

УДК 004.891

И.В. ШОСТАК, В.А. ДЕМЬЯНЕНКО, Г.А. ФРОЛОВА

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

РАЗРАБОТКА ТИПОВОГО ФРАГМЕНТА МУЛЬТИАГЕНТНОЙ CALS-СИСТЕМЫ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА САМОЛЕТОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье описаны принципы разработки автоматизированной системы поддержки принятия решений по технологической подготовке сборочного производства в самолетостроении. Приведена оценка эффективности разработанного метода формирования координирующих решений при помощи разработанного прототипа системы поддержки принятия решений при проектировании сборочных технологических процессов. Оценка качества работы системы проводилась с помощью метода скользящего контроля с одним отделяемым объектом. В результате моделирования был получен уровень общей ошибки, который позволит в среднем снизить затраты на исправления брака.

Ключевые слова: самолетостроение, комплексная автоматизация, CALS-система, сборочное производство, программный агент.

Введение

В условиях разработки новых информационных технологий и перехода к безбумажным методам проектирования жизненный цикл изделия, включающий проектирование, производство и эксплуатацию, подразделяется на ряд стадий и этапов. Эффективная взаимосвязь этапов обеспечивается в соответствии с идеологией CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции) [1].

В современных условиях CALS-технологии являются инструментом повышения эффективности производства, конкурентоспособности и привлекательности продукции и активно применяются, прежде всего, при разработке и производстве сложной наукоемкой продукции, создаваемой интегрированными промышленными структурами, включающими в себя НИИ, КБ, основных подрядчиков, субподрядчиков, поставщиков готовой продукции, потребителей, предприятия технического обслуживания, ремонта и утилизации продукции [2].

В процессе организации единого информационного пространства предприятия главную ценность будет представлять накапливаемая и циркулирующая в системе информация, поэтому одной из основных задач комплексной автоматизации является обеспечение информационной безопасности хранимых, передаваемых и обрабатываемых данных. Физическая целостность информации, сохранение доверия к хранимым данным и безопасность самой информации – приоритетные задачи CALS-систем и систем накопления и обработки данных, регламен-

тируемые соответствующими нормативными и правовыми актами.

При этом на каждом этапе жизненного цикла [3, 4] изделия любой потребитель информации (конструкторы, технологи, специалисты плановых и производственных служб, руководители подразделений и предприятия, специалисты по маркетингу и др.) должен получать необходимую ему актуальную информацию в нужное время, в нужном виде и степени детализации и в конкретном месте производственного процесса.

Цель статьи состоит в описании принципов разработки и подхода к оценке качества функционирования автоматизированной системы поддержки принятия решений по технологической подготовке сборочного производства в самолетостроении.

1. Мультиагентная технология как основа построения единого информационного пространства технологической службы авиационного предприятия

В области систем поддержки принятия решений существует ряд задач, которые можно решать, моделируя средство автоматизации как систему, состоящую из агентов [1 – 4]. В эти задачи входят: эффективная организация параллельной работы, извлечение информации из инженерных баз знаний, интеллектуальный индивидуальный помощник лица принимающего решения (ЛПР) и т.д. Существуют различные варианты применений агентов к задачам автоматизации процессов на производственном предприятии [5].

На основании обзора агентных систем [4, 5] был выбран стандарт FIPA на создание программных агентов, т.к. именно этот стандарт полностью реализует идеи интеграции создаваемой системы поддержки принятия решений (СППР) в существующую систему (в данном случае автоматизированную систему управления (АСУ)).

На рис. 1. применительно к разрабатываемой СППР коммуникационный канал реализован в виде протокола обмена сообщениями между агентами, агент-брокер используется только при реализации СППР с использованием технологии CORBA, агент-

обложка реализован в виде модуля, вызывающего функции программного интерфейса существующего программного обеспечения (например, API САПР ТП «Компас-Вертикаль»), агент-клиент представляет собой типовой блок разрабатываемой СППР (т.е. координатора и распознавателя, связанных между собой).

После выбора принципиальной агентной платформы необходимо синтезировать типовую структуру блока принятия решений, описываемого гибридным автоматом. Такая структура представлена ниже на рис. 1.

