

УДК 338.45

ББК 65.9.050

Ч-751

В. З. Чокой
Иркутск, Россия

ИНСТРУМЕНТЫ ПРИНЯТИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЪЕКТАМ АВИАТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКА

В последнее время части российских авиакомпаний присущи некоторые затруднения, как в экономическом аспекте, так и в аспекте безопасности полетов. Причинами такого положения являются, в том числе, недостаточный уровень эксплуатационной надежности авиационной техники и определенные проблемы в вопросах диагностики авиационной техники. Речь идет, прежде всего, о своевременном и корректном определении технического состояния воздушных судов с малыми остатками назначенного ресурса (срока службы), а также новых для авиакомпаний типов воздушных судов, по которым отсутствует должный опыт технического обслуживания.

В статье рассматриваются компьютерные инструменты, позволяющие, с учетом реальных условий и технической политики авиакомпаний, принимать решения о текущем техническом состоянии объектов авиатехники. Основу математического аппарата предлагаемых инструментов составляют: последовательный анализ по Вальду, метод Байеса, критерии статистических решений.

Ключевые слова: надежность, техническая диагностика, авиационная техника, последовательный анализ, метод Байеса, статистические решения.

V. Z. Chokoj
Irkutsk, Russia

TOOLS OF MAKING DIAGNOSTIC DECISIONS ON AIRCRAFT EQUIPMENT UNDER UNCERTAINTY AND RISK

Currently, some Russian airlines face certain difficulties both in economics and in flight safety. This is caused by, among other things, insufficient operating reliability of aviation equipment and certain problems in issues of aircraft diagnostics. First of all this concerns the well-timed correct technical diagnosis of aircraft with short residual life as well as new types of aircraft for which airlines don't have enough maintenance experience.

The article considers computer tools which enable to make decisions on the current technical condition of aircraft equipment taking into account actual conditions and technical policy of the airlines. The mathematical apparatus of the proposed tools is based on the sequential Wald-type analysis, Bayesian treatment, criteria of statistic decisions.

Key words: reliability, technical diagnosis, aviation equipment, sequential analysis, Bayesian treatment, statistic decisions.

Основными причинами, обуславливающими актуальность расчетно-информационного обеспечения вопросов диагностирования авиационной техники, являются известные проблемы российских авиакомпаний, как в экономическом аспекте, так и в аспекте безопасности полетов. Последнее проявляется в виде недостаточной эксплуатационной надежности воздушных судов и средств их обслуживания. Если материально-техническая сторона диагностики может быть признана современной и достаточной, то методическое и расчетно-информационное обеспечение диагностики таким не является. Отмеченный факт явился причиной работ на факультете Эксплуатации летательных аппаратов Иркутского филиала МГТУ ГА по формированию электронных ресурсов расчетно-информационного обеспечения диагностики авиатехники. Основным направлением здесь являются вопросы корректной интерпретации получаемой диагностической информации, в частности, вопросы принятия диагностических решений.

Формально задача принятия диагностических решений может быть отнесена к задачам классификации объектов, однако традиционные подходы к классификации (с использованием аппарата кластерного и дискриминатного анализа) в силу некоторой сложности при диагностике авиационных объектов используются редко. Более распространены упрощенные подходы, в частности:

- выбор из трех альтернатив (браковка, неопределенность, приемка) – на основе результатов замера одного диагностического параметра, с использованием аппарата последовательного анализа по Вальду;

- выбор из множества альтернатив – на основе результатов замера совокупности диагностических параметров, с использованием метода Байеса;

- выбор из двух альтернатив (приемка, браковка) – на основе результатов замера одного диагностического параметра, с использованием критериев статистических решений (минимизации числа ошибочных решений, минимизации риска, наибольшего правдоподобия, минимакса (метод итераций), Неймана-Пирсона).

Выбор решения при последовательном анализе по Вальду. Пусть имеется объект или совокупность объектов (партия) контролируемых диагностическим параметром k , для которого априорно указаны предельно большое k_{max} и предельно малое k_{min} значения. Известны вероятности ошибки первого рода (ошибочной приемки) α и второго рода (ошибочной браковки) β . Кроме того определен тип теоретического закона распределения значений k , или параметры эмпирического распределения. Тогда выбор диагностического решения сводится к построению двух линий, делящих пространство возможных решений на три области: приемки (значения k соответствуют техническим условиям); браковки (значения k не соответствуют техническим условиям); неопределенности (контроль k должен быть продолжен). После чего выбор диагностического решения по текущим значениям k по совокупности m замеров (до момента выхода из зоны неопределенности) становится тривиальным.

