

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЕТА ВОЗДУШНОГО СУДНА

А.А. Кулик

АО «Конструкторское бюро промышленной автоматики»
Россия, 410005, г. Саратов, ул. Большая Садовая, 239

E-mail: kulikalekse@yandex.ru

Аннотация. Предлагается методика наземных испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна. Предложенная автором методика позволяет оценить работоспособность программного и аппаратного обеспечения системы в штатном режиме ее эксплуатации, а также в условиях отказа взаимодействующего оборудования. Особое внимание уделяется описанию стенда для испытания системы, который содержит имитаторы комплекса бортового оборудования воздушного судна и модель летательного аппарата, что обеспечивает проведение наземных испытаний системы при различных условиях ее эксплуатации. Условия полета воздушного судна и состояние его бортового оборудования задаются оператором стенда наземных испытаний системы с использованием специализированного программного обеспечения и вспомогательных аппаратных средств испытания. В процессе выполнения испытаний осуществляется регистрация входных и выходных переменных системы с их отображением на рабочем месте оператора. Используя регистрируемые переменные, можно выполнить оценку работоспособности программного и аппаратного обеспечения системы управления безопасностью полета воздушного судна. Представленная методика наземных испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна может быть применена в процессе разработки систем подобного класса на этапе их предварительных испытаний.

Ключевые слова: система управления безопасностью полета, наземные испытания, отказобезопасность.

Введение

В настоящее время развитие авиационной техники направлено на повышение безопасности воздушных судов (ВС). При этом основное количество авиационных происшествий приходится на человеческий фактор (87 %) [1]. Поэтому в составе бортового оборудования ВС используются интеллектуальные системы поддержки принятия решений экипажем, которые позволяют распознать наличие аварийной ситуации в процессе управления судном с выдачей информации в средства оповещения и индикации [2–6, 9–11].

Так, известен способ поддержки оператора воздушного судна в опасных ситуациях, который позволяет на базе экспертной системы оценить работоспособность бортового оборудования и действия экипажа с последующим прогнозированием аварийной ситуации и оповещением о ее наличии экипажа. Однако этот способ не дает возможности точно оценить степень наступления катастрофиче-

ской ситуации из-за отсутствия моделирования развития опасной ситуации полета летательного аппарата.

Другим вариантом обеспечения безопасности полета ВС является «Автоматизированная высокоинтеллектуальная система обеспечения безопасности полетов летательного аппарата» [4], разработанная на базе Федерального государственного унитарного предприятия «Летно-исследовательский институт имени М.М. Громова». Система позволяет парировать катастрофическую ситуацию в управлении аппаратом на основе прогнозирования изменений условий и оценки превышения эксплуатационных ограничений его полета с использованием экспертной системы определения угрозы катастрофической ситуации и математической модели объекта управления. При этом недостатком такой системы является необходимость больших вычислительных мощностей для качественного функционирования математической модели движения летательного аппарата, а также прогнозирования изменения переменных, влияющих на безопасность полета, в том числе психофизического состояния экипажа. Поэтому создание метода прогнозирования угрозы авиационного происшествия ВС на основе непосредственного контроля и прогноза изменения переменных, влияющих на безопасность полета, с применением алгоритмов нечеткой логики позволит выявить непосредственную причину угрозы происшествия и своевременно ее парировать действиями экипажа или автоматики без задействования высоких вычислительных мощностей системы управления безопасностью полета ВС.

Другим примером системы поддержки принятия решений экипажем является устройство предупреждения столкновения воздушного судна с землей на взлетно-посадочной полосе Smart Landing, разработанное компанией Honeywell Aerospace [3, 6]. Оповещение экипажа при превышении скорости снижения судна осуществляется звуковыми и световыми средствами индикации.

Стоит отметить, что системы подобного класса должны удовлетворять высоким требованиям по быстродействию, надежности, адекватности оценки функционирования систем комплекса бортового оборудования, вероятности наступления летного происшествия и принятию решений по его устранению. При этом электрические сигналы, поступающие в сопрягаемые системы управления воздушным судном, относятся к ограничивающим и не должны приводить к ухудшению управляемости и устойчивости его полета.

Однако в современных системах интеллектуальной поддержки принятия решений экипажем отсутствует комплексная оценка полета ВС по совокупности внутренних и внешних воздействующих факторов, оказывающих влияние на безопасность полета, а также средства прогнозирования авиационного происшествия (АП) на ранних стадиях. Для устранения указанных недостатков целесообразно использовать систему управления безопасностью полета, структурная схема которой представлена на рис. 1 [7].

