

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ РАСШИФРОВКИ ЗНАМЕННЫХ ПЕСНОПЕНИЙ

М.В. Даньшина, А.Ю. Филиппович

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
e-mail: mdanshina@it-claim.ru; aphilippovich@it-claim.ru

Рассмотрены проблемы использования информационных технологий при обработке древнерусских музыкальных рукописей. Предложена автоматизированная компонентная методика, реализованная на методах машинного перевода и позволяющая расшифровать знаменные песнопения из крюковой нотации в линейную. Приведены основные этапы методики. Для реализации этапов методики разработана и описана автоматизированная система научных исследований "Компьютерная семиография", которая включает в себя модуль ввода песнопений в базу данных, просмотр рукописей в электронном виде, построение языковой модели древнерусских музыкальных песнопений, модели перевода, декодирования песнопений, музыкальный редактор, позволяющий проигрывать получившиеся мелодии, а также модуль ввода песнопений и правил перевода, который дает возможность пользователю проводить собственные исследования без привязки к конкретной рукописи. В результате создан веб-сервис для исследователей, историков, музыкальных медиевистов, с помощью которого можно обрабатывать различные знаменные рукописи.

Ключевые слова: музыкальные информационные технологии, автоматизация расшифровки, статистический машинный перевод, языковая модель, семиография, древние рукописи, визуализация знаменных песнопений.

THE METHODOLOGY OF AUTOMATED DECRYPTION OF ZNAMENNY CHANTS

M.V. Danshina, A.Yu. Philippovich

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation
e-mail: mdanshina@it-claim.ru; aphilippovich@it-claim.ru

The paper presents the problems of the using information technology in the processing of ancient music manuscripts. The automated component methodology is proposed. It uses machine translation methods and allows to decoding hooked Znamenny notation chants into a linear notation. Basic stages of the methodology are described. To implement the stages of the methodology automated system of researching "Computer Semiography" has been developed and described. It consists of an input module chants in the database, view of manuscripts in electronic form, the creating of a linguistic model of ancient musical chants, model of translation, decoding of chants, music editor; allows user to play the resulting melodies and input module for chant and translation rules, that enables the user to implement their own research without reference to a particular manuscript. These web-services have been developed to assist researchers, historians and musicians to process a wide variety of musical manuscripts written in Znamenny notation.

Keywords: znamenny chant, musical information technologies, automation of decoding, statistical machine translation, language model, semiography, ancient musical manuscripts, representation of the chants.

В рамках проекта “Компьютерная семиография” [11] с 2000 г. проводятся работы по решению проблемы визуализации знаменных песнопений [12], статистические исследования [13], а также исследуются возможность разработки автоматизированного распознавателя знамен [14], аспекты музыкальной семиотики, структуры музыкального языка [15, 16]. В 2011–2013 гг. исследования были поддержаны грантом РГНФ № 110412025в “Автоматизированная система научных исследований в области компьютерной семиографии (АСНИ КС)”.

В настоящее время исследователи в области музыкальной медиавистики стремятся использовать современные информационные технологии для накопления труднодоступных источников, их систематизации и автоматизации рутинных операций. Однако эти наработки носят разрозненный характер, требуют обобщения и развития. Это определяет актуальность разработки общей компонентной методики перевода знаменных песнопений в линейную нотацию, которая позволила бы проследить преобразование рукописи от изображения до звучащей мелодии, а также позволила бы объединить накопленные знания об исследуемых рукописях.

Одно из важнейших требований к методике — возможность поэтапного и автономного решения отдельных задач: перевод рукописей в электронный вид, составление электронных словарей, воспроизведение песнопений в знаменной и нотной нотациях.

Общая схема методики. Предлагаемая методика автоматизированной расшифровки знаменных песнопений включает в себя несколько этапов, которые могут быть реализованы как последовательно, так и выборочно в зависимости от исходных данных и целей исследования. Блок-схема методики приведена на рис. 2, а основные этапы перечислены далее.

1. Подборка исходных данных — выбор рукописей, на основе которых будет проводиться расшифровка песнопений.
2. *Перевод рукописей в электронную форму* — сканирование и набор песнопений, обработка и сохранение в информационных базах данных.
3. *Разработка и настройка переводного словаря* — выбор методов построения и источников построения правил расшифровки, выполнение необходимых исследований.
4. *Преобразование (дешифровка) рукописи с помощью словаря.*
5. *Подготовка рукописи, материалов и результатов исследования для электронного представления.*
6. *Проигрывание мелодии в веб-среде.*

Подборка исходных данных. На этом этапе необходимо определить музыкальные рукописи и справочные материалы, с помощью