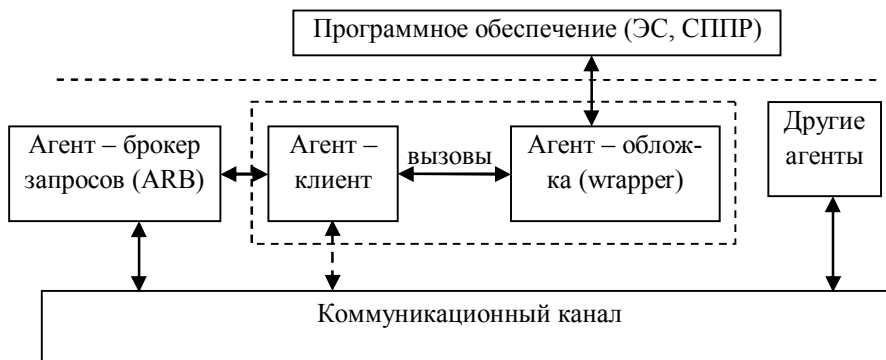


Рис. 1. Схема интеграции агента с существующим программным обеспечением (FIPA 2000)

Для общения между агентами может быть использован стандартный агентный «язык» KQML [6], но по причине необходимости передачи информации лишь в форме предикатов, для конкретной реализации был выбран формат обмена на основе XML. С его помощью была реализована передача предикатов в соз-

даваемой системе (например, для обмена информацией между координатором и распознавателем).

После представления общей структуры решающего блока (агента) была синтезирована структура СППР в целом. Схема автоматной реализации СППР представлена на рис. 2.

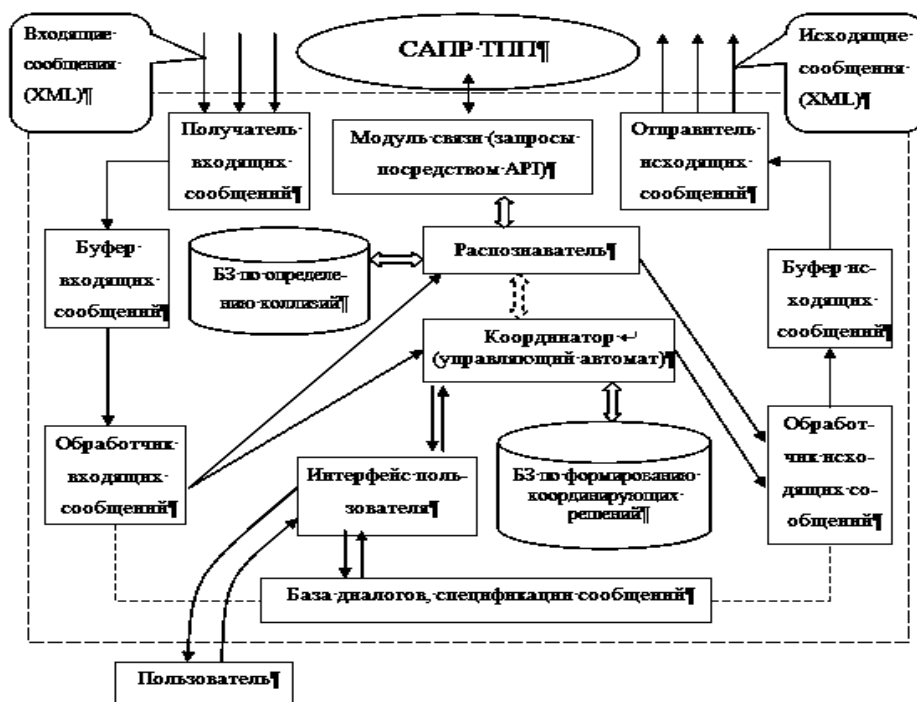


Рис. 2. Функциональная схема автоматной реализации СППР по формированию координирующих решений в сборочном производстве самолетостроительного предприятия