Из рисунка видно, что система содержит устройства предварительной обработки данных, поддержки принятия решений и передачи данных. Обработка входной информации заключается в получении системой данных от комплекса бортового оборудования ВС, характеризующей превышение заданных значений переменных факторов, воздействующих на объект управления. Затем на базе информации об изменении условий полета ВС устройство поддержки принятия решений формирует вывод, оценивающий степень опасности полетного события и характеризующий способы ее устранения. Полученные в процессе работы системы результаты передается в устройство передачи данных, которое формирует

электрические сигналы, поступающие на вход приборов индикации, оповещения и в системы управления ВС. Предложенная система позволяет исключить ложное формирование данных о летном происшествии и его последствиях, что достигается двухуровневым распознаванием угрозы авиационного происшествия.

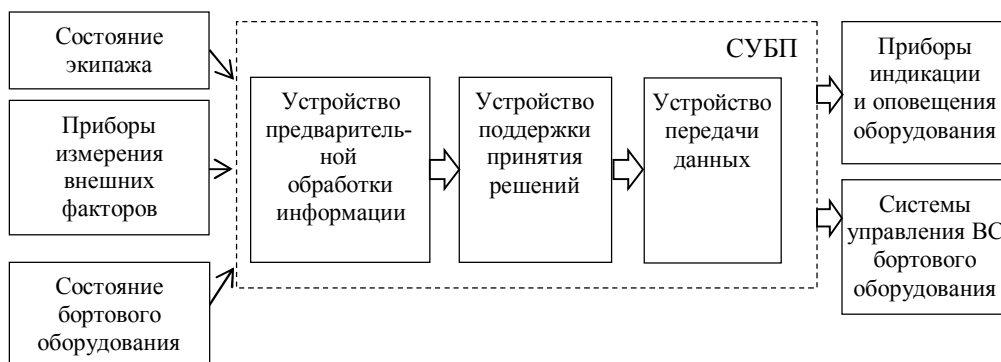


Рис. 1. Структурная схема системы управления безопасностью полета ВС:
СУБП ВС – система управления безопасностью полета воздушного судна

Применяя двухуровневую процедуру оценки условий полета ВС (контуры предварительной обработки данных и поддержки принятия решений) с прогнозированием ее изменений в программно-алгоритмическом комплексе системы, можно исключить формирование ложных сигналов для парирования угрозы происшествия.

Основным элементом системы является устройство поддержки принятия решений, которое выдает рекомендации экипажу о наличии угроз авиационных происшествий, способах их парирования и взаимодействии с бортовым оборудованием. Устройство поддержки принятия решений представляет динамическую экспертную систему, особенность которой заключается в выдаче рекомендаций экипажу по парированию авиационного происшествия при изменении значений входных переменных во времени.

Входными переменными устройства являются внешние и внутренние факторы, влияющие на безопасность полета ВС, такие как техническое состояние объекта управления, психофизические характеристики экипажа, погодные условия полета. Также на вход блока поддержки принятия решений поступают значения прогноза изменения контролируемых переменных и результаты оценки условий полета ВС. На выходе системы формируются рекомендации пилоту по нейтрализации угрозы авиационного происшествия или сигналы ее парирования средствами автоматического управления. Парирование угрозы авиационного происшествия средствами автоматики осуществляется при отсутствии реакции экипажа на сложившиеся условия полета судна.

Каждая группа характеризуется множеством входных переменных, которые оценивают состояние факторов и их воздействие на полет ВС. Эти факторы относятся к слабоформализуемым, поэтому входные переменные устройства поддержки принятия решений представлены в виде лингвистической переменной. При этом каждая лингвистическая переменная задается на множестве нечетких значений, которые принадлежат определенной пространственно-временной области. Представление входных данных блока поддержки принятия решений

в форме лингвистических переменных позволяет осуществить их обработку аппаратом нечеткой логики, применяемым в экспертных системах.

В процессе проектирования систем управления безопасностью полета воздушного судна возникает необходимость в оценке их работоспособности и соответствия предъявляемым к ним требованиям. Поэтому наземные испытания таких систем являются важным этапом их разработки, для реализации которого необходимо создание методик испытания, а также стендовой аппаратуры.

1. Постановка задачи

Целью работы является оценка работоспособности программного обеспечения системы управления безопасностью полета воздушного судна, что позволит выявить ее достоинства и недостатки на этапе предварительных испытаний.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) разработать методику наземных испытаний системы управления безопасностью полета, включающей исследование системы на работоспособность и отказобезопасность;

2) разработать структурную схему стенда для наземных испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна;

3) выполнить апробацию предложенной методики с использованием инструментального программного средства разработки систем искусственного интеллекта.

