

УДК 378.14: 004.94:62

А.Г. ЧУХРАЙ¹, С.И. ПЕДАН¹, П. АНЦЕНБЕРГЕР^{1,2}¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*² *Университет прикладных наук, Австрия*

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМ КОМПЕТЕНЦИЯМ

В статье предложен подход к моделированию процесса обучения инженерным компетенциям. Уровень компетенции обучаемого рассматривался как совокупность знания алгоритма решения поставленной задачи и умения его применять. В качестве ключевого аспекта обучения, способного влиять на уровень инженерной компетенции, была рассмотрена помощь в виде своевременных подсказок обучаемому. Для моделирования динамического процесса обучения в условиях неопределенности был выбран аппарат динамических байесовских сетей. Создана структура динамической байесовской сети процесса обучения, произведен ее математический расчет. Проведено моделирование разработанной сети посредством специального редактора Genie 2.0.

Ключевые слова: динамическая байесовская сеть, процесс обучения, уровень компетенции.

Введение

В эпоху постиндустриализации, когда одним из важнейших вызовов является противоречие между экспоненциальным ростом знаний и ограниченными психофизиологическими возможностями человека, перед вузами стоит непростая задача, как за 5 лет подготовить высококлассных инженеров, отвечающих современным требованиям.

Перспективным путем решения этой задачи может стать путь повышения производительности труда студентов с помощью современных информационных технологий и, в частности, интеллектуальных компьютерных обучающих программ (ИКОП). Такие программы за счет своего внутреннего интеллекта и развитых интерактивных возможностей способны помочь педагогам передать необходимый объем знаний и умений каждому обучаемому.

Несмотря на то, что ИКОП прошли достаточно длинный путь развития, начиная с 1960-х гг. [1], в настоящее время все еще существуют нерешенные или частично решенные научные задачи.

Одной из них является задача динамического принятия решений самой интеллектуальной компьютерной обучающей программой для выбора эффективной обучающей последовательности в ходе обучения конкретного студента заданным компетенциям [3, 11, 13].

В статье рассматривается разработанная авторами модель процесса обучения инженерным компетенциям, на базе которой может быть решена задача динамического принятия решений интеллектуальной компьютерной обучающей программой.

1. Постановка задач исследования

Выбрать подход к моделированию и разработать динамическую модель процесса обучения инженерным компетенциям: умениям решать практические задачи, характеризующиеся существованием и единственностью решения, а также одним или более алгоритмом решения.

2. Выбор подхода к моделированию

Среди множества подходов к моделированию статических миров в условиях неопределенности наиболее распространенными считаются:

вероятностный подход [4],

моделирование на основе правил [2],

моделирование с помощью теории Демпстера-Шефера [5],

моделирование на базе нечеткой логики [6].

В настоящем исследовании выбран тщательно разработанный и наименее противоречивый первый подход.

Одним из главных доводов в его пользу служит утверждение Бруно де Финетти о последствиях нарушения аксиом теории вероятностей, рассмотренное в [2].

Тогда для моделирования динамического процесса обучения в условиях неопределенности, который можно представить стационарным и марковским процессом, естественным выбором становится использование динамических байесовских сетей (ДБС).

3. Разработка модели процесса обучения

3.1 Предположения и ограничения

В качестве ключевого аспекта обучения многими исследователями рассматриваются обратные связи, инициируемые в ходе взаимодействия обучающей системы и студента [9-14]. При этом адекватная обратная связь может быть обеспечена только тогда, когда обучающая система с определенной степенью уверенности способна оценить текущий уровень компетенции студента. Без этой оценки система не сможет выработать для каждого пользователя адаптивную и эффективную обучающую последовательность, характеризующуюся ветвящимся сценарием выполнения, а также различными формами и содержанием предоставляемой помощи.

В целях получения оснований для формирования гипотезы об общности разрабатываемой модели процесса обучения рассмотрим три различные предметные области:

- 1) решение системы линейных уравнений;
- 2) разработка алгоритмов;
- 3) выборка данных с помощью структурированного языка запросов SQL.