Не останавливаясь на способах получения линий приемки и браковки, ниже представлены расчетные зависимости применительно к распределению Гаусса

$$k_{\text{прием.}}(m) = \left(\frac{D_k}{k_{\max} - k_{\min}} \right) \cdot \ln \left(\frac{\beta}{1 - \alpha} \right) + \frac{m \cdot (k_{\max} + k_{\min})}{2},$$

$$k_{\text{брак.}}(m) = \left(\frac{D_k}{k_{\max} - k_{\min}} \right) \cdot \ln \left(\frac{1 - \beta}{\alpha} \right) + \frac{m \cdot (k_{\max} + k_{\min})}{2}$$

(где D_k – дисперсия) и к распределению Пуассона

$$k_{\text{прием.}}(m) = \frac{\ln \left(\frac{\beta}{1 - \alpha} \right)}{\ln(k_{\max}) - \ln(k_{\min})} + \frac{m \cdot (k_{\max} - k_{\min})}{\ln(k_{\max}) - \ln(k_{\min})},$$

$$k_{\text{брак.}}(m) = \frac{\ln \left(\frac{1 - \beta}{\alpha} \right)}{\ln(k_{\max}) - \ln(k_{\min})} + \frac{m \cdot (k_{\max} - k_{\min})}{\ln(k_{\max}) - \ln(k_{\min})}.$$

Выбор решения по методу Байеса. Пусть имеется объект, который может находиться в одном из n случайных технических состояний (диагнозов) D_i . Известна совокупность признаков $K = (k_1, k_2, \dots, k_\nu)$, каждый из которых с определенной вероятностью характеризует состояние объекта. Требуется по совокупности проявления (или не проявления) признаков отнести объект к одному из возможных состояний.

Если диагностирование проводится по комплексу признаков K , включающему признаки k_1, k_2, \dots, k_ν , каждый из которых имеет m_j уровней, то есть $k_{j_1}, k_{j_2}, \dots, k_{j_\nu}$, и если известны реализации каждого j -го признака $k_j^* = k_j$ из всего комплекса K^* , то общая формула Байеса, по которой формируется окончательное диагностическое решение, имеет вид

$$P(D_i/K^*) = \frac{P(D_i) \cdot P(K^*/D_i)}{\sum_{s=1}^n P(D_s) \cdot P(K^*/D_s)},$$

где $P(D_i/K^*)$ – апостериорная вероятность диагноза D_i после того, как стали известны результаты замера комплекса признаков K , причем $\sum_{s=1}^n [P(D_i/K^*)]_s = 1$;

$P(D_i)$ – априорная вероятность диагноза D_i ;

$P(K^*/D_i)$ – вероятность появления комплекса признаков K^* в состоянии D_i .

Окончательным диагнозом объявляется тот, который имеет максимальную апостериорную вероятность.

Выбор решения с использованием статистических критериев. Пусть имеется объект, который может находиться в двух состояниях D_1 (например, исправное)

и D_2 (например, неисправное). Идентификация состояний выполняется путем контроля диагностического параметра k . Априорно должны быть известны: вероятности пребывания объекта в состояниях (P_1 и P_2), материальные издержки от ошибки при идентификации состояний (C_{12} – исправный объект признать неисправным и C_{21} – неисправный объект признать исправным) и плотности распределения диагностического параметра k в состояниях $f(k/D_1)$ и $f(k/D_2)$.

Тогда выбор диагностического решения сводится к нахождению граничной точки k_0 , делящей пространство возможных решений на числовой оси k на две области: приемки (значения k соответствуют техническим условиям) и браковки (значения k не соответствуют техническим условиям). После чего выбор диагностического решения по текущему значению k становится тривиальным.

Для различных законов распределения k (включая и эмпирическое) определение порогового значения k_0 осуществляется из следующих отношений правдоподобия:

- при критерии минимального риска
$$\frac{f(k_0/D_1)}{f(k_0/D_2)} = \frac{C_{12} \cdot P_2}{C_{21} \cdot P_1},$$

- при критерии минимального числа ошибочных решений
$$\frac{f(k_0/D_1)}{f(k_0/D_2)} = \frac{P_2}{P_1},$$

- при критерии наибольшего правдоподобия
$$\frac{f(k_0/D_1)}{f(k_0/D_2)} = 1.$$

При использовании критерия минимакса значение k_0 определяется путем итераций из выражения риска $R = C_{11} \cdot P_1 \cdot \int_{-\infty}^{k_0} f(k_0/D_1) \cdot dk_0 \cdot C_{21} \cdot P_1 \cdot \int_{k_0}^{\infty} f(k/D_1) \cdot dk + C_{12} \cdot P_2 \cdot \int_{-\infty}^{k_0} f(k_0/D_2) \cdot dk_0 \cdot C_{22} \cdot P_2 \cdot \int_{k_0}^{\infty} f(k/D_2) \cdot dk$, где C_{11} и C_{22} – материальные затраты на диагностику при правильной идентификации состояний 1 и 2.