2. Разработка методики наземных испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна

Основной задачей наземных испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна является оценка работоспособности ее программно-аппаратного обеспечения. При этом в процессе отработки системы производится имитация отказа ее функциональных элементов и линий связи с сопрягаемым оборудованием.

Согласно структурной схеме (рис. 1) на вход системы поступают данные, характеризующие состояние экипажа, объекта управления и условия полета [8], на основании которых формируется алгоритм парирования угрозы авиационного происшествия (АП), содержащий следующие этапы:

Этап 1. Инициализация входных переменных, характеризующих условия полета воздушного судна по результатам предварительной обработки внешних и внутренних воздействующих факторов.

Этап 2. Определение отсутствия угрозы авиационного происшествия. Если угроза происшествия отсутствует, то осуществляется переход в конец программы.

Этап 3. Если условие по этапу 2 не выполняется, то осуществляется процедура определения переменных, влияющих на авиационное происшествие, сравнения их с эталонными значениями, а также со значениями переменной условия полета ВС.

Этап 4. Выполняется формирование способа парирования угрозы происшествия в соответствии с набором правил для текущей угрозы с последующим выводом рекомендаций и команд управлений в системы комплекса бортового оборудования.

Этап 5. Выполняется передача данных по способу парирования угрозы авиационного происшествия под воздействием текущих значений переменных,

влияющих на безопасность полета, представленная в форме команды, поступающей на вход систем оповещения и управления комплекса бортового оборудования ВС.

Структура набора правил по парированию угрозы АП имеет вид:

ПРАВИЛО <#>:
ЕСЛИ “ $Z=\{k_i\}$ ” И “ $X_{1j}=\{f_i, k_i\}$ ” И “ $X_{2j}=\{f_i, k_i\}$ ” И “ $X_{3j}=\{f_i, k_i\}$ ” ТО “ $Y=\{g_i\}$ ”, (1)

где Z – переменная, характеризующая условия полета ВС;

$X_{1j}, X_{2j}, X_{3j}, X_{4j}$, – входные переменные системы управления безопасностью полетов;

f_i, k_i – значения входных переменных;

Y – выходная переменная блока принятия решений (действие по парированию угрозы АП);

g_i – значение выходной переменной.

Из представленного набора правил видно, что при наличии отказов систем управления воздушного судна и ухудшении погодных условий полета может возникать аварийная ситуация, парируемая пилотом. Если в процессе полета произошло ухудшение психофизического состояния экипажа и погодных условий при исправном техническом состоянии объекта управления, то аварийная ситуация парируется системой управления безопасностью полета ВС.

Необходимо отметить, что выходная переменная набора правил характеризует действия экипажа, сигналы его информирования, а также автоматическую реконфигурацию систем управления судном. При этом состав набора правил зависит от объекта управления, его бортового оборудования, выполняемых функций и определяется в процессе разработки системы управления безопасностью полета ВС.

Оценка работоспособности программно-алгоритмического обеспечения системы осуществляется по результатам:

- регистрации данных, формируемых системой и выдаваемых в средства бортовой индикации и оповещения экипажа (команды наличия и парирования угрозы авиационного происшествия) [8];

- наличие / отсутствию индикации активности системы;

- регистрации сигналов, формируемых устройствами предварительной обработки информации и поддержки принятия решений: нормированные значения входных сигналов, текущие и прогнозируемые условия пролета воздушного судна, команды по парированию угрозы авиационного происшествия.

Достоверность полученных результатов подтверждается их соответствием данным, указанным в требованиях к системе, а также к ее аппаратному и программному обеспечению.

Наземные испытания системы управления безопасностью полета воздушного судна содержат следующие этапы:

1. Подключение системы управления безопасностью полета к имитаторам информационно-измерительных устройств бортового оборудования объекта управления.

2. Передача информации от сопрягаемого оборудования на вход системы.

3. Регистрация и запись выходной информации системы.

4. Оценка работоспособности программно-аппаратного обеспечения системы на основании сравнения текущих и заданных значений выходных переменных системы и ее устройств.

5. Повторение п. 2 в условиях имитации отказа сопрягаемого оборудования и функциональных элементов системы.

6. Повторение п. 3 и 4 испытания системы управления безопасностью полета.

Согласно представленной методике наземные испытания системы осуществляются в штатном режиме работы, в условиях отказа сопрягаемого оборудования, а также ее функциональных элементов. В процессе испытания оператором задаются различные условия полета воздушного судна и взаимодействия системы с комплексом бортового оборудования. При этом отказы системы и сопрягаемого оборудования задаются с экрана персонального компьютера оператора, а также разрывом линий соединения системы с комплексом бортового оборудования.