Поскольку формирование задач всех трех типов – прерогатива педагога или ИКОП, в состав которой входит генератор задач, становится очевидным, что обучение может базироваться на ограничениях существования и единственности решения, а также наличия одного или более алгоритма решения.

Эти же ограничения обуславливают необходимость введения двух основных контрольных точек: знания алгоритма решения (умения его воспроизвести) и умения им пользоваться. Так, например, для задачи решения системы линейных уравнений первая контрольная точка – знание одного из методов расчета (например, метода Крамера) и умение описать его алгоритмически, а вторая – умение выполнять конкретные расчеты согласно методу; для задачи разработки алгоритмов первая контрольная точка – умение разработать правильный алгоритм, вторая – умение работать виртуальной машиной; для задачи выборки данных – умение составить правильный SQL-запрос и умение получить требуемое реляционное отношение, соответственно. При этом успешное прохождение первой контрольной точки свидетельствует о знании того, как решать не просто одну задачу, а целый класс задач, что и есть необходимым условием высокой квалификации инженера.

Очевидно также предположение о том, что безошибочное знание алгоритма, скорее всего, повлечет за собой правильное умение им пользоваться.

С другой стороны, наличие ошибок при составлении алгоритма не всегда приводит к неправильному результату расчетов. Последнее утверждение связано с возможностью получить правильные результаты расчетов с помощью иного алгоритма или путем подбора.

3.2 Структура динамической байесовской сети

Моделируемый процесс обучения, исходя из приведенных выше предположений и ограничений, будет отражать последовательное решение обучаемым задач некоторого класса. Кроме того, ДБС должна включать узлы оценки текущего уровня компетенции и принятия решения о предоставлении обучаемому помощи. Принятие решений о помощи осуществляется после прохождения обучаемым на каждом этапе двух уже упомянутых контрольных точек. Текущий уровень компетенции, а также предоставление помощи обучаемому на текущем этапе влияет на уровень компетенции на следующем этапе. Таким образом, модель разрабатываемой ДБС включает две условные связи первого порядка: между узлами уровня компетенции обучаемого, а также между узлом предоставления подсказки и узлом компетенции.

В качестве прототипа разрабатываемой системы была взята диагностическая система определения и устранения отказов в технической системе, разработанная в университете Крэнфилда Великобритании [7].

Структура созданной ДБС в свернутом и развернутом (для десяти временных срезов) виде представлена на следующих рисунках.

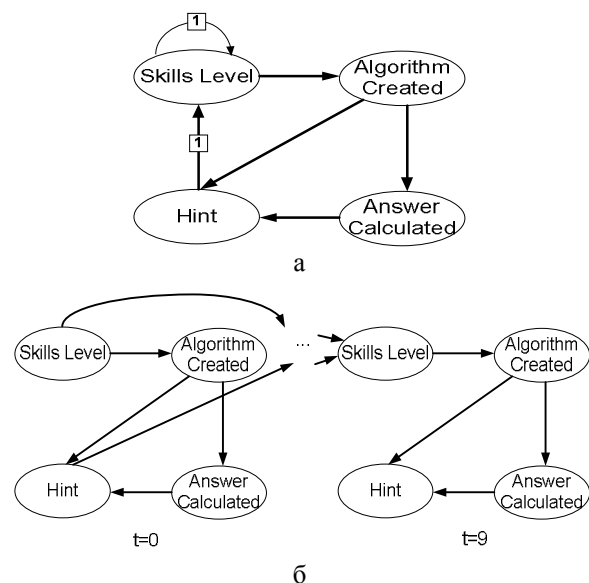


Рис. 1. Структура динамической байесовской сети
 а – в свернутом виде;
 б – в развернутом виде

Основным узлом, отражающим уровень компетенции обучающегося, является узел Skills_Level. Данный узел имеет четыре дискретные состояния – Excellent (отлично), Good (хорошо), Satisfactory (удовлетворительно) и Bad (плохо). На текущем этапе уровень компетенции влияет на знание алгоритма (узел Algorithm_Created). В свою очередь, знание алгоритма (умение его воспроизвести) влияет на умение им пользоваться (узел Answer_Calculated).