При использовании критерия Неймана-Пирсона значение k_0 определяется путем итераций из выражения для вероятности ложной тревоги $P_{лт} = P_1 \cdot$

$\int_{k_0}^{\infty} f\left(k/D_1\right) \cdot dk = A$, или из выражения для вероятности пропуска дефекта

$P_{\text{пд}} = P_2 \cdot \int_{-\infty}^{k_0} f\left(k/D_2\right) \cdot dk = B$. В обоих случаях численные значения вероятностей A или B должны быть априорно известны.

Функциональность и интерфейсные решения по инструментам принятия решений. Инструменты принятия решений, наряду с другими инструментами, интегрированы в авторском пакете Модельер 2.0 и для пользователей доступны через группу «Решения при риске» головного меню (рис. 1). В данной группе представлены 4 инструмента, обеспечивающие принятие решений:

- из двух альтернатив путем последовательного анализа по Вальду (рис. 2);
- из множества альтернатив методом Байеса (рис. 3);
- из двух альтернатив методами статистических решений при неизвестном риске (рис. 4, 5, 6);
- из двух альтернатив методами статистических решений при нормированном риске (рис. 7, 8).

Каждый инструмент представлен на отдельной панели, выводимой поверх головной панели пакета. Интерфейсные элементы каждой инструментальной панели сгруппированы окантовками «Исходные данные» и «Результаты решения» (рис. 2). Исходные данные вводятся: с клавиатуры – в единичные редактируемые поля; курсором из списков; с клавиатуры или из файла – в редактируемые таблицы. Запуск инструмента на решение задачи осуществляется активацией курсором кнопки с пиктограммой стрелки, располагаемой в левом верхнем углу каждой инструментальной панели. Результаты решения выводятся: в единичные, не редактируемые поля и таблицы (рис. 3), а также на графики (рис. 2).

Все табличные результаты, а также отредактированные таблицы исходных данных могут быть сохранены в файлах, для чего активируется кнопка с пиктограммой дискеты. Графические результаты помимо этого могут быть: распечатаны на принтере (для чего активируется кнопка с пиктограммой принтера),

масштабированы (для чего активируются кнопки с пиктограммами лупы). Для съема информации с графика о промежуточных значениях аргумента и функции используется визирка, включаемая путем активации кнопки с перекрестием. Текущие значения функции и аргумента выводятся в поля под кнопками графика (рис. 2).

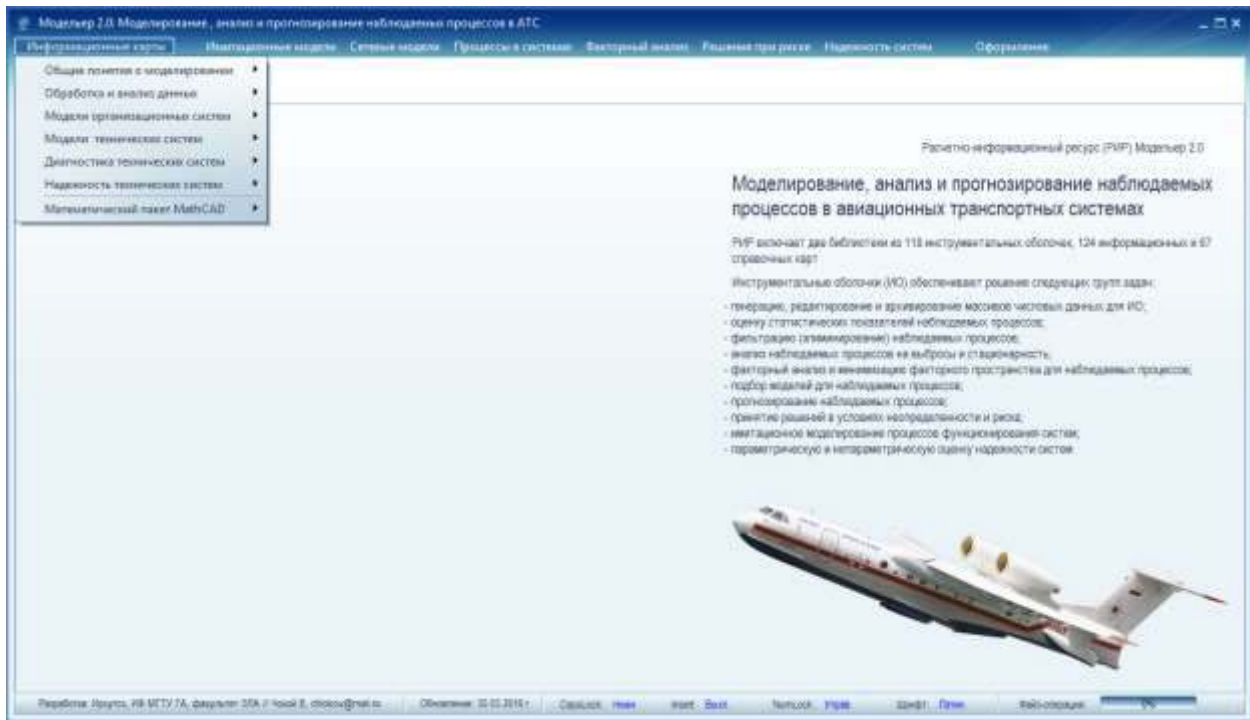


Рис. 1. Головная панель пакета Модельер 2.0 (развернута группа «Информационные карты»)

