

УДК 658.519.011.56

## ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СРЕДЕ НА ОСНОВЕ СЕТИ WEB-СЕРВИСОВ<sup>9</sup>

© Смирнов А.В., Левашова Т.В., Шилов Н.Г., Кашевник А.М.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
СПИИРАН, 14 линия, 39, С-ПЕТЕРБУРГ, 199178, Россия

E-MAIL: {smir, oleg, nick, alexey}@iias.spb.su

**Abstract.** A framework of building a decision support system intended for functioning in a decentralised environment and supporting decentralised decision making based on the state of the current situation has developed. For situation modelling context model is used. An approach to producing a context that makes knowledge and information relevant to the current situation sharable by the resources; supplies the system to information provided by these resources; and serves as a functional tool in guiding the system users has been proposed.

### ВВЕДЕНИЕ

Среди требований, предъявляемых к современным системам поддержки принятия решений (СППР), наиболее важными являются персонифицированная поддержка пользователя системы, способность системы оперативно обрабатывать динамические потоки информации, возможность осуществлять контекстно-зависимую поддержку принятия решений, способность функционировать в распределенной среде, поддержка децентрализованного принятия решений.

Часто СППР, направленные на удовлетворение перечисленных требований, функционируют в динамических, быстро изменяющихся и не всегда предсказуемых ситуациях. Контекст такой ситуации характеризуется сильно распределенными, изменяющимися во времени потоками данных, поступающими из различных источников. Распределенные источники информации и данных формируют децентрализованную среду. Использование централизованной модели принятия решений в таких ситуациях не всегда целесообразно. В централизованной модели возможные разрушения в локальной инфраструктуре, непредвиденные сбои в связи и тому подобные неполадки приводят к потере времени или даже могут вызвать остановку в работе СППР.

В данной работе предлагается концепция построения и функционирования СППР, которая удовлетворяла бы требованиям, предъявляемым к современным СППР. Концепция предполагает децентрализованные процессы передачи информации между ресурсами системы и децентрализованное принятие решений на основании состояния текущей ситуации. Ресурсы объединяют в себе социальные (люди), организационные, информационные и вычислительные ресурсы.

---

<sup>9</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 08-07-00264), Президиума РАН (проект № 14.2.35) и ОНИТ РАН (проект № 1.9).

Предлагается двухуровневое моделирование текущей ситуации. На первом, абстрактном уровне, создается онтологическая модель текущей ситуации, формализованная множеством ограничений. На втором, прикладном уровне, данная модель получает количественную интерпретацию. Прикладной уровень моделирования реализуется самоорганизующейся сетью Web-сервисов. Функциями Web-сервисов являются сбор и обработка распределенной информации, выполнение вычислений и (или) обеспечение СППР сервисами, предоставляемыми вычислительными ресурсами. Принятие решений осуществляется в рамках модели, полученной на прикладном уровне.

В работе описываются общие принципы, используемые при построении разработанной СППР, контекстно-управляемая методология функционирования СППР в распределенной среде, приводится пример использования системы для задачи оперативного управления ресурсами.

## 1. КОНЦЕПЦИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СРЕДЕ

Одним из средств искусственного интеллекта, которое позволяет представить модель ситуации в виде, удобном для ее понимания и оценки пользователем, является модель контекста. Контекстом называется любая информация, которая может быть использована, чтобы охарактеризовать ситуацию, в которой находится некоторый объект [1]. Применительно к СППР в роли объекта может выступать пользователь, место или объект реального мира, которые считаются релевантными для взаимодействия между данным пользователем и СППР. При этом пользователь и СППР также являются объектами, создающими ситуацию.

Разработанная концепция заключается в построении основанного на онтологии проблемной области контекста, который является моделью текущей ситуации. Данный контекст предоставляет пользователю СППР информацию, характеризующую текущую ситуацию, и содержит в себе модели задач, которые требуется решить в данной ситуации. В соответствии с концепцией задачи, моделируемые в контексте, решаются как задачи удовлетворения ограничений.