Два последних узла характеризуются тремя внутренними состояниями – WithoutError (безошибочное решение), WithOneError (решение с ошибкой) и WithMoreThanOneError (решение с большим количеством ошибок). В свою очередь, в зависимости от успешности конструирования алгоритма и численного решения задачи принимается решение о предоставлении обучаемому помощи (узел Hint). Узел Hint имеет два дискретные состояния – Yes (предоставление помощи) и No (отсутствие помощи). На уровень компетенции Skills_Level в следующем временном срезе влияет уровень компетенции Skills_Level в текущем срезе и факт предоставления помощи Hint в текущем временном срезе.

Каждый из узлов имеет связанную с ним таблицу условных вероятностей (ТУВ).

На рис. 2 приведена ТУВ для узла Skills_Level как отображения вида

$$p(\text{Skills_Level}(t)=X)= \\ =F(p(\text{Skills_Level}(t-1)=Y),p(\text{Hint}(t-1)=Z)).$$

Hint	Yes				No			
	Excellent	Good	Satisfactory	Bad	Excellent	Good	Satisfactory	Bad
▶ Excellent	1	0.5	0.1	0	1	0	0	0
Good	0	0.5	0.4	0.2	0	1	0	0
Satisfactory	0	0	0.5	0.3	0	0	1	0
Bad	0	0	0	0.5	0	0	0	1

Рис. 2. Таблица условных вероятностей для узла Skills_Level

В начальный момент времени существует полная неопределенность относительно уровня компетенции, т.е.

$$p(\text{Skills_Level}(0)=\text{Excellent})= \\ =p(\text{Skills_Level}(0)=\text{Good})= \\ =p(\text{Skills_Level}(0)=\text{Satisfactory})= \\ p(\text{Skills_Level}(0)=\text{Bad})=0.25$$

Для связей Skills_Level(t)->Algorithm_Created(t) и Algorithm_Created(t)->Answer_Calculated(t) соответствующие ТУВ представлены на рис. 3 и 4 соответственно.

Skills Level	Excellent	Good	Satisfactory	Bad
▶ withoutErr	0.9	0.05	0	0
withOneErr	0.1	0.9	0.1	0.01
withMoreThan1Err	0	0.05	0.9	0.99

Рис. 3. Таблица условных вероятностей для узла Algorithm_Created

Algorithm Created	withoutErr	withOneErr	withMoreT...
▶ WithoutErr	0.9	0.45	0.01
With1Err	0.09	0.45	0.09
WithMoreThan1Err	0.01	0.1	0.9

Рис. 4. Таблица условных вероятностей для узла Answer_Calculated

Для связи Algorithm_Created(t), Answer_Calculated(t)->Hint(t) ТУВ является детерминированной и определяет отсутствие помощи тогда и только тогда, когда обе контрольные точки пройдены без ошибок.

3.3. Математический расчет динамической байесовской сети

Существует целый ряд методов вероятностного вывода для вычисления распределения апостериорных вероятностей узлов ДБС. В дальнейшем, при программной реализации ИКОП и, в частности, описанной вероятностной модели процесса обучения, будет проведен сравнительный анализ временных и пространственных затрат для каждого из методов. В настоящем исследовании был использован простейший метод, описанный в работе[2]. В нашем случае получаем:

$$P(\text{AlgCr}_{\text{withoutErr}}) = \\ = \sum_{\text{SkLev}} P(\text{SkLev})P(\text{AlgCr}_{\text{withoutErr}} | \text{SkLev}); \\ P(\text{AnswCalc}_{\text{withoutErr}}) = \sum_{\text{AlgCr}} P(\text{AlgCr}) \times \\ \times P(\text{AnswCalc}_{\text{withoutErr}} | \text{AlgCr}); \\ P(\text{Hint}_{\text{Yes}}) = \\ = \sum_{\text{AlgConstr}} P(\text{AlgCr}) \sum_{\text{AnswCalc}} P(\text{AnswCalc} | \text{AlgCr}) \times \\ \times P(\text{Hint}_{\text{Yes}} | \text{AnswCalc}, \text{AlgCr}), \\ P(\text{SkLev}_{\text{Excellent}}) = \\ = \sum_{\text{Hint}} P(\text{Hint}) \sum_{\text{SkLev}(t-1)} P(\text{SkLev}(t-1)) \times \\ \times P(\text{SkLev}_{\text{Excellent}} | \text{Hint}, \text{SkLev}(t-1)),$$