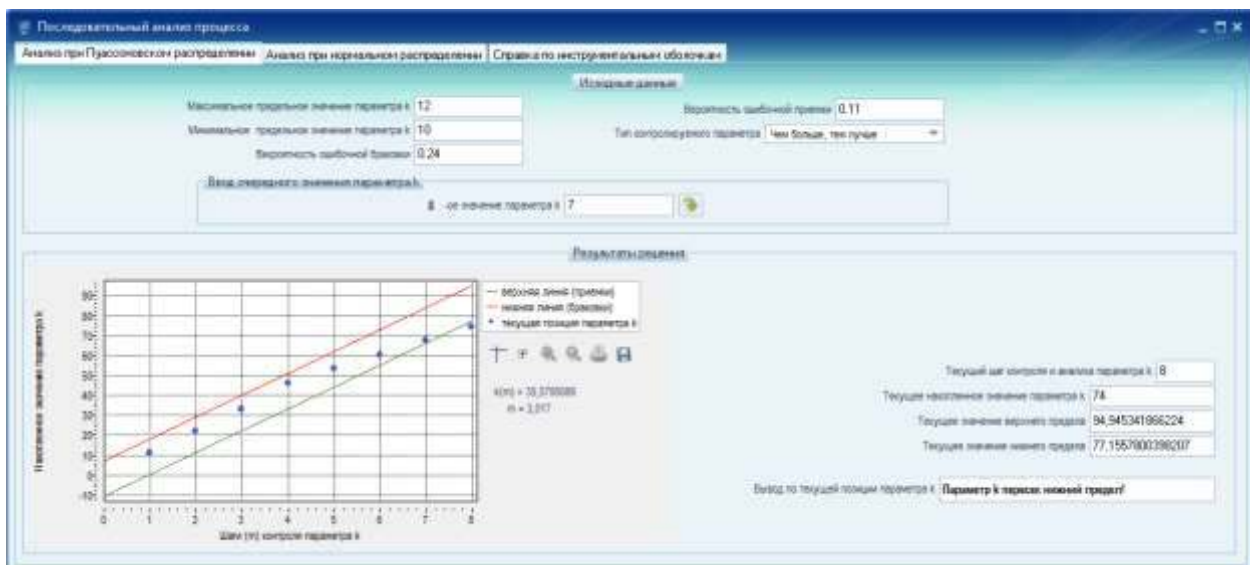


Рис. 2. Панель инструмента «Последовательный анализ процесса»

