

СИНТЕЗ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА ПИЛОТИРОВАНИЯ НА АВИАЦИОННОМ ТРЕНАЖЕРЕ

Аннотация. Показано, что для создания формальных процедур оценивания качества эргатических систем «инструктор – тренажер – летчик» следует применять классические методы системного анализа и синтеза. Обоснована возможность создания формализованной процедуры для оценивания качества деятельности летчика на авиационном тренажере. Предложена структура автоматизированной системы оценки качества пилотирования, позволяющая эффективно реализовать методы автоматизированного решения задач оценки управления летательным аппаратом на авиационном тренажере. Осуществлен формализованный анализ системы «инструктор – тренажер – летчик» и ее основных компонентов с позиций теории системного анализа.

Ключевые слова: тренажер, система, инструктор, летчик, управление, решение задачи управления.

Abstract. According to the article, in order to establish formal procedures of rating the qualities of “instructor-trainer-pilot” ergatic systems, one should apply classical techniques of system analysis and synthesis. The authors justify the possibility of establishing a formal procedure to evaluate the quality of pilot performance in an aviation Simulator. The researchers suggest an automated system structure for piloting quality evaluation that allows to effectively implement methods of automated evaluation of aircraft control in an aviation Simulator. The article adduces the results of a formal analysis of the instructor-trainer–pilot system and its main components from the position of system analysis theory.

Key words: trainer, instructor, pilot, management, control task solving.

Введение

В настоящее время для описания систем «человек – машина» наибольшее распространение получили методы, основанные на формализации теории множеств и общей теории систем [1]. Известно, что всякая система общего вида S (рис. 1) может быть представлена формальным отношением над множеством входов U , выходов Y и состояний X :

$$S \subset U \times X \times Y. \quad (1)$$

Если S – динамическая система, то ее динамика описывается двумя семействами отображений:

$$\rho = (R : U \times X \rightarrow Y), \quad (2)$$

$$\varphi = (F : U \times X \rightarrow X), \quad (3)$$

где ρ – реакция системы (отображение «вход – состояние – выход»); φ – отображение перехода состояний (отображение «вход – состояние – состояние»).

На основании формул (1)–(3) под системой будем понимать пятерку компонентов ее динамического описания:

$$S = (U, X, Y, \varphi, \rho). \quad (4)$$

Понятия входов и выходов динамической системы в литературе трактуются однозначно [2]. В понятие «состояние системы» в настоящее время вкладывается разный смысл, зависящий от специфики исследуемой предметной области. Примем следующую формулировку: «состояние системы – это совокупность ее внутренних переменных, значения которых в текущий момент времени содержат всю предысторию системы, а также позволяют определить текущие значения выходных переменных и к тому же необходимы для нахождения будущего поведения системы».

