

УДК 629.735.33

## ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ ВОЗДУШНЫХ ПЕРЕВОЗОК

© 2012 А.А. Бутов<sup>1</sup>, М.А. Волков<sup>1</sup>, В.Д. Шаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ульяновский государственный университет

<sup>2</sup> Группа компаний «Волга-Днепр», г. Москва

Поступила в редакцию 05.10.2012

Проблема прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий является актуальной как в российской, так и в мировой гражданской авиации. В связи с этим авиакомпаниям необходим удобный и понятный инструмент для поддержки принятия решений, связанных с безопасностью полетов. Для решения подобной сложной задачи требуется разработка новых методов и моделей прогнозирования и оценивания рисков, проведения математического и компьютерного имитационного моделирования на основе эффективных методов теории вероятностей и математической статистики. В работе представлены принципы разработки системы прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий. Ключевые слова: система прогнозирования, оценка риска, авиационное происшествие, методы оценивания.

### ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние проблем разработки математических моделей оценивания рисков и построения оптимальных алгоритмов функционирования системы прогнозирования и предотвращения авиационных инцидентов и происшествий определяется с одной стороны уровнем развития математических методов, а с другой – потребностями прикладной области, развитие которой претерпевает постоянное ускорение и ведет к качественному и структурному усложнению исследуемого объекта.

Существенное развитие математических вероятностных методов оценивания риска началось с периода т.н. аналитических методов, которые позволили в середине 20-го века для задач развивающихся уже сложных технологически систем (в т.ч. во многом связанных с авиацией) создавать и формировать алгоритмизуемые методы (которые на том этапе развития воплощались аппаратно аналоговыми устройствами). Следующий – продолжающийся в настоящее время – этап развития методов оценивания вероятностей рисков событий связан с элементами цифровых технологий – возникновением микропроцессорной, вычислительной (в т.ч. многопроцессорной – что оказалось

обязательным условием для ряда задач) техники и сетевых технологий. Если причины и объекты анализа рисков ситуаций достаточно очевидны, то материальные основы для возможности развития прикладных вероятностных методов прогнозирования и оценивания помогает определить не только возможности, но и трудности или пределы реализуемости при построении системы прогнозирования. На современном этапе вероятностные методы, во многом обслуживая такие прикладные задачи, «не успевают» в своем развитии: не являются полными, универсальными, зачастую не вполне адекватны, трудно алгоритмизуемы и т.п. Именно поэтому в каждом конкретном случае возникает потребность дополнительного (или даже самостоятельного либо независимого) построения очередных новых вероятностных моделей и адаптации существующих (либо создания элементов новых) методов в их описании, исследовании и – главное – использовании.

В 2010 году группа компаний «Волга-Днепр» совместно с Ульяновским государственным университетом приняла участие в конкурсе комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства в рамках постановления Правительства РФ № 218. По решению конкурсной комиссии Минобрнауки России проект «Автоматизированная система прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок» (АСППАП) был поддержан и начато его финансирование.

Для создания авиакомпаниям (АК) удобного и понятного инструмента для поддержки принятия решений, связанных с безопасностью полетов, требуется разработка новых методов и

*Бутов Александр Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой.*

*E-mail: pm@ulsu.ru, butov@mc.ru*

*Волков Максим Анатольевич, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой.*

*E-mail: volkov\_max@hotmail.ru*

*Шаров Валерий Дмитриевич, кандидат технических наук, заместитель директора Департамента предотвращения авиационных происшествий.*

*E-mail: V.Sharov@Volga-Dnepr.com*

моделей прогнозирования и оценивания рисков, проведения математического и компьютерного имитационного моделирования на основе эффективных методов теории вероятностей и математической статистики.

Целью проекта является разработка нового класса математических моделей прогнозирования и количественного оценивания рисков, практическая реализация которых повысит безопасность воздушных перевозок за счет перехода к превентивной системе управления рисками с использованием программных средств и способов предотвращения авиационных событий. Важное значение имеет разработка и развитие новых методов прогнозирования и оценки рисков на основе знаний о состоянии разнородных ресурсов, таких как человеческий (летно-технический персонал), технический (состояние воздушного судна и его компонентов), а также естественной и искусственной сред (метеопрогноз, аэронавигационные условия, военно-политическая обстановка аэропортов вылета и посадки и т.п.). Алгоритмы, разработанные на основе новых методов и моделей, используются для создания автоматизированной системы – средства поддержки принятия решений по превентивному реагированию на вероятные происшествия, управлению рисками при условии поступления данных в реальном времени, а также оптимальному распределению ресурсов компаний для поддержания приемлемого уровня безопасности полетов с учетом имеющихся у авиакомпании ограничений по экономическим, материальным и человеческим ресурсам на основе анализа факторов «Человек», «Машина», «Среда» и их взаимодействия.

