



УДК 681.3.07

Е.М. Кузнецова, Т.Г. Балова
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**ПРИМЕНЕНИЕ ДЕСКРИПТИВНЫХ ЛОГИК ДЛЯ ОПИСАНИЯ
ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОРТАЛА ЗНАНИЙ**

В процессе разработки порталов знаний создаются онтологические модели знаний, которые содержат множество понятий и отношений между ними. Используемые в порталах знаний онтологические модели должны быть описаны на некотором формальном языке, который являлся бы удобным для программной реализации. Запись на формальном языке позволяет выполнять однозначное описание онтологий, доказывать их согласованность и корректность, а также даёт возможность обрабатывать различные запросы к ним.

В настоящее время существует три логических формализма, которые используются для описания онтологических моделей:

- логика предикатов первого порядка;
- фреймовая логика;
- дескриптивная логика (ДЛ) [1].

Для того чтобы определиться с формальным языком для описания онтологической модели в рамках диссертационного исследования, необходимо оценить каждый из логических формализмов в соответствии с критериями, приведенными ниже.

Набор критериев для оценки существующих логических формализмов:

- разрешимость, т.е. гарантия получения ответа от системы логического вывода:
 - « \rightarrow » – не обладает разрешимостью;
 - « \rightarrow » – обладает разрешимостью;
- выразительная вариативность, т.е. зависимость между выразительной мощностью логического языка и доступными вычислительными ресурсами:
 - « \rightarrow » – не находит компромисса между выразительной мощностью и ресурсоемкостью;
 - « \rightarrow » – находит компромисс между выразительной мощностью и ресурсоемкостью;
- автоматическая классификация понятий, т.е. гарантия того, что для каждого понятия предметной области будет определено место в таксономии, исходя из описания понятия:
 - « \rightarrow » – классификация понятий не присутствует;
 - « \rightarrow » – классификация понятий присутствует.

В таблице приведены оценки логических формализмов по качественному уровню проявления критериев, описанных выше.

В результате тщательного сравнения логических формализмов, выявления их преимуществ и недостатков, для работы с онтологией портала знаний была выбрана теория ДЛ.

ДЛ – это семейство логических языков представления знаний, которые могут быть использованы для записи знаний предметной области формальным способом. При использовании ДЛ на первом этапе описывают необходимые понятия предметной области (тер-

минологию), а затем используют эти понятия для точного описания свойств объектов и индивидов (экземпляров), встречающихся в этой предметной области [2].

Сравнение существующих логических формализмов по заданным критериям

Формализм	Свойство		
	Разрешимость	Вычислительная вариативность	Автоматическая классификация понятий
Логика предикатов первого порядка	–	–	–
Фреймовая логика	+	–	–
Дескриптивная логика	+	+	+

Основные идеи ДЛ [3]:

- базовыми синтаксическими блоками являются: атомарные понятия, атомарные роли, и индивидуумы (экземпляры, константы), причём роли (свойства, отношения) являются самостоятельными элементами, которые могут быть связаны с понятиями;
- есть возможность объединять понятия и роли в выражения для описания более сложных понятий с помощью операций конъюнкции, дизъюнкции и пересечения;
- можно задать отношения между понятиями и между ролями (какие понятия/роли являются тождественными, и какие понятия/роли включают другие понятия/роли);
- выразительная мощь языка ограничивается тем, что он использует достаточно малый набор (необходимый для описания знаний) конструкторов для построения сложных понятий и ролей;
- неявные знания о понятиях и экземплярах могут быть выведены автоматически с помощью процедур логического вывода, в частности отношения включения (родовидовые отношения) между понятиями и ролями.

Системы, построенные с помощью ДЛ, используют для создания баз знаний (БЗ), которые представляются в виде пары *Tbox* и *Abox*. *Tbox* – это набор утверждений, описывающих набор классов, их свойства и отношения между ними (интенсиональные знания). *Abox* представляет собой реализацию схемы классов в виде набора экземпляров, содержащих утверждения об экземплярах понятий (экстенсиональные знания). По существу *Tbox* является моделью того, что может быть истинным, а *Abox* является моделью того, что в настоящее время является истинным.

Таким образом, онтологию в модели, основанной на ДЛ, можно описать следующим кортежем:

$$O = \langle C, R, A, A_R, HC, HR, I, F, Ax \rangle, \quad (1)$$

где C – множество понятий; R – множество отношений между понятиями; $A: C \times C$ – множество свойств понятий; $A_R: R \times R$ – множество свойств отношений; $HC: C \times C$ – иерархия понятий; $HR: R \times R$ – иерархия отношений; I – множество индивидов; F – множество ограничений на значения свойств понятий и отношений, построенных в виде умозаключений вида $p_i(e_{i1}, e_{i2})$, где e_{i1} и e_{i2} – имена атрибутов свойства понятия ($e_{i1}, e_{i2} \in A$) или свойства отношения ($e_{i1}, e_{i2} \in A_R$), кроме этого e_{i2} может задаваться константой; Ax – множество аксиом над понятиями и отношениями.

ДЛ могут применяться для управления онтологиями путём преобразования понятий и отношений онтологии в утверждения ДЛ. БЗ содержит в себе: описания понятий и отно-

шений между понятиями *Tbox* и описания экземпляров понятий *Abox*. С помощью автоматического доказательства можно формировать ответы на запросы к *Tbox* (схеме) и *Abox* (экземплярам). В этом случае, для доказательства выполнимости понятий будут использоваться экземпляры понятий, представленных в онтологии. Запросы к набору понятий *Tbox* определяют классификацию и отношения между понятиями, а запросы к экземплярам понятий *Abox* определяют текущее состояние известных фактов. Выполнимость понятия является доказательством того, что понятие, или понятийное выражение является логически согласованным с Б3. Доказательство того, что Б3 является логически непротиворечивой – это самое главное обоснование правильности построения онтологии.

Аксиомы и ограничения позволяют определить дополнительную семантику понятий и отношений онтологии с помощью вывода ассоциативных отношений:

$$\text{if } r_{pi}(c_1, c_2) \& \dots \& r_{pn}(c_{m-1}, c_m) \text{ then } r_c(c_k, c_l), \quad (2)$$

где $r_{pi} \in HR$, $pi \in \{1, 2, \dots, n\}$; $c_j \in C$, $j \in \{1, 2, \dots, m\}$; $r_c \in HR_A$, HR_A – подмножество ассоциативных отношений HR ; $c_k, c_l \in C$; $k, l \in \{1, \dots, m\}$.

Введённое описание позволяет построить модель поискового запроса следующим образом:

$$Q = \{i_x \in I \mid P(i_x) \& R^1(i_x) \& R^{-1}(i_x)\}, \quad (3)$$

где $i_x \in I$ – искомый индивид или множество индивидов онтологии O , удовлетворяющих описанным в запросе свойствам; $R(i_x) \in F$ – описание свойств искомого индивида i_x в виде ограничений из F ; $R^1(i_x) \in F$ – описание свойств объектов, состоящих в HR с индивидом i_x в «прямых» отношениях; $R^{-1}(i_x) \in F$ – описание свойств объектов, состоящих в HR с индивидом i_x в «обратных» отношениях.

Таким образом, учитывая все вышеописанное, можно сказать, что в рамках диссертационного исследования был выбран подход, в котором онтология предметной области отображается на ДЛ посредством набора преобразований, которые позволяют неявные предположения из модели перенести в онтологию.

На рис. 1 показана последовательность работы по отображению онтологии предметной области на ДЛ [4].

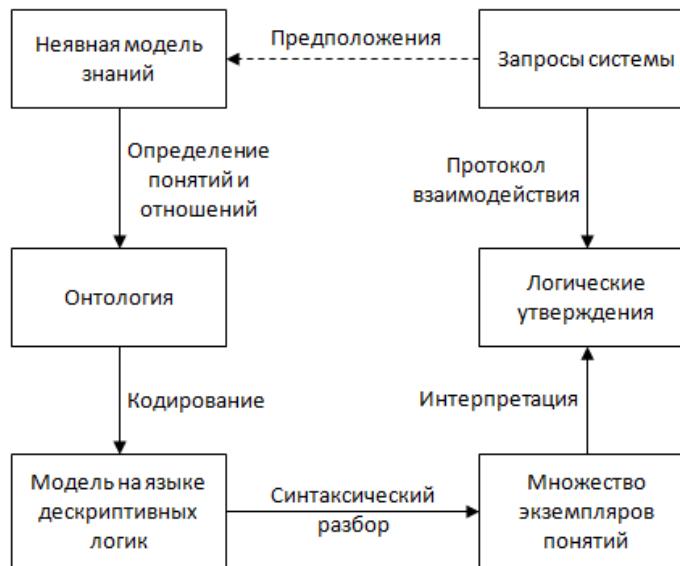


Рисунок 1 – Последовательность работы с онтологией с использованием дескриптивных логик

Последовательность действий:

- построение неявной (неформальной) модели знаний предметной области путём выявления основных понятий и отношений между ними;
- использование выявленных понятий и отношений для построения неформальной онтологии предметной области;
- кодирование созданной онтологии формальным способом с использованием ДЛ;
- осуществление синтаксического разбора закодированной онтологии;
- создание множества экземпляров понятий и сохранение их в виде структуры данных;
- интерпретация полученных структур данных системой логического вывода с целью преобразования в утверждения ДЛ;
- выполнение запросов к логической модели.

Ответы на запросы получаются путём кодирования запроса в виде понятий ДЛ и доказательства того, что эти понятия являются выполнимыми. Если запрос является выполнимым, то понятие, описанное в запросе, является логически согласованным с онтологией. В результате всех этих действий доказательства, выполняемые на модели ДЛ, будут использовать факты из онтологии и исходной модели [4].

Таким образом, формально описанную онтологию предметной области можно программно реализовать с применением теории ДЛ. ДЛ дает возможность осуществить доказательство логической согласованности, непротиворечивости и корректности созданной онтологии. Логические языки являются необходимым средством для описания и управления онтологиями, но они не предоставляют возможность осуществлять к ним запросы. Поэтому для этой цели всегда необходимо использовать механизм логического вывода.

Системы логического вывода позволяют выполнять автоматическое доказательство теорем на моделях ДЛ. В настоящее время существует несколько систем логического вывода. Примерами таких систем является FaCT, RACER, Cerebra Network Inference, Pellet.

Взаимодействие с системой логического вывода может выполняться с использованием стандартного высокоуровневого протокола DIG (Description logic Implementation Group protocol) [5].

Для того чтобы онтологическая модель могла использоваться в портале знаний, её необходимо описать на формальном языке с использованием стандартов Semantic Web, которые определяют XML-язык для кодирования онтологий, называемый Ontology Web Language (OWL) [1]. Язык OWL-DL является подмножеством OWL языка и специально предназначен для онтологий с формальной семантикой и средствами логического вывода, представляемыми ДЛ. Онтология, написанная на языке OWL, может преобразовываться в набор утверждений Б3. Формальная семантика означает, что запросы к Б3 отражают факты об онтологии. В отличие от стандарта XML, документ OWL-DL в действительности является логической программой.