**1.1. Исходные положения.** Знания проблемной области моделируются при помощи прикладной онтологии. Эта онтология специфицирует две составляющие: (1) концептуальные знания; (2) знания о задачах, существующих в данной области, и методах их решения. В качестве средства спецификации знаний используется формализм объектно-ориентированных сетей ограничений (ООСО) [2]. Задача, описанная средствами данного формализма, может быть решена как задача удовлетворения ограничений [3].

Для спецификации объектов реального мира в прикладной онтологии указывается множество атрибутов этих объектов, области допустимых значений атрибутов и отношения, существующие между специфицируемыми объектами. Сами объекты, характеризующиеся множеством значений атрибутов, в прикладную онтологию не

входят. Вместо этого онтология содержит ссылки на источники, от которых поступают значения, присваиваемые атрибутам.

Значения атрибутов могут поступать от источников информации или вычисляться как функции от других значений атрибутов. В первом случае источник, на который установлена ссылка, является информационным ресурсом, во втором – вычислительным. Для каждого атрибута может быть определено множество ссылок на различные источники, т.е. значение одного и того же атрибута может браться из нескольких источников, расположенных в децентрализованной среде.

Составляющая прикладной онтологии, посвященная спецификации задач и методов их решения, организована в виде иерархии задач. Иерархия задач строится на основании анализа, какие выходные параметры одних задач являются входными параметрами для других. В этой составляющей атрибуты соответствуют входным и выходным параметрам задачи (метода). Методом считается конкретный способ решения задачи. Методы рассматриваются как вычислительные ресурсы, т.е. они представляют собой самостоятельные модули, на которые в прикладной онтологии установлены ссылки, показывающие значения каких атрибутов являются входными или выходными параметрами метода.

**1.2. Методология функционирования СППР.** В функционировании СППР выделяются три основных стадии: (1) создание модели текущей ситуации, (2) решение моделируемых задач, (3) поддержка децентрализованного принятия решений.

Моделирование текущей ситуации осуществляется на абстрактном и прикладном уровнях. Ситуация на этих уровнях представляется соответственно *абстрактным* и *прикладным* контекстами. *Абстрактный контекст* является онтологической моделью текущей ситуации, построенной на основании интеграции знаний проблемной области, релевантных для данной ситуации. *Прикладной контекст* является конкретизацией абстрактного контекста для реальных условий.

Абстрактный контекст строится на основании запроса лица, принимающего решения, (ЛПР) к СППР. При получении запроса СППР, используя внутренние механизмы, извлекает из прикладной онтологии знания, релевантные данному запросу, и интегрирует их в абстрактный контекст. Полученный абстрактный контекст является одновременно онтологической моделью текущей ситуации и ООСО. Так как прикладная онтология не содержит объектов, значения переменных такой ООСО не определены. Учитывая наличие в прикладной онтологии двух составляющих, абстрактный контекст так же включает в себя концептуальные знания и модели задач, которые требуют решения в текущей ситуации. Извлекаемые из прикладной онтологии знания извлекаются вместе со ссылками на источники.

Содержащиеся в абстрактном контексте задачи могут быть поделены на два типа: (1) задачи, не требующие участия ЛПР и не связанные с выбором (подтверждением) промежуточных решений; (2) задачи, решением которых является множество альтернативных решений, из которых ЛПР должен выбрать единственное решение.

Примерами задач первого типа являются задачи, связанные с получением информации от источников, с интеграцией получаемой информации и т.п. Значения, полученные в ходе решения задач первого типа, являются входными параметрами

задач второго типа. Параметры задач становятся полностью определенными в прикладном контексте, который представляет собой ООСО со значениями переменных. Прикладной контекст является основой для решения задач второго типа, которые интерпретируются как задачи удовлетворения ограничений. Результатом их решения является множество допустимых (альтернативных) решений.

Поддержка децентрализованного принятия решений осуществляется в рамках текущей ситуации в виде согласования решений между ЛПР и пользователями системы. Методология предполагает централизованный контроль ЛПР над решением, принимаемым для текущей ситуации в целом. Децентрализованное принятие решений осуществляется на локальных уровнях пользователями системы, которые рассматриваются как ЛПР локального уровня.