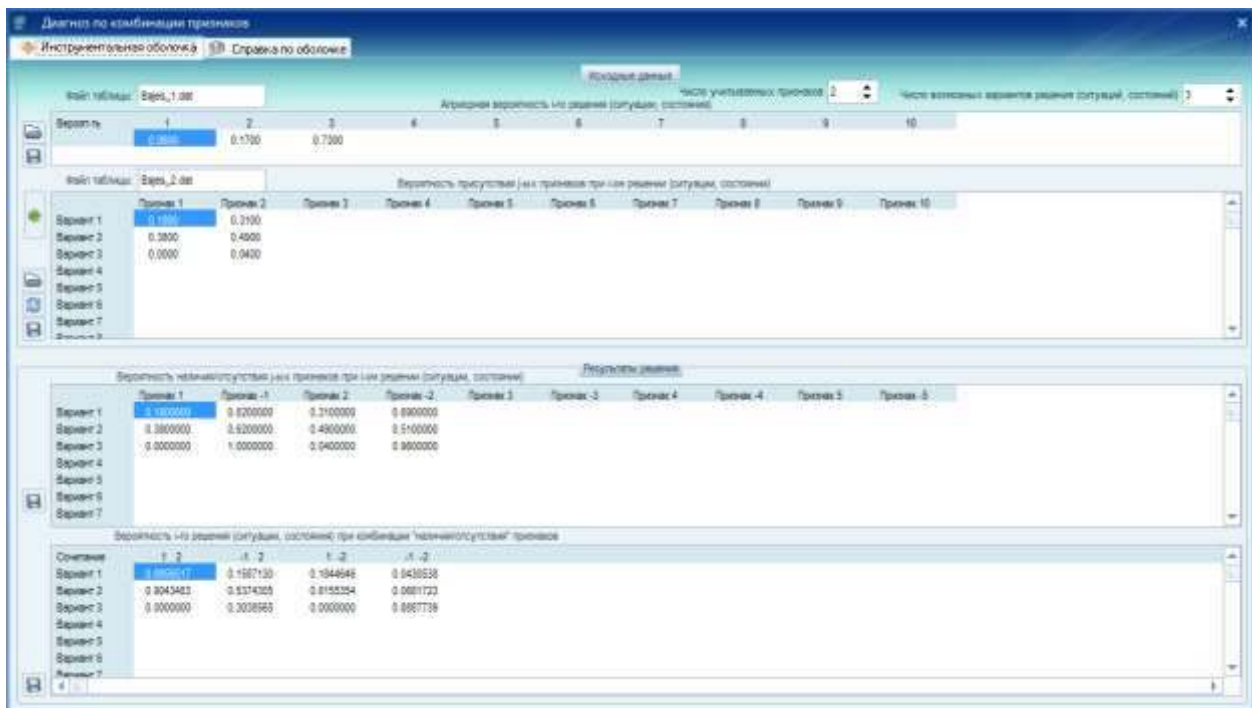


Рис. 3. Панель инструмента «Диагноз по комбинации признаков»

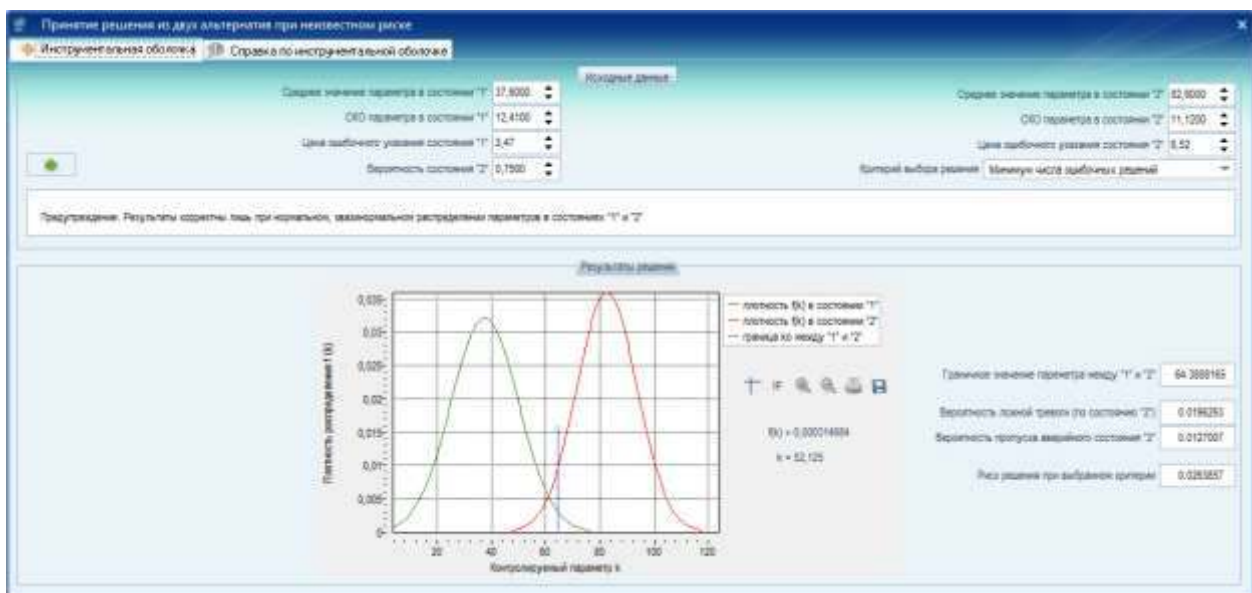


Рис. 4. Панель инструмента «Принятие решений из двух альтернатив при неизвестном риске. Критерий минимального числа ошибок»

Для информационного обеспечения работы пользователей в пакет включены информационные карты, доступ к которым возможен через группу «Инфор-

мационные карты» головного меню (рис. 1). Дополнительно для каждого инструмента при его активации в закладку «Справка по инструментальной оболочке» загружается справочный материал, содержащий следующую обязательную информацию: «Проверка работоспособности», «Практическое решение задач», «Показания к применению», «Рекомендации по решению задач» (рис. 9).