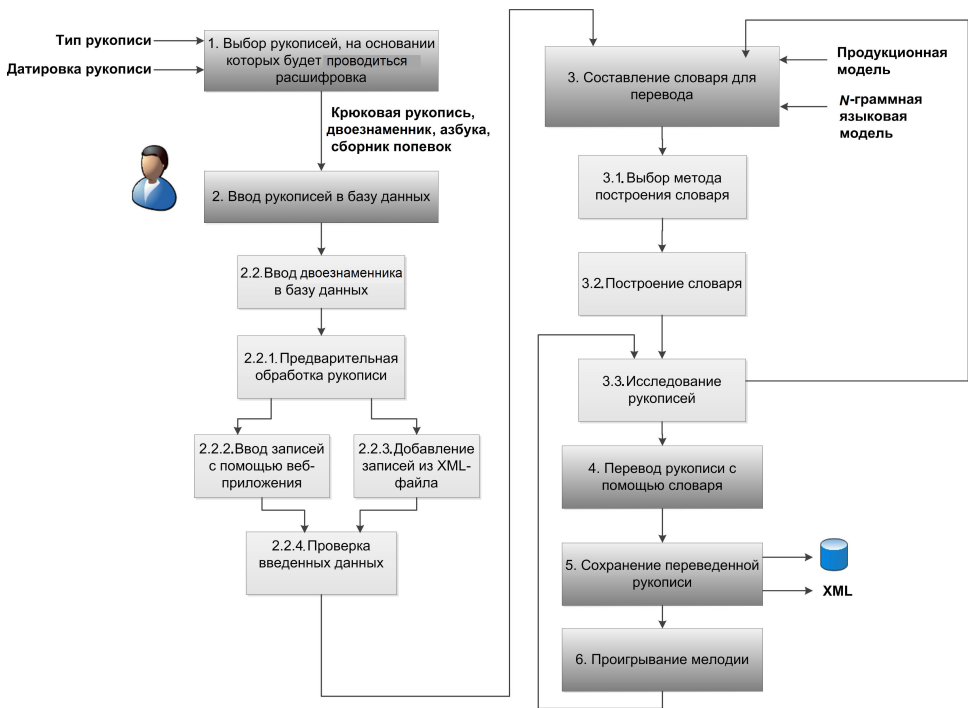


Рис. 2. Блок-схема методики автоматизированной расшифровки знаменных песнопений

которых будет осуществлено построение переводных словарей. Древнерусские музыкальные рукописи, относящиеся к разным временным периодам, имеют различную структуру, поэтому для их оценки и расшифровки требуются различные материалы. Укрупненно музыкальные рукописи с использованием знаменной нотации можно разбить на следующие группы:

- азбуки *A* (рукописи, в которых приведено соответствие отдельных знамен определенным нотам — одной или нескольким);
- двоезнаменники *D* (рукописи, в которых песнопения представлены двумя нотациями: знаменной и линейной);
- кокизники и фитники *K* (рукописи, которые являются сводом попевок в знаменной нотации, сгруппированных по гласам с указанием названия каждой попевки);
- крюковые рукописи *Z* (рукописи, в которых песнопения даны в знаменной нотации);
- сборники попевок *Sb* (рукописи, в которых перечислены попевки в знаменной или линейной нотации).

Обычно выбор исходных данных определяется доступностью источников и возможностью использования для автоматизированной обработки. В перспективе могут быть разработаны конкретные рекомендации по выбору отдельных рукописей с оценкой их полноты, достоверности и других параметров. Формально задача подбора рукописей

для исследования (множества *IshRuks*) может быть описана процедурой φ_1 :

$$IshRuks = \varphi_1 (Ruks) = \{r_1, r_2, \dots, r_m\},$$

где *Ruks* — все множество доступных рукописей; r_i — конкретные рукописи; m — число выбранных исходных рукописей.

Для апробации методики в качестве исходных данных были выбраны три авторитетных источника, представляющие собой разные типы певческих рукописей.

1. *Z*: “Круг церковного древнего знаменного пения в шести частях”, рукопись является крюковой, т.е. мелодия записана с помощью знамен, которые снабжены пометами.
2. *A*: Сборник “Певческие азбуки Древней Руси”.
3. *Sb*: “Сборник попевок Соловецкого собрания”, рукопись представляет собой сборник попевок, записанных в крюковой нотации. Некоторым из них соответствуют слова. Является наиболее полным сборником попевок, систематизированным по гласам.
4. *D*: “Ирмологий” — двознаменная рукопись, мелодия изложена в двух нотациях: линейной и знаменной.

Перевод рукописей в электронную форму. Технологии перевода музыкальных рукописей в электронную форму могут быть основаны на широко распространенных подходах. Для наглядного представления песнопений в веб-среде их достаточно отсканировать, обработать и разместить на сайте в графическом формате или pdf-файлах. Однако при большом числе материалов возникают задачи построения эффективной системы навигации и индексирования графических файлов.