ЛПР выбирает из сгенерированного системой множества решение, которое ему кажется наиболее приемлемым в данной ситуации. В свою очередь, пользователи могут отклонить решение, рекомендованное ЛПР. В таком случае, система обновляет множество альтернативных решений, исключая отклоненное решение, или генерирует новое множество решений. Этот процесс повторяется до тех пор, пока все пользователи не согласятся с решением, рекомендованным ЛПР. Когда все пользователи системы согласны с рекомендованным решением, то это решение считается принятым.

**1.3. Сервисно-ориентированная реализация.** СППР реализована в виде набора Web-сервисов. Для взаимодействия с информационными и вычислительными ресурсами также используется интерфейс Web-сервисов. Web-сервисы, отвечающие за предоставление СППР значений, получаемых от источников информации, называются информационными Web-сервисами. Web-сервисы, вызывающие или реализующие методы решения задач и передающие в СППР результаты решения, – вычислительными.

Абстрактный контекст является основой для самоорганизации информационных и вычислительных Web-сервисов в сеть. Цель, которая должна быть достигнута в процессе самоорганизации, – создание сети Web-сервисов, которая предоставляет значения параметрам задач, моделируемых в абстрактном контексте, и решает данные задачи. Результат создания сети – получение прикладного контекста.

Так как каждый атрибут, включенный в абстрактный контекст, может ссылаться на несколько источников, задачей Web-сервисов является включение в сеть таких Web-сервисов, которые наиболее полно удовлетворяют текущим потребностям ЛПР. Эти потребности могут определяться различными критериями, предъявляемыми, например, к значениям данных (точность), к стоимости сети и т.п.

Самоорганизация Web-сервисов возможна, если они умеют вести переговоры о предоставляемых ими сервисах и о том, что им для этого требуется (о своих возможностях и потребностях). Переговоры между Web-сервисами возможны, если Web-сервисы являются «активными» объектами. В стандартной сервисной архитектуре сервисы являются «пассивными» объектами. В данной концепции для моделирования Web-сервисов используется агентно-ориентированная модель [4, 5].

## 2. УПРАВЛЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМИ СИТУАЦИЯМИ

В соответствии с этой моделью для каждого Web-сервиса существует агент, который ведет переговоры с другими агентами, запускает функции Web-сервиса на выполнение и передает результаты выполнения функций другим агентам или СППР. Агенты ведут переговоры о возможностях и потребностях Web-сервисов в терминах словаря прикладной онтологии. Под потребностями Web-сервисов понимается набор значений, требуемый для выполнения Web-сервисами своих функций. Возможности Web-сервисов описываются наборами возвращаемых функциями значений. В прикладной онтологии указанные наборы представлены при помощи атрибутов, связанных с входными (выходными) параметрами Web-сервисов.

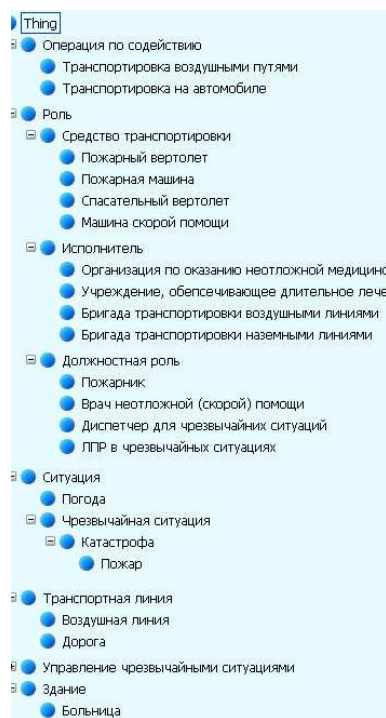


Рис. 1. Абстрактный контекст: таксономия

В качестве проблемной области, позволяющей продемонстрировать применение описанной выше концепции, выбрана область управления чрезвычайными ситуациями (ЧС).

В рамках данной работы показан процесс поддержки принятия решений в ходе ликвидации последствий катастрофы или аварии, вызвавшей пожар. В качестве запроса ЛПР к системе использовано слово *пожар*.