Исходной информацией для разработки методов и моделей являются ресурсные и технические характеристики систем воздушного судна, профессиональные, медицинские и усталостные характеристики летного экипажа, показатели искусственной и естественной среды, данные внешних открытых источников (отраслевая статистика, метеопрогноз и др.).

Разработанный математический, прогностический и алгоритмический инструментарий, направленный на моделирование ситуаций с учетом комплексного влияния групп факторов «Человек», «Машина», «Среда», а также их программная реализация, найдёт применение не только в определении причин возникновения авиационных событий, но и в других общих задачах теории случайных процессов, теории оценивания и оптимального управления, теории динамических систем, при оценке вероятности аварий, катастроф, стихийных бедствий и их последствий.

Принципы разработки системы прогнозирования обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях и опубликованы в работах [1] – [7].

### **СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ**

Результатами работы разрабатываемой автоматизированной системы прогнозирования являются следующие:

1) оперативный прогноз вероятности авиационных событий в предстоящем полете с указанием факторов опасности (угроз) и их сочетаний и возможностью корректировки прогноза с учетом предлагаемых вариантов управленческих решений;

2) долгосрочный прогноз периодов критической вероятности авиационных происшествий (АП) с указанием факторов опасности (угроз) и их сочетаний и возможностью корректировки прогноза с учетом принимаемых управленческих решений;

3) количественная оценка рисков для безопасности полетов в стоимостной и натуральной форме на основе анализа информации об эксплуатационной деятельности авиакомпании;

4) мониторинг принятых в авиакомпании показателей уровня безопасности полетов и предотвращения авиационных происшествий (БП и ПАП) с обеспечением автоматизированной процедуры расчета текущих и директивных уровней;

5) формирование проектов управленческих решений по БП и ПАП, с оценкой их эффективности и создания информационной системы их учета и контроля.

На основе проведенного анализа ранее разработанных программных систем, связанных с прогнозированием авиационных событий и оцениванием рисков, а также в соответствии с утвержденными техническими требованиями к результатам выполнения комплексного проекта построена диаграмма, описывающая процесс прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий, представленная на рис. 1.

### **МОДЕЛИ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГНОЗОВ**

Для построения оперативных прогнозов используются деревья событий – экспертно сформированные цепочки из взаимно зависимых промежуточных событий (которые могут привести к авиационным событиям) на основе причинно-следственных связей, образующих уровневую структуру (рис. 2). В качестве весовых коэффици-

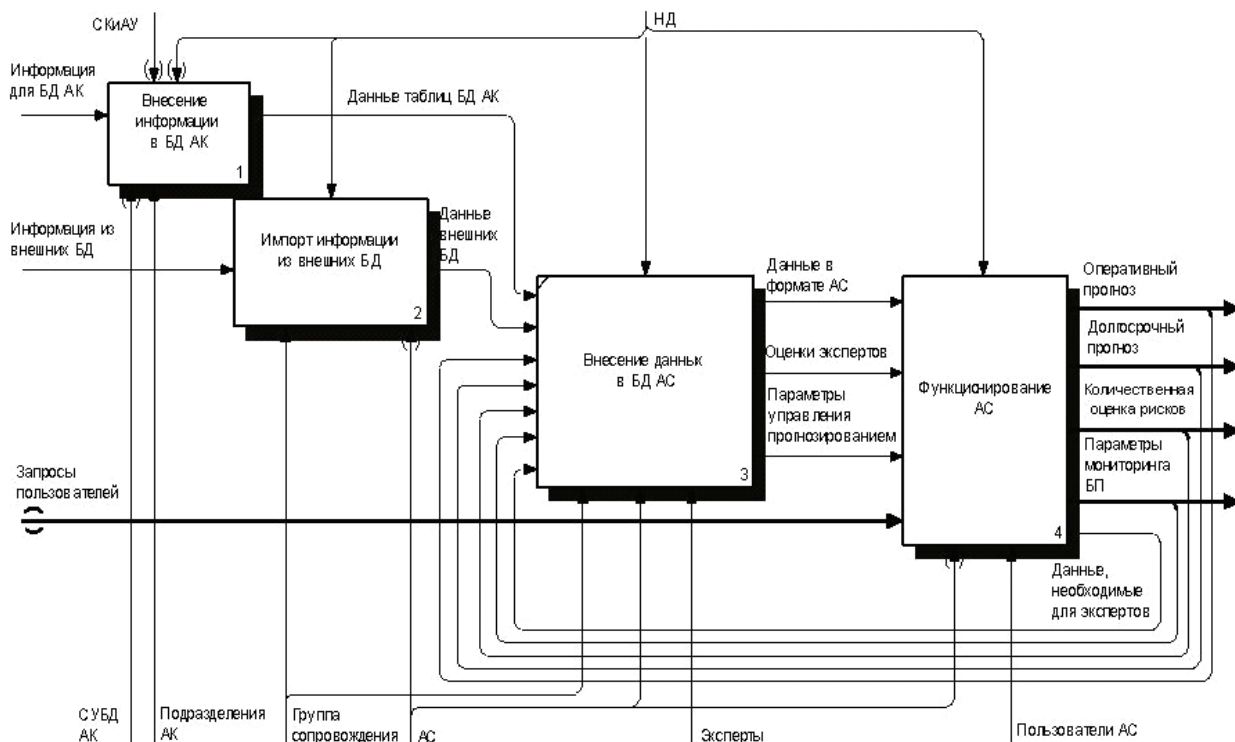


Рис. 1. Обобщенная диаграмма процесса прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий

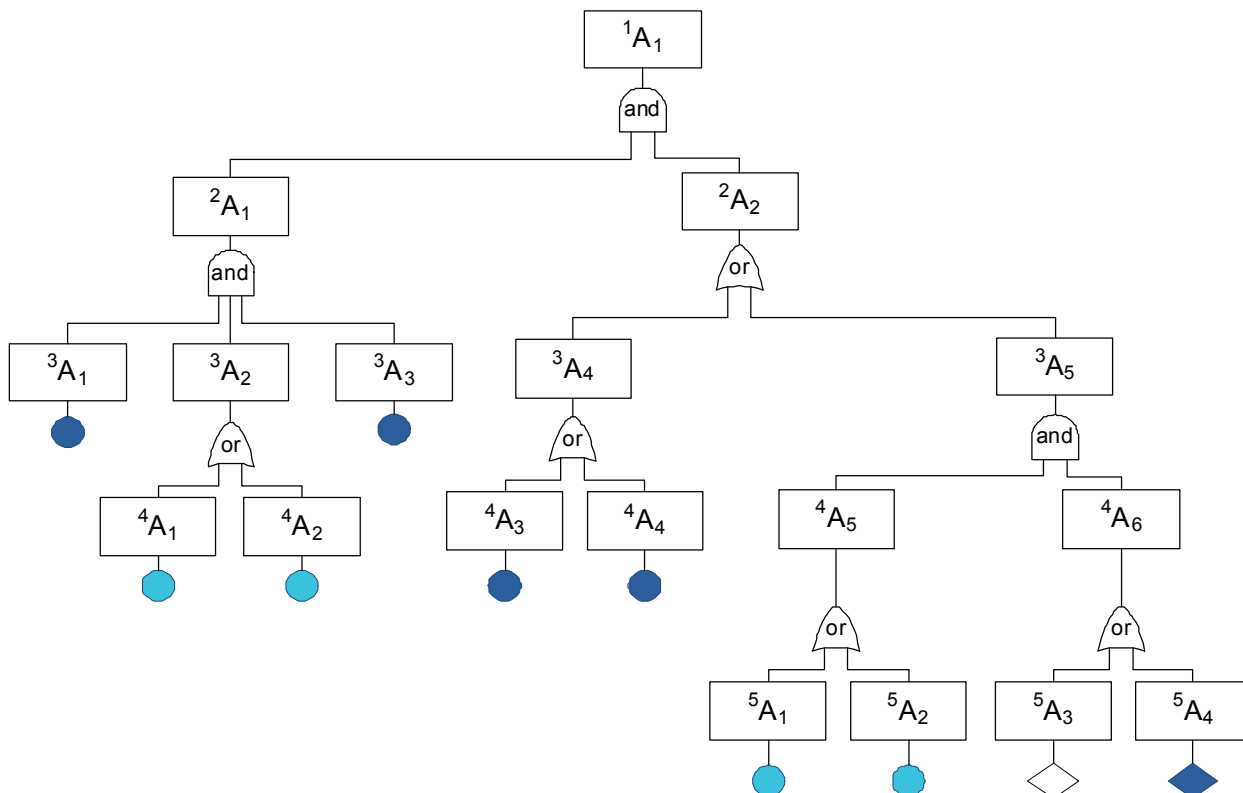


Рис. 2. Дерево событий – уровневая структура представления установленных причинно-следственных связей факторов опасностей

циентов для каждого из событий принимаются статистические, экспертные, а в случае их отсутствия – адаптивно сформированные алгоритмом значения. Для вычисления мер базовых событий используются независимые наборы статистичес-

ких данных измерений показателей по факторам «Человек», «Машина», «Среда», представленные в векторном или скалярном виде.

Классификатор событий сформирован по группам часто встречаемых в мировой статистике

типам авиационных событий (в проекте рассматривается 12 типов авиационных событий). Для каждого типа событий разрабатывается дерево, на основе которого вычисляется оценка вероятности авиационного события соответствующего типа. По структуре цепочек причинно-следственных связей, значениям весовых коэффициентов и мер событий рекуррентно вычисляется оценка вероятности авиационного события. Оценки накапливаются, и система адаптивно настраивается по результатам эксплуатации.