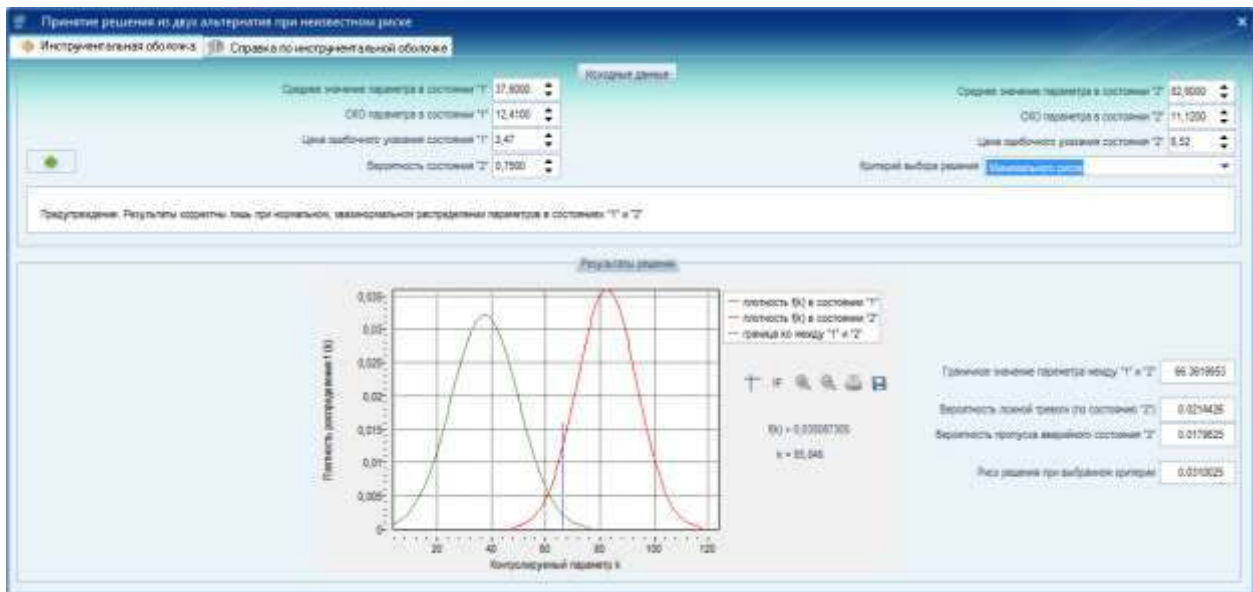


Рис. 5. Панель инструмента «Принятие решений из двух альтернатив при неизвестном риске. Критерий минимального риска»

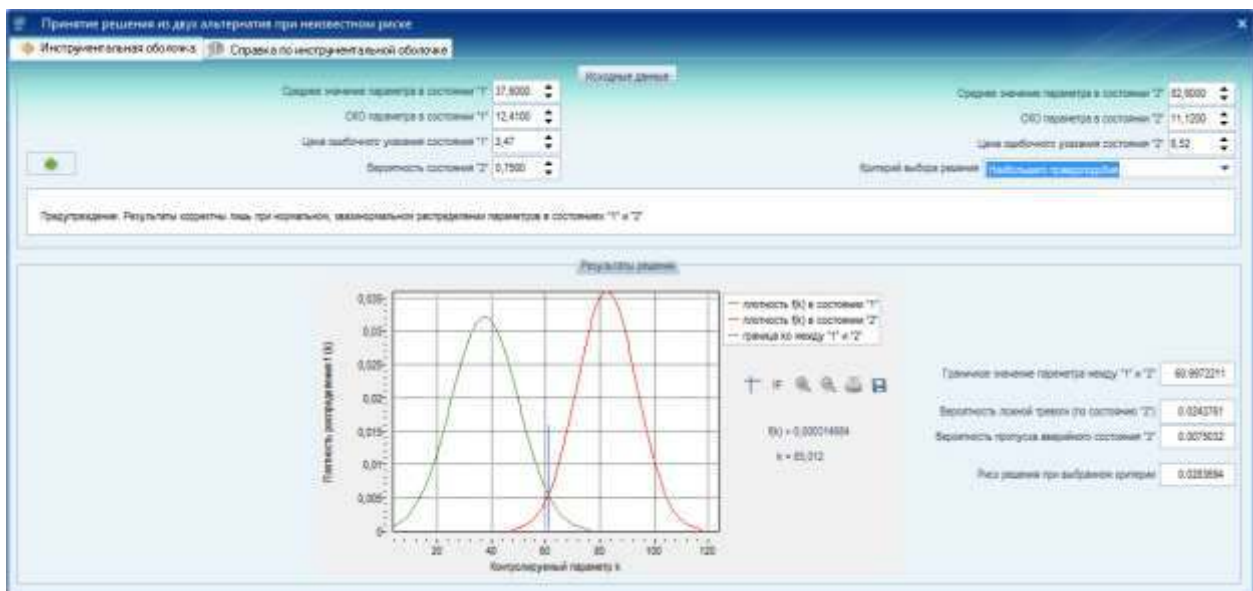


Рис. 6. Панель инструмента «Принятие решений из двух альтернатив при неизвестном риске. Критерий наибольшего правдоподобия»

Пакет Модельер 2.0 исполнен как единое автономное полнофункциональное windows-приложение, функционирующее на типовых IBM-подобных ЭВМ

в среде всех последних версий операционной системы Windows. Для инсталляции пакета на жестком диске достаточно 1,8 Гб памяти. Исполняемый файл Modeljer-M имеет объем 7,5 Мб. Сервисные файлы, файлы информационных карт, файлы с архивами решений задач, а также тестовые исходные числовые файлы сгруппированы в 8 папок и доступны, в основном, через интерфейсные элементы инструментальных панелей.