Оценка работоспособности системы в условиях собственных отказов и отказов бортового оборудования воздушного судна производится:

- по наличию / отсутствию команд системы, способных привести к катастрофической или аварийной ситуации полета объекта управления;
- по наличию / отсутствию индикации отказов системы;
- по достоверности данных, выдаваемых в сопрягаемые системы.

Таким образом, наземные испытания системы управления безопасностью полета воздушного судна позволяют выявить ее достоинства и недостатки в различных условиях эксплуатации, определить соответствие заданным требованиям ее программно-аппаратного обеспечения. Предложенная методика испытаний может быть использована на этапе предварительных испытаний системы в процессе выполнения опытно-конструкторских работ по ее созданию.

3. Разработка стенда наземных испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна

Как правило, разработка новой авиационной техники связана с созданием программно-аппаратных средств ее испытаний на различных стадиях цикла проектирования. Поэтому для наземных испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна в соответствии с предлагаемой методикой необходимо выполнить разработку стенда, структурная схема которого представлена на рис. 2.

Наличие стенда наземных испытаний системы позволяет:

- апробировать схемотехнические решения, принятые в процессе ее создания;
- исследовать алгоритмы оценки и парирования угрозы авиационного происшествия;
- провести исследования системы на отказобезопасность;
- выполнить отработку реконфигурации системы в условиях ее отказа;
- проверить адекватность разработанной логики работы и контроля системы.

Таким образом, стенд наземных испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна должен обеспечивать решение широкого круга задач в реальном масштабе времени. Поэтому вычислительная часть стенда строится как многомашинный комплекс, состоящий из ПЭВМ различной конфи-

гурации, связанных между собой в локальную сеть, работающую в реальном масштабе времени.

Из структурной схемы видно, что система управления безопасностью полета воздушного судна подключается к оборудованию стенда по цифровым линиям связи Ethernet аналогично подключению к комплексу бортового оборудования судна [12]. Стенд наземных испытаний содержит имитаторы информационно-измерительных систем воздушного судна, его математическую модель, датчик реакции зрачка. Соединение датчика реакции зрачка с системой осуществляется через блок преобразования сигналов.

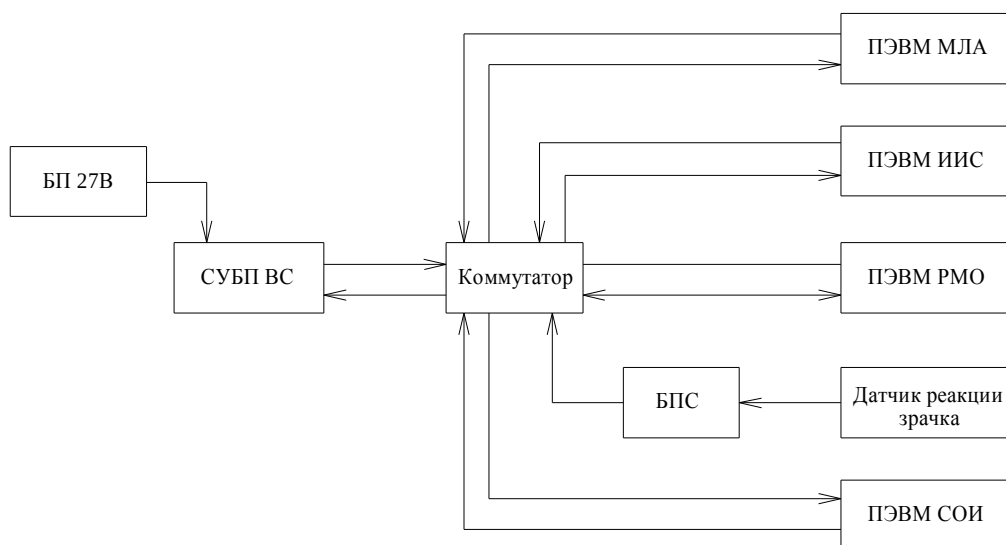


Рис. 2. Структурная схема стенда наземных испытаний СУБП ВС:

СУБП ВС – система управления безопасностью полета воздушного судна; БП 27 В – блок питания 27 В; ПЭВМ МЛА – персональная электронно-вычислительная машина модели летательного аппарата; ПЭВМ ИИС – персональная электронно-вычислительная машина информационно-измерительных систем; ПЭВМ СОИ – персональная электронно-вычислительная машина систем отображения и индикации; ПЭВМ РМО – персональная электронно-вычислительная машина рабочего места оператора; БПС – блок преобразования сигналов

