

Синтез и минимизация базы вероятных квантов знаний в курсе «Основы систем искусственного интеллекта»

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

Введение

В отличие от моделирования функций человеческого мозга посредством обучаемых нейронных сетей для принятия решений квантовый метод инженерии знаний моделирует генерацию человеческих причинно-следственных суждений от посылок к следствиям при поиске решений в условиях неопределенности. Вместо нахождения весов синаптических связей нейронов при заданной топологии нейронной сети квантовый метод обеспечивает восстановление заранее не известной топологии квантовой сети и нахождение вероятностных оценок достоверности ее вершин – вероятных квантов (v -квантов). Обученная и оптимизированная по избыточности квантовая сеть одновременно служит базой вероятных квантов знаний (БвкЗ) и механизмом вывода идентификационных и прогнозных решений с вычислением показателей их достоверности.

Метод вероятных алгоритмических квантов знаний является одной из тем учебной программы по курсу «Основы систем искусственного интеллекта», который читается для студентов специальности «Программное обеспечение автоматизированных систем» в Национальном аэрокосмическом университете им. Н.Е. Жуковского «ХАИ».

Анализ публикаций

В методе разноуровневых алгоритмических вероятностных квантов (v -квантов) знаний [1 - 5] для принятия идентификационных и прогнозных решений процесс обучения лежит на «инженере по знаниям», который должен формализовать полученные от экспертов предметной области сценарные примеры обучающих знаний (СПОЗ) – рассуждения экспертов в данной предметной области от посылок к следствиям – в виде продукционных строк (ЕСЛИ ... ТО ...) с помощью, например, «личных карточек» классов объектов [6]. Далее СПОЗ автоматически преобразуются в логическую сеть вероятных рассуждений (ЛСВР), математически описываемую с помощью ориентированного графа G_1 . Для того чтобы установить возможность останова процесса обучения, к построенной логической сети применяют алгоритм Демукрона для поиска порядковой функции графа G_1 . Если в результате распределения вершин графа G_1 по уровням будут найдены так называемые «висячие» вершины, т.е. такие, которые не имеют связи с целевыми вершинами, то процесс обучения продолжается до полного их устранения. После того, как процесс обучения будет завершен, ЛСВР автоматически трансформируется в v -квантовую сеть вывода решений (v -КСВР), которая является одновременно оперативной базой v -квантов знаний и механизмом принятия идентификационных и прогнозных решений.

Дадим формальное определение логической сети вероятных рассуждений.

Определение 1. Обучаемой ЛСВР называется ориентированный граф

$G_1 = (E_1, \Gamma_1)$, синтезируемый по описаниям выделенных классов в виде продукционных строк посредством алгоритма АЛОБУЧ [1 - 5] и обладающий порядковой функцией $\Pi(X_i) \forall X_i \in E_1$, определенной на подмножествах-уровнях $N_1, N_2, \dots, N_k \subset E_1$ вершин, а также следующими свойствами:

- все вершины (узлы сети) $X_i \in E_1 (1 \leq i \leq n)$ отвечают классам объектов конкретной предметной области, а дуги из $\Gamma_1 : E_1 \rightarrow E_1$ указывают на причинно-следственные связи между узлами с логическими связками «И», «ИЛИ», «НЕ»;

- все узлы $X_i \in N_1 \subset E_1$ при $\Gamma_1^{-1}N_1 = \emptyset$ соответствуют входной информации $X_i (1 \leq i \leq n_v)$ относительно некоторых подклассов $\Omega_j^i (1 \leq j \leq p)$ с заданной ПД импликации $p(\rightarrow \Omega_j^i)$;

- все узлы $X_i \in N_k \subset E_1$ при $\Gamma_1 N_k = \emptyset$ являются выходными распознаваемыми узлами-классами $\Omega_j (1 \leq j \leq \vartheta)$ с вычисляемыми ПД $p(\Omega_j)$, а все вершины промежуточных уровней между N_1 и N_k отвечают вспомогательным классам Ω_j^i .

Синтезированная ЛСВР в режиме обучения подлежит трансформации в v-КСВР с помощью специального алгоритма АЛАКВА [1 - 5], который автоматически определяет не заданное заранее число v-квантов v-КСВР и не известное наперед число уровней графа G_v , соответствующего v-КСВР.