Эта технология предоставляет формальный язык для кодирования онтологий вместе с универсальным XML форматом для ее совместного использования. Они составляют необходимую основу для использования онтологий в порталах знаний, работающих с онтологической моделью.

В заключение можно сказать, что ДЛ представляют удобный инструмент для манипулирования данными, нашедший применение во многих областях, а особенно при построении интеллектуальных систем и различных порталов знаний, в основе которых лежит Semantic Web. Таким образом, применение ДЛ при описании онтологической модели портала знаний электронного университета является актуальным.

Практическое применение семантических порталов знаний непосредственно связано с экспертизой образовательных ресурсов вуза на их соответствие основным положениям Государственного общеобязательного стандарта образования Республики Казахстан (ГОСО РК), утвержденного Приказом министра образования и науки РК от 17 июня 2011 г.

В соответствии с ГОСО РК образовательные программы специальностей (бакалавриата, магистратуры и докторантуры) разрабатываются вузом самостоятельно в соответствии с Дублинскими дескрипторами и в согласовании с Европейской рамкой квалификаций. На основе разработанных в соответствии со стандартами программ специальностей строятся онтологии, работа с которыми осуществляется с помощью средств логического формализма ДЛ, позволяющих описать онтологическую модель таким образом, чтобы она эффективно могла применяться в семантических порталах знаний.

Список литературы

1. Васильев И.А. Методы и инструментальные средства построения семантических Web-порталов: Автореф. ... дисс. канд. техн. наук. - Томск: Изд-во НТЛ, 2005. - 193 с.
2. Тузовский А.Ф. Программная реализация основных компонент информационно-программного обеспечения системы управления знаниями / А.Ф. Тузовский, И.А. Васильев, М.В. Усов // Известия ТПУ. - 2004. - Т. 307. - № 7. - С. 116-122.
3. Ямпольский В.З. Системы управления знаниями (методы и технологии) / В.З. Ямпольский, А.Ф. Тузовский, С.В. Чириков. - Томск: Изд-во НТЛ, 2005. - 260 с.
4. Тузовский А.Ф. Работа с онтологической моделью организации на основе дескриптивной логики // Известия ТПУ. - 2006. - Т. 309. - № 7. - С. 134-137.
5. Bechhofer S. The DIG Description Logic Interface: DIG 1.1. - Manchester, 2003. - Р. 3-15.

Получено 29.05.12

УДК 681.3.07

Е.М. Кузнецова, Т.Г. Балова

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТЕРМИНОВ
ИЗ ЕДИНИЦЫ ЭЛЕКТРОННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО РЕСУРСА**

Существующие электронные образовательные ресурсы, распределенные на различных образовательных порталах вузов и в Интернет, имеют разный уровень качества: слабо структурированы и плохо систематизированы. Качество обучения в соответствии с принципами компетентностного подхода и основными положениями Государственного общеобязательного стандарта образования Республики Казахстан (ГОСО РК) определяется качеством образовательных ресурсов, которое может оцениваться различными показателями. Для того чтобы осуществить процедуру оценки единицы электронного образовательного ресурса, необходимо извлечь из рассматриваемого ресурса набор терминов, связанных с компетентностной моделью. Для выделения терминов из ресурса был разработан алгоритм автоматического извлечения терминов. Набор терминов, полученный в результате выполнения данного алгоритма, в дальнейшем будет использоваться в процессе экспертизы качества ресурса.

Автоматическое извлечение терминов – это процедура автоматической обработки текста с целью извлечения наиболее важных сведений (информационных фраз) из одного или нескольких документов. Системы, направленные на извлечение знаний из текстов на естественных языках, называются лингвистическими процессорами. Подобные системы могут использоваться для автоматического заполнения баз знаний и интегрироваться с экспертными системами оценки [1].

Перед началом разработки алгоритма извлечения терминов были рассмотрены существующие аналоги. В настоящее время существует большое количество систем автоматического извлечения терминов из текста на естественном языке. Однако большинство существующих систем либо ориентированы на обработку западноевропейских языков, либо из-за особенностей их программной реализации, применения устаревших и недостаточно эффективных методов извлечения терминов и условий распространения не могут быть использованы для решения поставленной задачи. Ключевыми факторами при отборе аналогов в диссертационной работе были рекомендации экспертов, количество исследовательских работ, посвящённых аналогам, а также популярность соответствующих систем в современном ИТ-сообществе.

В результате обзора современных систем извлечения терминов из текста на естественном языке было выбрано шесть наиболее часто используемых аналогов. Для того чтобы перейти к выбору прототипа для подсистемы автоматического извлечения терминов данной диссертационной работы, необходимо оценить каждый из аналогов в соответствии с критериями, приведенными ниже.

Набор критериев для оценки существующих систем извлечения терминов:

- поддержка русского языка:
 - 0.0 – поддержка отсутствует;
 - 1.0 – поддержка присутствует;
- качество результата по итогам экспертной оценки:

- 0.0 – минимальная оценка;
1.0 – максимальная оценка;
– доступность аналога для использования:
0.0 – использование аналога требует приобретения платной лицензии или временной подписки;
0.5 – существуют полноценные бесплатные версии аналога, β -версии или специальные версии для академических исследований;
1.0 – аналог распространяется как свободное программное обеспечение;
– независимость аналога от наличия онтологии заданной области знаний или специализированного тезауруса в процессе извлечения терминов:
0.0 – аналог спроектирован с целью использования специализированного тезауруса или онтологии области знаний в процессе выделения терминов;
1.0 – результат выделения терминов не зависит от наличия специализированного тезауруса или онтологии области знаний.

В таблице приведены оценки аналогов по качественному уровню проявления критерий, описанных выше.

В результате попарного сравнения аналогов (табл.) по заданным критериям целесообразным оказывается выбор аналога ContentAnalyzer [2] в качестве прототипа подсистемы автоматического извлечения терминов из текста на естественном языке.

В общем виде структура работы лингвистического процессора, ориентированного на извлечение терминов из единицы электронного образовательного ресурса, прототипом которой является система ContentAnalyzer, представлена в виде схемы на рис. 1.

Сравнение существующих аналогов по заданным критериям

№	Название аналога	Оценки по критериям				Σ
		Русский язык	Экспертная оценка	Доступность	Независимость	
1	OpenCalais	0.0	0.8	0.5	0.0	1.3
2	Extractor	0.0	0.7	0.0	1.0	1.7
3	TerMine	0.0	0.9	0.5	1.0	2.4
4	TextAnalyst	1.0	0.3	0.5	1.0	2.8
5	АОТ	1.0	0.4	1.0	1.0	3.4
6	ContentAnalyzer	1.0	0.6	1.0	1.0	3.6

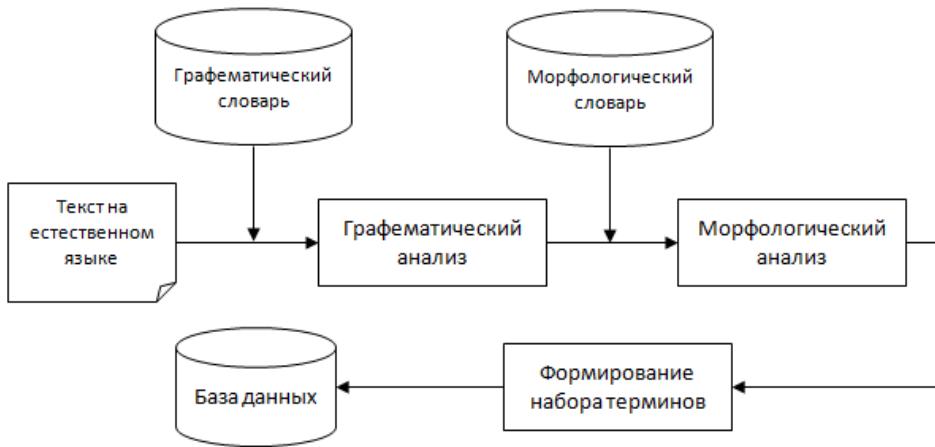


Рисунок 1 – Обобщенная структура работы лингвистического процессора

Компоненты, составляющие языковую модель (рис. 1), – анализаторы, которые друг за другом обрабатывают текст входного документа. Вход одного анализатора является выходом другого.

Графематический анализ – это начальный этап анализа текста на естественном языке, представленного в виде цепочки символов. На этом этапе вырабатывается информация, необходимая для дальнейшей обработки другими анализаторами. В задачу графематического анализа входят: разделение входного текста на слова и разделители (стоп-слова), выделение предложений, абзацев, заголовков, примечаний по определенным правилам разбиения текста. В процессе этого этапа осуществляется фильтрация на основе лингвистической информации: удаление стоп-слов, служебных символов, имен собственных, чисел и дат. Необходимая лингвистическая информация содержится в графематическом словаре. В результате получаем множество слов-кандидатов $D_j = \{d_{1j}, d_{2j}, \dots, d_{nj}\}$ для каждого документа.

На этапе морфологического анализа [3] определяются принадлежность каждой словоформы к определенной морфеме, находящейся в морфологическом словаре, и грамматические признаки для каждой словоформы (род, число, падеж и т.д.). Для анализа используется словарь основ слов и словоформ с их грамматическими признаками в зависимости от различных изменяемых частей слова (окончания, суффиксы). Результатом морфологического анализа является морфологически размеченный текст, представленный в виде набора терминов.

Однако из алгоритма функционирования выбранного прототипа и результатов его сравнения с существующими аналогами видно, что распознавание многословных терминов осуществляется с недостаточной точностью. Необходима доработка алгоритма с целью явного определения терминов, наиболее адекватных исходному тексту, а также их ранжирования на основе статистического значения терминологичности.

Из результатов попарного сравнения аналогов (табл.) видно, что аналог TerMine [4] получил наивысшую оценку качества результата работы среди систем по мнению экспертов.

Система TerMine использует статистический метод C-value [5], который позволит со-поставить каждому извлечённому из текста термину значение терминологичности, вы-

числяемое по формуле:

$$C-value(a) = \begin{cases} \log_2 |a| \cdot f(a), & \text{если } a \text{ не вложен} \\ \log_2 |a| \cdot f(a) - \frac{1}{P(T_a)} \cdot \sum_{b \in T_a} f(b), & \text{если } a \text{ вложен,} \end{cases} \quad (1)$$

где a – кандидат в термины; $|a|$ - длина словосочетания, измеряемая в количестве слов; $f(a)$ - частность a ; T_a – множество словосочетаний, которые содержат a ; $P(T_a)$ - количество словосочетаний, содержащих a .