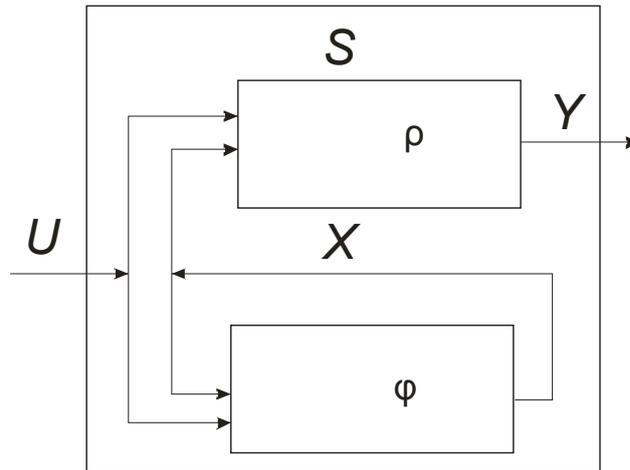


Рис. 1. Структурная схема динамической системы общего вида

В работах отечественных и зарубежных авторов отражены результаты исследований отдельных классов динамических систем. Поскольку анализируемую нами систему «инструктор – тренажер – летчик» (СИТЛ) невозможно (как некий класс системы «человек – машина») отнести к какой-либо известной динамической системе, то для упрощения задачи выполним декомпозицию общего динамического описания сложной СИТЛ. Воспользуемся теоремой Крона – Роудза о декомпозиции систем [3], которая позволяет осуществлять анализ системы независимо от сложности ее поведения путем изучения сравнительно простых объектов, соединенных между собой с помощью конструкции декартового произведения, которая подробно изучена в работе [4] при исследовании формализма теории множеств. Там же показана связь между динамическим описанием системы вида (1) и ее описанием с помощью конструкции декартового произведения. Процесс функционирования исследуемой системы «инструктор – тренажер – летчик» можно рассматривать как некоторое подмножество множества формальных отношений (МФО) эргатической части $S_{\text{Э}}$, характеризующей деятельность обучаемого, моделирующей части $S_{\text{М}}$, характеризующей функционирование авиационного тренажера и инструкторской части $S_{\text{И}}$, характеризующей функционирование системы автоматизации деятельности инструктора, т.е. система определяется множеством формальных отношений состояний S согласно выражению

$$S = S_{\mathcal{E}} \times S_{\mathcal{M}} \times S_{\mathcal{I}}. \quad (5)$$

Тогда согласно упомянутой теореме Крона – Роудза МФО состояний компонентов системно-динамического описания СИТЛ (5), т.е. МФО состояний ее эргатической $X_{\mathcal{E}}$, моделирующей $X_{\mathcal{M}}$ и инструкторской $X_{\mathcal{I}}$ частей, могут рассматриваться независимо друг от друга:

$$X_S = X_{\mathcal{E}} \cup X_{\mathcal{M}} \cup X_{\mathcal{I}}; \quad X_{\mathcal{E}} \cap X_{\mathcal{M}} \cap X_{\mathcal{I}} = 0. \quad (6)$$

Выражение (6) позволяет описать процесс функционирования трех независимых по объектам состояний частей и осуществить их динамическое представление в терминах общей теории систем:

$$S_{\mathcal{E}} = (U_{\mathcal{E}}, X_{\mathcal{E}}, Y_{\mathcal{E}}, \rho_{\mathcal{E}}, \varphi_{\mathcal{E}}), \quad (7)$$

$$S_{\mathcal{M}} = (U_{\mathcal{M}}, X_{\mathcal{M}}, Y_{\mathcal{M}}, \rho_{\mathcal{M}}, \varphi_{\mathcal{M}}), \quad (8)$$

$$S_{\mathcal{I}} = (U_{\mathcal{I}}, X_{\mathcal{I}}, Y_{\mathcal{I}}, \rho_{\mathcal{I}}, \varphi_{\mathcal{I}}), \quad (9)$$

где $U_{\mathcal{E}}, U_{\mathcal{M}}, U_{\mathcal{I}}$ – МФО входов эргатической, моделирующей, инструкторской частей СИТЛ; $Y_{\mathcal{E}}, Y_{\mathcal{M}}, Y_{\mathcal{I}}$ – МФО выходов части эргатической, моделирующей, инструкторской частей СИТЛ; $\rho_{\mathcal{E}}, \rho_{\mathcal{M}}, \rho_{\mathcal{I}}$ – МФО семейства выходных функций эргатической, моделирующей, инструкторской частей СИТЛ; $\varphi_{\mathcal{E}}, \varphi_{\mathcal{M}}, \varphi_{\mathcal{I}}$ – МФО семейства функций перехода состояний эргатической, моделирующей, инструкторской частей СИТЛ.

Рассмотрим свойства инструкторской части СИТЛ как динамической системы, описываемой соотношением (9).

Любая техническая система имеет конечное число состояний. Поэтому анализируемую систему автоматического оценивания следует представить конечным автоматом, описываемым динамическим уравнением вида

$$S = (U_{\mathcal{I}}, Y_{\mathcal{I}}, X_{\mathcal{I}}, F_{\mathcal{I}}, A_{\mathcal{I}}, \Phi_{\mathcal{I}}), \quad (10)$$

где $U_{\mathcal{I}}$ – входной алфавит ИЧ СИТЛ; $Y_{\mathcal{I}}$ – выходной алфавит ИЧ СИТЛ; $X_{\mathcal{I}}$ – пространство состояний ИЧ СИТЛ; $F_{\mathcal{I}}$ – семейство отображений «вход – выход», определенное в пространстве состояний ИЧ СИТЛ; $A_{\mathcal{I}}$ – множество, индексирующее семейство отображений $F_{\mathcal{I}}$; $\Phi_{\mathcal{I}}$ – семейство отображений конструирования пространства состояний ИЧ СИТЛ.