Абстрактный контекст, построенный СППР в соответствии с данным запросом, показан на рис. 1. Этот рисунок демонстрирует таксономию концептуальных знаний, которые были включены в абстрактный контекст. Вторая составляющая абстрактного контекста, включающая в себя иерархию задач, скрыта в классе «Управление чрезвычайными ситуациями».



Рис. 2. Абстрактный контекст: иерархия задач

В иерархии задач, представленной на рис. 2, задача определения количества пожарных и медицинских бригаад вычисляет количество таких бригаад, требующихся для тушения пожара и оказания помощи пострадавшим. Входными параметрами этой задачи являются тип пожара (например, пожар в здании, в лесу и т.п.), уровень сложности и предположительное число потерпевших. Задача, определяющая готовность бригаад, возвращает значение, показывающее, могут ли данная медицинская или пожарная бригаад быть привлечены к участию в операции по тушению пожара и оказания помощи пострадавшим. Задача, определяющая местоположения бригаад, возвращает координаты нахождения пожарной или медицинской бригаад в данный момент времени. Задача, определяющая местоположение и готовность больниц, возвращает список больниц, расположенных в данном регионе, с их адресами, наличием свободных мест и значениями, показывающими, может ли данная больница быть использована для помещения туда пострадавших. Задача, связанная с определением возможности использованного транспортного пути, определяет возможность использования воздушных и наземных путей в зависимости от конкретных погодных условий.

Задачи, связанные с определением местоположения бригад, больниц, транспортных линий и т.п., возвращают требуемое значение как точку на карте в формате географических координат, используя геоинформационную систему (ГИС).

Перечисленные выше задачи решаются до того, как текущая ситуация представляется ЛПР. Решение задач, связанных с выбором конкретных медицинских и пожарных бригад из множества бригад, готовых принять участие в операции, выбором больниц для помещения пострадавших и выбором транспортных путей для перемещения бригад, инициализируется ЛПР. Эти задачи решаются как задача удовлетворения ограничений. Результатом решения задачи являются варианты выбора медицинских, пожарных бригад и больниц с планами перевозок для каждого варианта.

Сеть Web-сервисов, организованная для решения задач (рис. 2), показана на рис. 3. На рис. 3 направление стрелок показывает последовательность вызова Web-сервисов. Одинаковые имена Web-сервисов под разными именами задач означают, что эти задачи реализованы разными функциями в рамках одного и того же Web-сервиса.

Вошедшие в сеть Web-сервисов информационные Web-сервисы взаимодействуют со следующими источниками информации: *пользователь* (диспетчер) для ввода данных о месте возникновения пожара и количестве пострадавших; *сенсоры* и *Web-страницы* для получения информации о текущих погодных условиях; *геоинформационная система* для получения местоположения пожара, бригад, дорог в формате географических координат; *база данных* для получения информации о больницах, их специализации и адресах; *база данных* для получения информации о затопляемости дорог в регионе; *административные системы больниц* для получения информации о количестве свободных мест и готовности принять больных.

На рис. 4 приведен вариант прикладного контекста, представляющий один из вариантов решения задач выбора медицинских, пожарных бригад, больниц и транспортных путей. Пунктирными линиями на рисунке показаны маршруты, по которым должно осуществляться движение медицинских и пожарных бригад.

В соответствии с методологией решение, которое ЛПР выбрал из предложенных ему системой вариантов, передается для согласования предполагаемым участникам операции, т.е. руководителям медицинских и пожарных бригад, которые система выбрала в этом качестве.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложена концепция построения и функционирования СППР в децентрализованной среде. Поддержка принятия решений осуществляется в рамках текущей ситуации. Для описания текущей ситуации используется модель контекста. В предложенной концепции контекст позволяет сделать доступными и понятными ресурсам системы информацию и знания, релевантные текущей ситуации, обеспечивает СППР информацией, предоставляемой этими ресурсами, и является функциональным средством поддержки пользователей системы.