Из формулы (1) видно, что, чем больше частота встречаемости термина-кандидата в тексте и чем выше его длина, тем больше его вес в исходном тексте. Однако, если этот кандидат входит в большое количество других словосочетаний, то его вес уменьшается. Путём сортировки списка кандидатов в термины по убыванию значения C-value можно получить список терминов, наиболее адекватных исходному тексту. Полученный набор терминов записывается в базу данных.

Таким образом, структуру работы лингвистического процессора, изображенного на рис.1, можно преобразовать путем внесения блока явного извлечения терминов на основе метода C-value. Структурная модель блока извлечения терминов представлена на рис.2.

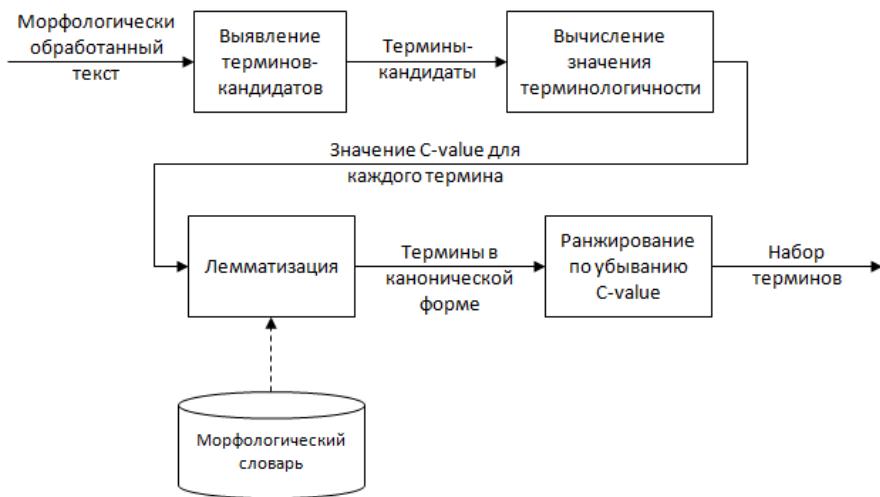


Рисунок 2 – Структурная модель блока извлечения терминов

Теперь более подробно рассмотрим некоторые аспекты, касающиеся работы лингвистического процессора, а именно процесс приведения электронных образовательных ресурсов к единому формату, удобному для обработки, и процесс создания графематического и морфологического словарей.

Как известно, электронные образовательные ресурсы, размещенные на порталах вузов и в Интернете, имеют различные форматы. Чаще всего это форматы *.pdf, *.txt, *.doc, *.html. Для того чтобы лингвистический процессор смог обработать документ любого из вышеприведенных форматов, необходимо привести документы к единому формату, наиболее удобному для обработки. Таким образом, в структуру работы лингвистического процессора также необходимо включить блок, приводящий электронные образовательные

ресурсы к единому формату *.txt, позволяющему представить содержимое документа в виде текста на естественном языке.

Графематический и морфологический словари были созданы на основе Викисловаря и содержат более 120000 слов. Графематический словарь содержит в своем составе стоп-слова (пробелы, перенос на следующую строку, возврат каретки), служебные символы, имена собственные и числа. Морфологический словарь содержит в себе слова, распределенные по частям речи, и их словоосновы без суффиксов и окончаний.

Таким образом, обобщенную структуру работы лингвистического процессора можно конкретизировать и представить в виде следующей структурной модели (рис. 3).

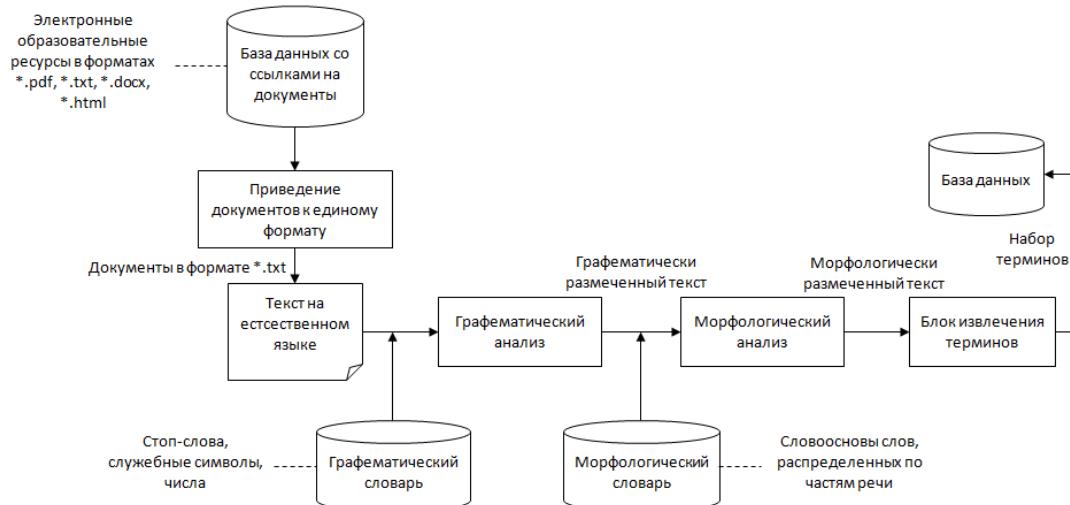


Рисунок 3 – Структурная модель подсистемы автоматического извлечения терминов из единицы электронного образовательного ресурса

В рамках диссертационного исследования осуществляется извлечение терминов из курса лекций определенной дисциплины по следующему алгоритму:

- выбирается определенная дисциплина, для которой в базе данных хранятся ссылки на электронные образовательные ресурсы;
- загружается курс лекций для выбранной дисциплины;
- приводится документ к необходимому формату и подается на вход лингвистического процессора, если формат документа является отличным от *.txt;
- с помощью графематического словаря процессор разбивает курс лекций на предложения, удаляет лишнюю информацию и выделяет множество слов-кандидатов;
- множество слов-кандидатов обрабатывается с помощью морфологического словаря;
- с применением метода C-value из множества слов-кандидатов выделяется набор терминов, которые записываются в базу данных.

Таким образом, наиболее информативные фразы курса (термины) лекций будут храниться в базе данных с привязкой к конкретному документу. Экспертиза качества единицы электронного образовательного ресурса будет осуществляться с использованием терминов данного ресурса.

Список литературы

1. Апресян Ю.Д. Лингвистический процессор для сложных информационных систем / Ю.Д. Апресян, И.М. Богуславский, Л.Л. Иомдин. - М.: Наука, 1998. - 256 с.
2. Content Analyzer v0.52. URL: <http://www.rvsn2.narod.ru/soft51.htm> Дата обращения: 15.03.2012.
3. Ножов И.М. Морфологическая и синтаксическая обработка текста (модели и программы): Автореф. ... дисс. канд. техн. наук. - М., 2003. - 140 с.
4. TerMine Web Demonstrator. URL: <http://www.nactem.ac.uk/software/termine> Дата обрашения: 16.03.2012.
5. Frantzi K., Ananiadou S., Mima H. Automatic recognition of multi-word terms: the C-value/NC-value method. Manchester: Int J Digit Libr, 2000. - P. 115-130.

Получено 14.05.12

УДК 004:378

Т.В. Попова, Н.Ф. Денисова
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**ОЦЕНКА ИНФОРМАТИЗАЦИИ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА им. Д. СЕРИКБАЕВА**

В последние годы тема информатизации для системы образования стала весьма злободневной. Программы информатизации в области образования разрабатываются и принимаются региональными органами управления образованием, отдельными образовательными структурами и учреждениями, общественными организациями, коммерческими структурами.

Под информатизацией системы образования понимается процесс создания единого информационного пространства системы образования и внедрения информационных технологий во все виды и формы деятельности структур образования, трансформация на этой основе существующих и формирование новых образовательных моделей. Под единым информационным пространством системы образования понимается такая совокупность информационных образовательных ресурсов, средств их хранения и передачи, которая обеспечивает любому пользователю (структурам системы образования или индивидуальным потребителям образовательных услуг) возможность полного информационного обеспечения своей деятельности, получения любых образовательных услуг, а также возможность информационного обмена между пользователями.

Рассмотрим АИС Восточно-Казахстанского государственного университета им. Д. Серикбаева.

Виртуальный институт ВКГТУ - подразделение университета, представляющее собой программный комплекс, позволяющий накапливать и обрабатывать информацию о деятельности университета и отображать эту информацию в удобном для пользователей виде. ИС включает в себя набор автоматизированных рабочих мест, которые устанавливаются на компьютеры соответствующим сотрудникам, и целую систему веб-приложений, доступных через интернет.

Основной задачей Виртуального института является автоматизация главных областей образовательного процесса вуза: управление учебной деятельностью, управление научно-исследовательской работой и управление воспитательной работой (рис. 1).

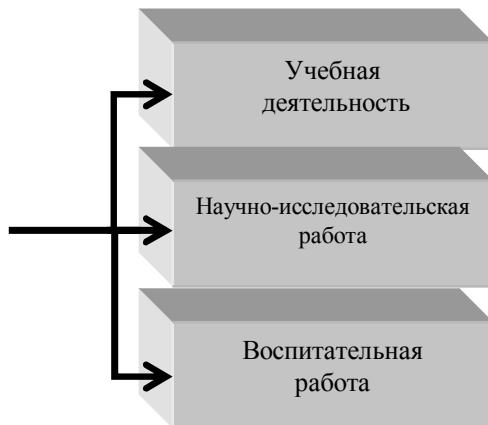


Рисунок 1 - Общая структура Виртуального института

Рассмотрим более детально учебную деятельность вуза (рис. 2).

Виртуальный институт реализует большинство основных бизнес-процессов учебного отдела:

- работа со студенческим составом, учет посещаемости, успеваемости;
- поддержка учебного процесса во всех аспектах и на всех стадиях обучения;
- подготовка электронных учебных курсов в системе электронного обучения;
- подсчет рейтинга ППС;
- предоставление доступа к электронному расписанию;
- организация учебного процесса по дистанционным образовательным технологиям (ДОТ);
- управление научной деятельностью вуза;
- обеспечение администрации вуза информацией о состоянии учебного процесса, о научной деятельности вуза.

Все эти бизнес-процессы реализованы в информационно-образовательном портале (www.do.ektu.kz), который обеспечивает принципиально новый уровень доступности образования при сохранении его качества, дающий возможность высокоскоростного оперативного доступа к учебно-методическим модулям дисциплин, реализации удаленного разнотипного контроля знаний, организации сбора разнородной статистики.

Для отображения функциональной модели Виртуального института воспользуемся методом декомпозиции (рис. 2). Согласно этому методу каждый сложный процесс может быть выражен блоком последовательных и параллельных активностей, которые выполняются некоторыми субъектами (или с помощью некоторых механизмов).