где AlgCr_{withoutErr} – состояние безошибочного создания алгоритма для узла Algorithm_Created;

AlgCr – узел создания алгоритма Algorithm_Created;

SkLev_{Excellent} – состояние уровня Excellent компетенции для узла Skills_Level;

SkLev – узел текущего уровня компетенции обучаемого Skills_Level;

AnswCalc_{withoutErr} – состояние безошибочного численного расчета для узла Answer_Calculated;

AnswCalc – узел численного расчета Answer_Calculated;

Hint_{Yes} – состояние предоставления подсказки для узла Hint; SkLev(t-1) – узел уровня компетенции обучаемого для предыдущего временного среза.

На рис. 5 представлено распределение вероятностей в процессе обучения для неопределенного начального уровня компетенции.

Time	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Excellent	0.25	0.394	0.548	0.682	0.786	0.86	0.911	0.945	0.966	0.98
Good	0.25	0.28	0.251	0.198	0.145	0.1	0.066	0.042	0.026	0.0143
Satisfactory	0.25	0.2	0.1375	0.0875	0.053	0.031	0.017	0.01	0.005	0.0031
Bad	0.25	0.125	0.0625	0.0312	0.015	0.007	0.003	0.0015	0.0007	0.0004

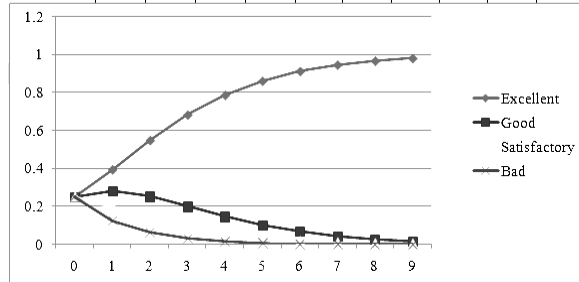


Рис. 5. Распределение вероятностей в процессе обучения для неопределенного начального уровня компетенции

3.4. Моделирование посредством динамической байесовской сети

Моделирование процесса обучения посредством созданной ДБС было проведено в специальной среде Genie 2.0 [8]. Рассмотрим два случая:

- 1) задание начального уровня компетенции обучаемого и оценивание изменений этого уровня;
- 2) имитация прохождения обучаемым контрольных точек с ошибками и оценивание изменений уровня компетенции обучаемого.

Случай 1 (рис. 6). Определим для сети начальный уровень компетенции (узел Skills_Level для нулевого временного среза) равный удовлетворительному (Satisfactory). Распределение апостериорных вероятностей для узлов сети будет выглядеть следующим образом:

Как видно из графиков распределения вероятностей (рис. 7), уровень компетенции обучаемого растет с течением времени. Это происходит благодаря предоставлению помощи на первых этапах, далее необходимость предоставления помощи снижается и на пятом временном срезе дос-

тигает значения 40% по сравнению со 100% для нулевого среза. Рост уровня компетенции обучаемого обуславливает также увеличение вероятности безошибочного выполнения подзаданий по конструированию алгоритма и получению численного значения ответа.