Компьютерные шрифты. Для исследовательских задач рукописи должны быть набраны в символьной форме, которая даст возможность осуществлять их машинную обработку. На ранних этапах проекта “Компьютерная семиография” (2000 г.) было принято решение разработать специальные компьютерные шрифты, с помощью которых можно выполнять набор песнопений в распространенных текстовых редакторах. В течение последующих 5–10 лет появились и другие знаменные шрифты, основной целью которых стало визуальное представление крюковых рукописей.

Особенность гарнитуры AndrewSemio — ее направленность на максимальную функциональность (удобство ввода и последующей машинной обработки). Шрифты претерпели несколько стадий доработок, начиная от экспериментальной версии до проработки эргономической составляющей шрифта. В итоговой версии похожие крюки располагаются на одной букве с разным начертанием (обычное, **полужирное**, *курсивное*). В ходе исследований также было несколько пополнений знамен — на текущий момент выявлено и представлено в шрифте 202 знамени.

Онлайн-редактор знаменных песнопений IPSM. Изначально знаменные песнопения вводились в текстовом редакторе MS Word, однако по мере получения статистических данных и расширения числа знамен были созданы специальные редакторы — сначала настольные, а затем веб-ориентированные (IPSM).

Развитие технологий ввода и обновление шрифтов потребовало совершенствовать и форматы данных: от исходного хранения текста песнопений в простом *.doc файле перешли к использованию таблиц Word, а затем Excel и XML. Для реализации поисковых запросов или других ресурсоемких операций также пришлось разработать форматы для хранения данных в СУБД. Для повышения эффективности процесса ввода и возможности дальнейшего анализа введенных рукописей на языке Python с помощью фреймворка Django было создано специальное веб-приложение — редактор знаменных песнопений IPSM. В нем знамена закодированы последовательностью из семи цифр и сгруппированы по схожести начертания. На первом уровне выделено шесть основных групп, каждая группа максимально состоит из семи подгрупп.

Формированию соответствующих групп предшествовало специальное исследование, в рамках которого была проанализирована статистика встречаемости знамен в уже введенных рукописях [13, 15, 17, 18]. Согласно рис. 3, частота встречаемости знамен распределена неравномерно, поэтому оптимизация веб-форм (рис. 4) позволила повысить в несколько раз скорость и удобство ввода.

Разработанное приложение позволяет вводить знаменные песнопения в базу данных постранично, при этом текущая страница рукописи выводится в виде изображения в отдельный блок на странице, в котором отображается текущая строка песнопения. В случае ввода двоезнаменника на странице расположен блок подсказок раскладки клавиатуры для ввода нот с помощью шрифта Odnoglas [8].






Кроме исследуемых рукописей, пользователь может загрузить в базу данных любое песнопение (каждой записи в базе данных будет соответствовать одно знамя) и словарь (каждая запись в базе данных содержит последовательность знамен и соответствующие ей ноты).



Рис. 3. Статистика частоты появления знамен

Создать песнопение [Создать словарь](#)































Название песнопения:

Номер	Знамя	Слог
1	Выбрать 	<input type="text"/>
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		

a

[Создать песнопение](#) Создать словарь

Название словаря:

Приоритет	Знамена	Ноты
1	Выбрать 	
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		

b

Рис. 4. Ввод песнопений в IPSM (*a*) и создание правил словаря (*b*)

Введенные записи проверяются визуально методом сравнения исходной таблицы с электронной версией. Для проверки правильности ввода знаменных песнопений используется специальный модуль, который на основе предварительно построенной языковой модели знаменных песнопений проверяет вероятность встречаемости введенных последовательностей знамен в крюковой рукописи [17].

Формально процедуру ввода (φ_2) можно представить как перевод рукописи r в последовательность знамен RZ :

$$RZ = \{z_1, z_2, \dots, z_m\} = \varphi_2(r),$$

где z_i — знамена рукописи; $r \in IshRuks$ — выбранная рукопись; m — число знамен в рукописи r .

Разработка и настройка переводного словаря. Этот этап методики предполагает составление словаря, который будет содержать правила для перевода песнопений из знаменной нотации в линейную. При формировании словаря может быть использовано несколько методов:

- построение словаря на основе попевок (продукционная модель);
- построение словаря на основе двоезнаменника (N -граммная модель);
- комбинированный метод.

Расшифровка песнопений носит неоднозначный характер и все варианты перевода знаменных песнопений XI–XVI вв. являются лишь предположениями, поэтому исследователю важно получить, проанализировать и сравнить переведенные песнопения с помощью различных методов.