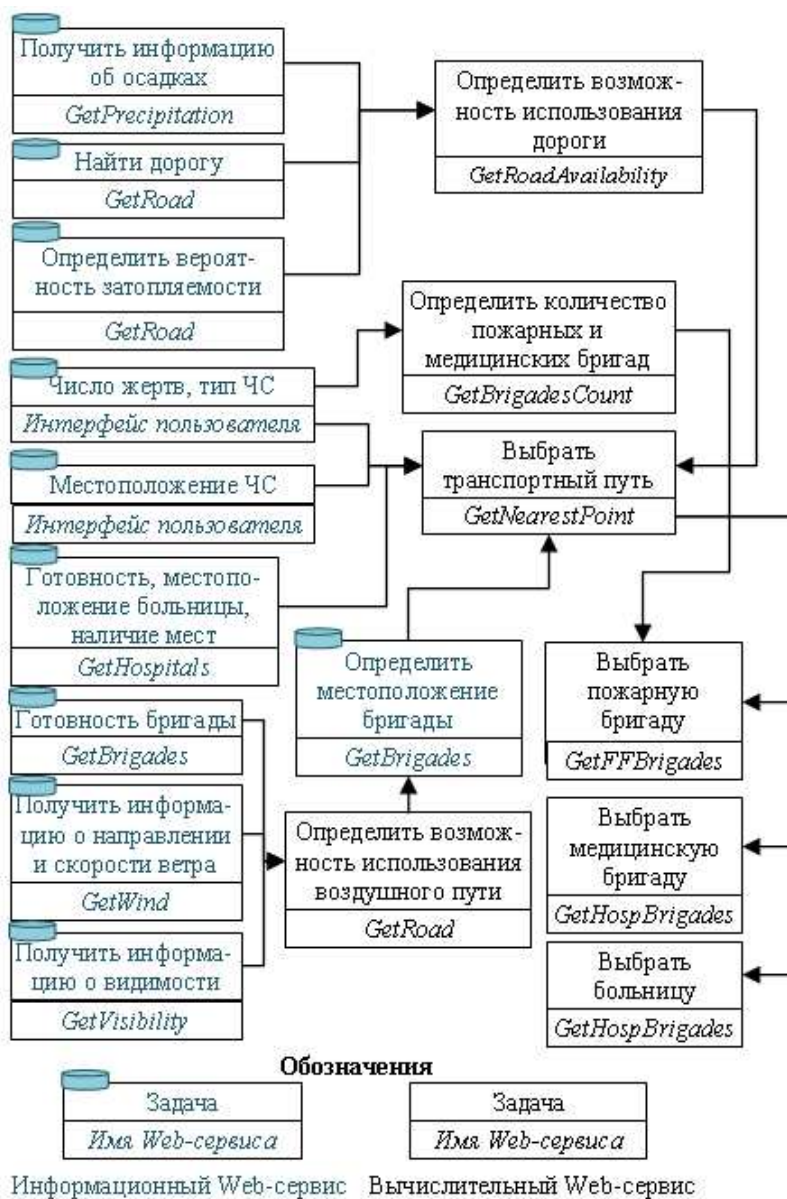


Рис. 3. Сеть Web-сервисов

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dey A.K., Salber D., Abowd G.D. A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-Aware Applications // Context-Aware Computing. – A Special Triple Issue of Human-Computer Interaction, Lawrence-Erlbaum, 2001, vol. 16, № 2–4, p. 97-166.
2. Смирнов А.В., Пашкин М.П., Шилов Н.Г., Левашова Т.В. Управление онтологиями // Известия РАН. Теория и системы управления, 2003, № 5, с. 89-101.