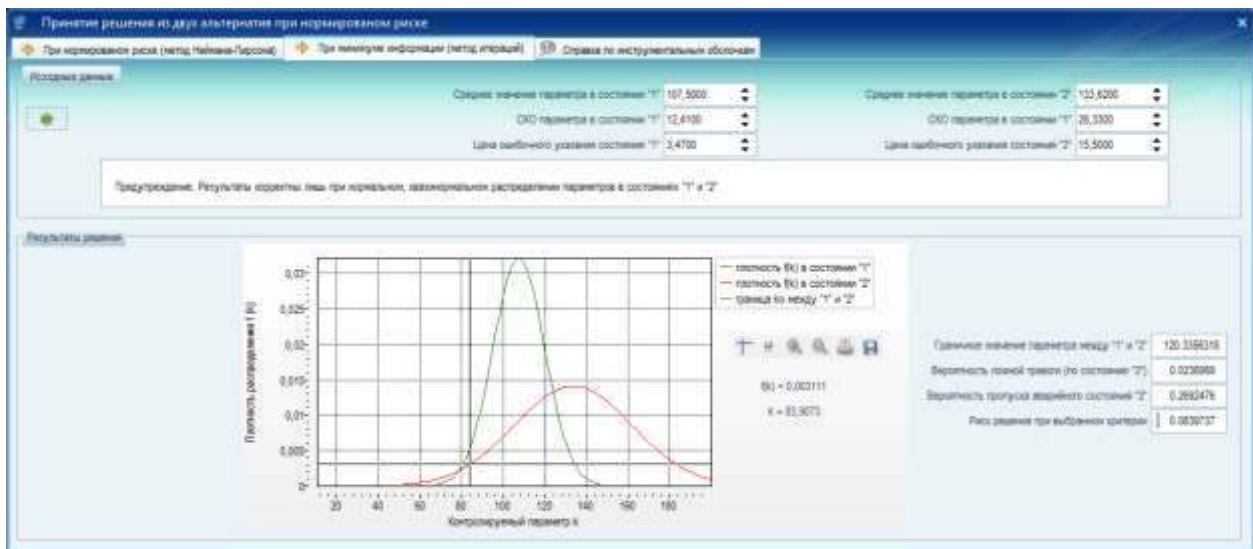


Рис. 7. Панель инструмента «Принятие решений из двух альтернатив при нормированном риске. Метод итераций»

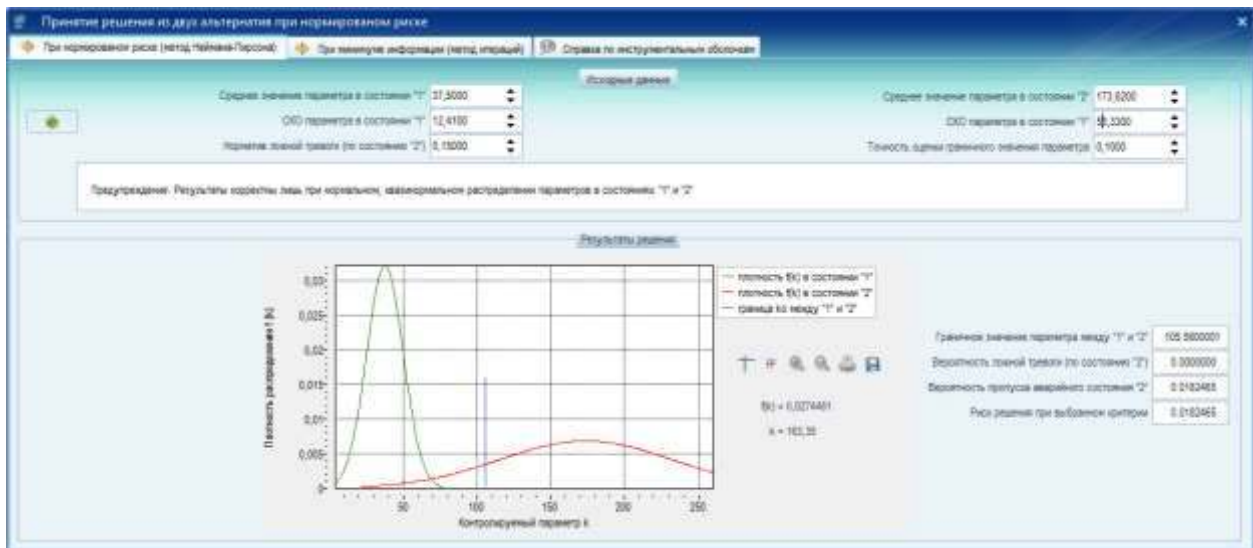


Рис. 8. Панель инструмента «Принятие решений из двух альтернатив при нормированном риске. Метод Неймана-Пирсона»

Из опыта применения рассмотренных инструментов в образовательном процессе следует, что их образовательная эффективность непосредственно зависит от двух моментов: от наличия продуманного сценария учебного занятия, включающего циклическую последовательность использования инструментов; от качества числовых исходных данных.