Построение словаря на основе попевок. За основу берутся попевки. Предварительно подготовленный сборник попевок образует совокупность правил, каждому из которых ставится в соответствие перевод на основе двоезнаменника или азбук:

$$Sl(r) = \varphi_3(RZ, r) = \{p^3\} = \{\langle z_i, z_{i+1}, z_{i+2} \rangle, \langle n_i, n_{i+1}, n_{i+2} \rangle, p\}.$$

В целях обеспечения независимости перевода от начального звука и проверки гипотезы аналогичности перевода для попевок в разных гласах необходимо сохранить интервальную последовательность для каждой попевки. Такой код представляет собой обозначение не конкретной ноты, а число полутонов (интервал), на которые отличается текущий звук от предыдущего. Преобразование нотного словаря в интервальный можно представить следующим образом:

$$ISl = \varphi_4(SL) = \{\langle z_i, z_{i+1}, z_{i+2} \rangle, \langle Intr_i, Intr_{i+1}, Intr_{i+2} \rangle, p\}.$$

Первоначально при автоматическом построении словаря предлагается задавать приоритет правила. Это обусловлено тем, что сначала следует применять самые длинные правила, а затем — более короткие. В процессе исследования эксперт может отредактировать значения приоритетов, изменив их на те, которые полагает более правильными.

Построение словаря на основе двоезнаменника. За основу берет-ся двоезнаменник, который представляет собой корпус параллельных песнопений (записанных в двух нотациях). Это дает возможность построения N -граммной модели перевода. В результате анализа двоезнаменника формируется словарь, аналогичный словарю, созданному на основе попевок. В этом случае словарь будет состоять из N -грамм ($N = 1, 2, 3, 4$). Вероятность таких правил может быть рассчитана как произведение вероятности входящих в него N -грамм.

В рамках базовой функциональности разрабатываемых инструментов выбрана размерность N -грамм, равная трем. Для каждой триграммы ставятся в соответствие ноты, которыми переводятся знамена, входящие в триграмму, а также вероятность встречаемости триграммы (рис. 5).

Вероятность каждого правила вычисляется согласно правилам построения модели перевода в статистическом машинном переводе: рассчитывается вероятность $P(n|z)$ для каждой пары $\langle n, z \rangle$ (z — последовательность знамен; n — перевод этой последовательности). Вероятность определяется по формуле

$$P(n|z) = \frac{C(n, z)}{C(z)},$$

где $C(n, z)$ — число раз, когда последовательность знамен z переводится нотами n .

Триграмма			Перевод			Вероятность
└	↑	└	☰	☱	☲	0,017327
└	☿	↑	☰	☱	☱	0,318182
└	↑	└	☱	☲	☲	0,014851
☿	↑	└	☰	☱	☱	0,272727
≈	≈	≈	☱	☱	☱	0,073529
└	≈	↑	☱	☱	☱	0,3125

Рис. 5. Фрагмент n -граммной модели

В этом случае множество триграмм можно представить как

$$TrZ(r) = \varphi_5(RZ, r) = \{\{z_i, z_{i+1}, z_{i+2}\}\},$$

где $z \in RZ(r)$.

Комбинированный метод. В рамках этого метода словарь, построенный на основе изучения попевок, и словарь, полученный с помощью статистического машинного перевода, объединяют. При этом пользователю необходимо расставить приоритеты правил так, чтобы в первую очередь применялись правила, которые задал эксперт, затем правила из попевок и правила, полученные из статистического перевода N -грамм.

Составление общего словаря SL можно представить процедурой φ_6 , объединяющей другие словари sl_i :

$$SL = \varphi_6\left(\bigcup_{i=1}^s sl_i\right).$$

В рамках исследования рукописи эксперт может построить частотные дwoезнаменники и провести анализ всех правил, в которые входит конкретное знамя. В результате исследования эксперт может выявить закономерности и составить новые правила, отредактировать или исключить какое-либо правило. Под редактированием понимается изменение вероятности или приоритета правила, а также входящих в правило знамен и нот [19].

Преобразование (дешифровка) рукописи с помощью словаря. На этом этапе методики осуществляется перевод рукописи с помощью составленного на предыдущем этапе словаря. Выбор подходящих правил для триграммы:

$$\forall TrZ_i \in TrZ : PrTrz = \varphi_7(TrZ, S) = \{Pr_1, Pr_2, \dots, Pr_p\},$$

где p — число правил, подходящих для перевода.

```

▼<ROWDATA>
<ROW Znam="a" Slog="ко" Stil=" обычный" VPom="м" DPom=""/>
<ROW Znam="Ap" Slog="кэч" Stil=" обычный Italic" VPom="в" DPom=""/>
<ROW Znam="a" Slog="но" Stil=" Bold" VPom="п" DPom=""/>
<ROW Znam="a" Slog="мы" Stil=" Bold" VPom="п" DPom=""/>
<ROW Znam="a" Slog="т" Stil=" Bold" VPom="п" DPom=""/>
<ROW Znam="a" Slog="от" Stil=" Bold" VPom="п" DPom=""/>
<ROW Znam="a" Slog="шу" Stil=" Bold" VPom="п" DPom=""/>
<ROW Znam="a" Slog="ся" Stil=" Italic" VPom="п" DPom=""/>