Построение долгосрочного прогноза предполагает нахождение периодов критической вероятности, т.е. определение момента времени, когда вероятность возникновения авиационных происшествий достигнет установленной критической границы по совокупности факторов «Человек», «Машина» и «Среда» с выделением доминирующего фактора в этой угрозе. В системе определение моментов пересечения границы отслеживается отдельно по каждому фактору с указанием доминирующих причин возникновения событий. Вероятность рассчитывается на основе предыстории случившихся событий или изменений наблюдаемых явлений за выбранный период оценивания. При этом для каждого фактора реализован отдельный метод долгосрочного прогнозирования. Для фактора «Машина» главным является отслеживание авиационных происшествий по причине отказов технических систем воздушных судов

(ВС) на основе выявленных в ходе эксплуатации и обслуживания отказов и неисправностей узлов и агрегатов ВС. Разработаны методы оценивания углов наклона трендов процесса накопления событий и моментов их существенного изменения (моментов разладок), непараметрические методы оценивания условных распределений вероятностей моментов наступления событий, методы оценивания ошибок прогнозирования. Учет сезонных изменений параметров и характеристик, а также особенностей географического расположения аэродромов являются основными для фактора «Среда». Составлены соотношения, позволившие в режиме имитационного моделирования построить прогнозы, подверженные долгосрочным циклическим изменениям. Для фактора «Человек» разработаны сдвиговые корреляционные методы оценивания изменения распределения возрастов и численности летного состава с учетом их квалификационных характеристик. Принцип построения прогнозов в автоматизированной системе представлен на рис. 3.

### МОДЕЛЬ ОПИСАНИЙ РАСЧЕТОВ РИСКА

При определении риска для безопасности в стоимостной и натуральной форме определяется средний ожидаемый ущерб на 1 час полета (а также на полет) по данным эксплуатационной деятельности авиакомпании, на основе ми-