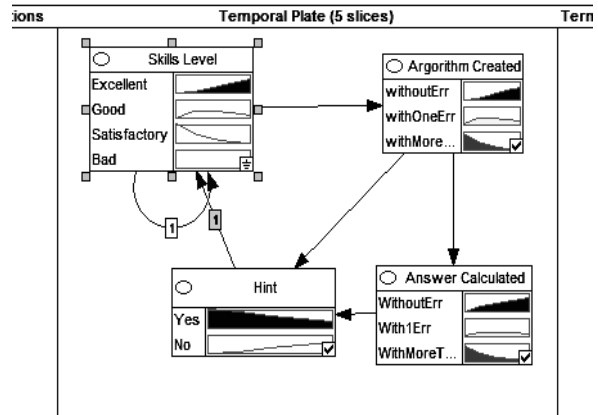


Рис. 6. Поведение системы для случая 1

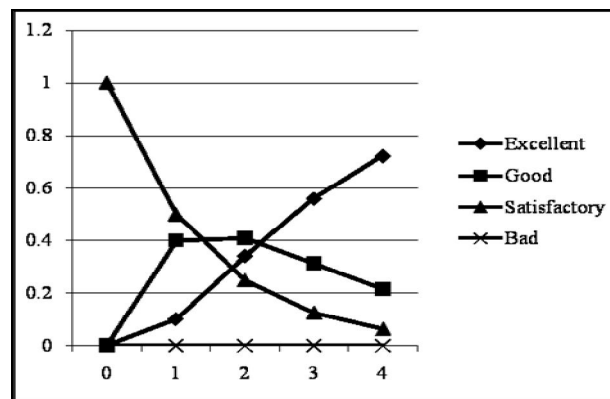


Рис. 7. Распределение вероятностей узла Skills_Level для случая 1

Таким образом, система в полной мере обеспечивает функцию повышения уровня компетенции решения класса задач даже при удовлетворительном начальном уровне обучаемого.

Случай 2. Рассмотрим, как система будет оценивать уровень компетенции обучаемого при ошибочном конструировании алгоритма во всех временных срезах.

На следующем рисунке (рис. 8) показано распределение апостериорных вероятностей для узла Skills_Level.

Как видно из графиков, система оценивает уровень компетенции обучаемого как плохой или удовлетворительный (за счет того, что существует вероятность правильных расчетов результатов, несмотря на ошибки в алгоритме), а также возможность перейти с уровня плохо на уровень удовлетворительно после оказания системой помощи.

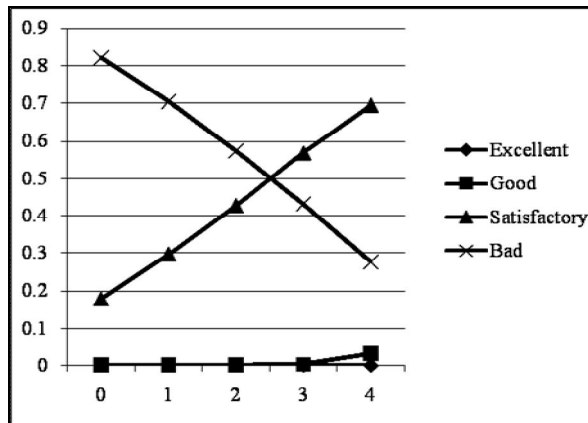


Рис. 8. Распределение апостериорных вероятностей узла Skills_Level для случая 2

Выводы и перспективы

В работе была исследована проблема создания динамической модели процесса обучения инженерным компетенциям. Уровень инженерной компетенции обучаемого зависит от знания им алгоритма решения поставленной задачи, а также умения его применить. Одним из ключевых аспектов обучения, способного влиять на уровень компетенции, является своевременное предоставление помощи обучаемому в виде подсказок. Созданная динамическая модель процесса обучения была реализована в виде ДБС, которая обеспечила возможности:

1) оценивать степень уверенности в определенном уровне инженерных компетенций обучаемого по выполнению класса задач, учитывая предыдущий уровень компетенции и факт предоставления подсказки;

2) принимать решение о целесообразности предоставления пользователю подсказки к заданию с целью повышения уровня его компетенции в решении поставленной задачи.

Исследования работы разработанной ДБС были произведены в специальной среде Genie 2.0 и доказали адекватность оценки системой уровня компетенции обучаемого при различных сценариях выполнения им заданий, возможность системы регулировать уровень компетенции обучаемого, повышая его за счет своевременного предоставления подсказок.

Дальнейшие исследования будут направлены на поиск методов более гибкого предоставления обучаемому помощи с учетом ее формы, содержания и уровня детализации.