Определение 2. Целенаправленной v-КСВР называется результат преобразования графа $G_1 = (E_1, \Gamma_1)$ посредством алгоритма АЛАКВА в граф $G_v = (E_v, \Gamma_v)$, обладающий следующими свойствами:

- все вершины $X_i \in E_v$ отвечают сгенерированным разноуровневым v-квантам, содержащим описания классов объектов конкретной предметной области, а дуги $u_{ij} \in \Gamma_v$ указывают на логические связи v-квантовых событий;

- все $X_i \in N_1 \subset E_v, \Gamma_v^{-1}N_1 = \emptyset$ соответствуют входным vk-знаниям-посылкам с именами $X_i (1 \leq i \leq n_v)$ относительно vk-знаний-классов с именами $\Omega_j^i (1 \leq j \leq p)$ с заданными показателями достоверности $p(\rightarrow \Omega_j^i)$;

- все $X_i \in N_k \subset E_{vk}, \Gamma_v N_k = \emptyset$ являются целевыми vk-знаниями распознаваемых классов с именами $\Omega_j (1 \leq j \leq \vartheta)$ и вычисляемыми ПД $p(\Omega_j)$, а все промежуточные вершины графа G_v отвечают вспомогательным vk-знаниям классов Ω_j^i .

Назначение алгоритма АЛОПТ [1 - 5] состоит в оптимизации ЛСВР путём проверки ее на избыточность и исключения в ней избыточных по свёртке, а также по следствию v-квантов.

Определение 3. Свёрткой нескольких v-квантов называется единый v-квант, домены которого образованы из содержимого других претендующих на свёртку v-квантов по следующим правилам:

- а) единственная непустая компонента домена v-кванта-свёртки может быть заменена доменами претендующего v-кванта, если его имя совпадает с именем указанной компоненты;

- б) если домен v-кванта-свёртки содержит несколько компонент, то любую из них можно заменить только содержимым однодоменного претендующего v-кванта с соответствующим именем, компоненты которого связаны только связкой «ИЛИ».

Определение 4. Избыточным по следствию называется v -квант, который не избыточен по свёртке и логически следует из однородных ему других v -квантов.

Определение 5. Индуктивным выводом v -знаний называется алгоритмический процесс построения базы vk -знаний ($Bvk3$) в виде v -КСВР на основе определений классов объектов $\Omega = (\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_9)$ из заданной предметной области.

Формальная модель описанного индуктивного вывода v -знаний из определений классов Σ_Ω посредством специального алгоритма B имеет вид

$$IND_{\Sigma_\Omega}(vk_2\Sigma_\Omega; B; Bvk3) = vk_2\Sigma_\Omega \frac{IND_{\Sigma_\Omega}}{B} \rightarrow Bvk3,$$

где в качестве оперативной $Bvk3$ используется система логических функциональных закономерностей, представленных в v -квантовой форме.

Постановка задачи

В статье ставятся задачи развития методики оптимизации v -квантовой сети вывода решений и демонстрации на реальном примере процессов ее синтеза и оптимизации.

Описание предметной области

В качестве исходных неформализованных знаний экспертов возьмем пять «законов» денег из работы [7]:

1. Деньги будут приходить охотно и во все возрастающем количестве к каждому человеку, который будет откладывать не менее 1/10 части своего заработка, чтобы обеспечить свое состояние и состояние семьи в будущем.

2. Деньги работают усердно и с удовольствием на умного владельца, который находит для них прибыльное применение, умножая их количество так же, как растёт поголовье овец в стадах, пасущихся на лугу.

3. Деньги надёжно защищают осторожного владельца, который вкладывает их по совету умного человека, хорошо умеющего обращаться с ними.

4. Деньги ускользают от человека, если он вкладывает их в бизнес или в выполнение задач, с которыми сам он не знаком или которые не одобрены опытными людьми.

5. Деньги избегают человека, который заставляет их работать на получение нереальных доходов или который следует заманчивым советам ловкачей и махинаторов либо доверяется своей собственной неопытности и романтическим представлениям о вложении капитала.