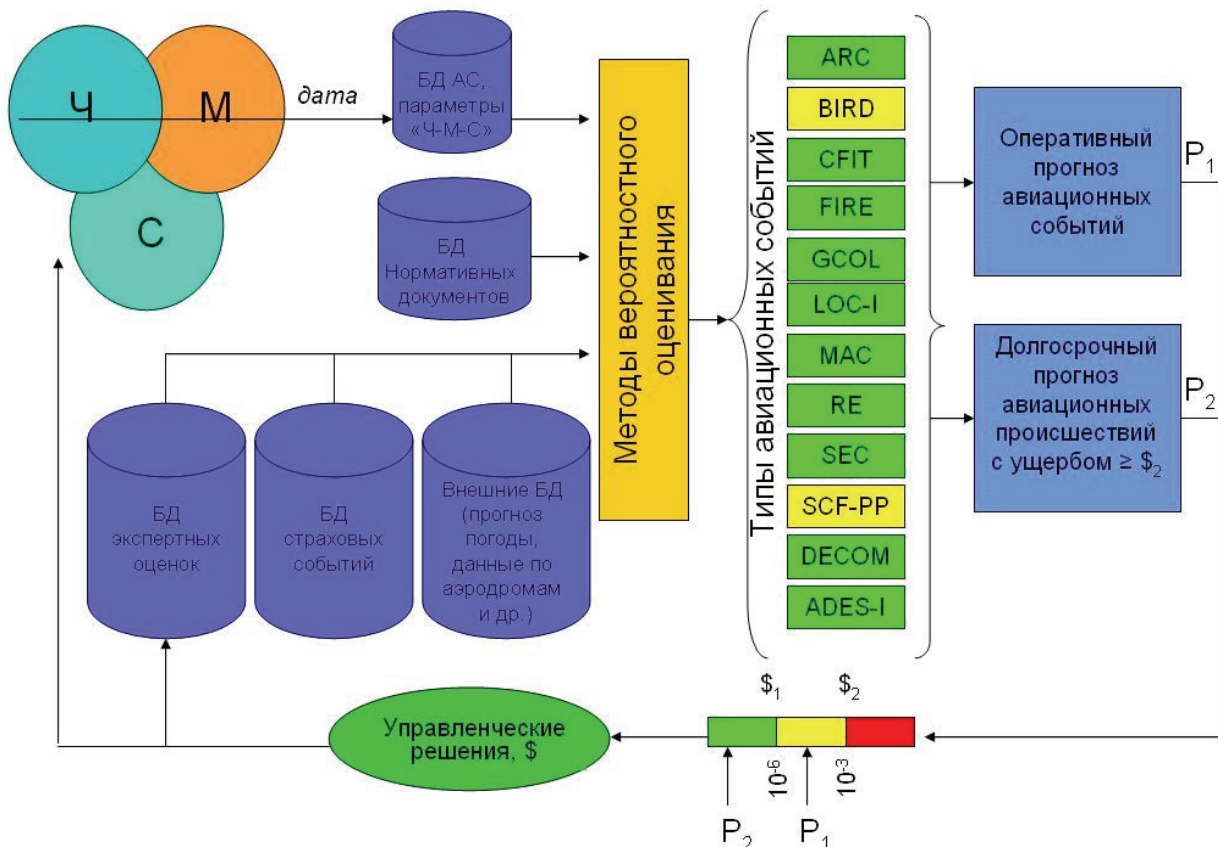


Рис. 3. Принцип построения прогнозов в автоматизированной системе

ровой статистики страховых выплат ущербов от авиационных происшествий и экспертного оценивания отсутствующих данных. При этом в качестве риска рассматривается совокупность произведений потерь от авиационных происшествий и их вероятностей. В автоматизированной системе предусмотрен выбор управленческих решений из утвержденного набора с оценкой их эффективности для коррекции риска

при прогнозировании. Оценка эффективности решений проводится на основе сравнения предотвращенного ущерба и стоимости мероприятий по этому решению.

### ФУНКЦИИ МОДУЛЕЙ СИСТЕМЫ

Детализованный перечень продуктов системы представлен в табл. 1.

**Таблица 1.** Перечень продуктов автоматизированной системы

№	Результат	Продукты
1	Оперативный прогноз	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка вероятности возникновения авиационного события в предстоящем полете по 12 типам авиационных событий.</li> <li>2. Количественная оценка риска каждого из 12 типов авиационных событий в предстоящем полете в стоимостной и натуральной форме.</li> <li>3. Интегральная количественная оценка риска безопасности предстоящего полета в стоимостной и натуральной форме.</li> <li>3. Перечень наиболее значимых факторов опасности, обусловивших повышенную вероятность возникновения авиационного события в предстоящем полете.</li> <li>4. Перечень корректирующих мероприятий для снижения вероятности факторов опасностей (риска безопасности полетов) в предстоящем полете.</li> <li>5. Пересчет оперативного прогноза с учетом выбранных корректирующих мероприятий.</li> </ol>
2	Долгосрочный прогноз	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определение периодов критической вероятности АП на глубину прогноза 3 года с дискретностью 1 месяц.</li> <li>2. Количественная оценка риска АП в стоимостной и натуральной форме на глубину прогноза 3 года с дискретностью 1 месяц.</li> <li>3. Оценка вероятности возникновения АП по причине фактора «Человек» с учетом влияния сезонных параметров фактора «Среда».</li> <li>4. Оценка вероятности возникновения АП по причине фактора «Машина» с учетом влияния сезонных параметров фактора «Среда».</li> <li>5. Перечень наиболее значимых факторов опасности, обусловивших повышенную вероятность возникновения АП.</li> <li>6. Перечень корректирующих мероприятий для снижения вероятности факторов опасностей (стратегического риска безопасности полетов).</li> <li>7. Пересчет долгосрочного прогноза с учетом выбранных корректирующих мероприятий.</li> </ol>
3	Количественная оценка риска	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Значения среднего ущерба по 12 типам авиационных событий, рассчитанные на основе БД страховых выплат и статистики АСОБП.</li> <li>2. Оценка вероятности возникновения авиационного события в АК на основе данных об эксплуатационной деятельности авиакомпаний за определенный период.</li> <li>3. Количественная оценка риска авиационного события в стоимостной и натуральной форме.</li> <li>3. Перечень наиболее значимых факторов опасности, обусловивших повышенную вероятность возникновения авиационного события.</li> <li>4. Перечень корректирующих мероприятий для снижения вероятности факторов опасностей (риска безопасности полетов) в среднесрочной перспективе.</li> <li>5. Пересчет прогноза с учетом выбранных корректирующих мероприятий.</li> </ol>
4	Мониторинг показателей БП АК	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Автоматизированный расчет текущих показателей уровня БП и ПАП АК.</li> <li>2. Сравнительный анализ абсолютных и относительных показателей БП и ПАП АК.</li> </ol>
5.	Информационная система управленческих решений	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Перечень корректирующих мероприятий с оценкой их стоимости и степени влияния на факторы опасности.</li> <li>2. Оценка эффективности проведенных корректирующих мероприятий.</li> <li>3. Учет и контроль выполнения принятых корректирующих мероприятий.</li> </ol>
6.	Экспертное оценивание	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Экспертное оценивание передаточных коэффициентов для 12 типов авиационных событий.</li> <li>2. Экспертное оценивание неизмеряемых параметров по факторам «Человек», «Машина» и «Среда».</li> <li>3. Экспертное оценивание стоимости и степени влияния корректирующих мероприятий на факторы опасности.</li> <li>4. Статистическая обработка результатов экспертного оценивания.</li> </ol>

### СОСТАВ СИСТЕМЫ

Автоматизированная система прогнозирования имеет модульную структуру, ее модули выполняют следующие функции:

- 1) Сбор, хранение, систематизация данных о происшедших авиационных событиях.
- 2) Сбор, хранение, систематизация данных о текущем состоянии элементов авиационно-транспортной системы (АТС) по группам факторов «Человек», «Машина», «Среда».
- 3) Расчет вероятности авиационного происшествия в предстоящем полете на основе оценки текущего состояния АТС по группам факторов «Человек», «Машина», «Среда».
- 4) Прогноз периодов критической вероятности авиационного происшествия с указанием факторов опасности (угроз).
- 5) Количественный расчет рисков для безопасности на основе анализа данных по эксплуатационной деятельности авиакомпании с указанием факторов опасности (угроз).
- 6) Автоматизированный расчет показателей уровня БП и ПАП АК.
- 7) Расчет эффективности предлагаемых управленческих решений на основе оценки предотвращенного ущерба.
- 8) Оценивание поведенческих (социально-психологических) факторов опасности. Ана-

лиз влияния эпизодического медико-биологического мониторинга.

9) Мониторинг и управление ресурсными процессами поддержания летной годности парка ВС авиакомпании, а также раннее обнаружение и прогнозирование отказов и неисправностей, непосредственно влияющих на безопасность полетов.

10) Оценивание значимости факторов опасности, связанных с искусственной и природной средой.

11) Экспертное оценивание влияния факторов опасности на вероятность авиационного события при организации и производстве воздушных перевозок.

12) Накопление и оценка типовых управленческих решений. Формирование рекомендуемых наборов управленческих решений для конкретных ситуаций с расчетом ожидаемых уровней риска.

13) Управление разработанной автоматизированной системой, включающее возможность перенастройки системы, проверки введенных данных, визуализации данных и результатов обработки (расчетов, оценивания, прогнозирования и т.д.) и взаимодействия с экспертной системой.

14) Оценивание погрешностей прогнозирования, адаптация и коррекция алгоритмов.

Главной идеей разработанной концепции информационной базы АСППАП является ее разделение на три независимые, но взаимосвязанные части (рис. 4): база данных авиакомпа-