ПЭВМ модели летательного аппарата обеспечивает отображение и регистрацию данных об объекте управления на основе математических моделей аппарата и условий его полета. В свою очередь, ПЭВМ информационно-измерительных систем обеспечивает имитацию сигналов измерительных систем комплекса бортового оборудования ВС, поступающих на вход системы управления безопасностью полета. Отображение и запись оценки условий полета, работоспособности системы и деградации ее функций выполняются в ПЭВМ систем отображения и индикации. Имитация отказов программно-аппаратного обеспечения системы выполняется с ПЭВМ рабочего места оператора отключением функций устройств системы, а также разрывом соединения системы с сопрягаемым оборудованием и имитацией его отказов.

Взаимодействие между устройствами стенда осуществляется по локальной вычислительной сети, пропускная способность которой составляет 100 Мбит/с.

Стенд может работать в режиме проверки работоспособности и оценки безопасности системы. В первом случае осуществляется отработка алгоритмов оценки и парирования угрозы авиационного происшествия программными сред-

ствами стендовой аппаратуры. Во втором – оценивается степень влияния отказов системы управления безопасностью полетов, а также отказов оборудования, сопрягаемого с ней, на безопасность полета воздушного судна.

Таким образом, стенд наземных испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна может быть использован для проверки работоспособности ее программно-аппаратного и алгоритмического обеспечения в различных полетных условиях.

4. Результаты наземных испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна

В процессе выполнения работы проведены испытания программного обеспечения системы управления безопасностью полета воздушного судна в части оценки угрозы авиационного происшествия и выдачи рекомендаций экипажу по ее парированию. В первом случае осуществляется оценка программного обеспечения устройства предварительной обработки информации, которое получает информацию, характеризующую состояние внешних и внутренних факторов, влияющих на безопасность полета ВС, и на основании методов нечеткой логики формирует вывод об угрозе авиационного происшествия.

Затем устройство поддержки принятия решений экипажем ВС по данным угрозы авиационного происшествия и воздействующим факторам безопасности полета формирует сигналы ее нейтрализации с последующей выдачей экипажу через бортовые средства оповещения, а также ее парирования системами автоматического управления воздушного судна.

Особенностью программного обеспечения устройства поддержки принятия решений экипажем ВС является разделение набора правил принятия решений по группам в зависимости от угрозы авиационного происшествия.

На рис. 3 представлены результаты отработки программного обеспечения системы по определению угрозы авиационного происшествия.

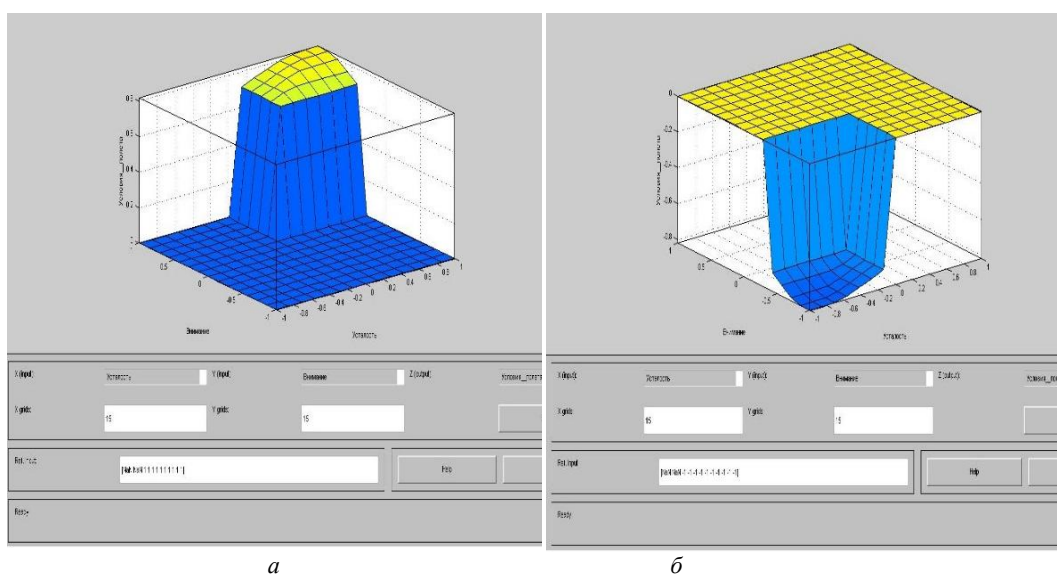


Рис. 3. Характеристика результатов испытания программного обеспечения устройства предварительной обработки информации СУБП ВС

При испытании устройства предварительной оценки угрозы авиационного происшествия получены следующие состояния:

– при лингвистических переменных, равных «1», значение условий полета составляет «0,8», что соответствует безаварийному режиму полета, следовательно, угроза авиационного происшествия отсутствует (рис. 3а);

– при лингвистических входных переменных, равных «-1», значение условий полета составляет «-0,8», что соответствует катастрофическому условию полета, т. е. под влиянием совокупности воздействующих факторов создается угроза катастрофического происшествия (рис. 3б).