Рассмотрим компоненты динамического описания ИЧ СИТЛ как конечного автомата.

Входной алфавит ИЧ СИТЛ ($U_{\mathcal{I}}$) описывает МФО, отражающие входы СИТЛ $U_{\mathcal{I}}^S$, а также выходы эргатической $U_{\mathcal{I}}^{\mathcal{E}}$ и моделирующей $U_{\mathcal{I}}^{\mathcal{M}}$ частей:

$$U_{\mathcal{I}}^S \times U_{\mathcal{I}}^{\mathcal{E}} \times U_{\mathcal{I}}^{\mathcal{M}} = U_{\mathcal{I}}^M \mid U_{\mathcal{I}}^S \subset U_S; \quad U_{\mathcal{I}}^S \subset Y_{\mathcal{E}}, \quad U_{\mathcal{I}}^M \subset Y_{\mathcal{M}}. \quad (11)$$

Выходной алфавит ИЧ СИТЛ ($Y_{\mathcal{I}}$) описывает МФО, отражающее выходы СИТЛ:

$$Y_{\mathcal{I}} \subset Y_S. \quad (12)$$

Особый интерес представляет рассмотрение состояния ИЧ СИТЛ как конечного автомата. С ним в теории систем связывают следующий набор компонентов описания:

а) семейство функций $F_{И}$, осуществляющих преобразования «вход – выход»:

$$F_{И} = (\varphi_{\alpha_{И}} : U_{И}^{\mathcal{D}} \times U_{И}^M \rightarrow Y_{И}); \quad (13)$$

б) множество индексируемых параметров $\alpha_{И}$ ($\alpha_{И} \in A_{И}$), при помощи которых пронумерованы компоненты семейства функций, осуществляющих преобразование «вход – выход» конечного автомата. Индексирующие параметры $\alpha_{И}$ удовлетворяют следующему условию:

$$\begin{aligned} (\alpha_{И}^i \neq \alpha_{И}^j) &\Rightarrow (Y_{И}^i \neq Y_{И}^j); \\ \alpha_{И}^i \in A_{И}; \quad \alpha_{И}^j \in A_{И}; \quad U_{И}^i &= U_{И}^j, \\ Y_{И}^i = \varphi_{\alpha_{И}^i}(U_{И}^i); \quad Y_{И}^j &= \varphi_{\alpha_{И}^j}(U_{И}^j); \end{aligned} \quad (14)$$

в) пространство состояний ИЧ СИТЛ $X_{И}$ определяется множеством индексирующих параметров тех компонентов семейства функций (13), которые осуществляют необходимые в данный момент преобразования, т.е.:

$$X_{И} = \bigcup_{\tau \in T} X_{И}^{\tau}, \quad X_{И}^{\tau} = \{\alpha_{И}\}; \quad (15)$$

под термином «конструирование пространства состояний» ниже понимается формирование множества $X_{И}^{\tau}$;

г) конструирование пространства состояний ИЧ СИТЛ осуществляет семейство функций $F_{И}$:

$$F_{И} = (F : U_{И}^S \times A_{И} \times T \rightarrow X_{И}^{\tau}). \quad (16)$$

Таким образом, выражения (10)–(16) представляют собой строгое формализованное описание состояния ИЧ СИТЛ, т.е. автоматизированной системы оценивания качества (АСОК) пилотирования на авиационном тренажере как конечного автомата.

АСОК, будучи системой, должна удовлетворять основным принципам системотехники, а именно принципам автономности и целостности [5]. Принцип автономности требует независимости внутрисистемных законов функционирования АСОК от внешней по отношению к ней среды, т.е. от эргатической и моделирующей частей СИТЛ. В соответствии с принятым определением системных свойств системы автоматизированного оценивания учебно-методических задач под внешней средой будем понимать исходные данные об упражнениях, обрабатываемых на авиационном тренажере в процессе тренажерной подготовки.