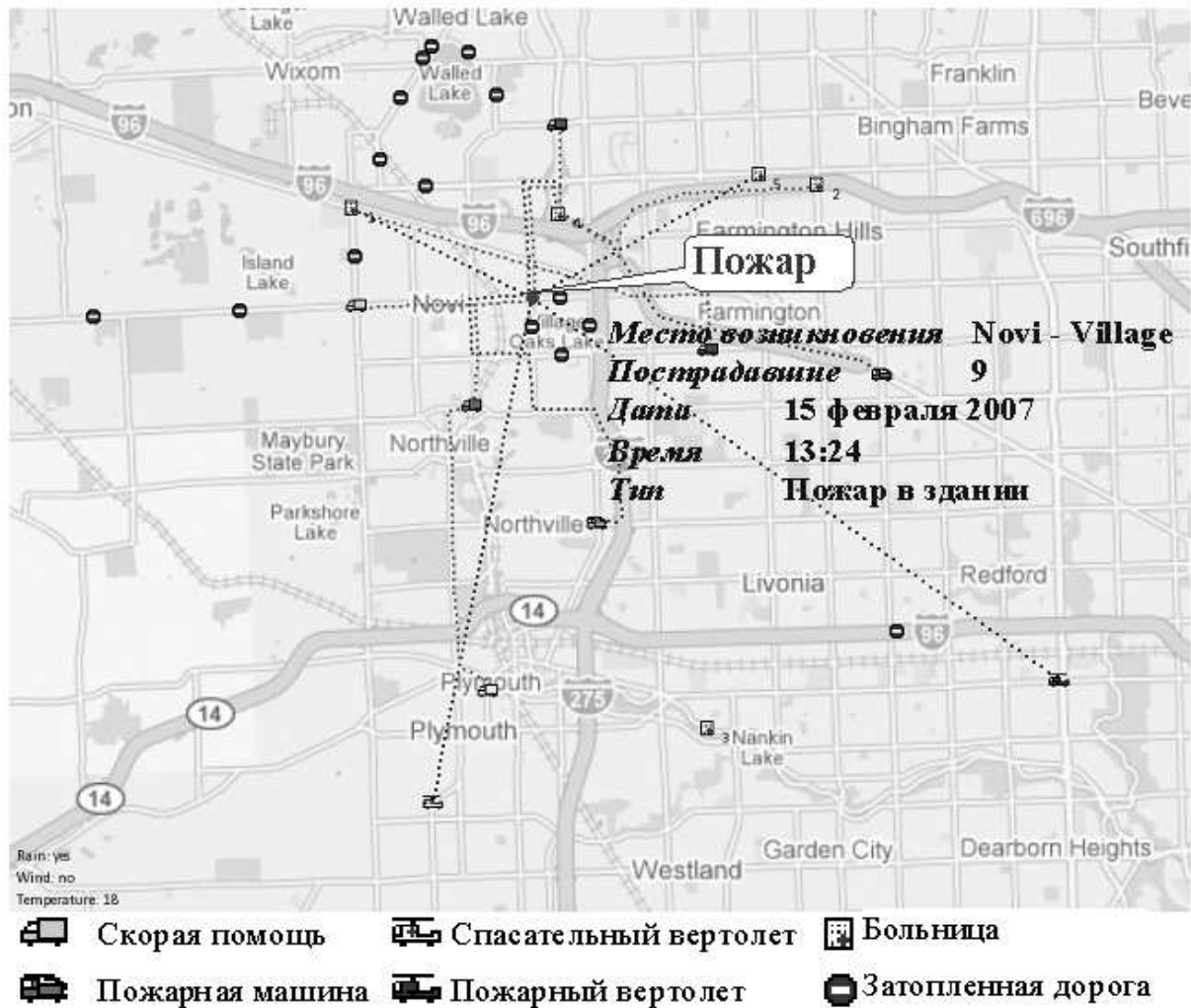


Рис. 4. Сеть Web-сервисов

3. Осипов Г.С. Искусственный интеллект: состояние исследований и взгляд в будущее [Электронный ресурс] // Новости искусственного интеллекта, 2001, т. 43, № 1, <http://www.raai.org/about/persons/osipov/pages/ai/ai.html>.
4. Zhang T., Luo J., Kong W. An agent-based Web service searching model // Proceedings of the ninth International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, Coventry, UK, vol. 1, 2005, p. 390-395.
5. Quitadamo R., Mola F. Towards an Agent Model for Future Autonomic Communications [Electronic resource] // Proceedings of the 7th Workshop, From Objects to Agents (WOA-2006), Catania, Italy, CEUR Workshop Proceedings, vol. 204, 2006, <http://sunsite.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-204/>.

Статья поступила в редакцию 27.04.2008