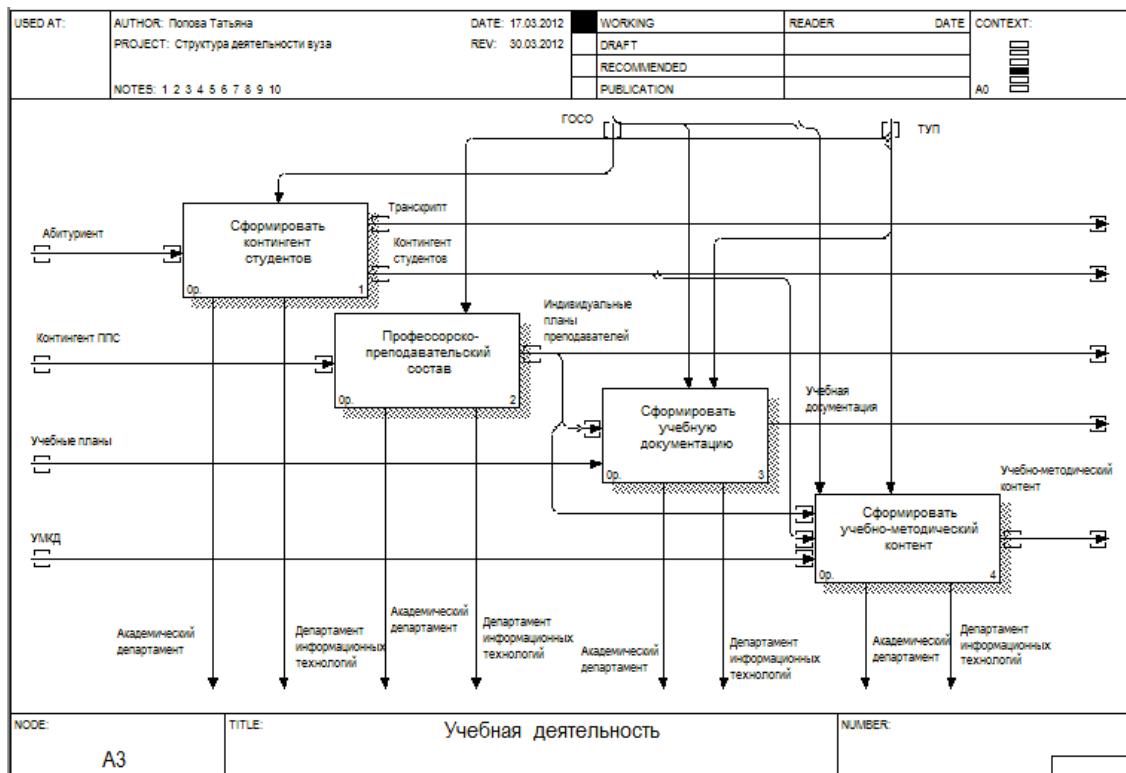


Рисунок 2 - Декомпозиция учебной деятельности вуза

Для оценки информационной инфраструктуры необходимо определить критерии (список критериев был представлен в работе [1]).

1. Функциональная полнота (ФП).

В настоящее время информационная система университета включает более двух десятков различных подсистем, автоматизирующих все основные функции учебного процесса в университете, обеспечивая при этом единое информационное пространство факультетов (деканатов, кафедр), служб и подразделений (табл. 1).

Таблица 1
Функции учебного процесса

Наименование функции учебного процесса	Автоматизировано
Структура вуза	+
Профессорско-преподавательский состав	+
Учебные планы	+
Учебные пособия	+
Контингент	+
Успеваемость	+
Посещаемость	+
Учебная нагрузка	+
Доступ к расписанию	+
Абитуриент	+
Транскрипт	+

Окончание таблицы 1

Наименование функции учебного процесса	Автоматизировано
Система дистанционного обучения	+
База практик	+
Научная и инновационная деятельность	+
Рейтинг профессорско-преподавательского состава	+
Мониторинг учебного процесса	+
Тестирование	+
Студент	+
Индивидуальные учебные планы	+
Студенческие приказы	-
Распоряжения	-
Автоматическое формирование расписания	-

$$\Phi\pi = \frac{\text{количество автоматизированных функций учебного процесса}}{\text{общее количество функций учебного процесса}} \cdot 100\% = \frac{19}{22} \cdot 100\% = 86\%.$$

2. *Открытость архитектуры (OA)*. Система университета выполнена на одной платформе, которая представляет собой портал.

Портал состоит из следующих элементов (рис. 3):

- 1) единая База данных – на базе СУБД MSSqlServer 2008;
- 2) web – приложение на базе ASP и ASP.NET;
- 3) автономное приложение SPortal.

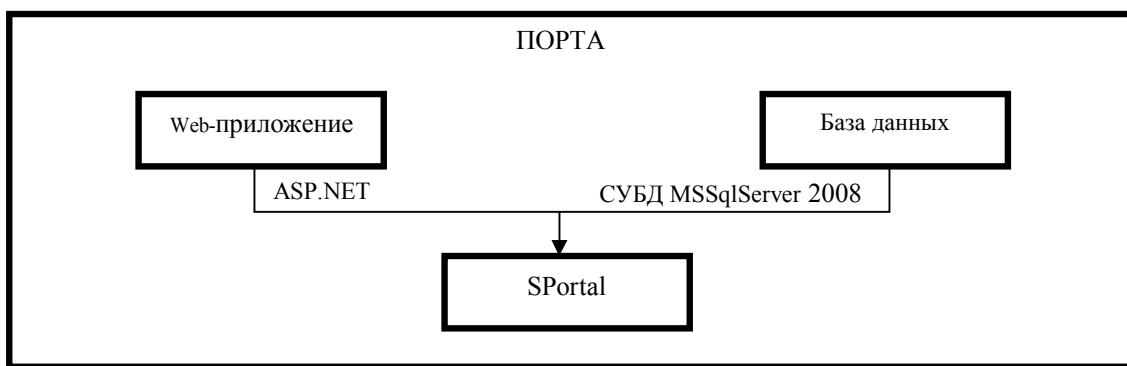


Рисунок 3 - Структура портала

Таблица 2

Критерии параметра «Открытость архитектуры»

Критерии (N)	Оценки (Ni): Есть (+), нет (-)
N1 – <i>расширяемость/масштабируемость</i> – возможность добавления новых функций ИС или изменения некоторых уже имеющихся при неизменных остальных функциональных частях ИС	+
N2 - <i>мобильность/переносимость</i> – возможность переноса программ и данных при модернизации или замене аппаратных платформ ИС и возможность работы с ними специалистов, пользующихся ИТ, без их переподготовки при изменен-	+

ниях ИС	Окончание таблицы 2
Критерии (N)	Оценки (Ni): Есть (+), нет (-)
N3 - взаимодействие - способность к взаимодействию с другими ИС (технические средства, на которых реализована информационная система, объединяются сетью или сетями различного уровня - от локальной до глобальной)	+
N4 - дружественность к пользователю - развитые унифицированные интерфейсы в процессах взаимодействия в системе «человек-машина» позволяют работать пользователю, не имеющему специальной «компьютерной» подготовки	+

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^4 Ni}{4} \cdot 100 \% = \frac{4}{4} \cdot 100 \% = 100 \% .$$

3. Интегрированность документооборота (ИД).

База данных, содержащая всю необходимую информацию для управления учебным процессом, располагается на корпоративном сервере системы, к которому имеют доступ пользователи.

Таблица 3
Документооборот учебного процесса

Вид документа	Наличие электронного вида
Личная карта абитуриента	+
Ведомость по дисциплине	+
Сводная ведомость	+
Ведомость по профессиональной практике	+
Ведомость по государственным экзаменам	+
Ведомость по защите диплома/диссертации	+
Индивидуальный учебный план студента	+
Транскрипт	+
Зачетная книжка	+
Допуск к сессии	+
Журнал успеваемости	+
Журнал посещаемости	+
РУП	+
Личная карта студента	+
Приказ	-
Распоряжение	-
Служебная записка	-
Регистрация на летний семестр	-
Деление на подгруппы	-
Формирование лекционных потоков	-

$$ИД = \frac{\text{учебный электронный документооборот}}{\text{общее количество учебного документооборота}} \cdot 100 \% = \frac{14}{20} \cdot 100 \% = 70 \% .$$

4. Организация сетевого взаимодействия (СВ). В качестве основы организации сете-

вого взаимодействия используется существующая корпоративная вычислительная сеть университета. Оценкой критерия являются принципы архитектурной безопасности (табл. 4).

Таблица 4

Критерии параметра «Организация сетевого взаимодействия»

Критерии (N)	Оценки (Ni): Есть (+), нет (-)
N1 - Внесение в конфигурацию той или иной формы избыточности (резервное оборудование, запасные каналы связи и т.п.)	+
N2 - Наличие средств обнаружения нештатных ситуаций	+
N3 - Наличие средств реконфигурирования для восстановления, изоляции и замены компонентов, отказавших или подвергшихся атаке на доступность	+
N4 - Рассредоточенность сетевого управления, отсутствие единой точки отказа	+
N5 - Выделение подсетей и изоляция групп пользователей друг от друга	+

$$CB = \frac{\sum_{i=1}^5 Ni}{5} \cdot 100 \% = \frac{5}{5} \cdot 100 \% = 100 \% .$$

5. *Защита от несанкционированного доступа (ЗД)*. Система защищена от несанкционированного доступа и обеспечивает разграничение прав доступа пользователей к функциям системы и данным.

Таблица 5

Критерии параметра «Защита от несанкционированного доступа»

Критерии (N)	Оценки (Ni): Есть (+), нет (-)
N1 - сигнализацию о НСД	+
N2 - блокировку (отключение терминала, элементов ИВС и т.п.)	+
N3 - задержку в работе	-
N4 - отказ в запросе	+
N5 - имитацию выполнения запрещенного действия для определения места подключения нарушителя и характера его действий	+

$$ЗД = \frac{\sum_{i=1}^5 Ni}{5} \cdot 100 \% = \frac{4}{5} \cdot 100 \% = 80 \% .$$

6. *Интеграция с системами других уровней (ИС)*, в том числе внутривузовскими, региональными.

Всего существует 4 системы: 1С тестирование, 1С бухгалтерия, Документооборот и Отдел кадров. В единую систему интегрированы всего 3: 1С тестирование, 1С бухгалтерия и Документооборот (рис. 4).

