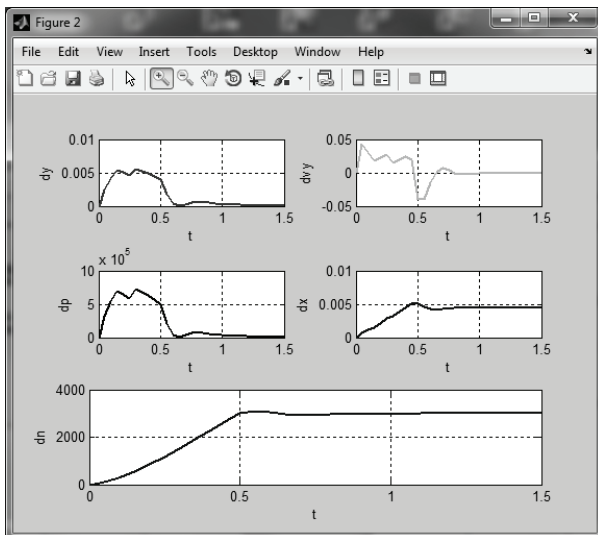


Рис. 11. Окно «Графики»

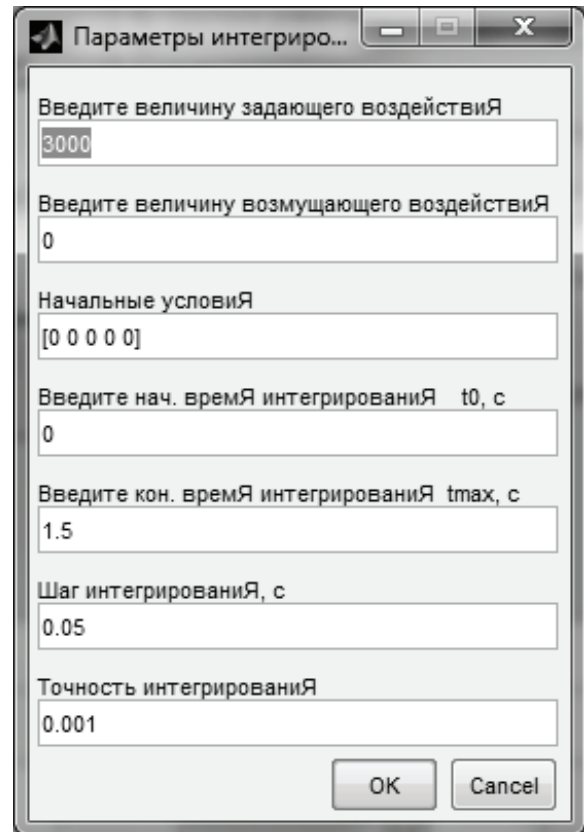


Рис. 12. Окно «Параметры интегрирования»

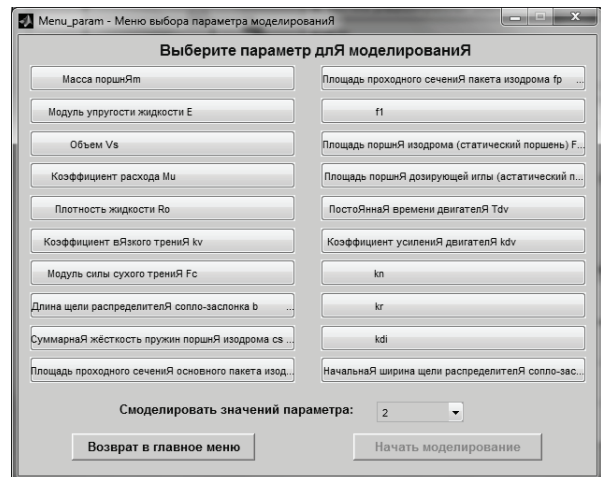


Рис. 13. Окно «Выбор параметра для моделирования»