Синтез квантовой сети вероятностных квантов знаний

Для того, чтобы построить базу v -квантов знаний, которая будет делать вывод о правильности распределения денежных средств, из приведенных выше «законов» денег выделим следующие сценарные примеры обучающих знаний:

ЕСЛИ откладывать 10% от доходов И есть желание получить сверхприбыли ТО возможно получение пассивного дохода;

ЕСЛИ возможно получение пассивного дохода И нет финансовых трудностей ТО есть возможность вложения денег;

ЕСЛИ откладывать 10% от доходов ИЛИ есть возможность вложения денег ТО нет долгов;

ЕСЛИ откладывать 10% от доходов И нет долгов И возможна потеря капитала ТО требуется консультация опытных финансистов;

ЕСЛИ нет долгов И есть желание получить сверхприбыли ТО налицо финансовое благополучие и независимость;

ЕСЛИ нет долгов ИЛИ есть возможность вложения денег ИЛИ возможно получение пассивного дохода ИЛИ финансовое благополучие и независимость ТО налицо грамотное распределение доходов.

Введем обозначения для выделенных в СПОЗ посылок и следствий: E1 – откладывать 10% от доходов; E2 – есть желание получить сверхприбыль; E3 – нет финансовых трудностей; E4 – возможна потеря капитала; C1 – возможно получение пассивного дохода; C2 – есть возможность вложения денег; C3 – нет долгов; C4 – требуется консультация опытных финансистов; C5 – налицо финансовое благополучие и независимость; C6 – налицо грамотное распределение доходов.

Преобразуем выделенные СПОЗ в соответствии с введенными обозначениями (логическая связка «И» обозначается символом \wedge , а «ИЛИ» – \vee):

$E1 \wedge E2 \rightarrow C1$; $C1 \wedge E3 \rightarrow C2$; $E1 \vee C2 \rightarrow C3$; $E1 \wedge C3 \wedge E4 \rightarrow C4$;

$C3 \wedge E2 \rightarrow C5$; $C3 \vee C2 \vee C1 \vee C5 \rightarrow C6$.

Приведем ориентированный граф $G_1 = (E_1, \Gamma_1)$, соответствующий логической сети вероятных рассуждений (рис. 1).

Покажем как распределились вершины синтезированного графа ЛСВР по уровням (рис. 2).

Выполним квантование ЛСВР с целью получения ν -квантовой сети вывода решений, представляемой графом $G_\nu = (E_\nu, \Gamma_\nu)$ (рис. 3).

Опишем каждый из ν -квантов ν -КСВР (конъюнкция \wedge преобразуется в символ «:», а дизъюнкция \vee – «,»):

$\nu k_1 C1 = [E1:E2:(\rightarrow 1.0)]$; $\nu k_1 C2 = [C1:E3:(\rightarrow 1.0)]$; $\nu k_1 C3 = [E1,C2:(\rightarrow 1.0)]$;

$\nu k_1 C4 = [E1:C3:E4:(\rightarrow 1.0)]$; $\nu k_1 C5 = [C3:E2:(\rightarrow 1.0)]$;

$\nu k_1 C6 = [C3,C2,C1,C5:(\rightarrow 1.0)]$.

Заметим, что в круглых скобках () внутри ν -кванта после символа \rightarrow указывается значение вероятности импликации, т.е. вероятности того, что если объект ω обладает признаками, подчиненными логике ν -кванта, то рассматриваемый объект ω относится к классу C_j ($1 \leq j \leq 6$).

