

УДК 004.051; 004.054

## МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В СРЕДЕ МАТЛАБ

**Маликов Сергей Николаевич,**

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,

зам. генерального директора по научно-конструкторской работе,

e-mail: sergej.malikov@bk.ru,

ОАО «НИИ супер ЭВМ»,

<http://www.super-computer.ru>,

Московский университет им. С.Ю. Витте, г. Москва,

<https://www.muiiv.ru>

*В работе рассматривается научно-практическая задача по расширению класса решаемых задач в области модельно-ориентированного проектирования с применением современных инструментальных средств. Рассматриваются функциональные особенности интеллектуальных технических систем с точки зрения модельно-ориентированного проектирования. Проводится анализ возможности всесторонней проверки выполнения требований технического задания для результатов проектирования сложной технической системы инструментальными средствами разработки MatLab. Необходимость указанной проверки обусловлена современной концепцией оценки качества информационных систем и регламентирована отечественными и международными стандартами. Особенность интеллектуальных технических систем заключается в разнородности и нечеткости алгоритмов построения логических выводов, формирования управляющих воздействий и их реализации, что затрудняет проверку выполнения требований технического задания на этапе проектирования. Рассматривается возможность комплексного применения инструментария MatLab для решения нетиповых проектных задач.*

**Ключевые слова:** модельно-ориентированное проектирование, верификация программного кода, трассируемость результатов разработки исходным требованиям

## MODEL-BASED DESIGN OF INTELLIGENT TECHNICAL SYSTEMS IN MATLAB

**Malikov S.N.,**

candidate of technical sciences, senior researcher,

deputy director general for research and design work,

e-mail: sergej.malikov@bk.ru,

JSC Scientific Research Institute of the Supercomputer,

Moscow Witte University

*The paper deals with the scientific and practical task of expanding the class of tasks in the field of model-oriented design using modern tools. The functional features of intelligent technical systems are considered from the point of view of model-oriented design. The analysis of the possibility of comprehensive verification of the technical requirements for the results of the design of a complex technical system with MatLab development tools is carried out. The need for this test is due to the modern concept of quality assessment of information systems and regulated by domestic and international standards. Feature of intelligent technical systems is the heterogeneity and lack of clarity of the algorithms, making inferences, generating the control actions and their implementation, which complicates the verification of compliance with the requirements of the technical specifications at the design stage. The possibility of complex application of MatLab tools for solving non-typical project problems is considered.*

**Keywords:** model-oriented design, verification of program code, traceability of the results of the development of the initial requirements

DOI 10.21777/2500-2112-2018-2-67-72

Ускоряющиеся темпы технического прогресса требуют систематического использования все более интеллектуальных технических систем. Требования к функциональным возможностям подобных систем все больше возрастают, а массогабаритные ограничения становятся все жестче. Проблемы расширения функциональных возможностей и в то же время уменьшения массы и габаритов традиционно решаются за счет оптимизации локальных средств контроля и управления.

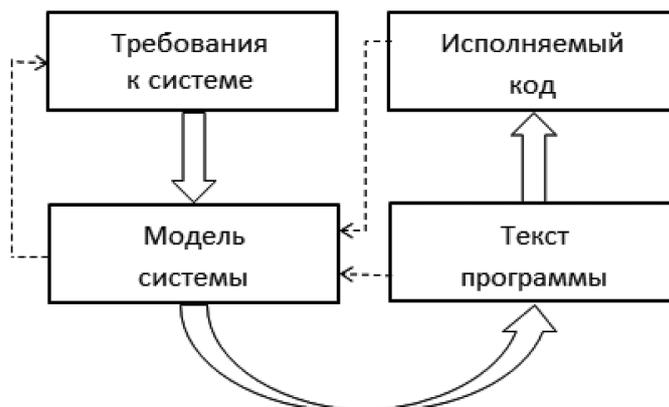
Под интеллектуальными техническими системами (ИТС) рассматриваются вычислительные системы с интеллектуальной поддержкой при решении задач без участия оператора или с участием оператора – ЛПП (лица, принимающего решение), а также системы, способные формировать управляющие воздействия или самостоятельно принимать решения и реализовывать их. То есть ИТС рассматривается как искусственный носитель естественного интеллекта – физическая модель, способная к самообучению. В общем случае ИТС можно подразделить на решающие задачи анализа и на решающие задачи синтеза, а также комбинированные задачи. Примерами задач анализа являются задачи интерпретации данных и диагностики, задач синтеза – задачи проектирования и планирования, к комбинированным задачам относятся задачи обучения, мониторинга, управления.