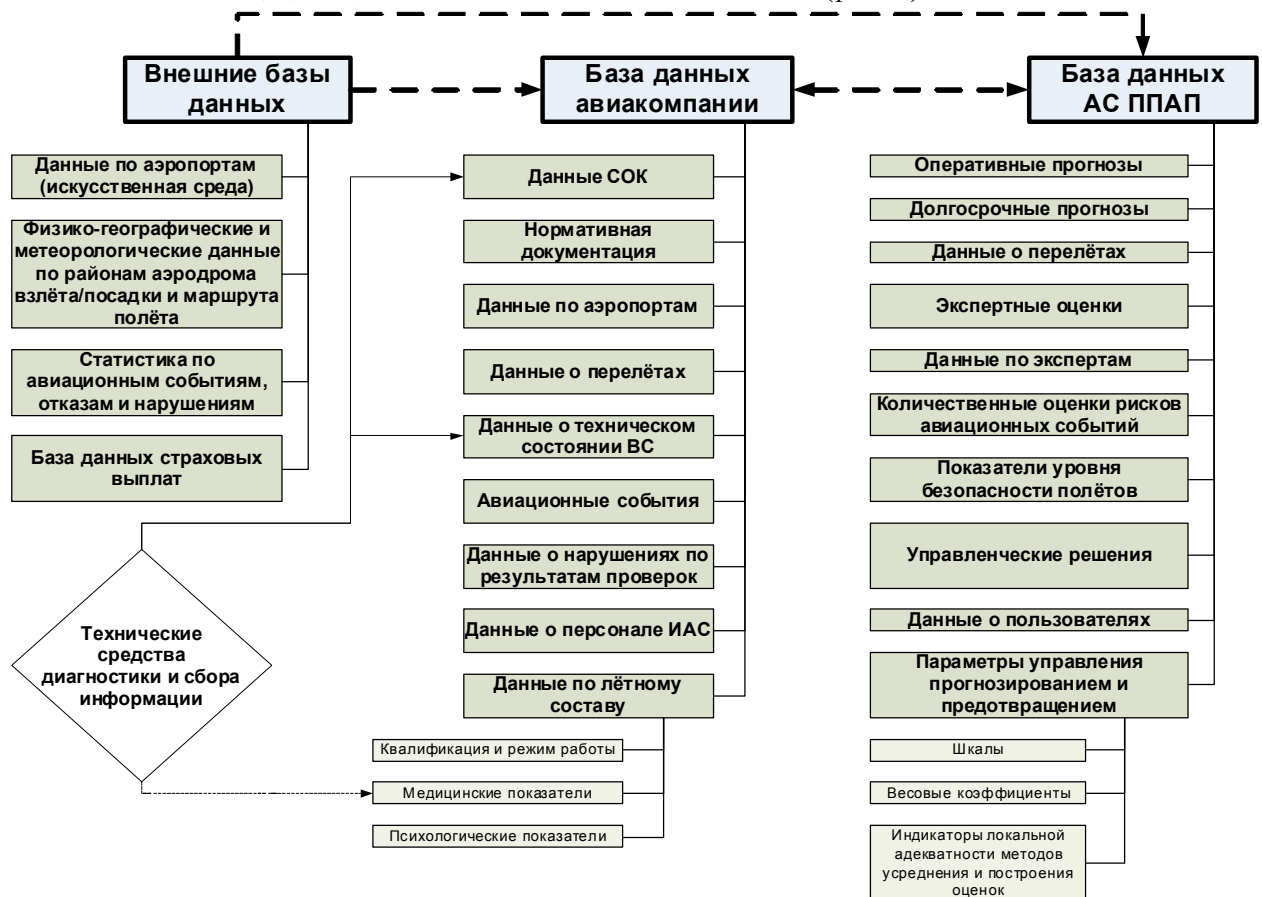


Рис. 4. Информационная БД автоматизированной системы

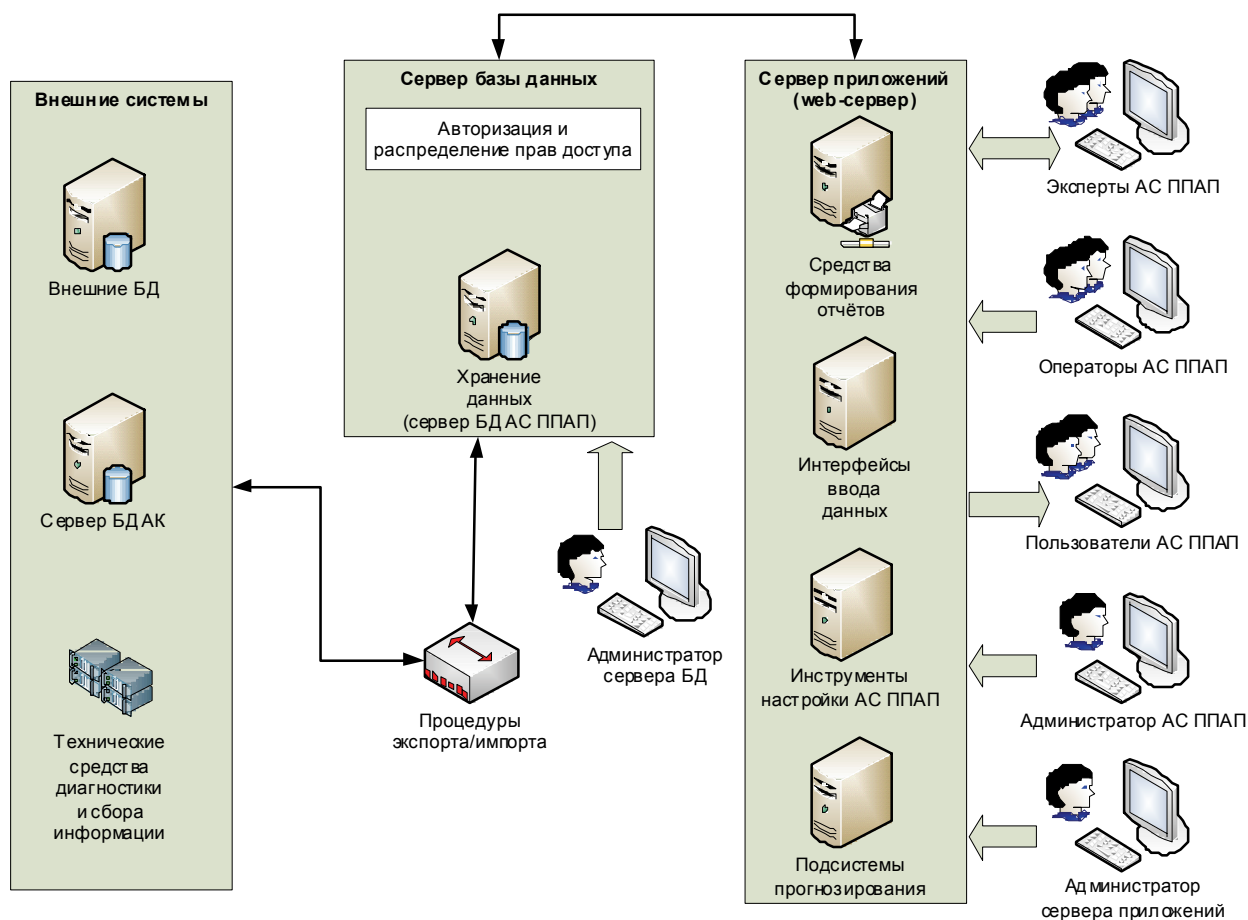


Рис. 5. Логическая и компонентная архитектура автоматизированной системы

нии, база данных АСППАП и внешние базы данных. Обмен данными между представленными базами данных осуществляется посредством процедур, функций, реализованных средствами XML документов и web сервисов. Разрабатываемая АСППАП имеет возможность подключения и других внешних баз данных.