```

Рис. 6. Пример песнопений в XML-формате

Из множества правил, подходящих для перевода, выбирается лучшее:

$$\begin{aligned}
 BestPrTrz(PrTrz) &= \varphi_8(PrTrz) = \\
 &= \{ \langle z'_i, z'_{i+1}, z'_{i+2} \rangle, \langle n_i, n_{i+1}, n_{i+2} \rangle, p \}.
 \end{aligned}$$

Переведенная рукопись сохраняется в базе данных или в файле в XML-формате (рис. 6). Множество знамен исходной рукописи преобразуется во множество нот с использованием словаря (общего или по отдельности):

$$\begin{aligned}
 Ns &= \varphi_9(BestPrTrz, Rz_i) = \{ \langle n_1, \dots, n_n \rangle \}; \\
 Zv &= \varphi_{10}(Ns) = \{ \langle V, D \rangle \} = \{ \langle v_1, \dots, v_n \rangle, \langle d_1, \dots, d_n \rangle \},
 \end{aligned}$$

где n — число нот, которыми переводятся знамена в рукописи; V — высота; D — длительность.

На структуру данных песнопений в базе данных в первую очередь повлияла структура певческих рукописей. Так, кроме самого знамени (которое представлено буквой и стилем начертания), необходимо сохранить слог, с которым это знамя встретилось, пометы, страницу рукописи, особенность расположения на странице (первый и последний символы в строке, на странице) и т.п.

В правилах перевода знаменных песнопений сохраняется код знамени, ноты, длительность и приоритет. Алгоритм дешифровки знаменных песнопений приведен на рис. 7.

Подготовка рукописи, материалов и результатов исследования для электронного представления. На этом этапе методики предлагается воспроизвести получившееся песнопение, что позволяет проанализировать мелодии на слух, сравнить несколько вариантов перевода и выбрать наилучший.

Для автоматизации заключительных этапов методики реализованы программные компоненты, которые функционально объединены с помощью музыкального проигрывателя Semio_muz (рис. 8).

Разработка АСНИ КС. Для реализации этапов методики была разработана автоматизированная система научных исследований “Компьютерная семиография”. Структурная схема АСНИ представлена на рис. 9. Основными модулями являются модули ввода песнопений, расшифровки знаменных песнопений, исследования знаменных песнопе-

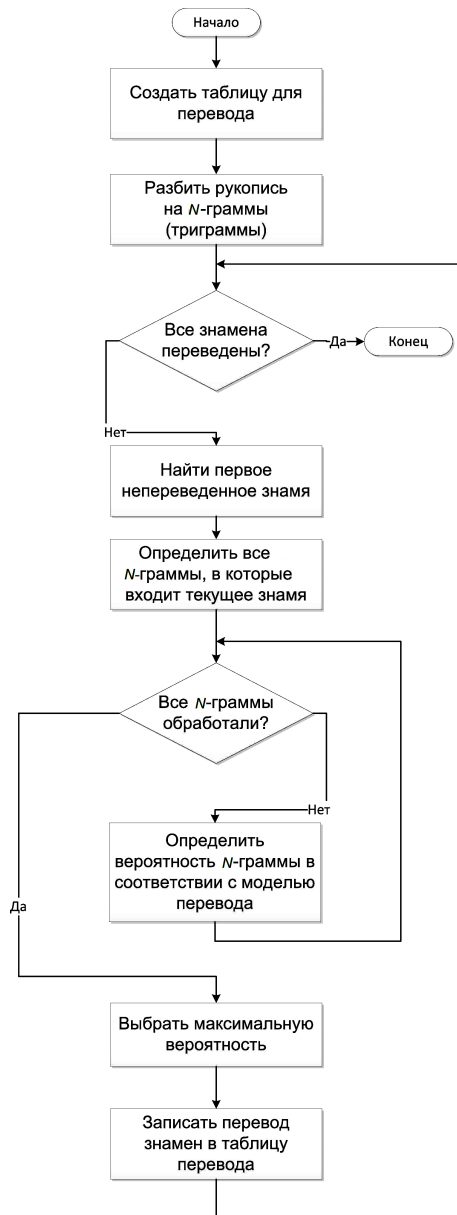


Рис. 7. Алгоритм дешифровки знаменных песнопений

ний и воспроизведения. На первом этапе все песнопения вводятся в базу данных, далее они считываются модулями расшифровки, исследования и воспроизведения. Правила перевода хранятся в базе знаний. В результате исследования эксперт может добавлять, редактировать или удалять правила из базы знаний. Полученные в процессе расшифровки словари и песнопения сохраняются в базе знаний.