Наиболее заметен прогресс от использования подхода оптимизации локальных средств контроля и управления, реализуемый в инструментальной среде MatLab, в первую очередь в авиастроении и автостроении [11].

Требования по ускорению и удешевлению разработки компьютеризированных систем разных классов породили парадигму модельно-ориентированного проектирования: идеологию и инструментарий, позволяющие реализовать все этапы жизненного цикла создания сложных технических систем, от теоретического обоснования реализуемости поставленной задачи до записи управляющих программ в контроллеры, сигнальные процессоры и программируемые логические интегральные схемы. Все перечисленные возможности может предоставить вычислительная среда MatLab компании MathWorks.

Указанная парадигма отвечает принципам системного подхода о необходимости альтернативных проверок, стратификации представлений об исследуемом объекте или явлении и подчеркивает роль имитационного моделирования проектируемой системы как наиболее точного инструмента исследования. Можно предположить, что модельно-ориентированное проектирование может стать ведущим подходом при проектировании инновационных изделий в долговременной перспективе.

Классическую V-образную модель разработки, представленную на рисунке, в среде модельно-ориентированного проектирования можно рассматривать как образец компактности. Всю рутинную работу система MatLab берет на себя, что не только облегчает процесс проектирования, но и ускоряет его, а также позволяет повысить надежность системы в целом за счет исключения человеческого фактора и использования многократно апробированных решений. На рисунке широкие стрелки отражают последовательность разработки, пунктирные – сопоставление элементов проекта.



*Рисунок – Модельно-ориентированная разработка информационно-управляющей системы*

Прежде чем перейти к разработке модели, сформулированная совокупность требований к системе должна в какой-либо форме получить одобрение заказчика: подтверждение адекватности формулировок потребностям заказчика. Естественное представление требований – системная модель, разработанная

с помощью пакета имитационного моделирования Simulink, являющегося одним из важнейших компонентов MatLab. Также, предусмотрен обмен данными со специализированными системами управления требованиями. Системная модель имеет набор характеристик и методов – набор умений, т.е. наделена поведением. Модель способна ответить на любой стандартный запрос внутренней и внешней среды (имеется некоторое стандартное сочетание значений ее внутренних и внешних переменных). В модели могут рассматриваться несколько параллельных процессов. Каждый из этих процессов состоит из чередования методов-элементов – элементарных действий процесса, реализуемых функциональной зависимостью. Чередование методов-элементов определяется состоянием внутренних и внешних переменных модели.

Сочетание возможностей компонента Simulink и его пакета расширения Stateflow инструментальной среды MatLab позволяет описать и в дальнейшем промоделировать варианты переходов системы по заданным внешними условиями цепочкам состояний. В процедуре построения цепочки состояний производится перебор всех допустимых последовательностей выполнения вычислительных операций и имитационное моделирование поведения системы, находящейся под воздействием нечеткого множества отклонений. Данное множество имеет функцию принадлежности, имитирующую пуассоновский поток событий. Для нечеткого множества входных параметров с энтропией  $w(t)$ , переводящих ИТС из одного состояния в другое состояние, можно составить систему обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами в виде [10]:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n P_j(t)w_{ij}(t) - P_i(t)\sum_{j=1}^n w_{ij}(t), \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Для любого момента времени  $t$  выполняется нормировочное условие  $\sum_{i=1}^n P_i(t) = 1, t \geq 0$ . Это следует из того, что в любой момент  $t$  события  $\{S(t) = S_1\}, \{S(t) = S_2\}, \dots, \{S(t) = S_n\}$  образуют полную группу несовместных событий. Дифференциальные уравнения для вероятностей состояний  $P_1(t)$  и  $P_2(t)$  имеют вид:

$$dP_1(t) / dt = P_2(t)\mu(t) - P_1(t)w(t);$$

$$dP_2(t) / dt = P_1(t)w(t) - P_2(t)\mu(t).$$

После преобразований получается линейное дифференциальное уравнение с переменными коэффициентами:

$$dP_1(t) / dt + [w(t) + \mu(t)]P_1(t) = \mu(t).$$

Приняв  $\mu(t) = \mu = const, w(t) = w = const$  и при начальном условии  $P_1(0) = 1$  дифференциальное уравнение можно представить в виде:

$$dP_1(t) / dt + (w + \mu)P_1(t) = \mu.$$

Решением последнего уравнения будет энтропия нечеткого множества состояний системы в соответствии с эталонными показателями в момент времени  $t$ :

$$P_1(t) = \frac{\mu}{w + \mu} + \frac{w}{w + \mu} e^{-(w+\mu)t}.$$

Формализованное описание модели поведения представляется принципиально важным при разработке ИТС с точки зрения выявления первопричины принятия неочевидных решений.

В среде Matlab имеется возможность «привязать» конкретные требования к конкретным блокам результирующей модели. Встроенный в Simulink генератор отчетов демонстрирует, какие сформулированные требования отражены в модели. Сопоставление различных элементов проекта с формализованным представлением требований составляют процедуру трассируемости. Совокупность специализированных программ, входящих в Simulink, позволяет сертифицировать степень соответствия модели системы заданным требованиям к ее реализации.

Автоматически сгенерированный по результатам моделирования текст программы на языках C и C++ хорошо структурирован и доступен для анализа разработчиком. Также предусмотрена возможность

генерации вариантов кода, как облегчающих стыковку с аппаратурой, так и вариантов максимального быстрого действия, реализующего опциональные особенности используемых вычислительных средств.

Среда разработки модельно-ориентированного проектирования предоставляет комплекс дополнительных альтернативных средств контроля, позволяющий провести всестороннюю проверку алгоритмов управления, выявить ошибки вычислений, проконтролировать степень тестового покрытия модели [9, 11]. Результатом этой работы станет набор отчетов подтверждающих функциональную пригодность алгоритмов и работоспособность вычислительных процедур в заданных границах изменения входных данных.

Трассируемость сгенерированного текста программы и модели системы обеспечивается возможностью сопоставления отдельных компонентов модели и участков программного кода. Имеется возможность построения «матрицы трассируемости» – сертификат результатов указанного сопоставления.

Независимо от используемого компилятора, заключение о соответствии исполняемого кода модели системы может быть сделано только по результатам тестирования в реальном масштабе времени. Причем тестовые данные должны быть подготовлены и апробированы на предыдущих этапах. Имея доказательства 100 % тестового покрытия, результаты тестирования исполняемого кода можно «по цепочке» поставить в соответствие исходным требованиям к системе.

Всесторонние проверки по соблюдению требований стандартов и использование сертифицированных интерфейсов взаимодействия компонентов позволяет до двух раз сократить цикл разработки изделий, удовлетворяющих современным требованиям к качеству. Пример успешной разработки БПЛА [1] является яркой демонстрацией перспективности данного подхода.

Одной из демонстраций заинтересованности разработчиков в проблематике модельно-ориентированного проектирования с применением инструментальной среды MatLab явилась ежегодная конференция Центра Инженерных Технологий и Моделирования «Экспонента» и МГТУ им. Баумана на тему «Технологии разработки и отладки сложных технических систем», проведенная 27–28 марта 2018 года. Участниками конференции были представлены подробные рекомендации по повышению эффективности НИОКР с учетом требований импортозамещения. Также была продемонстрирована возможность портирования разработанных алгоритмов на процессоры производства АО «ПКК Миландр» и ЗАО НТЦ «Модуль».

Аналитикам ещё предстоит разъяснить разработчикам сходства и различия между модельно-ориентированным проектированием и разработкой управляющей информационной системы на основе современных CASE средств. Очевидно другое – разработана методология, позволяющая разработчикам совместно использовать инструментальные средства лидеров различных ниш рынка на всех этапах разработки: от разработки концепции до реализации технического проекта. В частности, подобная возможность реализована для продуктов компаний MathWorks и Mentor Graphics [2].