Литература

1. Большая советская энциклопедия. Т. 21 // М.: «Сов. энциклопедия», 1975. – 640 с.
2. Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1408 с.
3. Charles Murray R. Looking Ahead to Select Tutorial Actions: A Decision-Theoretic Approach / R. Charles Murray, K. VanLehn, J. Mostow // *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. – 14 (3,4). – P. 235-278.
4. De Groot M.H. Probability and Statistics. Second edition / M.H. De Groot. – Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1989.
5. Sentz K. Combination of Evidence in Dempster-Shafer Theory / K. Sentz, S. Ferson // Sandia National Laboratories SAND 2002-0835.
6. Zadeh L.A. Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Fuzzy Systems / L.A. Zadeh. – World Scientific Press, 1996.
7. McNaught K.R. Using Dynamic Bayesian Networks for Prognostic Modelling to Inform Maintenance Decision Making / K.R. McNaught, A. Zagorecki // Department of Engineering Systems and Management, Cranfield University, Defence Academy of the UK, Shrivenham, Swindon, UK.
8. GeNIe. Decision Systems Laboratory, University of Pittsburgh. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://genie.sis.pitt.edu/>.
9. Alevin V. Limitations of student control: Do students know when they need help? / V. Alevin, K.R. Koedinger // *Intelligent Tutoring Systems: 5th International Conference*. – Berlin: Springer, 2000. – P. 292-303.
10. Mitrovic A. An intelligent SQL tutor on the web / A. Mitrovic // *International Journal of Artificial Intelligence in Education* 13. – P. 171-195.
11. Kulik A. Development of the automated laboratory practical work at the course «Modeling of systems» / A. Kulik, A. Chukhray, S. Pedan, P. Anzenberger // *Proceedings of the Interactive Computer Aided Learning Conference*. – Villach, Austria. – 2008. – Sept. 24-26.
12. Murray T. Authoring Intelligent Computer Systems: An analysis of the state of the art / T. Murray // *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. – Vol. 10. – P 98-129.
13. Murray R.C. DT Tutor: A dynamic, decision-theoretic approach for optimal selection of tutorial actions / R.C. Murray, K. VanLehn // *Intelligent Tutoring Systems, Fifth International Conference, ITS 2000*. – P. 153-162.

Поступила в редакцию 28.01.2010

Рецензент: д-р пед. наук, проф., зам. директора С.А. Раков, Український центр оцінювання якості освіти, Україна.

ПРО ОДИН ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАВЧАННЯ ІНЖЕНЕРНИМ КОМПЕТЕНЦІЯМ

А.Г. Чухрай, С.І. Педан, П. Анценбергер

У статті запропоновано підхід до моделювання процесу навчання інженерним компетенціям. Рівень компетенції учня розглядався як сукупність знання алгоритму рішення поставленого завдання й уміння його застосовувати. Як ключовий аспект навчання, здатний впливати на рівень інженерної компетенції, була розглянута допомога у вигляді своєчасних підказок учню. Для моделювання динамічного процесу навчання в умовах невизначеності був обраний апарат динамічних байесовських мереж. Створено структуру динамічної байесовської мережі процесу навчання, зроблено її математичний розрахунок. Проведено моделювання розробленої мережі за допомогою спеціального редактора Genie 2.0.

Ключові слова: динамічна байесовська мережа, процес навчання, рівень компетенції.

ABOUT ONE APPROACH TO MODELLING OF PROCESS OF ENGINEERING COMPETENCIES TUTORING

A.G. Chukhray, S.I. Pedan, P. Anzenberger

In the article the approach to modeling of process of engineering competencies tutoring was proposed. Level of the trainee competence was considered as knowledge of task solving algorithm and ability to apply it. As key aspect of the tutoring, capable to influence on the level of the engineering competence the help in the form of timely hints to the trainee was considered. For modeling of dynamic process of tutoring in the conditions of uncertainty the technology of dynamic bayesian networks was chosen. The structure of dynamic bayesian networks of tutoring process was created, its mathematical calculation was made. Modeling of the developed network by means of special editor Genie 2.0 was performed.

Key words: dynamic bayesian network, tutoring process, competence level.

Чухрай Андрей Григорьевич – канд. техн. наук, доц., доц. каф. систем управління летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: achukhray@gmail.com.

Педан Станислав Игоревич – аспирант каф. систем управления летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: stasickx@gmail.com.

Анценбергер Петер – аспирант каф. систем управления летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», преподаватель университета прикладных наук, Вельс, Австрия, e-mail: peter@peter-partner.com.