Под термином сценарий учебного занятия понимается реализуемый служебно-производственный фон (который должен быть соответствующим осваиваемой специальности); наличие четко сформулированной общей задачи; наличие перечня частных задач; наличие общего алгоритма решения задач. В продуманном и корректно реализуемом сценарии в любой фазе занятия каждый обучаемый должен знать свое место, общий алгоритм, технологию выполнения актуальных работ, потребные для этого исходные данные, процедуры интерпретации получаемых результатов, порядок практического использования полученных результатов. В наибольшей степени это относится к сценариям, предполагающим использование инструментов «Диагноз по комбинации признаков» и инструментов, основанных на критериях теории игр.

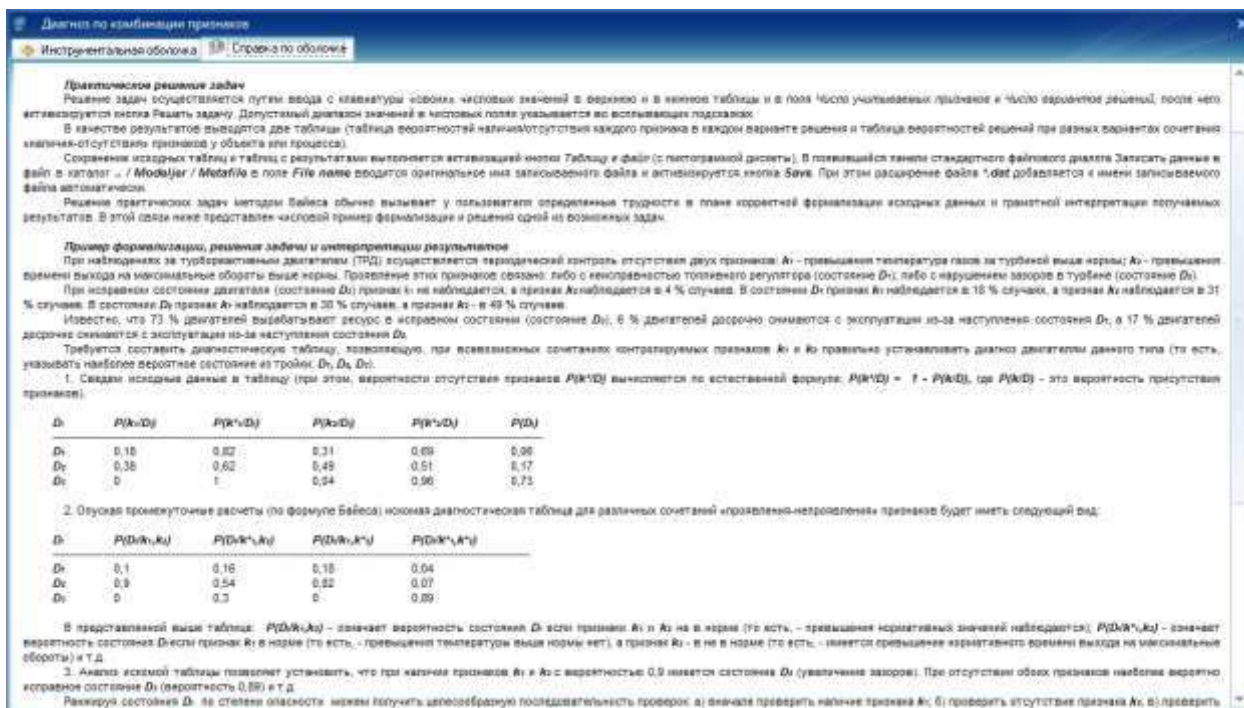


Рис. 9. Панель инструмента «Диагноз по комбинации признаков»
 (открыта закладка справки по инструменту)

Библиографический список

1. *Архангельский А. Я.* Программирование в Delphi для Windows. М.: Бином-Пресс, 2007. 1248 с.
2. *Краковский Ю. М.* Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. Новосибирск: Наука, 2006. 227 с.
3. *Чокрой В. З.* Техническая диагностика / В. З. Чокрой, Ю. А. Караваев. Учебное пособие. Иркутск: ИФ МГТУ ГА, 2015. 74 с.
4. *Чокрой В. З.* Электронный тренажер Speller-TSM по локализации отказов оборудования самолетов Airbus A320 // «Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык». 2016. № 1 (08). URL: <http://ce.if-mstuca.ru/index.php/2016-1>. (дата обращения: 10.03.2016).