Не вызывает сомнений необходимость расширения кругозора студентов и аспирантов всех направлений обучения в области математики [3], приобретение навыков использования современных математических инструментов для решения прикладных задач в своей предметной области. Указанное обстоятельство порождает радикальные подходы – использовать MatLab как первый/базовый язык при обучении программированию [4]. В тоже время существуют объективные препятствия для повсеместного использования MatLab. Первое препятствие – MatLab не локализован: получить справку или описание можно только на английском языке. Второе препятствие – стоимость: бесплатная лицензия для студентов и ограниченная скидка для университетов. И наконец, ограниченные возможности базового пакета MatLab и около 80 специализированных библиотек по различным областям знаний, которые приобретаются по мере необходимости.

Тем не менее, имеются и оптимистичные примеры:

1. МГТУ им. Баумана создал единую среду обучения на основе MatLab и Simulink ещё в 2011 году [5]. Единообразный подход для всех кафедр МГТУ позволил перераспределить учебную нагрузку, предоставить студентам больше возможностей для экспериментов и анализа взаимного влияния компонента исследуемой системы;

2. Томский политехнический университет (ТПУ) приобрел общеуниверситетскую лицензию на MatLab и Simulink с пакетами для решения задач математики, статистики, оптимизации, моделирова-

ния, проектирования и анализа систем управления и др. [6] Теперь все заинтересованные сотрудники и студенты Томского университета могут использовать лицензионное программное обеспечение MatLab и Simulink для научной и образовательной деятельности, как на компьютерах ТПУ, так и на личных компьютерах.

6 марта 2018 года в г. Ставрополь состоялся семинар «Применение MatLab в образовательном процессе», который проходил на базе Северо-Кавказского федерального университета [7]. В процессе семинара были представлены примеры использования продуктов MatLab и Simulink для преподавания математики, физики, информатики, механики, электротехники, энергетики, теории автоматического управления.

Базовый пакет MatLab (около 20 аудиторных лицензий), приобретенный Московским университетом имени С.Ю. Витте, позволяет студентам быстро освоить программирование и визуализировать результаты программ, что не противоречит постановке задачи подготовки и реализации сквозной образовательной программы на основе MatLab [8]. Необходимо шире использовать доступные средства для создания наглядных учебных материалов силами студентов, возможно, на конкурсной основе или в форме курсовых и выпускных работ. Опыт использования накопленных учебных материалов позволит принять обоснованное решение о необходимости дополнительных разработок или приобретении специализированных пакетов программ, входящих в MatLab.

### *Заключение*

Проведенный анализ функциональных возможностей инструментальной вычислительной среды MatLab показывает, что использование совокупности средств моделирования позволяет поставить задачу 100 % тестового покрытия результатов разработки ИТС и их поэлементного сопоставления с исходными требованиями. Повышение эффективности модельно-ориентированного проектирования применительно к ИТС достигается за счет формализованного представления исходных требований и построения модели поведения системы.

### *Список литературы*

1. Korean Air ускоряет разработку и верификацию программного обеспечения для управления БПЛА с помощью модельно-ориентированного проектирования [Электронный ресурс] [https://matlab.ru/success-story/Korean-Air?sphrase\\_id=51258](https://matlab.ru/success-story/Korean-Air?sphrase_id=51258) (дата обращения 14.03.2018).
2. Модельно-ориентированное проектирование по стандарту DO-254 с помощью инструментов компаний MathWorks и Mentor Graphics [Электронный ресурс] [https://matlab.ru/articles/DO-254\\_rus.pdf](https://matlab.ru/articles/DO-254_rus.pdf) (дата обращения 14.03.2018).
3. *Сорокин Л.В., Баранова Н.М.* Применение системы MatLab для развития методов математического мышления у студентов экономических специальностей // Международный научно-исследовательский журнал. – Екатеринбург, 2015. – № 11 (42), – С. 99–102.
4. *Ревинская О.Г.* Основы программирования в Matlab. Учебное пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2016. – 208 с.
5. МГТУ им. Баумана использует MATLAB и Simulink [Электронный ресурс] <https://matlab.ru/success-story/mgtu-im-baumana-ispolzuet-matlab-i-simulink> (дата обращения 04.03.2018).
6. ТПУ приобрел общеуниверситетскую лицензию на MATLAB и Simulink [Электронный ресурс] <https://moeobrazovanie.ru/publikacii/novosti/85539.html> (дата обращения 04.03.2018).
7. Применение MATLAB в образовательном процессе [Электронный ресурс] <https://matlab.ru/seminars/ncfu> (дата обращения 04.03.2018).
8. *Маликов С.Н.* Эволюция подходов к управлению информационными технологиями // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 4 (16). – С. 51–58.
9. *Парфенова М.Я.* Анализ системы стандартов как основы построения стратегического ИТ-профиля организации // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. – № 4 (21). – С. 40–44.
10. *Парфенова М.Я., Маликов С.Н., Литвин Ю.В.* Формализация современных механизмов управленческой деятельности: монография / М.Я. Парфенова, С.Н. Маликов, Ю.В. Литвин. Моск. ун-т им. С.Ю. Витте. – М.: изд. «МУ им. С.Ю. Витте», 2015. – 188 с.