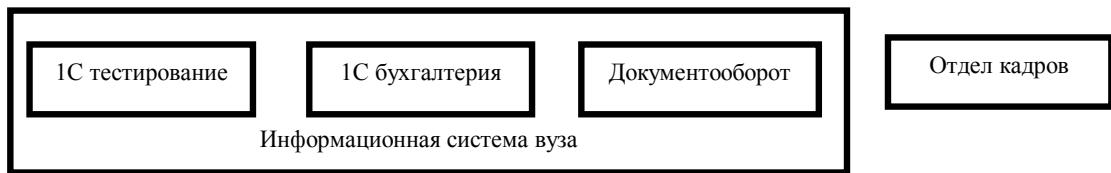


Рисунок 4 - Интегрированность системы

$$ИС = \frac{\text{количество интегрированных систем}}{\text{общее количество систем}} \cdot 100 \% = \frac{3}{4} \cdot 100 \% = 75 \% .$$

Каждая система публикует данные, необходимые для других систем, посредством web-служб, которые запрашиваются по мере необходимости.

Таблица 6
Критерии оценки информатизации университета

Университет	Критерии					
	Функциональная полнота, %	Открытость архитектуры	Интегрированность по данным, %	Организация сетевого взаимодействия, Мб/с	Защита от несанкционированного доступа	Интеграция с системами других уровней, %
ВКГТУ им. Д. Серикбаева	86	100	70	100	80	75

По результатам анализа Виртуального института, отраженных в табл. 6, итоговая оценка информатизации университета:

$$ИО = \frac{\Phi\pi + ОA + ИД + CB + ЗД + ИС}{6} = \frac{86 + 100 + 70 + 100 + 80 + 75}{6} = 85\% .$$

В статье были получены результаты оценки информационной инфраструктуры ВКГТУ им. Д. Серикбаева. Итоговая оценка составила 85 %, что говорит о высокой степени развития информационной инфраструктуры данного вуза.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод: при проектировании сложных систем можно применять метод декомпозиции, как было показано в данной статье. Детализация решает вопросы построения общей архитектуры информационных потоков, функциональных моделей. Детальный анализ системы позволяет определить критерии оценки информационной инфраструктуры вуза и оценить инфраструктуру вуза в соответствии с полученными критериями.

- Попова Т.В. Определение критериев оценки ИТ-инфраструктуры университета // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «20 лет развития Казахстана – путь к инновационной экономике: достижения и перспективы». – 2012. – ч. II. – с. 106-108.
- Ильин В.В. Моделирование бизнес-процессов. – М.: ООО «И.Д. Вильямс». – 2006.

Получено 15.05.12

УДК 004:574

С.Ж. Рахметуллина, А.Б. Баяхатов
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АДАПТИВНЫХ СЕТОК**

Разработка аналитической поддержки системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в промышленно развитых городах является одним из актуальных направлений развития информационных технологий экологического мониторинга и их инструментальных средств. Кафедра информационных систем ВКГТУ им. Д. Серикбаева ведет активную работу по данному направлению и выполняет финансируемые научно-исследовательские работы. Выбор направления научно-исследовательской работы кафедры обусловлен запросами природоохранных предприятий региона и неблагоприятной экологической ситуацией [1].

Требования к созданию экологических систем мониторинга сводятся к необходимости использования, наряду с системами баз данных, ГИС-технологий, методов математического моделирования. С точки зрения повышения эффективности систем мониторинга, одним из подходов является разработка математического обеспечения системы на основе моделей гидротермодинамики атмосферы и модели переноса загрязняющих веществ с использованием динамически адаптивных сеток.

Алгоритм метода адаптивных сеток. Можно отметить два главных подхода к построению динамически адаптивных сеток. В первом из них используется фиксированное число узлов. Эти узлы в процессе решения задачи перемещаются, создавая сгущения, например, в подобластях больших градиентов. Один из таких методов – широко используемый метод эквираспределения (называемый иногда методом равнораспределения). Другой подход состоит в локальном улучшении сетки, когда в ходе расчета узлы могут добавляться в подобласти, где точность решения становится менее требуемой, и выбрасываться из тех подобластей, в которых точность решения получается более требуемой. Расчеты на адаптивных сетках позволяют существенно повысить точность численного решения по сравнению с решением, полученным на неподвижной равномерной сетке с тем же количеством узлов [2-5].

Рассмотрим общую постановку задачи в операторном виде:

$$Ly = f,$$

где L – оператор, y – искомая функция, f – заданная функция.

Рассмотрим равномерную сетку ω_h на отрезке $[0, 1]$ с шагом $h = 1/N$, где N – количество шагов. Неравномерной сеткой называется образ равномерной сетки при отображе-

НИИ

$$x = x(\xi), \xi \in [0, 1], \quad (1)$$

это отображение произвольное достаточно гладкое взаимно-однозначное отображение отрезка $[0, 1]$ на отрезок $[0, l]$, такое, что $x(0) = 0, x(1) = l$, где ξ – независимая переменная.

Пусть построена разностная схема для поставленной задачи на неравномерной сетке:

$$L_h y_h = f_h. \quad (2)$$

Идея метода эквираспределения заключается в том, что предварительно строится управляющая функция $\omega(x) > 0$, в которой учитывается информация о поведении погрешности численного решения. Управляющую функцию задают зависящей от производных некоторого порядка. При конструировании отображения (1) должен выполняться принцип эквираспределения, то есть произведение якобиана отображения на значение управляющей функции должно быть величиной постоянной:

$$\omega(x(\xi)) J(\xi) = \text{const}, \xi \in [0, 1].$$

При решении задач, как правило, точное решение не известно, следовательно, невозможно вычислить значение управляющей функции и найти координаты узлов неравномерной сетки, но можно вести поиск решения и построение сетки одновременно с использованием итерационных методов. Такой метод называется методом адаптивных сеток.

Алгоритм метода адаптивных сеток заключается в следующем:

1) в качестве начального итерационного приближения берется равномерная сетка на отрезке $[0, 1]$ с шагом $h = 1/N$, $x_j^0 \in [0, 1]$ – узлы этой сетки, и решение y_h^0 на равномерной сетке;

2) пусть n -е приближение x^n , y_h^n найдено, тогда:

а) методом прогонки решается задача

$$\frac{1}{h} \left(\omega(x_{j+1/2}) \frac{x_{j+1} - x_j}{h} - \omega(x_{j-1/2}) \frac{x_j - x_{j-1}}{h} \right) = 0,$$

где $j = 1, \dots, N-1$,

$$x_0 = 0, x_N = l$$

для определения координат узлов новой сетки $x_j^{n+1} \in [0, 1]$, при этом значения управляющей функции определяются по предварительно построенной формуле по известному решению y_h^n (2) с n -й итерацией;

б) на построенной сетке $x_j^{n+1} \in [0, 1]$ находится решение (2) y_h^{n+1} разностной задачи на неравномерной сетке;

3) итерация продолжается до сходимости с заданной точностью величин y_h^n .

Описанный выше метод позволяет построить неравномерную сетку, зависящую от поведения решения задачи, при удачном выборе управляющей функции результаты расчета с помощью этого метода могут быть гораздо точнее результатов на равномерной сетке с таким же количеством узлов.

При разработке математического обеспечения информационной системы мониторинга

загрязнения атмосферы, на начальном этапе метод адаптивных сеток применен к начально-краевой задаче для нестационарного линейного одномерного уравнения переноса постоянным коэффициентом $a > 0$:

$$\begin{aligned} u_t + au_x &= 0, \quad x \in (0, l], \\ u(x, 0) &= u_0(x), \quad x \in \Omega \equiv (0, l], \\ u(x, t) &= \mu_0(t), \quad x = 0, l; \quad 0 \leq t \leq T. \end{aligned}$$

Построена управляющая функция вида: $\omega_{j+1/2} = 1 + \alpha_1 \left| \frac{y_{j+1}^n - y_j^n}{h_{j+1/2}^n} \right|$.

Разработана система обработки данных, основанная на численном решении с использованием методов: предиктор-корректор на равномерной сетке; предиктор-корректор на адаптивной сетке.

Система реализована в виде приложения Windows в среде объектно-ориентированного программирования Delphi. Результаты расчетов по алгоритмам визуализированы в двухмерной и трехмерной графике с помощью возможностей MS Office и Surfer. Межпрограммное взаимодействие осуществлено с использованием технологии Automation.

Пример: в качестве начального условия рассмотрена функция, представленная на рис. 1.

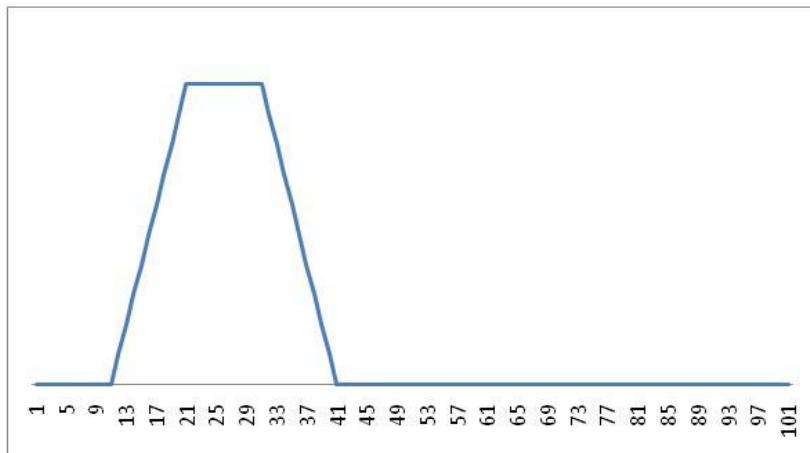


Рисунок 1 – Начальное условие

На рисунках 2, 3, 4 представлены результаты работы программного приложения.

Поскольку для рассматриваемой задачи существует аналитическое решение, результаты расчетов на равномерной и на адаптивной сетках сравнены с точным решением. На рис. 4 представлены усредненные по времени абсолютные погрешности расчета для каждого узла пространственной сетки.