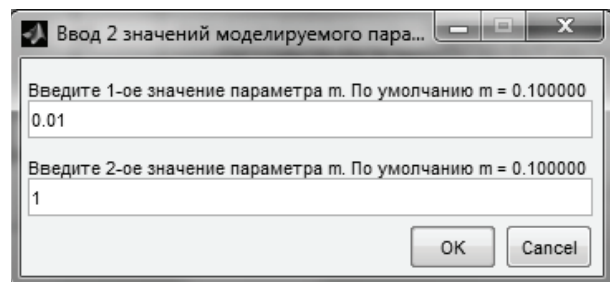


Рис. 14. Окно «Ввод значений моделируемого параметра»

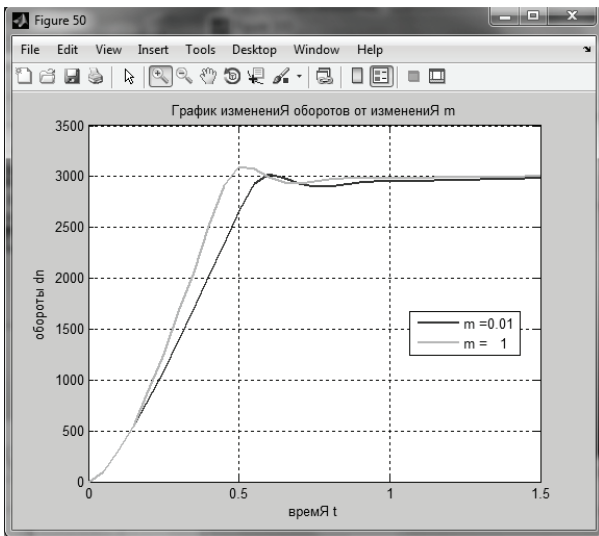


Рис. 15. Окно «График изменения оборотов двигателя от изменения массы поршня»

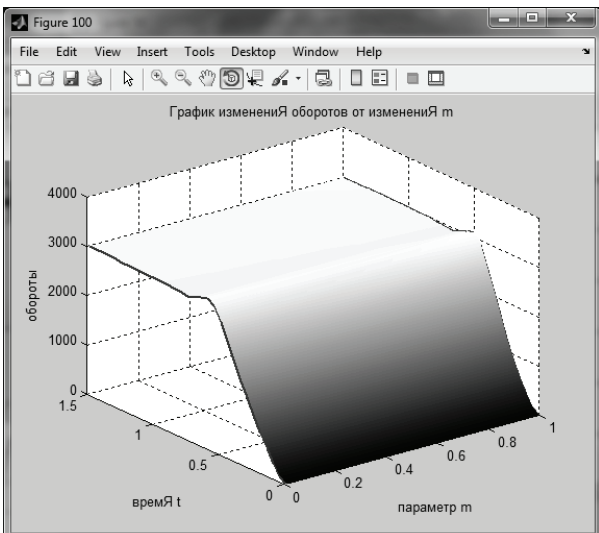


Рис. 16. Окно «Объемный график изменения оборотов двигателя от изменения массы поршня во времени»

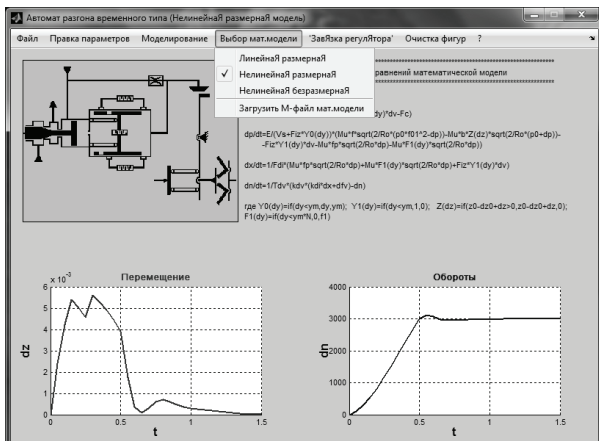


Рис. 17. Вкладка «Выбор математической модели»