11. Российский комплекс полунатурного моделирования позволит программно симитировать авиадвигатель [Электронный ресурс] [военное.рф/2018/Progress13/](http://voennoe.rf/2018/Progress13/) (дата обращения 16.05.2018).

### References

1. Korean Air uskoryaet razrabotku i verifikaciyu programmogo obespecheniya dlya upravleniya BPLA s pomoshch'yu model'no-orientirovannogo proektirovaniya [Ehlektronnyj resurs] [https://matlab.ru/success-story/Korean-Air?sphrase\\_id=51258](https://matlab.ru/success-story/Korean-Air?sphrase_id=51258) (data obrashcheniya 14.03.2018).
2. Model'no-orientirovannoe proektirovanie po standartu DO-254 s pomoshch'yu instrumentov kompanij MathWorks i Mentor Graphics [Ehlektronnyj resurs] [https://matlab.ru/articles/DO-254\\_rus.pdf](https://matlab.ru/articles/DO-254_rus.pdf) (data obrashcheniya 14.03.2018).
3. Sorokin L.V., Baranova N.M. Primenenie sistemy MatLab dlya razvitiya metodov matematicheskogo myshleniya u studentov ehkonomicheskikh special'nostej // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – Ekaterinburg, 2015. – №11 (42), – S. 99–102.
4. Revinskaya O.G. Osnovy programmirovaniya v Matlab. Uchebnoe posobie. – SPb.: BHV-Peterburg, 2016. – 208 s.
5. MGTU im. Baumana ispol'zuet MATLAB i Simulink [Ehlektronnyj resurs] <https://matlab.ru/success-story/mgtu-im-baumana-ispolzuet-matlab-i-simulink> (data obrashcheniya 04.03.2018).
6. TPU priobrel obshcheuniversitetskuyu licenziyu na MATLAB i Simulink [Ehlektronnyj resurs] <https://moeobrazovanie.ru/publikacii/novosti/85539.html> (data obrashcheniya 04.03.2018).
7. Primenenie MATLAB v obrazovatel'nom processe [Ehlektronnyj resurs]. <https://matlab.ru/seminars/ncfu> (data obrashcheniya 04.03.2018).
8. Malikov S.N. Ehvolyciya podhodov k upravleniyu informacionnymi tekhnologiyami // Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. – 2016. – № 4 (16). – S. 51–58.
9. Parfenova M.Ya. Analiz sistemy standartov kak osnovy postroeniya strategicheskogo IT-profilya organizacii // Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. – 2017. – № 4 (21). – S. 40–44.
10. Parfenova M.Ya., Malikov S.N., Litvin Yu.V. Formalizaciya sovremennyh mekhanizmov upravlencheskoj deyatel'nosti: monografiya / M.YaA. Parfenova, S.N. Malikov, Yu.V. Litvin. Mosk. un-t im. S.Yu. Vitte. – M.: izd. «MU im. S.Yu. Vitte», 2015. – 188 s.
11. Rossijskij kompleks polunaturного modelirovaniya pozvolit programmno symitirovat' aviadvigatel' [Ehlektronnyj resurs] <https://voennoe.rf/2018/Progress13/> (data obrashcheniya 16.05.2018).