Интеграция СППР в среду CALS показана на примере пакета «Компас-Автопроект», который чаще всего используется на отечественных самолетостроительных предприятиях и имеет развитый программный интерфейс, позволяющий получать всю необходимую информацию как о технологическом процессе сборки или изготовления детали (вплоть до отдельных переходов), так и о параметрах каждой операции таких технологических процессов. Программный комплекс КОМПАС-Автопроект состоит из двух взаимосвязанных подсистем: КОМ-

ПАС-Автопроект-Спецификации и КОМПАС-Автопроект-Технология. В первой из названных подсистем концентрируются технологические задачи, связанные с составом изделия, а во второй — с проектированием технологических процессов. Такая схема построения продиктована необходимостью интеграции технологического модуля с PDM-системами — как собственными, так и внешними.

На рис. 3 изображена диаграмма развертывания СППР и интеграция ее с существующими компонентами информационной системы цехового уровня.

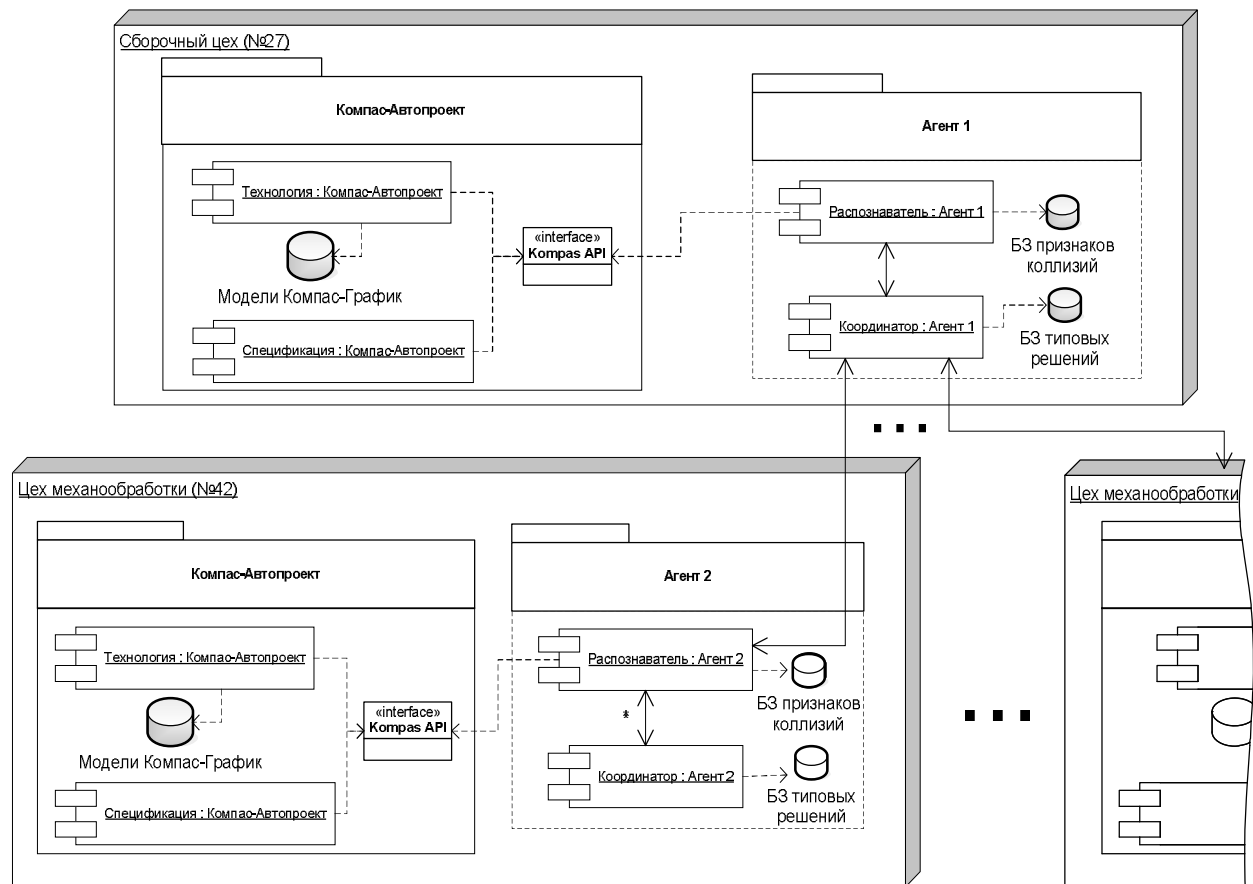


Рис. 3. Место СППР по формированию координирующих решений в общей структуре АСУ уровня цеха сборки самолетных конструкций Харьковского государственного авиационного производственного предприятия (на примере интеграции с системой «Компас-Автопроект»)