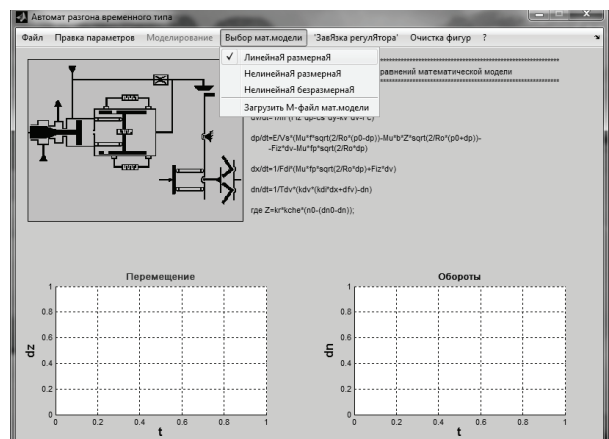


Рис. 18. Окно «Выбор линейной размерной модели»

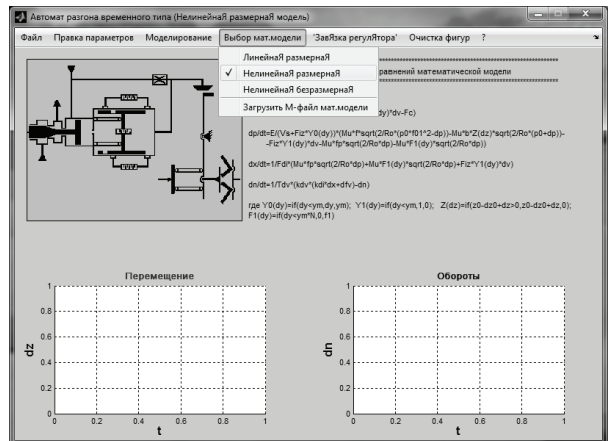


Рис. 19. Окно «Выбор нелинейной размерной модели»

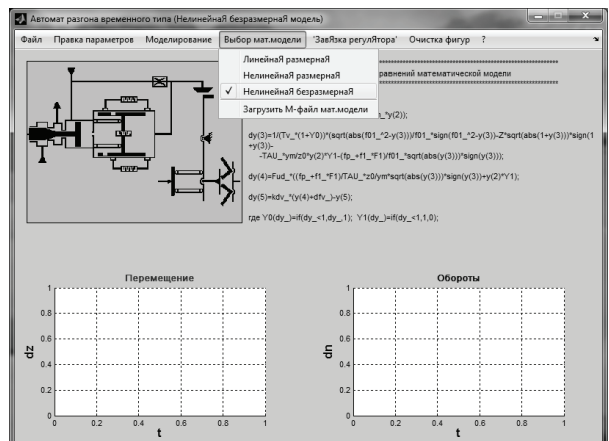


Рис. 20. Окно «Выбор нелинейной безразмерной модели»

• обратиться к вкладке «Выбор мат. модели» (рис. 17) для выбора линейного размерного (рис. 18), нелинейного размерного (рис. 19) или нелинейного безразмерного (рис. 20) типа математической модели регулятора, а также возможности загрузки программного файла выбранной модели (см. рис. 21);

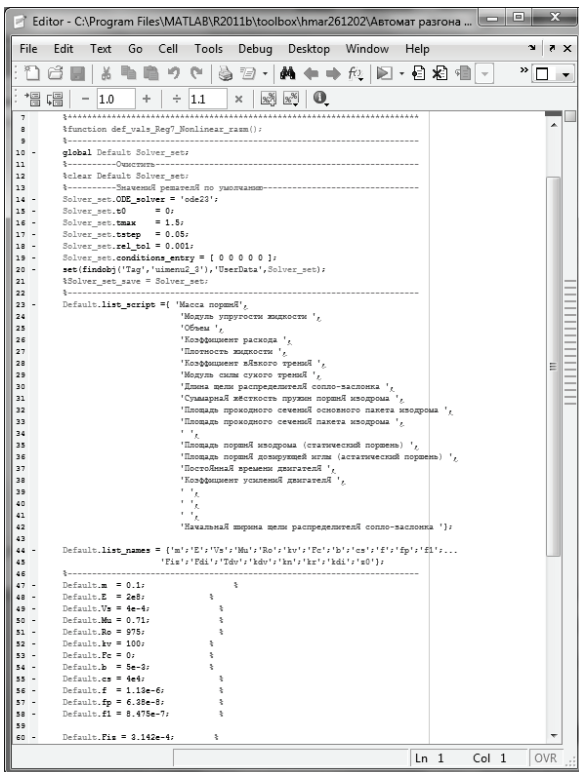


Рис. 21. Окно «Программный файл нелинейной размерной математической модели регулятора»