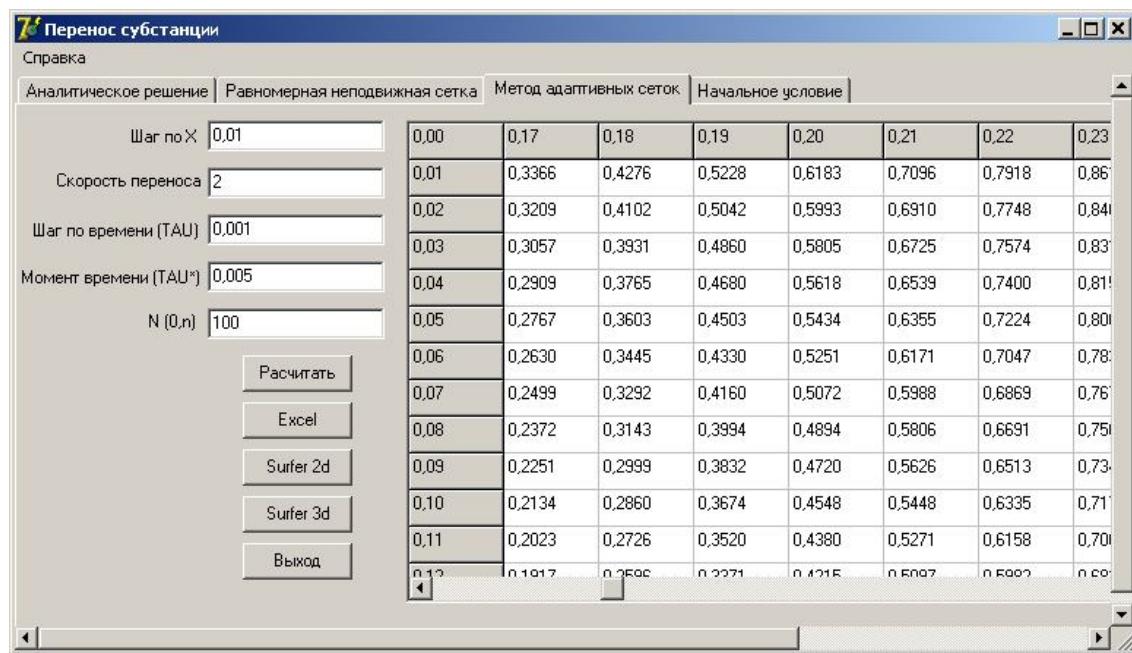


Рисунок 2 – Главное окно приложения

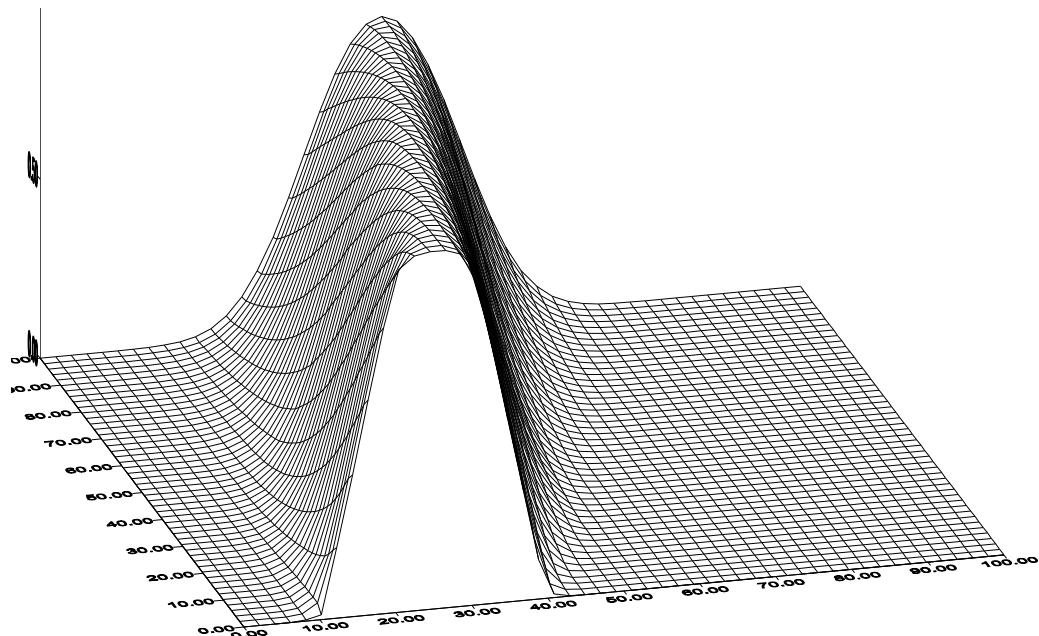


Рисунок 3 – Результаты расчетов на аддитивной сетке

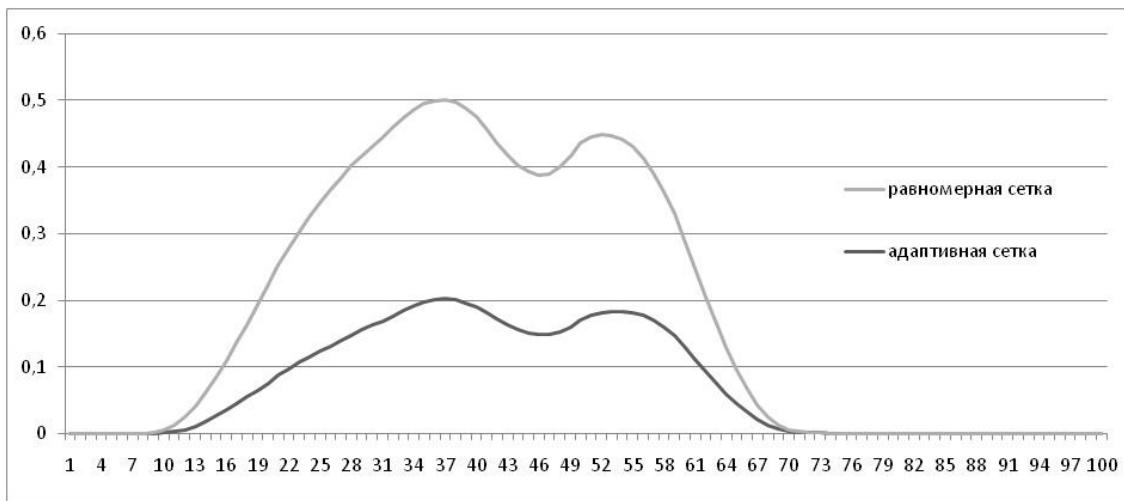


Рисунок 4 – Усредненные по времени абсолютные погрешности

На рис. 5 представлены графики функций, представляющих шаги сетки. В случае равномерной сетки шаг сетки – это постоянная функция, значение 0,01. Шаг адаптивной сетки – это функция, сгущающаяся в точках особого поведения функции и ведущая себя как постоянная там, где функция изменяется слабо.

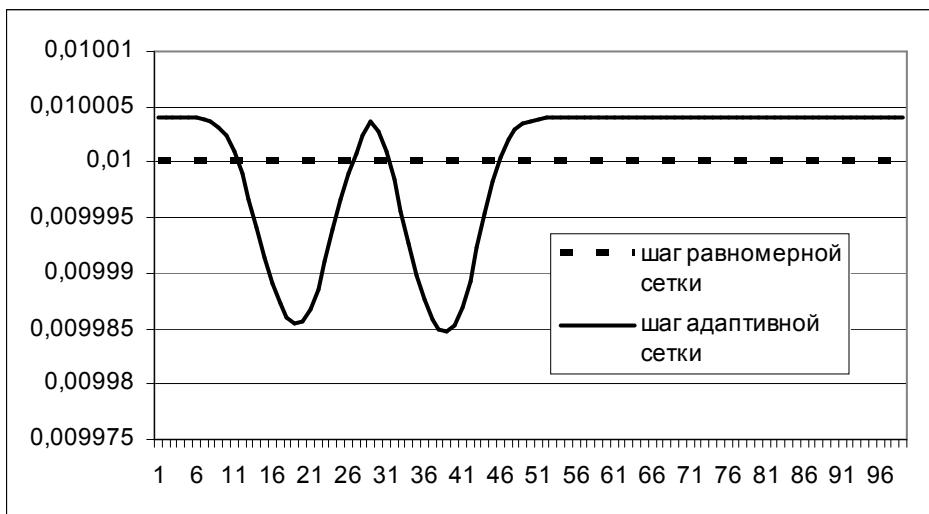


Рисунок 5 – Изменение шагов сетки

Таким образом, применение метода адаптивных сеток для решения начально-краевой задачи для нестационарного линейного одномерного уравнения переноса дало более точный результат, чем решение этой же задачи на равномерной сетке. Поскольку в процессе переноса загрязняющих веществ от источников функция, характеризующая концентрацию загрязняющего вещества, претерпевает сильные изменения вблизи источника резко изменяющегося рельефа и т.д., то использование адаптивных сеток является одним из оптимальных подходов при решении такого рода задач. Кроме того, при разработке матема-

тического обеспечения системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха для описания процесса переноса загрязняющих веществ в атмосфере города от источников загрязнения используются модели гидротермодинамики атмосферы в комплексе с моделью переноса с учетом турбулентной диффузии [6]. Численная реализация таких моделей приводит к решению задач на сетках большой размерности с большим количеством узлов, и применение адаптивных сеток позволяет повысить точность решения задачи без увеличения числа узлов пространственной сетки.

Список литературы

1. Рахметуллина С.Ж. Подсистема прогноза информационной системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха // Поиск. - 2010. - № 2.
2. Хакимзянов Г.С. Разностные схемы на адаптивных сетках: Задачи для уравнений в частных производных с одной пространственной переменной / Г.С. Хакимзянов, Ю.И. Шокин. - Новосибирск, 2005. - Ч. 1.
3. Шокин Ю.И. О монотонизации явной схемы предиктор-корректор /Ю.И. Шокин, Ю.В. Сергеева, Г.С. Хакимзянов. - 2005. - № 2. - С. 103-114.
4. Дегтярев Л.М. Метод адаптивных сеток в одномерных нестационарных задачах конвекции-диффузии / Л.М. Дегтярев, Т.С. Иванов // Дифференциальные уравнения. - 1993. - Т. 29. - № 7. - С. 1179-1192.
5. Шокин Ю. И. Введение в метод дифференциального приближения / Ю.И. Шокин, Г.С. Хакимзянов. - Новосибирск: НГУ, 1997.
6. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. - М: Наука, 1982.

Получено 10.04.12

УДК 004:574

С.Ж. Рахметуллина, А.Ж. Бугубаева
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА
ПРЕДИКТОР-КОРРЕКТОР НА РАВНОМЕРНОЙ И АДАПТИВНОЙ СЕТКАХ**

Усиление воздействия на природную среду породило ряд связанных с этим проблем, наиболее острая из которых – состояние атмосферного воздуха. В настоящее время является актуальным использование информационных технологий в экологии, так как они в широком понимании призваны обеспечивать хранение, обработку, интерпретацию, доступ, доставку, целостность и актуальность эмпирической и теоретической информации, используя инновационные, аналитические, эмпирические методы и модели обработки информации.

Инструментальными средствами информационных технологий являются системы расчета и прогноза атмосферного загрязнения. Эти системы в большинстве случаев используют методы компьютерного моделирования, имеющие огромное практическое значение, так как обеспечивают оценку, прогноз и контроль изменений состояния природных ресурсов под воздействием антропогенных факторов. Математическое обеспечение таких систем основывается на моделях физических процессов. На этапе численной реализации переход от модели к конечно-разностному аналогу осуществляется на сетке по времени и пространству.

Существует два основных класса сеток, применяемых при решении задач в многомерных областях: равномерные сетки, узлы которых в рассматриваемой области равнодалены друг от друга и ячейки имеют прямоугольную форму; и неравномерные или адаптивные сетки, характеризующиеся нерегулярным распределением узлов и ячейками произвольной формы, конфигурации и расположения.