2. Оценка качества формируемых решений по сборке самолетных конструкций

Качество координирующих решений, формируемых прототипом СППР, оценивалось на примере реальных данных (типовые ситуации появления брака во время внестapelной сборки в цехе №27), из которых формировались сценарные примеры для обучения и проверки системы (правила для обучающей и предикаты для контрольной выборки), а также было проведено сравнение с результа-

тами решения этих ситуаций несколькими экспертами.

Качество определялось общей ошибкой принятия неверного решения, получаемой путем взвешенного усреднения ошибок первого рода (нераспознанных ситуаций) и второго рода (ситуаций, классифицированных как коллизии, но не являющихся таковыми).

Для оценки качества работы системы применялся метод скользящего контроля [6], а именно разбиение с одним отделяемым объектом (LOOCV).

Метод скользящего контроля такого вида (в противоположность методу «5-2» или k-кратному

разбиению) был выбран для избежания попадания нескольких схожих обучающих примеров в одну часть разбиения, тем самым возможно получение смещенной оценки ошибки.

Особенность выбранного метода состоит в необходимости раздельного учета ошибок первого и второго рода.

Анализ статистики затрат при возникновении ошибок первого и второго рода (по обучающей выборке) показывает, что затраты на исправление неправильного решения для ошибок первого и второго рода приблизительно равны:

$$P(y = +1) = 73\% ,$$

$$P(y = -1) = 27\%$$

соответственно (если взять за 100% сумму этих затрат по одной и той же ситуации), т.е. убытки от нераспознанной коллизии намного больше, чем убытки от «ложной» коллизии (при условии что решений по ней будет принято, т.е. будет изменен технологический процесс изготовления сборочной единицы и потребуются доработка детали впоследствии).

Так как ошибки неравнозначны, то для оценки общей ошибки системы необходимо брать взвешенные значения ошибок первого и второго рода с весами соответственно 0,73 и 0,27 (несмотря на то, что ошибочно распознанная коллизия может быть легко проигнорирована пользователем при составлении результирующего документа).

Для тестирования была составлена выборка из 30 наиболее типовых прецедентов, имевших место в статистике самолетостроительного предприятия за определенный период. С привлечением экспертов для каждого случая были выделены обучающие правила, которые использовались при моделировании, а также предикаты, которые использовались в качестве исходных при проверке на каждом шаге разбиения.

Для сравнения результатов моделирования указанные ситуации были предложены двум экспертам (ведущим технологом) для решения. Сводные результаты представлены в табл. 1 (взвешенная ошибка вычислялась с использованием ранее указанных весов ошибки I и II рода).

Таблица 1

Результаты моделирования
процесса формирования координирующих решений

	эксперт1	эксперт2	СППР	эксперт1, %	эксперт2, %	СППР, %
Пропущенные коллизии (ошибка I рода)	7	3	4	23,33%	10,00%	13,33%
Излишние коллизии (ошибка II рода)	4	3	7	13,33%	10,00%	23,33%
Взвешенная ошибка				20,63%	10,00%	16,03%

Можно видеть, что имеющиеся в прототипе СППР правила позволяют формировать решения, вероятность ошибки в которых находится на уровне 16%, что приблизительно соответствует значению ошибки эксперта.

Можно также сделать вывод, что качество работы системы определяется качеством обучения базы знаний, которую она использует для распознавания и решений потенциальных коллизий. Таким образом, увеличивая размер выборки, или проведя извлечения знаний экспертов, можно добиться улучшение качества работы системы.