Результаты работы. Предложенная методика имеет большую ценность для исследователей, так как вследствие огромного числа источников (как рукописей, так и теоретических руководств) их достаточ-

Музыкальный проигрыватель семиграфических песнопений - веб-приложение, которое предназначено для вывода семиграфической нотации в линейную (квадратную), а также проигрывания получившихся мелодий. В настоящее время осуществля

semio2.xml by mdanshina | semio2.xml by mdanshina

Ve чер ня я на ша мо лит вы, при
и ми свя тый Го спо ди. и по дажь
на о ста кле ні е грэ ховь. z ко
ты е динь е си ж лей въ ми рэ во
скре се ні е.

not_azbuka.xml by mdanshina | not_azbuka.xml by mdanshina

Ve чер ня я на ша мо лит вы, при
и ми свя тый Го спо ди. и по дажь
на о ста кле ні е грэ ховь. z ко
ты е динь е си ж лей въ ми рэ во

Рис. 8. Пример перевода рукописи музыкальным редактором

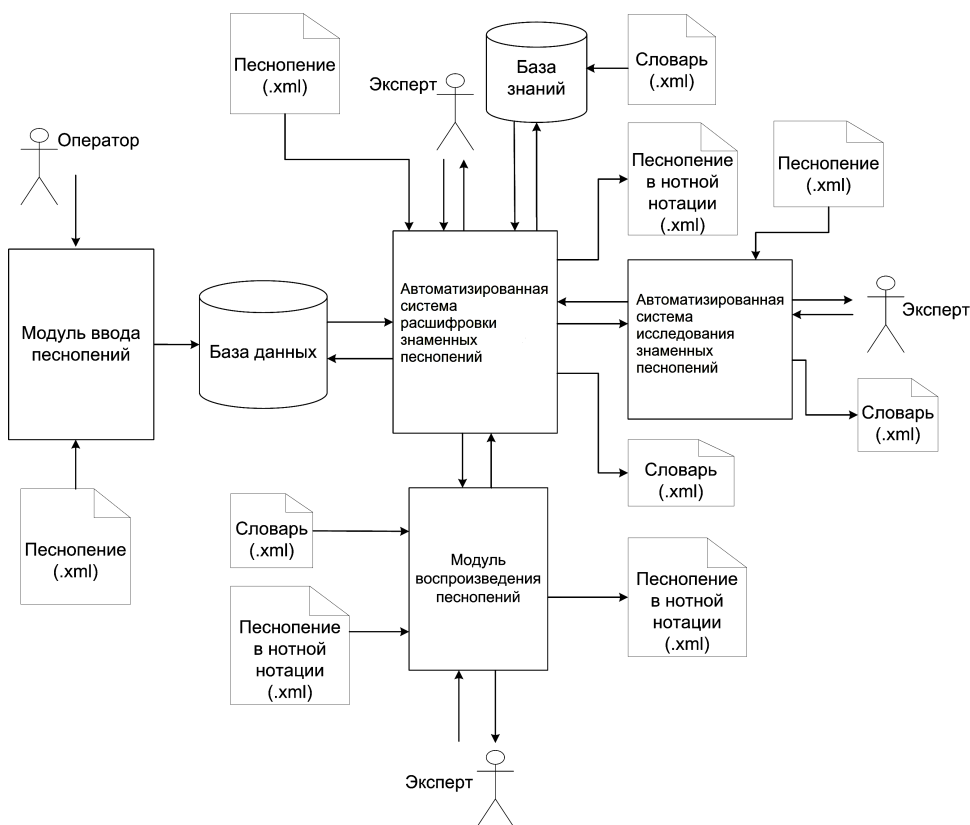


Рис. 9. Структурная схема АСНИ КС

но сложно систематизировать и тщательно проработать. Как правило, это связано с тем, что анализировать и проводить количественные оценки тех или иных показателей приходится вручную, при этом информационные технологии задействованы недостаточно эффективно. Разработанный комплекс сервисов предназначен для упрощения наи-

более трудоемких операций, с которыми сталкиваются исследователи-медиевисты, что уменьшает время, затрачиваемое на проверку и подсчет данных.

Методика расшифровки знаменных песнопений позволяет на выходе получить три основных компонента, необходимых для расшифровки знаменных песнопений: словарь, содержащий правила перевода знамен в ноты; вариант переведенной рукописи в линейной нотации; языковую модель и модель перевода знаменного распева. Перевод песнопений в электронный вид делает их более доступными.