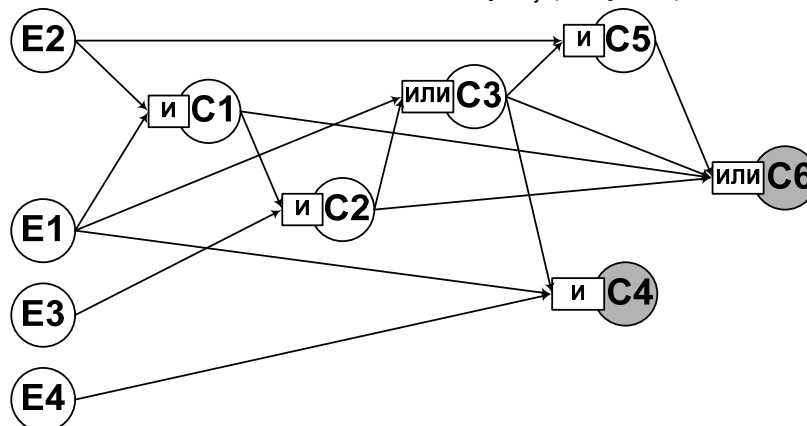


Рис. 1. Граф ЛСВР $G_1 = (E_1, \Gamma_1)$

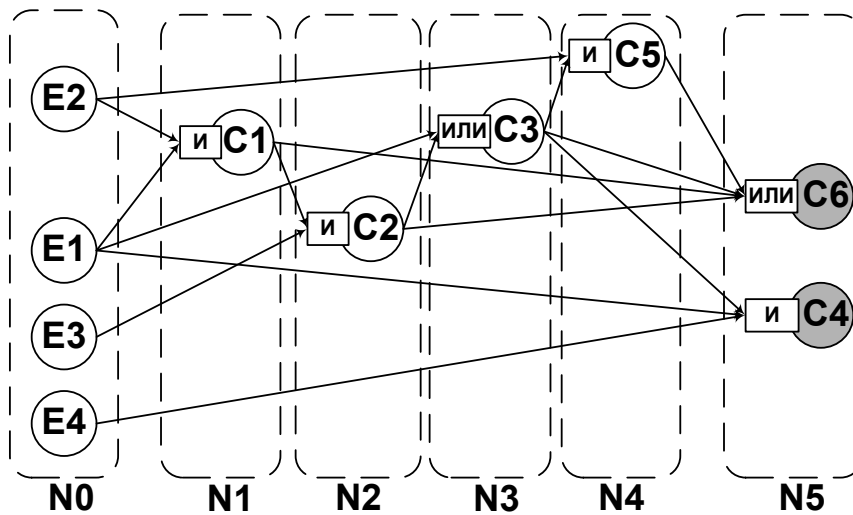


Рис. 2. Порядковая функция графа ЛСВР $G_1 = (E_1, \Gamma_1)$

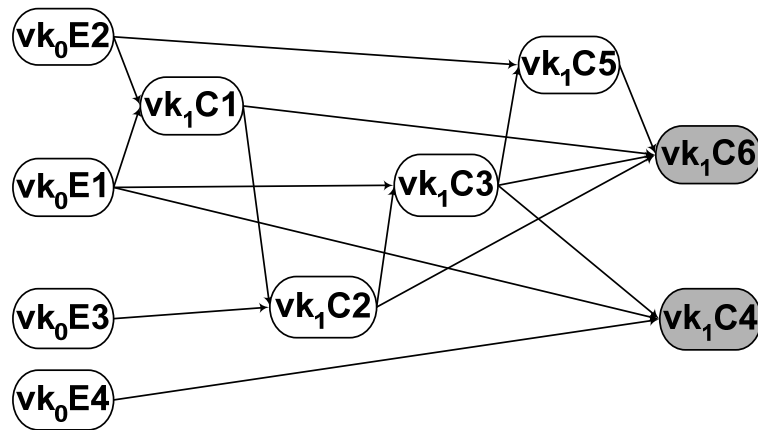


Рис. 3. Граф v-КСВР $G_v = (E_v, \Gamma_v)$

Минимизация квантовой сети вероятностных квантов знаний

Заметим, что синтезированная v-КСВР является избыточной, поэтому необходимо выполнить последовательную оптимизацию квантовой сети.

Шаг 1. Согласно определению 3 v-квант vk_1C3 является избыточным по свертке. В результате удаления избыточного по свертке v-кванта vk_1C3 v-КСВР преобразуется к виду, представленному на рис. 4, со значениями v-квантов:

$vk_1C1 = [E1:E2:(\rightarrow 1.0)]$; $vk_1C2 = [C1:E3:(\rightarrow 1.0)]$; $vk_1C4 = [E1:E1,C2:E4:(\rightarrow 1.0)]$;
 $vk_1C5 = [E1,C2:E2:(\rightarrow 1.0)]$; $vk_1C6 = [E1,C2,C2,C1,C5:(\rightarrow 1.0)]$.