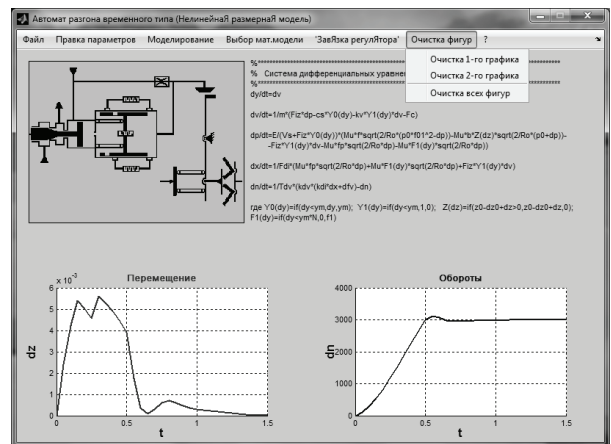


Рис. 23. Вкладка «Очистка фигур»

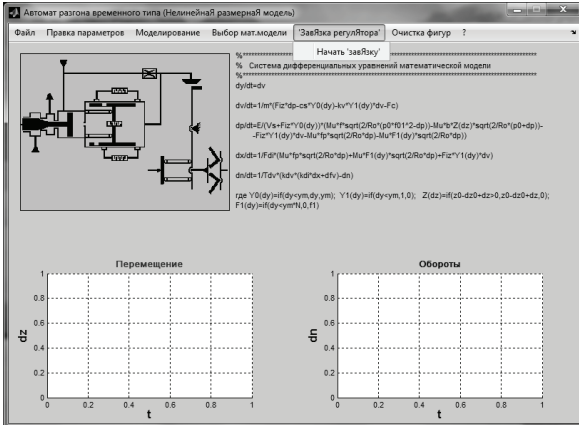


Рис. 22. Вкладка «Завязка регулятора»

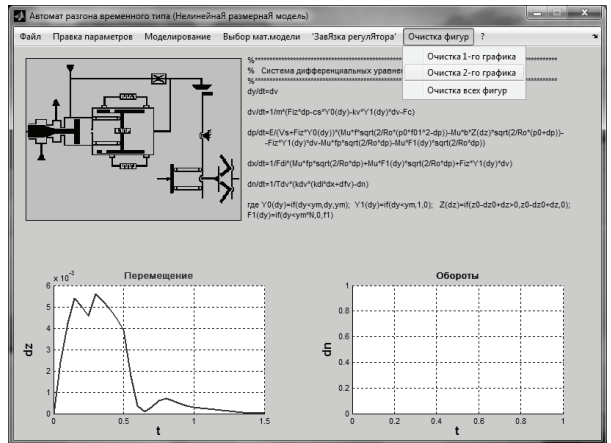


Рис. 25. Окно «Очистка графика изменения оборотов двигателя во времени»

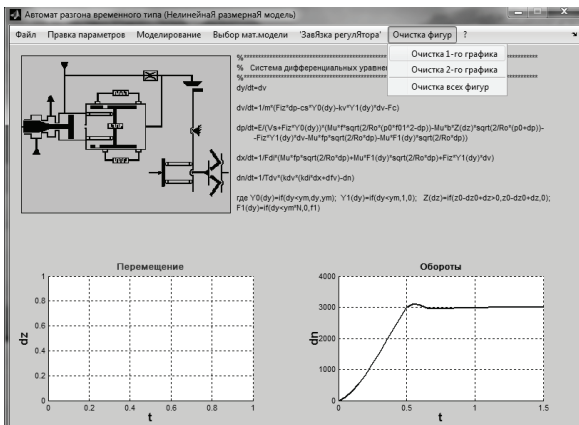


Рис. 24. Окно «Очистка графика изменения перемещения поршня во времени»