Главное же преимущество СППР состоит в том, что эффективность ее работы постоянна, в то время как человеку свойственно увеличение ошибок из-за большого количества ситуаций, что имеет место на реальном предприятии. По имеющейся статистике затрат на исправление брака были выделены виды брака, которые определяются коллизиями, распознаваемыми в автоматизированном режиме в СППР (в данной тестовой выборке это ситуации монтажа замков, установки крепежа, установки го-

товых изделий, совместной клепки шпангоутов и элементов интерьера). Уровень затрат на исправление брака относительно прямых материальных затрат, а также соотношение затрат на исправление брака по видам представлено на рис. 4, 5.

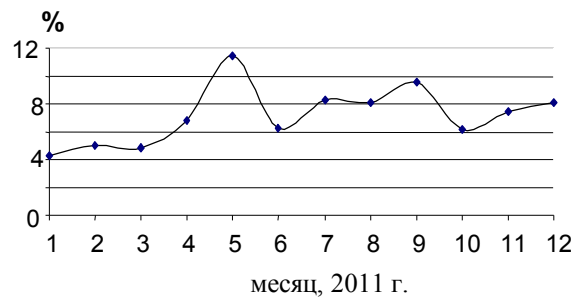


Рис. 4. Уровень непроизводительных затрат в % к прямым материальным затратам

Анализируя второй график, можно сказать, что среднее значение затрат на исправление брака по ситуациям, которые распознаются системой, составляет около 44%. Следовательно, учитывая общую

ошибку при работе системы, как вероятность получить неверное решение, равную 0,16, можно прогнозировать возможность уменьшения затрат, связанных с исправлением брака при сборке в среднем на $44\% \cdot 0,16 = 37\%$.

Следует заметить, что непроизводительные расходы на исправление брака на самолетостроительных предприятиях достигают до 15 – 20%, особенно при запуске нового изделия в серию или при проведении масштабных модификаций.

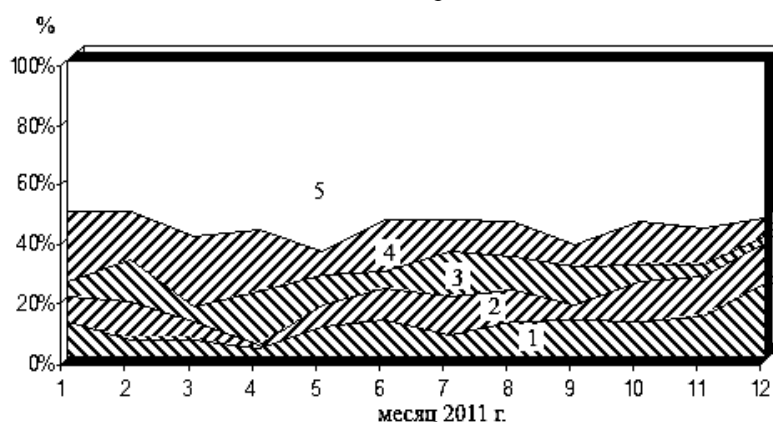


Рис. 5. Затраты на исправление брака и их качественный состав (по ситуациям, распознаваемым в СППР)

1 – монтаж замков; 2 – установка крепежа; 3 – установка ГИЗов; 4 – сборка шпангоутов; 5 – остальное

В качестве основы для оценки важности ошибок первого и второго рода была взята статистика объема непроизводительных затрат (потерь от брака и работ по его устранению) в процентах к прямым материальным затратам на предприятии авиастроительного профиля за 2011 год по сборочному цеху.

За основу при составлении обучающей и контрольной выборок были взяты сборочные технологические процессы, а также ТП изготовления деталей (соответствующих сборочных единиц) и соответствующая статистика по затратам на исправление брака.

Так по статистике на диаграмме (рис. 4, 5) среднее значение затрат на исправление брака в сборочном цехе составило около 7,2%. Следовательно, можно сделать вывод, что в результате применения разработанных моделей и методов (с учетом качества координирующих решений, формируемых системой) можно было ожидать снижения непроизводительных затрат по цеху в среднем на 2,7% (относительно прямых материальных затрат).