Согласно современным представлениям о целевой деятельности летчика в контуре управления летательным аппаратом обобщенную структуру исходных данных о любом упражнении, обрабатываемом на авиационном тренажере, с позиций общей теории систем можно описать следующим соотношением:

$$U_{\text{И}}^S = U_{\text{И}}^{\text{упр}} \times U_{\text{И}}^{\text{эл}} \times U_{\text{И}}^{\text{уч}} \times U_{\text{И}}^{\text{оп}}, \quad (17)$$

где $U_{\text{И}}^{\text{упр}}$ – МФО, характеризующие упражнение в целом; $U_{\text{И}}^{\text{эл}}$ – МФО, характеризующие элементы упражнения; $U_{\text{И}}^{\text{уч}}$ – МФО, характеризующие участки элементов; $U_{\text{И}}^{\text{оп}}$ – МФО, характеризующие параметры, оцениваемые на участках элементов упражнения.

Принцип целостности требует организации ее структуры на основе подсистем, каждая из которых обладает системным свойством. С точки зрения динамического описания АСОК эти принципы могут быть соблюдены, если компоненты состояния (13)–(16) будут удовлетворять следующему принципу организации ее структуры: при сохранении целостности состояния АСОК как конечного автомата ее структурная организация должна обеспечивать такое конструирование текущего состояния автомата, при котором реализуются конкретно необходимые в данный момент функции. Такой принцип структурной организации назовем функционально-модульным, а метод, реализующий данный принцип, назовем функционально-модульным методом организации структуры АСОК. Данный метод предполагает построение структуры АСОК на основе автономных модулей, каждый из которых ориентирован на реализацию одного из методов, применяемых для автоматизированного решения возложенных на АСОК задач.

Интерпретация компонентов динамического описания АСОК в контексте метода организации ее структуры состоит в следующем.

В соответствии с перечнем задач, возложенных на АСОК, $F_{\text{И}}$ отражает: семейство функциональных модулей, обеспечивающих решение задачи оценивания результатов выполнения упражнения $F_{\text{ор}}$; семейство функциональных модулей, обеспечивающих решение задачи оценивания результатов $F_{\text{до}}$:

$$F_{\text{И}} = F_{\text{ор}} \cup F_{\text{до}}; \quad F_{\text{ор}} \cap F_{\text{до}} = 0, \quad (18)$$

где $F_{\text{ор}} = \{\varphi\alpha_{\text{ор}}\}$; $F_{\text{до}} = \{\varphi\alpha_{\text{до}}\}$.

Тогда индексирующее множество $A_{\text{И}}$ включает в себя индексирующие множества $A_{\text{ор}}$, $A_{\text{до}}$ содержащие параметры $\alpha_{\text{ор}}$, $\alpha_{\text{до}}$, при помощи которых пронумерованы функциональные модули АСОК:

$$A_{\text{И}} = A_{\text{ор}} \cup A_{\text{до}}; \quad A_{\text{ор}} \cap A_{\text{до}} = 0; \\ \alpha_{\text{ор}} \in A_{\text{ор}}; \quad \alpha_{\text{до}} \in A_{\text{до}}. \quad (19)$$

Согласно (19) пространство состояний АСОК $X_{\text{И}}^r$ определяется множествами индексирующих параметров $\alpha_{\text{ор}}$, $\alpha_{\text{до}}$ тех функциональных

модулей, которые осуществляют обработку обрабатываемого упражнения [6, 7]:

$$X_{\text{И}}^{\tau} = \{\alpha_{\text{ор}}\} \cup \{\alpha_{\text{до}}\}. \quad (20)$$

Следовательно, конструирование пространства состояний АСОК должны осуществлять:

– функциональный модуль конструирования оценивания результатов выполнения упражнения $\Phi_{\text{ор}}$;

– функциональный модуль конструирования диагностики результатов оценивания $\Phi_{\text{до}}$;

$$\Phi_{\text{И}} = \Phi_{\text{ор}} \cup \Phi_{\text{до}}; \quad \Phi_{\text{ор}} \cap \Phi_{\text{до}} = 0, \quad (21)$$