В настоящее время существенно возрос интерес к построению адаптивных сеток и проведению на них численных расчетов. Как показывают исследования, метод адаптивных сеток может существенно увеличить точность и экономичность вычислительных алгоритмов. Он позволяет получать результат высокой точности даже при сравнительно небольшом количестве узлов сетки. Высокая точность достигается благодаря увеличению концентрации узлов сетки в зонах расположения особенностей исследуемого явления [1-4].

Данная статья посвящена разработке математического обеспечения системы мониторинга атмосферного загрязнения с использованием метода предиктор-корректор на равномерной и адаптивной сетках.

Математическая модель.

Процесс распространения примесей в атмосфере осуществляется ветровыми потоками воздуха с учетом их мелкомасштабных флюктуаций. Осредненный поток субстанции имеет адвективную и конвективную составляющие, а их осредненные флюктуационные движения можно интерпретировать как диффузию на фоне связанного с ним основного осредненного движения [5].

Рассмотрим уравнение, описывающее процесс нестационарного переноса примеси в односвязной области Ω :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + u \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \sigma \varphi - \mu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} &= Q \delta(x - x_0), \\ 0 < x < l, \quad 0 < t < T, \quad \mu &= \text{const} > 0, \\ \varphi(x, 0) &= \varphi_0(x), \quad \varphi(0, t) = \mu_0(t), \quad \varphi(l, t) = \mu_l(t). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $\varphi(x, t)$ – интенсивность аэрозольной субстанции, мигрирующей вместе с потоком воздуха в атмосфере; u – аналог компоненты вектора скорости ветра в направлении оси X ; σ – величина, обратная интервалу времени, за который интенсивность субстанции изменилась по сравнению с начальной интенсивностью; μ – коэффициент турбулентности; Q – мощность источника выброса, находящегося в точке x_0 ; δ – дельта-функция.

Схема предиктор-корректор на равномерной сетке.

Для численного решения задачи (1) рассмотрим схему предиктор-корректор на равномерной неподвижной сетке с узлами $x_j = jh$ и шагом $h > 0$.

На шаге «предиктор» происходит расщепление на конвективную и диффузационную части:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + u \frac{\partial \varphi}{\partial x} &= 0, \\ \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \sigma \varphi - \mu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} &= Q \delta(X - X_0). \end{aligned}$$

Таким образом, на шаге «предиктор»

$$\frac{\varphi_{j+1/2}^* - \frac{1}{2}(\varphi_{j+1}^n + \varphi_j^n)}{\tau/2} + u \frac{\varphi_{j+1}^n - \varphi_j^n}{h} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\varphi_j^* - \frac{1}{2}(\varphi_{j-1/2}^* + \varphi_{j+1/2}^*)}{\tau/2} + \sigma \varphi_j^* - \mu \frac{\varphi_{j-1}^* - 2\varphi_j^* + \varphi_{j+1}^*}{h^2} = Q_j, \quad (3)$$

$$Q_j|_{x_j=x_0} = 1, \quad Q_j|_{x_j \neq x_0} = 0, \quad Q_j|_{x_j < x_0 < x_{j+1}} = 1 - \frac{x_0 - x_j}{h}, \quad Q_{j+1}|_{x_{j-1} < x_0 < x_j} = 1 - \frac{x_j - x_0}{h}$$

вычисляются две вспомогательные величины – $\varphi_{j+1/2}^*$ и φ_j^* . Первая из них определяется из уравнения с конвективным переносом (2). Она относится к полуцелому узлу $x_{j+1/2} = x + h/2$. В уравнении (2) величина τ – шаг по времени. Вторая величина, φ_j^* , вычисляется на этапе с диффузионным переносом (3). Для реализации этого шага используем метод прогонки, где вычисляем необходимые величины $\varphi_0^* = \mu_0(t_n + \tau/2)$ и $\varphi_N^* = \mu_l(t_n + \tau/2)$.

На этапе «корректор»

$$\frac{\varphi_j^{n+1} - \varphi_j^n}{\tau} + u \frac{\varphi_{j+1/2}^* - \varphi_{j-1/2}^*}{h} + \sigma \varphi_j^* - \mu \frac{\varphi_{j-1}^* - 2\varphi_j^* + \varphi_{j+1}^*}{h^2} = Q_j, \quad (4)$$

$$Q_j|Q_j|_{x_j=x_0} = 1, \quad Q_j|_{x_j \neq x_0} = 0, \quad Q_j|_{x_j < x_0 < x_{j+1}} = 1 - (x_0 - x_j), \quad Q_{j+1}|_{x_j < x_0 < x_{j+1}} = 1 - (x_j - x_0)$$

определяются искомые величины φ_j^{n+1} , определенные в целых узлах x_j .

Схема предиктор-корректор на аддитивной сетке.

Для того чтобы построить схему на подвижной сетке, надо переписать задачу (1) в новых координатах (q, t) , связанных с исходными координатами (x, t) гладким преобразованием

$$x = x(q, t), \quad 0 \leq q \leq 1, \quad 0 \leq t \leq T \quad (5)$$

с положительным якобианом $J(q) = x_q$, которое взаимооднозначно отображает единичный отрезок $\bar{Q} = [0, 1]$ на область решения $\bar{\Omega} = [0, l]$. В координатах (q, t) уравнение (1) можно записать в дивергентной и недивергентной формах:

$$(J\tilde{\varphi})_t + [(u - x_t)\tilde{\varphi}]_q + J\sigma\tilde{\varphi} - \mu \left(\frac{\tilde{\varphi}_q}{J} \right)_q = JQ\delta(q - x_0), \quad (6)$$

$$\tilde{\varphi}_t + \left(\frac{u - x_t(q, t)}{J(q, t)} \right) \tilde{\varphi}_q + \sigma\tilde{\varphi} - \frac{\mu}{J} \left(\frac{\tilde{\varphi}_q}{J} \right)_q = Q\delta(q - x_0), \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
\tilde{\varphi}(q, t) &= \varphi(x(q, t), t), \\
q \in [0, 1], \quad 0 \leq t \leq T, \\
u &= \text{const} > 0, \quad \mu = \text{const} > 0, \\
\tilde{\varphi}(q, 0) &= \tilde{\varphi}_0(q), \quad q \in \overline{Q}; \quad \tilde{\varphi}(0, t) = \mu_0(t), \quad 0 \leq t \leq T.
\end{aligned}$$

На этапе предиктора производится расщепление уравнения (7) на два уравнения, первое из которых описывает конвективный перенос, а во втором учитывается диффузионный процесс и источниковый член.

Уравнение переноса

$$\tilde{\varphi}_t + \left(\frac{u - x_t(q, t)}{J(q, t)} \right) \tilde{\varphi}_q = 0 \quad (8)$$

аппроксимируется в полуцелых узлах равномерной сетки $\overline{Q}_h = \{q_j = jh, j = 0, \dots, N\}$

$$\begin{aligned}
\frac{\tilde{\varphi}_{j+1/2}^* - \frac{1}{2}(\tilde{\varphi}_{j+1}^* + \tilde{\varphi}_j^*)}{\tau/2} + \frac{u - x_{t,j+1/2}^n}{J_{j+1/2}^n h} \tilde{\varphi}_{q,j+1/2}^n &= 0, \\
x_{t,j+1/2}^n &= \frac{x_{t,j}^n + x_{t,j+1}^n}{2}, \\
x_{t,j}^n &= \frac{x_j^{n+1} - x_j^n}{\tau}, \\
J_{j+1/2}^n &= x_{q,j+1/2}^n = \frac{x_{j+1}^n - x_j^n}{h}, \\
\tilde{\varphi}_{q,j+1/2}^n &= \frac{\tilde{\varphi}_{j+1}^* - \tilde{\varphi}_j^*}{h},
\end{aligned} \quad (9)$$

где τ – шаг по времени, h – шаг сетки \overline{Q}_h , N – количество узлов сетки, x_j^n – узлы не-равномерной подвижной сетки \tilde{Q}_h , являющейся образом при отображении (5) сетки \overline{Q}_h .

Второе уравнение

$$\tilde{\varphi}_t + \sigma \tilde{\varphi} - \frac{\mu}{J} \left(\frac{\tilde{\varphi}_q}{J} \right)_q = Q \delta(q - x_0)$$

аппроксимируется в целых узлах:

$$\frac{\tilde{\varphi}_j^* - \frac{1}{2}(\tilde{\varphi}_{j-1/2}^* + \tilde{\varphi}_{j+1/2}^*)}{\tau/2} + \sigma \tilde{\varphi}_j^* - \frac{\mu}{J_j^n h} \left(\frac{\tilde{\varphi}_{q,j+1/2}^*}{J_{j+1/2}^n} - \frac{\tilde{\varphi}_{q,j-1/2}^*}{J_{j-1/2}^n} \right) = Q_j, \quad (10)$$

$$Q_j|_{q_j=x_0} = 1, \quad Q_j|_{q_j \neq x_0} = 0, \quad Q_j|_{q_j < x_0 < q_{j+1}} = 1 - \frac{(x_0 - q_j)}{h}, \quad Q_{j+1}|_{q_j < x_0 < q_{j+1}} = 1 - \frac{(q_j - x_0)}{h},$$

$$J_j^n = \frac{J_{j-1/2}^n + J_{j+1/2}^n}{2} = x_{q,j}^n$$

$$\tilde{\varphi}_{q,j+1/2}^* = \frac{\varphi_{j+1}^* - \varphi_j^*}{h}.$$

На шаге «корректор» аппроксимируется уравнение (8) в дивергентной форме

$$\frac{(J\tilde{\varphi})_j^{n+1} - (J\tilde{\varphi})_j^n}{\tau} + ((u - x_t^n)\tilde{\varphi}^*)_q{}_j + \sigma(J\tilde{\varphi})_j^* - \frac{\mu}{h} \left(\frac{\tilde{\varphi}_{q,j+1/2}^*}{J_{j+1/2}^n} - \frac{\tilde{\varphi}_{q,j-1/2}^*}{J_{j-1/2}^n} \right) = J_j^* Q_j. \quad (11)$$

$$x_{t,q,j}^n = \frac{x_{t,j+1/2}^n - x_{t,j-1/2}^n}{h},$$

$$\varphi_{q,j}^* = \frac{\varphi_{j+1/2}^* - \varphi_{j-1/2}^*}{h},$$

$$J_j^* = \frac{J_j^{n-1} + J_j^n}{2}.$$

Таким образом, построенная схема предиктор-корректор (9) – (11) позволит получить численное решение без осцилляций.

Результаты расчетов.

Система реализована в виде приложения Windows в среде объектно-ориентированного программирования Delphi. Результаты расчетов представлены с помощью MS Excel. Межпрограммное взаимодействие осуществлено с использованием технологии Automation.