Выводы

В статье описаны принципы разработки автоматизированной системы поддержки принятия решений по технологической подготовке сборочного производства в самолетостроении. В качестве основы для построения подобной системы была выбрана многоагентная парадигма как программная реализация типового фрагмента СППР в виде интеллектуального агента.

С помощью разработанного прототипа СППР при проектировании сборочных технологических

процессов была проведена оценка эффективности разработанного метода формирования координирующих решений. Оценка проводилась с помощью метода скользящего контроля с одним отделяемым объектом. (LOOCV). В результате моделирования был получен уровень общей ошибки около 16%, что позволит в среднем снизить затраты на исправления брака на 37% (согласно статистическим данным объемов брака и затрат на его исправление по конкретным видам разрешимых коллизий).

Хотя процент ошибочных результатов на тестовом примере составляет около 16%, риск принятия неверного координирующего решения заранее меньше риска потерь от исправления брака в силу специфики самих координирующих решений.

Литература

1. Норенков И.П. Информационная поддержка наукоемких изделий. САЛS-технологии / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
2. Алиев Р.А. Методы интеграции в системах управления производством / Р.А. Алиев. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 269 с.
3. Алиев Р.А. Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления / Р.А. Алиев, М.И. Либерзон. – М.: Радио и связь, 1987. – 208 с.
4. Шостак И.В. Интеллектуализация процессов технологической подготовки производства на основе мультиагентной технологии / И.В. Шостак, А.С. Топал // Вестник двигателестроения. – 2003. – № 2. – С.187-191.

5. Шостак И.В. Проблемы разработки мультиагентной интеллектуальной интегрированной системы поддержки принятия решений в авиационном производстве / И.В. Шостак, Л.А. Гордиенко, Е.П. Киричук, А.С. Топал // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2003. – № 8 (43). – С. 14-22.

6. Топал А.С. Формирование комплексных решений в интеллектуальных производственных системах / А.С. Топал // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. научн. тр. «ХАИ»*. – 2005. – Вып. 26. – С. 106-110.

Поступила в редакцию 20.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. М. Варганын, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

РОЗРОБКА ТИПОВОГО ФРАГМЕНТУ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ CALS-СИСТЕМИ З ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ЛІТАКОБУДІВЕЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА

І.В. Шостак, В.А. Дем'яненко, Г.О. Фролова

У статті описані принципи розробки автоматизованої системи підтримки прийняття рішень з технологічної підготовки складального виробництва в літакобудуванні. Наведено оцінку ефективності розробленого методу формування координуючих рішень за допомогою розробленого прототипу системи підтримки прийняття рішень при проектуванні складальних технологічних процесів. Оцінка якості роботи системи проводилася за допомогою методу ковзаючого контролю з одним виділеним об'єктом. В результаті моделювання був отриманий рівень загальної помилки, який дозволить в середньому знизити витрати на виправлення помилки.

Ключові слова: літакобудування, комплексна автоматизація, CALS-система, складальне виробництво, програмний агент.

DEVELOPMENT OF MODEL FRAGMENT MULTIAGENT CALS-SYSTEM ON TECHNOLOGICAL PRODUCTIONS VENTURES ON AIRCRAFT PLANTS

I.V. Shostak, V.A. Demyanenko, G.F. Frolova

The paper described the principles of developing an automated system to support decision-making process by preparing the assembly plant in aircraft. The assessment of effectiveness developed method to forming the coordinating solutions with time-working prototype decision support system for design of assembly-technological processes. Evaluation of quality system was method sliding control with one detachable object (LOOCV). In the simulation was obtained by the level of total errors, which will reduce the average cost to fix the marriage.

Keywords: aircraft, integrated automation, CALS-system, assembly of production, a software agent.

Шостак Игорь Владимирович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедри інженерії програмного забезпечення Національного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: iv_shostak@rambler.ru.

Дем'яненко Владислав Анатольевич – асистент кафедри інженерії програмного забезпечення Національного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: vladyslav.demyanenko@gmail.com.

Фролова Галина Александровна – канд. техн. наук, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення Національного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: Frolova.Galka@gmail.com.