В настоящей работе был создан программный продукт, позволяющий вводить знаменные песнопения в базу данных, редактировать, просматривать их. Реализовано построение модели языка и перевода, что дает возможность осуществить перевод знаменной рукописи в линейную нотацию. С помощью программы также можно формировать частотные двознаменные словари и указатели знамен.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Разумовский Д.В.* Церковное пение в России (Опыт историко-технического изложения) [Электронный ресурс] URL: http://www.seminaria.ru/raritet/razum_history.htm (дата обращения: 20.01.2014).
2. *Смоленский С.В.* Азбука знаменного пения старца Александра Мезенца [Электронный ресурс] URL: http://www.seminaria.ru/raritet/azb_mezen.htm (дата обращения: 20.01.2014).
3. *Бражников М.* Пути развития и задачи расшифровки знаменного распева XII–XVIII веков [Электронный ресурс] URL: http://www.seminaria.ru/raritet/brazhn_ways.htm (дата обращения: 20.01.2014).
4. *Смоляков Б.Г.* К проблеме расшифровки знаменной нотации // Вопросы теории музыки. 1975. Вып. 3. С. 41–69.
5. *Кутузов Б.П.* Русское знаменное пение. М.: Изд-во Андрей Рублев, 2008. 303 с.
6. *Мещерина Е.Г.* Музыкальная культура средневековой Руси. М.: Канон+РООИ “Реабилитация”, 2007. 320 с.
7. *Пожидева Г.А.* Певческие традиции Древней Руси. М.: Знак, 2007. 925 с.
8. *Проект “Фонд знаменных песнопений”* [Электронный ресурс] URL: <http://znamen.ru/index.php> (дата обращения: 20.01.2014).
9. *Проект “Дьяче око”* [Электронный ресурс] URL: <http://dyakoko.mrezha.ru/index.php> (дата обращения: 20.01.2014).
10. *Бахмутова И.В., Гусев В.Д., Титкова Т.Н.* L-граммные азбуки для дешифровки знаменных // Сибирский журнал индустриальной математики. 1998. Т. 1. № 2. С. 51–66.
11. *Проект “Компьютерная семиография”* [Электронный ресурс] URL: <http://compsemiografy.ru> (дата обращения: 20.01.2014).
12. *Даньшина И.В., Даньшина М.В.* Визуализация и разработка электронного издания семиографических песнопений // Научная школа для молодых ученых “Компьютерная графика и математическое моделирование (Visual Computing)”: тезисы и доклады. М., 2009. С. 89–105.
13. *Даньшина И.В., Даньшина М.В.* Статистическое исследование знаменной нотации // Интеллектуальные технологии и системы: Сб. учеб.-методич. работ и статей аспирантов и студентов. Вып. 9. М.: НОК “CLAIM”, 2007. С. 71–80.
14. *Выломова Е.А.* Система распознавания семиографических песнопений // Интеллектуальные технологии и системы: Сб. учеб.-методич. работ и статей аспирантов и студентов. Вып. 9. М.: НОК “CLAIM”, 2007. С. 58–70.

15. Голубева И.В., Филиппович А.Ю. Синтаксический анализ музыкальных текстов // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2013. № 16. С. 257–262.
16. Голубева И.В. Семантика в музыкальных знаковых системах // Сб. тез. и статей российско-германской молодежной дистанционной научной школы “Актуальные и перспективные направления создания систем, обеспечивающих семантический анализ данных в режиме реального времени”. 27 сентября 2012 г. М.: МИСиС, 2012. С. 105–108.
17. Филиппович А.Ю., Голубева И.В. Исследование синтаксиса семиографических песнопений // Изв. вузов. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2012. № 6. С. 147–163.
18. Даньшина И.В. Исследование знаменных песнопений как знаковой системы // Материалы IV междунар. науч. конф. El’Manuscript-2012. Петрозаводск, Ижевск. 2012. С. 73–79.
19. Даньшина М.В. Применение методов машинного перевода для анализа древнерусских музыкальных рукописей // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2013. № 16. С. 263–267.