Начальные данные: масштаб (1: 10000 км), $L = 3$, $N = 30$, $\tau = 0,001$, $h = 0,1$.

На рис. 1 представлено окно разработанного приложения.

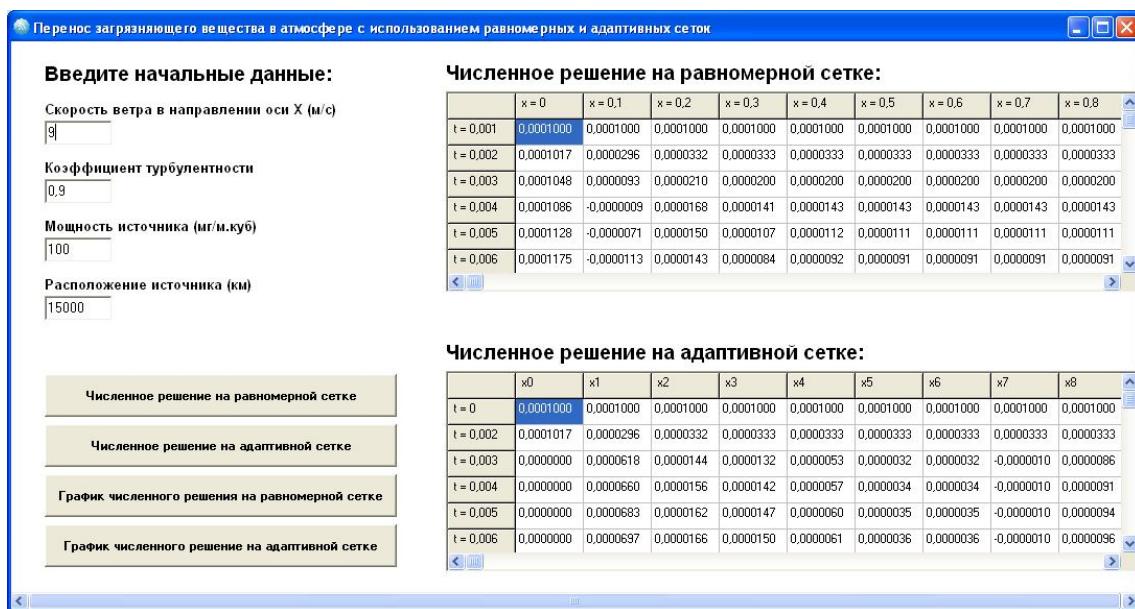


Рисунок 1 – Окно приложения

На рис. 2 и 3 представлены графики численного решения на равномерной и адаптив-

ной сетках, соответственно. Номер ряда соответствует номеру шага по времени. На горизонтальной оси отмечены номера узлов сетки, на вертикальной – интенсивность распределения вещества.

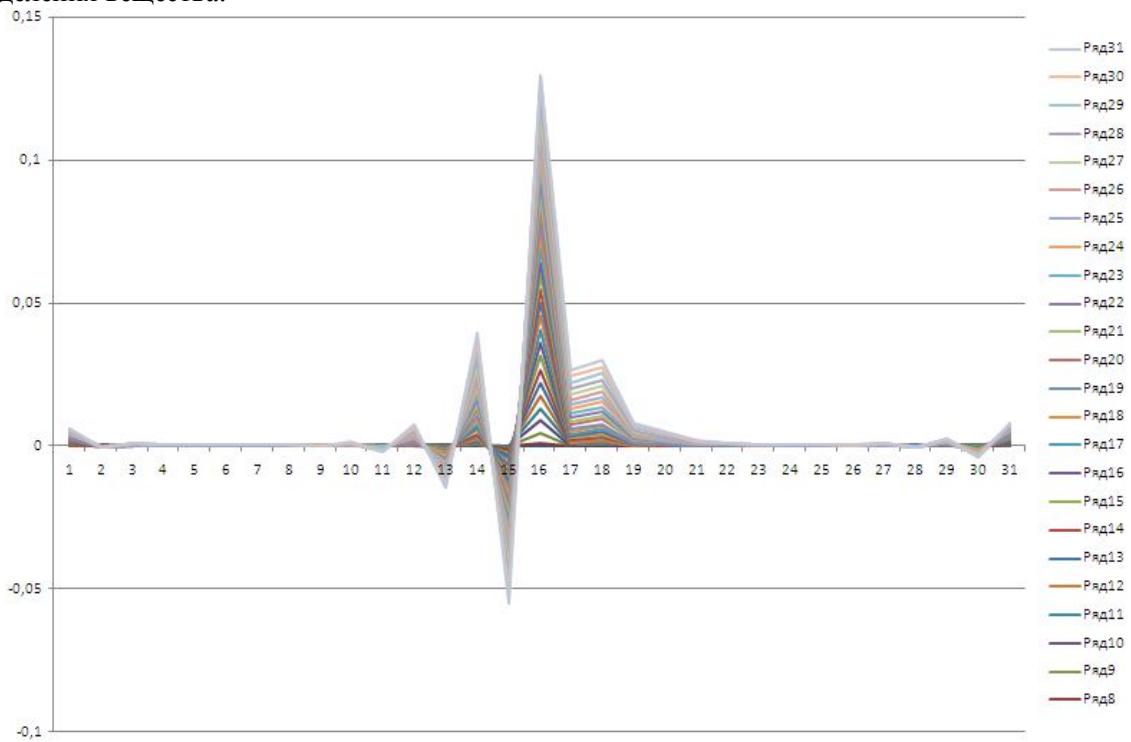


Рисунок 2 – График численного решения на равномерной сетке

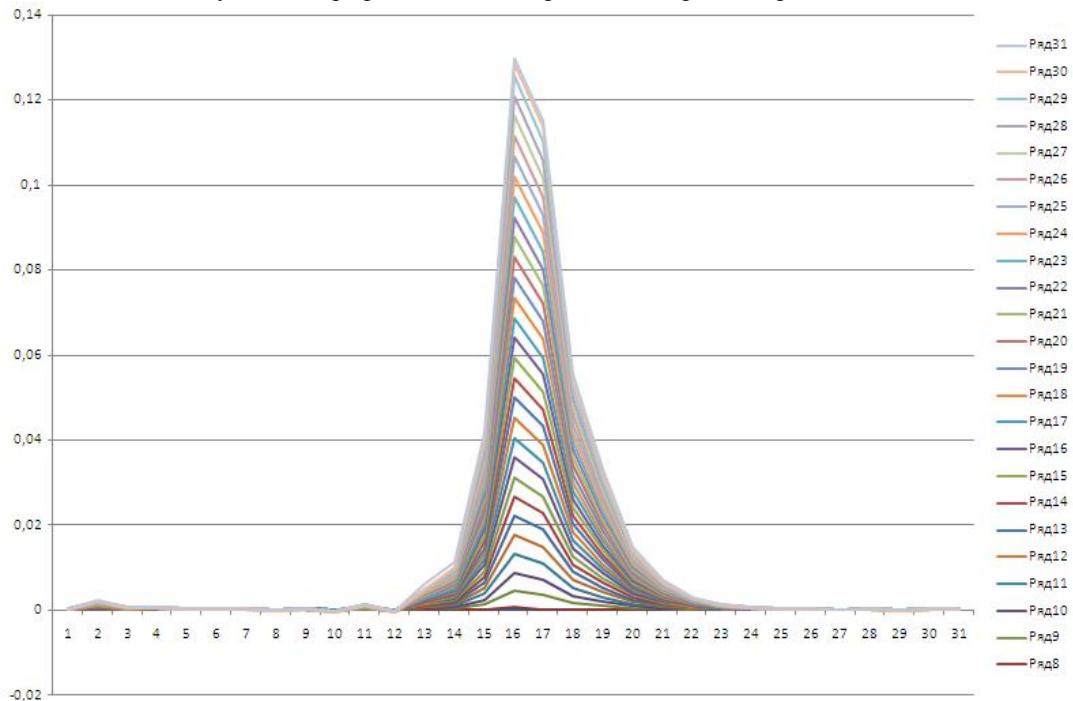


Рисунок 3 – График численного решения на адаптивной сетке

В данной статье предложен метод численного решения задачи переноса и диффузии вещества в атмосфере от источника выброса. Численный метод основан на явно-неявной конечно-разностной схеме предиктор-корректор. При моделировании проводится расщепление по физическим процессам, причем уравнение на первом шаге предиктора аппроксимируется явным образом в полуцелых узлах, а на втором – неявным образом в целых, при этом источниковый член включается во второй шаг предиктора. Применение данного метода позволяет избавиться от осцилляций, появляющихся при численных расчетах по другим схемам.

Поскольку в процессе переноса и диффузии загрязняющего вещества от источника функция, характеризующая концентрацию загрязняющего вещества, претерпевает сильные изменения вблизи источника, то использование адаптивных сеток является одним из оптимальных подходов при решении такого рода задач.

Список литературы

1. Рахметуллина С.Ж. Подсистема прогноза информационной системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха //Поиск. – 2010. – № 2.
2. Хакимзянов Г.С. Разностные схемы на адаптивных сетках / Г.С. Хакимзянов, Ю.И. Шокин: Ч. 1. Задачи для уравнений в частных производных с одной пространственной переменной. – Новосибирск, 2005.
3. Шокин Ю.И. О монотонизации явной схемы предиктор-корректор /Ю.И. Шокин, Ю.В. Сергеева, Г.С. Хакимзянов //Вестник КазНУ. Сер. математика, механика, информатика. – 2005. – № 2. – С. 10-114.
4. Дегтярев Л.М. Метод адаптивных сеток в одномерных нестационарных задачах конвекции-диффузии / Л.М. Дегтярев, Т.С. Иванов //Дифференциальные уравнения. – 1993. Т. 29. – № 7.
5. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М: Наука, 1982.

Получено 17.05.12

по страницам



ЗАВОД УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Такой завод заработал на юге Франции и будет давать в год до 400 тонн продукции. Нанотрубки легче стали в 6 раз, прочнее в 100 раз, проводят тепло лучше меди. Но их применение в технике пока ограничивается элитарными продуктами вроде теннисных ракеток или велосипедных рам для чемпионов. Массовое производство позволит делать из пластмасс, усиленных нанотрубками, детали самолетов и автомобилей, лопасти ветродвигателей и другие изделия, где нужны легкость и прочность.

Во французской установке нанотрубки возникают на катализаторе – шариках из глиноzemса с добавкой железа. Через слой шариков пропускают под давлением газ этилен при температуре 65-700 °С. На катализаторе появляется «шевелюра» из нанотрубок диамет-

ром около 10 нанометров. После охлаждения их очищают с шариков, получая клубочки-гранулы, готовые для подмешивания в пластик.

«Наука и жизнь» № 12, 2011