На основе полученных данных об угрозе авиационного происшествия проведены испытания программного обеспечения устройства поддержки принятия решений экипажем, разработанного в т. ч. с использованием языка программирования искусственного интеллекта высокого уровня Prolog; результаты представлены на рис. 4–5.

```

C:\USERS\ALEXEY\APPDATA\LOCAL\TEMP\GOAL$000.EXE
Uslovia poleta
1. Uslovia poleta bezavarinie
2. Uslovia poleta sloznie
3. Uslovia poleta avarinie
4. Uslovia poleta katastroficheskie
5. Vihod iz program.

=>1
x11=f1-ustalost nizkay1. Yes
1x12=k1-vnimanie visokoe1. Yes
1x13=f1-uroven kompetencii vysokiy1. Yes
1x14=k1-stressa net1. Yes
1x21=f1-otkazov net1. Yes
1x22=k1-deformacii net1. Yes
1x23=f1-upravliaemost visokay1. Yes
1x24=k1-neznacitelnay oshibka P.0.1. Yes
1x31=f1-ustrechniy veter slabiy1. Yes
1x32=k1-vidimost horoshay1. Yes
1x33=f1-bokovoy veter slabiy1. Yes
1Ugroza AP otsutstvuet
  
```

Рис. 4. Характеристика результатов испытаний системы поддержки принятия решений при безаварийных условиях полета ВС

```

C:\USERS\ALEXEY\APPDATA\LOCAL\TEMP\GOAL$000.EXE
Uslovia poleta
1. Uslovia poleta bezavarinie
2. Uslovia poleta sloznie
3. Uslovia poleta avarinie
4. Uslovia poleta katastroficheskie
5. Vihod iz program.

=>4
x11=f2-ustalost srednia1. Yes
1x12=k3-vnimanie nizkoe1. Yes
1x13=f2-uroven kompetencii sredniy1. Yes
1x14=k3-stressa srednie1. Yes
1x21=f3-otkazov katastroficheskoy1. Yes
1x22=k4-deformacii kriticheskoy1. Yes
1x23=f3-upravliaemost nizkay1. Yes
1x24=k4-kriticheskay oshibka P.0.1. Yes
1x31=f2-ustrechniy veter sredniy1. Yes
1x32=k2-vidimost plohay1. Yes
1x33=f2-bokovoy veter sredniy1. Yes
1Ugroza AP. Signalizacia ekipagu. Pokinut sudno
  
```

Рис. 5. Характеристика результатов испытаний системы поддержки принятия решений при катастрофических условиях полета ВС

На основании результатов численного моделирования можно определить соответствие набора правил устройства поддержки принятия решений критериям полноты и отсутствия противоречивости в соответствии с методиками, представленными в работах [13–15]. Так, индекс полноты равен единице, что соответствует учету всех возможных состояний входных переменных и изменений условий полета. В свою очередь, индекс противоречивости меньше 0,4 единиц характеризует отсутствие противоречивости между выходными переменными набора правил поддержки принятия решений при одинаковых значениях входных переменных.

Из информации, представленной на рис. 4–5, следует, что устройство поддержки принятия решений способно формировать рекомендации экипажу по действиям в условиях угрозы авиационного происшествия через средства бортовой индикации и сигнализации воздушного судна.

Таким образом, в результате испытаний системы управления безопасностью полета ВС установлено, что его программное обеспечение является работоспособным и может быть использовано в дальнейшей разработке системы, а также устройств подобного класса.

Заключение

В результате выполнения работы предложена методика наземных испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна, которая позволяет оценить работоспособность программно-аппаратных решений, принятых в процессе ее реализации. Особенностью методики является возможность апробации технических решений по созданию систем управления безопасностью полета в штатном режиме работы системы и в условиях отказа комплекса бортового оборудования. Реализация методики выполняется на специализированном стенде, позволяющем провести имитацию условий полета воздушного судна, функционирование комплекса бортового оборудования, регистрацию выходных переменных системы и ее устройств.