В состав разрабатываемой системы включены следующие технологические компоненты:

- технические средства сбора статистики, с использованием которых реализуются процессы извлечения, проверки, преобразования и загрузки данных;
- сервер БД представляет собой промышленную систему управления базами данных;
- web-сервер;
- клиентские места сотрудников (получающих доступ к АС посредством технологий Intranet/Internet), представляющие собой автоматизированные рабочие места.

• процедуры экспорта/импорта представляют собой комплексное решение, с использованием которого осуществляется сопряжение с внешними системами. С их помощью реализуются процессы извлечения, проверки, преобразования и загрузки данных.

Схема технического воплощения разрабо-

танной автоматизированной системы представлена на рис. 5.

На данном этапе разработано информационное и программное обеспечение АСППАП, проводится опытная эксплуатация системы в ООО «Авиакомпания Волга-Днепр». В дальнейшем планируется внедрение АСППАП в деятельность авиакомпании Волга-Днепр, а также коммерческая реализация автоматизированной системы российским и зарубежным авиакомпаниям.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Постановления Правительства РФ № 218.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутов А.А., Орлов А.И., Шаров В.Д. Проблемы управления группой авиакомпаний // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2011): Материалы Пятой международной конференции (3-5 октября 2011 г., Москва, Россия) Том II. М.: Учреждение Российской академии наук Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, 2011. С.22-25.
2. Бутов А.А., Орлов А.И., Сирота В.В., Шаров В.Д. Принятие решений при разработке системы прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных

- перевозок // Теория активных систем: Труды международной научно-практической конференции (14-16 ноября 2011 г., Москва, Россия). Том I. Общая редакция – В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. М.: ИПУ РАН, 2011. С.112-115.
3. *Бутов А.А., Волков М.А., Раводин К.О., Соловьев М.М.* Система анализа новостных Интернет-ресурсов для вычисления угроз авиационной безопасности // Естественные и технические науки. 2011. № 5. С. 278–282.
  4. *Волков М.А., Макаров В.П., Орлов А.И., Рухлинский В.М., Санников И.А., Шаров В.Д.* Прогнозирование безопасности полетов и экономическая оценка рисков. - Стратегическое планирование и развитие предприятий. Секция 5 / Материалы Тринадцатого всероссийского симпозиума. Москва, 10-11 апреля 2012 г. [под ред. чл.-корр. РАН Г.Б. Клейнера].- М.: ЦЭМИ РАН, 2012. С.43-45.
  5. *Шаров В.Д., Макаров В.П., Орлов А.И., Волков М.А., Санников И.А., Рухлинский В.М.* Контроллинг при управлении безопасностью полетов. – Материалы II Международного Конгресса по контроллингу: выпуск №2 [под ред. С.Г. Фалько]. М.: НП «Объединение контроллеров», 2012. С.222-232.
  6. *Шаров В.Д., Макаров В.П., Орлов А.И.* Прогнозирование и предотвращение авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок // Самолетостроение России. Проблемы и перспективы: материалы симпозиума с международным участием / Самарск. гос. аэрокосм. ун-т. Самара: СГАУ, 2012. С.430-431.
  7. *Абрамов М.С., Бутов А.А., Волков М.А.* Метод прогнозирования вероятности выключения двигателя в полете по отказу // Естественные и технические науки. 2012. № 1(57). С. 337–341.

## THE PRINCIPALS OF DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF AVIATION ACCIDENTS FORECASTING AND PREVENTION AT THE ORGANIZATION AND PERFORMANCE OF FLIGHTS

© 2012 A.A. Butov<sup>1</sup>, M.A. Volkov<sup>1</sup>, V.D. Sharov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ulyanovsk State University

<sup>2</sup>Volga-Dnepr Group, Moscow

The problem of forecasting and prevention of aviation accidents is important for international aviation. Hence aviation companies need an adequate tool for flight safety decision support. For the solution of the problem the new methods and models of forecasting and risk estimation are developed on the base of stochastic simulation. In the article the new principals of development of system for forecasting and risk estimation are presented.

Key words: forecasting system, a risk estimation, aviation accident, estimation methods

---

*Alexander Butov, Dr. Sci.Phys.-Math., Professor, the Head at the Applied Mathematics Department.*

*E-mail: pm@ulsu.ru, butov@mc.ru*

*Maxim Volkov, PhD.Math., Associate Professor, the Head at the Information Technologies Department.*

*E-mail: volkov\_max@hotmail.ru*

*Valery Sharov, PhD.Tech, Deputy Director of Aviation Accident Prevention Department.*

*E-mail: V.Sharov@Volga-Dnepr.com*