Шаг 2. Согласно определению 3 v-квант vk_1C1 является избыточным по свертке, однако удалить его невозможно, т.к. он входит в состав v-кванта vk_1C6 . После внесенных изменений v-КСВР преобразуется к виду, представленному на рис. 5, со значениями v-квантов:

$vk_1C1 = [E1:E2:(\rightarrow 1.0)]$; $vk_1C2 = [E1:E2:E3:(\rightarrow 1.0)]$;
 $vk_1C4 = [E1:E1,C2:E4:(\rightarrow 1.0)]$; $vk_1C5 = [E1,C2:E2:(\rightarrow 1.0)]$;
 $vk_1C6 = [E1,C2,C2,C1,C5:(\rightarrow 1.0)]$.

Шаг 3. Согласно определению 4 v-квант vk_1C1 логически следует из v-кванта vk_1C5 . В результате удаления избыточного по следствию v-кванта vk_1C1

и переименования C1 на C5 в v-кванте vk₁C6 v-КСВР преобразуется к виду, представленному на рис. 6, со значениями v-квантов:

$$vk_1C2=[E1:E2:E3:(\rightarrow 1.0)]; \quad vk_1C4=[E1: E1,C2:E4:(\rightarrow 1.0)];$$

$$vk_1C5=[E1,C2:E2:(\rightarrow 1.0)]; \quad vk_1C6=[E1,C2,C2,C5,C5:(\rightarrow 1.0)].$$