REFERENCES

- [1] Razumovskiy D.V. Tserkovnoe penie v Rossii. (Opyt istoriko-tekhnicheskogo izlozheniya) [Liturgical chant at Russia. The experience of historical and technical presentation]. Available at: http://www.seminaria.ru/raritet/razum_history.htm (accessed 20 January 2014).
- [2] Smolenskiy S.V. Azbuka znamennoogo peniya startsa Aleksandra Mezentsa [Znamenny chant alphabet by starets Alexander Mezenets]. Available at: http://www.seminaria.ru/raritet/azb_mezen.htm (accessed 20 January 2014).
- [3] Brazhnikov M. Puti razvitiya i zadachi rasshifrovki znamennoogo raspeva XII–XVIII vekov [Development path and Decoding tasks of XII–XVIII centuries Znamenny chant]. Available at: http://www.seminaria.ru/raritet/brazhn_ways.htm (accessed 20 January 2014).
- [4] Smolyakov B.G. K probleme rasshifrovki znamennoy notatsii [On the problem of Znamenny notation’s decoding]. *Sb. “Voprosy teorii muzyki”* [Collect. Pap. “Music theory questions”], 1975, no. 3, pp. 41–69 (in Russ.).
- [5] Kutuzov B.P. Russkoe znamennoe penie [Russian Znamenny chant]. Moscow, Izd. Andrey Rublev Publ., 2008. 303 p.
- [6] Meshcherina E.G. Muzykal’naya kul’tura srednevekovoy Rusi [The musical culture of medieval Russia]. Moscow, Kanon + ROOI “Reabilitatsiya” Publ., 2008. 320 p.
- [7] Pozhidaeva G.A. Pevcheskie traditsii Drevney Rusi [Singing traditions of ancient Russia]. Moscow, Znak Publ., 2007. 925 p.
- [8] Proekt “Fond znamennykh pesnopeniy” [Project “Znamenny chants fund”]. Available at: <http://znamen.ru/index.php> (accessed 20 January 2014).
- [9] Proekt “D’yache oko” [Project “Psalt’s eye”]. Available at: <http://dyakoko.mrezha.ru/index.php> (accessed 20 January 2014).
- [10] Bakhmutova I.V., Gusev V.D., Titkova T.N. L-grammnye azbuki dlya deshifrovki znamennykh pesnopeniy [L-gram alphabets to Znamenny chants decoding]. *Sib. Zh. Ind. Mat.* [J. Appl. Ind. Math.], 1998, vol. 1, no. 2, pp. 51–66 (in Russ.).
- [11] Proekt “Komp’yuternaya semiografiya” [Project “Computer Semiography”]. Available at: <http://compsemiografy.ru> (accessed 20 January 2014).
- [12] Danshina I.V., Danshina M.V. Representation and development of the electronic edition of Semiography chants. *Nauchnaya shkola dlya molodykh uchenykh “Komp’yuternaya grafika i matematicheskoe modelirovanie (Visual Computing)”*: tezisy i doklady [Summ. & Rep. of Scientific School for Young Scientists “Computer graphics and mathematical modeling (Visual Computing)”]. Moscow, 2009, pp. 89–105 (in Russ.).

- [13] Danshina I.V., Danshina M.V. Znamenny notation's statistical research. *Sb. ucheb.-metodich. rabot i statey aspirantov i studentov "Intellektual'nye tekhnologii i sistemy"* [Collect. Pap. "Intelligent Technologies and Systems"], Moscow, 2007, iss. 9, pp. 71–80 (in Russ.).
- [14] Vylomova E.A. Recognition system of Semiography chants. *Sb. ucheb.-metodich. rabot i statey aspirantov i studentov "Intellektual'nye tekhnologii i sistemy"* [Collect. Pap. "Intelligent Technologies and Systems"], Moscow, 2007, iss. 9, pp. 58–70 (in Russ.).
- [15] Golubeva I.V., Filippovich A.Yu. Syntactic analysis of musical texts. *Novye informatsionnye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh* [New IT in automatized systems], 2013, no. 16, pp. 257–262 (in Russ.).
- [16] Golubeva I.V. Semantics of musical sign systems. *Sb. tez. i statey rossiysko-germanskoy molodezhnoy distantsionnoy nauchnoy shkoly "Aktual'nye i perspektivnye napravleniya sozdaniya sistem, obespechivayushchikh semanticheskiiy analiz dannykh v rezhime real'nogo vremeni"* [Collect. Summ. of Russian-German youth remote scientific school "Current and future directions of system engineering, providing real-time semantic analysis of data"]. Moscow, MISIS, 27 September 2012, pp. 105–108 (in Russ.).
- [17] Filippovich A.Yu., Golubeva I.V. Study of syntax of semiography chants. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Probl. poligrafii i izd. dela* [Probl. Print. and Publ.], 2012, no. 6, pp. 147–163 (in Russ.).
- [18] Danshina I.V. Study Znamenny chants as a sign system. *Materialy IV mezhdunar. nauch. konf. El'Manuscript-2012* [Proc.IV Int. Sci. Conf. El'Manuscript-2012]. Petrozavodsk, Izhevsk, 2012, pp. 73–79 (in Russ.).
- [19] Danshina M.V. Machine translation's application for analysis of ancient Russian music manuscripts. *Novye informatsionnye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh* [New IT in automatized systems], 2013, no. 16, pp. 263–267 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 20.02.2014

Марина Владимировна Даньшина — аспирантка кафедры “Системы обработки информации и управления” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 15 научных работ в области информационных технологий и компьютерной лингвистики.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

M.V. Danshina — post-graduate of “Automated Control Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 15 publications in the field of information technologies and computational linguistics.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Андрей Юрьевич Филиппович — канд. техн. наук, доцент кафедры “Системы обработки информации и управления” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 130 научных работ в области компьютерной лингвистики, искусственного интеллекта, методологии ИТ-образования, ситуационных центров и моделирования систем.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

A.Yu. Philippovich — Cand. Sci. (Eng.), assoc. professor of “Automated Control Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 130 publications in the field of computational linguistics, artificial intelligence, methodology of IT-education, situational centers and simulating systems.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.