• обратиться к вкладке «Завязка регулятора» (рис. 22), позволяющей изменить структуру регулятора, изменить его математические модели и смоделировать модернизированный регулятор на основе выбранного;

• обратиться к вкладке «Очистка фигур» (рис. 23) для очистки и получения новых результатов моделирования на графике изменения перемещения поршня во времени (рис. 24) или на графике изменения оборотов двигателя во времени (рис. 25), а также для полной очистки обоих графиков и продолжения исследования других типов регуляторов (см. рис. 26);

• обратиться к вкладке «Помощь» (см. рис. 27) для получения информации о принципе работы исследуемого регулятора (см. рис. 28) и отображения принципиальной схемы регулятора (см. рис. 29), а также ознакомления с описанием правил работы с программой и подсказками пользователю при выборе устройства, получения сведений о программе.

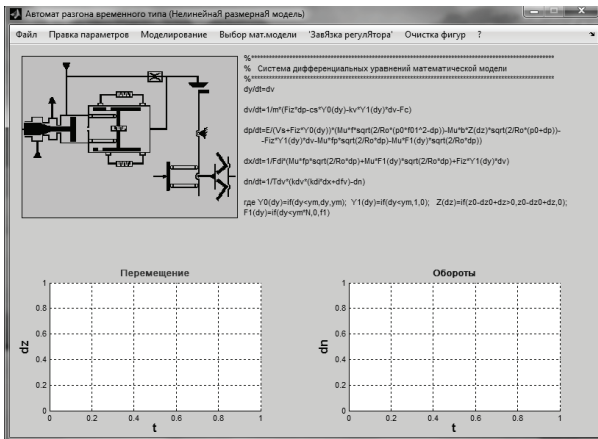


Рис. 26. Окно «Очистка всех графиков»

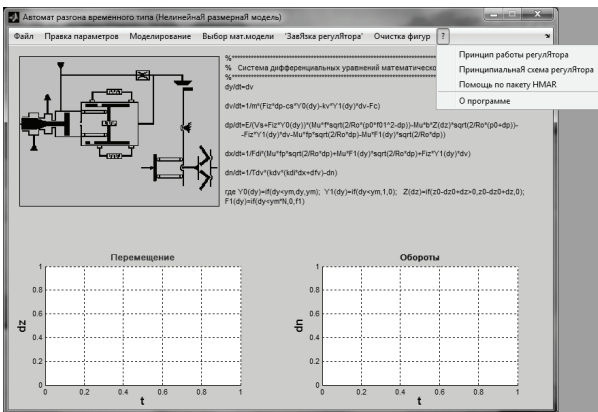


Рис. 27. Вкладка «Помощь»

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В пакете комплекс моделей открыт для пополнения, имеются средства оперативного изменения исходных данных, что существенно повышает его гибкость и ценность. Пакет разработан в интегрированной среде MATLAB. Использование мощного математического аппарата MATLAB позволяет всецело сосредоточиться на существе задачи: структуре данных, библиотеке реальных моделей различной сложности, процедурах анализа и синтеза и т. п.

Комплекс ППП является полезным и позволяет с достаточной достоверностью рассчитывать характеристики и проектировать САУ ДЛА, оснащенные системами автоматического управления с учетом конструктивных особенностей их электрогидравлических исполнительных механизмов. Разработанная инженерная методика проведения вычислительного эксперимента позволяет исследовать точность, устойчивость и управляемость сложных гидромеханических устройств с учетом нелинейных явлений. Пакет

программ обеспечивает на качественно новом уровне выполнение трудоемких расчетов характеристик гидромеханических устройств и обобщенный анализ в автоматизированном режиме. Сформированные электронные базы данных в виде обобщенных характеристик позволяют существенно усилить результаты численного моделирования и осуществлять анализ сложных гидромеханических устройств с заданными техническими требованиями. На данном этапе зарегистрирована оболочка пакета и базы данных.