Оценка работоспособности программно-аппаратного обеспечения системы осуществляется на основании соответствия ее выходных переменных заданным значениям, указанным в требованиях на систему, ее программное и аппаратное обеспечение.

Полученные результаты могут быть успешно применены в дальнейшем проектировании систем управления безопасностью полета воздушного судна на этапе их наземных и предварительных испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов Ю.В. Показатели безопасности авиационных полетов [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». – 2014. – № 6 (58). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-6/10-06-14.ttb.pdf> (дата обращения: 12.08.2019).
2. Шевченко А.М., Начинкина Г.Н., Солонников Ю.И. Моделирование средств информационной поддержки пилота на этапе взлета самолета // Труды Московского института электромеханики и автоматики (МИЭА). – 2012. – № 5. – С. 54–64.
3. Технология предупреждения выкатывания самолета за пределы ВВП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ato.ru/content/tehnologii-dlya-preduprezhdeniya-vykatyvaniya-vozdushnogo-sudna-za-predely-vpp> (дата обращения 12.08.2019).
4. Патент на изобретение РФ № 220544 G05D1/00 Способ поддержки оператора в опасных ситуациях / Сухолитко В.А. Правообладатель: Сухолитко В.А. Дата публикации: 03.05.2017.
5. Патент на изобретение РФ № 2339547 B64D 45/00 Автоматизированная высокоинтеллектуальная система обеспечения безопасности полета летательного аппарата / Берестов Л.М., Ха-

- рин Е.Г. и др. Правообладатель: Федеральное государственное унитарное предприятие «Летно-исследовательский институт имени М.М. Громова». Дата публикации: 27.11.2008.
6. Reece Clothier The safety risk management of unmanned aircraft systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.researchgate.net/publication/255853556_The_Safety_Risk_Management_of_Unmanned_Aircraft_Systems (дата обращения: 12.08.2019).
 7. *Большаков А.А., Кулик А.А., Сергушов И.В., Скрипаль Е.Н.* Разработка системы управления безопасностью полета летательного аппарата // Мехатроника, автоматизация и управление. – 2016. – № 10. – Т. 17. – С. 708–715.
 8. *Большаков А.А., Кулик А.А., Сергушов И.В., Скрипаль Е.Н.* Разработка метода прогнозирования авиационного происшествия летательного аппарата // Мехатроника, автоматизация и управление. – 2018. – № 6. – Т. 19. – С. 416–423.
 9. Самолет-амфибия Бе-200ЧС. Руководство по летной эксплуатации. Кн. 2. – 2003.
 10. *Шушпанов Н.А., Линник М.Ю., Ковязин И.О.* Перспективные интегрированные вычислительные комплексы вертолетов // Авиакосмическое приборостроение. – 2012. – № 2. – С. 27–32.
 11. Интегрированная модульная авионика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// modern-avionics.ru/analytics/2014/modern-role-of-avionics/part-2/](http://modern-avionics.ru/analytics/2014/modern-role-of-avionics/part-2/) (дата обращения 12.08.2019).
 12. Протоколы и услуги, основанные на Интернет // Авиационная сеть данных. Ч. 3. – М., 2011. – 94 с.
 13. *Куклев Е.А.* Управление безопасностью полетов воздушных судов на основе нечетких оценок рисков возникновения нештатных условий полетов // Научный вестник МГТУ ГА. – 2016. – № 226. – С. 199–205.
 14. *Резчиков А.Ф. [и др.].* Диагностика опасных состояний операторов при критических сочетаниях событий в человеко-машинных системах // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2017. – № 8 (158). – С. 48–56.
 15. *Проталинский О.М.* Применение методов искусственного интеллекта при автоматизации технологических процессов: монография. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2004. – 183 с.

Статья поступила в редакцию 1 сентября 2019 года

DEVELOPMENT OF METHODS FOR TEST OF AIR FLIGHT SAFETY SYSTEM

A.A. Kulik

JSC Design Bureau of Industrial Automation
239, Bolshaya Sadovaya st., Saratov, 410005, Russian Federation

E-mail: kulikalekse@yandex.ru

Abstract. The paper provides a methodology for ground testing of an aircraft flight safety management system. The technique proposed by the author allows us to evaluate the operability of the software and hardware of the system in the normal mode of its operation, as well as in the conditions of failure of interacting equipment. Particular attention is paid to the description of the test bench for the system, which contains simulators of the aircraft avionics complex and the model of the aircraft, which provides ground-based tests of the system under various operating conditions. The flight conditions of the aircraft and the condition of its on-board equipment are set by the operator of the ground test bench of the system using specialized software and auxiliary test hardware. In the process of testing, the input and output variables of the system are registered with their display at the operator's workplace. Using the registered variables, it is possible to evaluate the operability of the software and hardware of the aircraft flight safety management system. The presented methodology for ground tests of the aircraft flight safety control system can be applied in the process of developing systems of this class at the stage of their preliminary tests.