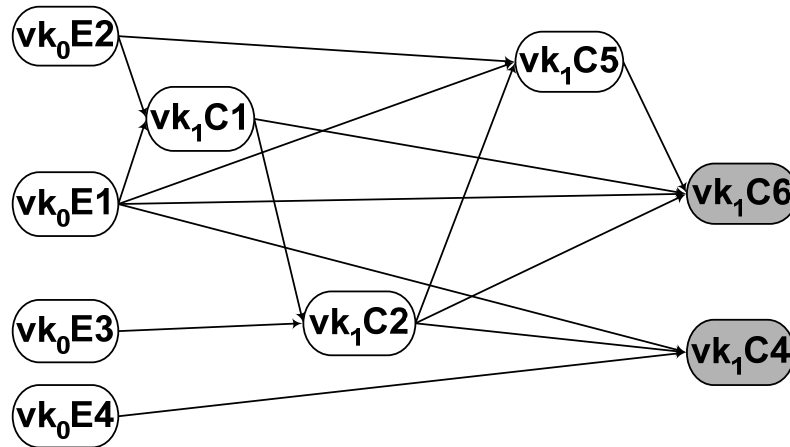


Рис. 4. Граф v-КСВР после 1-го шага оптимизации

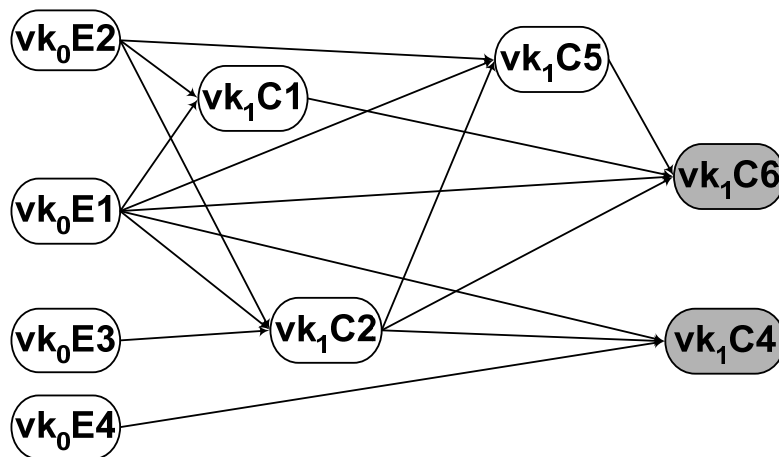


Рис. 5. Граф v-КСВР после 2-го шага оптимизации

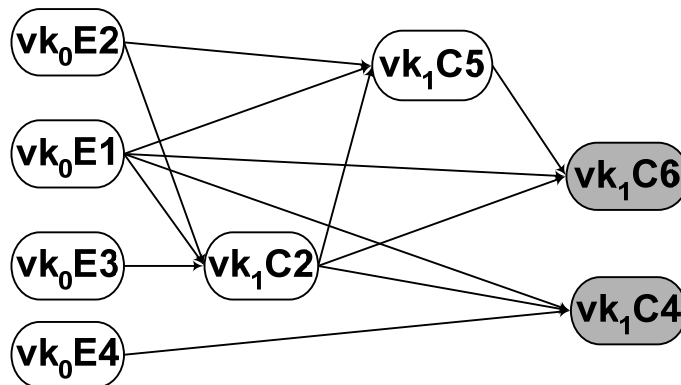


Рис. 6. Граф v-КСВР после 3-го шага оптимизации

Шаг 4. Заметим, что к v-кванту vk₁C6 можно применить правило идемпотентности алгебры высказываний [8]: C2 ∨ C2 = C2 и C5 ∨ C5 = C5. В результате применения данного правила граф v-КСВР не изменится, тогда как

содержимое v -кванта vk_1C6 будет изменено:

$vk_1C2=[E1:E2:E3:(\rightarrow 1.0)]; vk_1C4=[E1:E1,C2:E4:(\rightarrow 1.0)];$

$vk_1C5=[E1,C2:E2:(\rightarrow 1.0)]; vk_1C6=[E1,C2,C5:(\rightarrow 1.0)].$

Шаг 5. А вот к первому и второму доменам v -кванта vk_1C4 можно применить правило поглощения алгебры высказываний [8]: $E1 \wedge (E1 \vee C2) = E1$. В результате применения данного правила граф v -КСВР также не изменится, однако содержимое v -кванта vk_1C4 будет изменено:

$vk_1C2=[E1:E2:E3:(\rightarrow 1.0)]; vk_1C4=[E1:E4:(\rightarrow 1.0)];$

$vk_1C5=[E1,C2:E2:(\rightarrow 1.0)]; vk_1C6=[E1,C2,C5:(\rightarrow 1.0)].$

Заметим, что в результате применения определений 3 и 4, а также ряда правил алгебры высказываний была получена безызбыточная v -КСВР (см. рис. 6).

Выводы

Для поддержки принятия решений о правильности распределения денежных средств была синтезирована идентификационная база v -квантов знаний, которая относит объекты принятия решений (в данном случае людей) к двум классам $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2\}$, где Ω_1 – класс людей, которым требуется консультация опытных финансистов, Ω_2 – класс людей, у которых грамотное распределение доходов. Так как синтезированная v -КСВР оказалась избыточной, то необходима ее оптимизация по критериям безызбыточности – по свертке и логическому следствию v -квантов. Данные критерии являются классическими для v -квантового метода инженерии знаний. Однако оптимизация v -КСВР, удовлетворяющей данным критериям, может быть продолжена путем применения к ее v -квантам правил алгебры высказываний, т.к. внутри каждого v -кванта сокрыта логика рассуждений рассматриваемой предметной области, что и было сделано на примере использования правил идемпотентности и поглощения.

Список литературы

1. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. – К.: Наук. думка, 2002. – 427 с.
2. Сироджа И.Б., Петренко Т.Ю. Метод разноуровневых алгоритмических квантов знаний для принятия производственных решений при недостатке или нечёткости данных. – К.: Наук. думка, 2000. – 247 с.
3. Сироджа И.Б. Математическое и программное обеспечение интеллектуальных компьютерных систем: Учеб. пособие. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1992. – 101 с.
4. Сироджа И.Б. Метод вероятных алгоритмических квантов знаний для принятия решений и создания технологий искусственного интеллекта // Інформаційні технології і системи. – 2000. – №4. – С. 58 - 79.
5. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы инженерии знаний в задачах искусственного интеллекта // Искусственный интеллект. – 2002. – №3. – С.161 - 171.
6. Варфоломеева И.В. Квантовый метод обучения и принятия идентификационных решений на основе «личных карточек» классов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т „Харьк. авиац. ин-т”. – 2005. – Вып. 26. – С. 73 - 79.
7. Клейсон Дж.С. Самый богатый человек в Вавилоне. – М.: Орион, 2001. – 104 с.
8. Сироджа И.Б. Математическая логика и теория алгоритмов: Учеб. пособие. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2001. – 143 с.