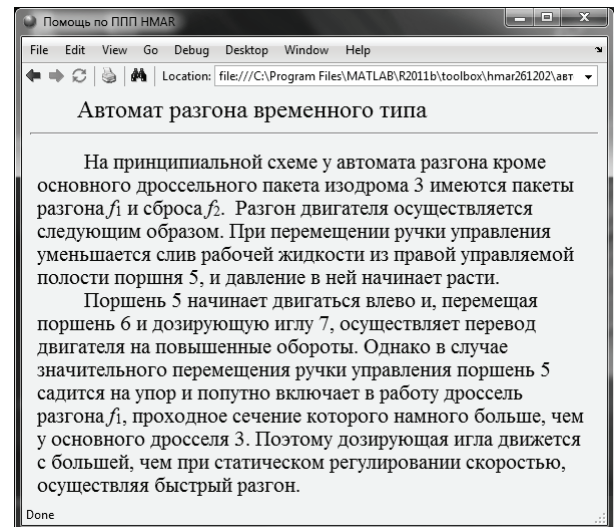


Рис. 28. Окно «Принцип работы регулятора»



Рис. 29. Окно «Принципиальная схема регулятора»

5. ПРИЛОЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Энергоэффективность двигателя нового поколения будет в значительной степени определяться степенью эффективности функционирования его системы управления (регулирования) и, следовательно, от того насколько правильно

и рационально конструктор подберет схему и параметры системы регулирования в целом, зависит устойчивая и одновременно энергоэффективная работа газотурбинного двигателя.

Полученные теоретические материалы представляют интерес для всех организаций, занимающихся проблематикой авиационных систем. Математические модели системы автоматического регулирования, результаты численного моделирования представляют практическую ценность при проектировании как систем автоматического регулирования в частности, так и в составе систем общего и специального машиностроения, дорожной техники, робототехнических комплексов.

ВЫВОДЫ

Программирование является самым специфическим этапом разработки вычислительного эксперимента. В принципе, любого пользователя ЭВМ можно научить составлению элементарной программы, однако разработку сложной программы, включающей несколько подпрограмм, да ещё с интерфейсом пользователя, лучше поручить профессиональному программисту по соответствующему техническому заданию. Ещё лучше, если разработчик модели дополнительно составит в приемлемой среде действующий макет программы, где в предварительной форме представлено желаемое содержание и основные концепции программы. Пакет прикладных программ «НМАР», созданный в интегрированной среде MATLAB, являются таковым действующим макетом.

Автоматизация вычислительного эксперимента позволяет упростить и ускорить саму

процедуру исследования регуляторов, а также сделать ряд выводов, касающихся влияния на работу системы автоматического регулирования сил сухого трения, температуры, нагрузки и других факторов, что даст полную оценку имеющегося объекта и покажет какие конструктивные меры необходимо применить к конкретному устройству для его усовершенствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баженов А. И., Гамынин Н. С.** Проектирование следящих гидравлических приводов летательных аппаратов. М.: Машиностроение. 1978. 312 с.
2. **Сунарчин Р. А.** Выбор параметров гидромеханических регуляторов авиационных двигателей. Численные методы исследования: учеб. пособие для вузов. Уфа: УГАТУ, 2005. 120 с.
3. **Коева А. А., Петров П. В., Целищев В. А.** Автоматизация численного моделирования гидромеханических регуляторов двигателей летательных аппаратов. / Вестник УГАТУ. Уфа. 2011. Т. 15., № 4 (44). С. 143-148).

ОБ АВТОРАХ

Коева Анна Александровна, аспирант каф. ПГМ. Дипл. магистра (УГАТУ, 2009). Иссл. в обл. моделир. и диагностики устройств гидроавтоматики.

Петров Павел Валерьевич, ст. препод. той же каф. Дипл. магистра (УГАТУ, 2006). Канд. техн. наук по гидравл. машинам и гидропневмоагрег. (УГАТУ, 2009). Иссл. в обл. гидромехан. систем автоматизации ЛА и двигательных установок.

Целищев Владимир Александрович, проф., зав. каф. ПГМ. Дипл. инж.-мех. (УГАТУ, 1982). Д-р техн. наук по тепловым двигателям (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. систем автоматизации ЛА и двигательных установок; проектир. и модели струйных электрогидравл. рулевых приводов для систем управления ЛА.