Aleksey A. Kulik (Ph.D. (Techn.)), Systems Engineer.

Keywords: flight safety management system, ground testing, fail-safe.

REFERENCES

1. *Popov YU.V.* Pokazateli bezopasnosti aviatsionnykh poletov. Internet-zhurnal «Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti». 2014. № 6(58). <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-6/10-06-14.ttb.pdf> (data obrashcheniya: 12.08.2019).
2. *Shevchenko A.M., Nachinkina G.N., Solonnikov YU.I.* Modelirovaniye sredstv informatsionnoy podderzhki pilota na etape vzleta samoleta. Trudy Moskovskogo instituta elektromekhaniki i avtomatiki (MIEA). 2012. № 5. S. 54–64.
3. Tekhnologiya preduprezhdeniya vykatyvaniya samoleta za predely VVP. <http://www.ato.ru/content/tehnologii-dlya-preduprezhdeniya-vykatyvaniya-vozdushnogo-sudna-za-predely-vpp> (data obrashcheniya 12.08.2019).
4. Patent na izobreteniyе RF № 220544 G05D1/00 Sposob podderzhki operatora v opasnykh situatsiyakh / Sukholitko V.A. Pravoobladatel': Sukholitko V.A. Data publikatsii: 03.05.2017.
5. Patent na izobreteniyе RF № 2339547 B64D 45/00 Avtomatizirovannaya vysokointellektual'naya sistema obespecheniya bezopasnosti poleta letatel'nogo apparata / Berestov L.M., Kharin Ye.G. i dr. Pravoobladatel': Federal'noye gosudarstvennoye unitarnoye predpriyatiye «Letno-issledovatel'skiy institut imeni M.M. Gromova». Data publikatsii: 27.11.2008.
6. Reece Clothier The safety risk management of unmanned aircraft systems http://www.researchgate.net/publication/255853556_The_Safety_Risk_Management_of_Unmanned_Aircraft_Systems (data obrashcheniya: 12.08.2019).
7. *Bol'shakov A.A., Kulik A.A., Sergushov I.V., Skripal' Ye.N.* Razrabotka sistemy upravleniya bezopasnost'yu poleta letatel'nogo apparata. Mekhatronika, avtomatizatsiya i upravleniye. 2016. № 10. T. 17. S. 708–715.
8. *Bol'shakov A.A., Kulik A.A., Sergushov I.V., Skripal' Ye.N.* Razrabotka metoda prognozirovaniya aviatsionnogo proisshestviya letatel'nogo apparata. Mekhatronika, avtomatizatsiya i upravleniye. 2018. T. 19. № 6. S. 416–423.
9. Samolet-amfibiya Be-200CHS. Rukovodstvo po letnoy ekspluatatsii. Kniga 2. 2003.
10. *Shushpanov N.A., Linnik M.YU., Kovyazin I.O.* Perspektivnyye integrirovannyye vychislitel'nyye komplekсы vertoletov. Aviakosmicheskoye priborostroyeniye. 2012. № 2. S. 27–32.
11. Integrirovannaya modul'naya avionika. <http://modern-avionics.ru/analytics/2014/modern-role-of-avionics/part-2/> (data obrashcheniya 12.08.2019).
12. Protokoly i uslugi, osnovannyye na internet. Aviatsionnaya set' dannykh. Chast' 3. Moskva. 2011. 94 s.
13. *Kuklev E.A.* Upravlenie bezopasnost'yu poletov vozdushnykh sudov na osnove nechetkih ocenok riskov voznikoveniya neshtatnykh usloviy poletov. Nauchnyy vestnik MGTU GA. № 226. 2016. S. 199–205.
14. *Rezchikov A.F. i dr.* Diagnostika opasnykh sostoyaniy operatorov pri kriticheskikh sochetaniyakh sobytij v cheloveko-mashinnykh sistemah. Vestnik komp'yuternykh i informacionnykh tekhnologij. 2017. № 8 (158). S. 48–56.
15. *Protalinskij O.M.* Primenenie metodov iskusstvennogo intellekta pri avtomatizatsii tekhnologicheskikh processov: monografiya. Astrahan': Izd-vo AGTU. 2004. 183 s.