где

$$\Phi_{\text{до}} : U_{\text{И}}^S \times A_{\text{до}} \times T \rightarrow X_{\text{И}}^{\tau}; \quad X_{\text{до}}^{\tau} = \{\alpha_{\text{до}}\}.$$

$$\Phi_{\text{ор}} : U_{\text{И}}^S \times A_{\text{ор}} \times T \rightarrow X_{\text{И}}^{\tau}; \quad X_{\text{ор}}^{\tau} = \{\alpha_{\text{ор}}\}.$$

Таким образом, реализация функционально-модульного метода в структуре АСОК предполагает:

– построение АСОК на основе автономных иерархически организованных функциональных модулей, ориентированных на автоматизированное решение задач оценивания результатов выполнения упражнений, диагностики результатов оценивания;

– реализацию метода автоматизированного решения возложенных на АСОК задач на основе функциональных модулей двух типов, а именно функциональных модулей, обеспечивающих конструирование задач, решаемых АСОК и функциональных модулей, осуществляющих преобразование типа «вход-выход» в контексте реализуемой задачи;

– унифицированное представление исходных данных, обеспечивающих автоматизированное решение задач оценивания результатов выполнения упражнения, диагностику результатов оценивания применительно к обрабатываемому упражнению в соответствии с требованиями используемой программы обучения (согласно выражению (21)).

Очевидно, что функционально-модульный метод организации структуры автоматизированной системы оценивания и диагностики управляющей деятельности летчика на авиационном тренажере обеспечит автоматизированное решение возложенных на нее задач на максимально возможном уровне автоматизации в процессе всего жизненного цикла АСОК.

Список литературы

1. **Меерович, Г. Ш.** Авиационные тренажеры и безопасность полетов / Г. Ш. Меерович, А. И. Годунов, О. К. Ермолов. – М. : Воздушный транспорт, 1990. – 343 с.
2. **Зубов, Н. П.** Применение тренажерных систем, реализующих активные методы профессиональной подготовки: проблемы и пути их решения / Н. П. Зубов, Н. О. Кобельков // Тренажерные технологии и обучение: новые подходы и задачи : сб. ст. Междунар. конф. – М. : ЦАГИ, 2003. – С. 115–124.

3. **Касти, Д.** Большие системы. Связность, сложность и катастрофы / Д. Касти. – М. : Мир, 1982. – 216 с.
4. **Матвеевский, С. Ф.** Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов / С. Ф. Матвеевский. – М. : Машиностроение, 1987. – 240 с.
5. **Юрков, Н. К.** Модели и алгоритмы управления интегрированными производственными комплексами : моногр. / Н. К. Юрков. – Пенза : Инф.-изд. центр Пенз. гос. ун-та, 2003. – 198 с.
6. **Красовский, А. А.** Математическое моделирование динамики полета летательного аппарата : моногр. / А. А. Красовский, Э. В. Лапшин, Н. К. Юрков. – Пенза :Изд-во Пенз. филиала РГУ ИТП, 2008. – 260 с.
7. **Юрков, Н. К.** Машинный интеллект и обучение человека : моногр. / Н. К. Юрков. – Пенза, Инф.-изд. центр ПензГУ, 2008. – 226 с.

Годунов Анатолий Иванович

доктор технических наук, профессор,
кафедра автоматизации и телемеханики,
Пензенский государственный
университет

E-mail: avitel@pnzgu.ru

Godunov Anatoly Ivanovich

Doctor of engineering sciences, professor,
sub-department of automation and remote
control, Penza State University

Квятковский Юрий Григорьевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра прикладной информатики,
Пензенская государственная
технологическая академия

E-mail: avitel@pnzgu.ru

Kvyatkovsky Yuri Grigoryevich

Candidate of engineering sciences,
associate professor, sub-department
of applied informatics, Penza State
technological Academy

Юрков Николай Кондратьевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный
университет

E-mail: yurkov_nk@mail.ru

Yurkov Nikolay Kondratyevich

Doctor of engineering sciences, professor,
head of sub-department of radio
equipment design and production,
Penza State University

УДК 629.7

Годунов, А. И.

Синтез автоматизированной системы оценивания качества пилотирования на авиационном тренажере / А. И. Годунов, Ю. Г. Квятковский, Н. К. Юрков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 1 (21). – С. 58–64.