

А.А. Смагин, Д.М. Медведев, А.С. Мельниченко, С.В. Липатова,  
Ю.А. Рудковский

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ МОРСКОГО МОНИТОРИНГА

**Смагин Алексей Аркадьевич**, доктор технических наук, окончил радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Заведующий кафедрой телекоммуникационных технологий и сетей Ульяновского государственного университета. Имеет свыше 100 статей, изобретений, монографий в области разработки информационных систем различного назначения.

**Медведев Данил Михайлович**, окончил физический факультет Новосибирского государственного университета. Начальник научно-исследовательской лаборатории ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Занимается разработкой систем специального назначения.

**Мельниченко Анатолий Степанович**, окончил факультет автоматики и вычислительной техники Московского института инженеров транспорта. Старший преподаватель кафедры телекоммуникационных технологий и сетей Ульяновского государственного университета. Специализируется в области моделирования процессов технологической подготовки создания программных продуктов.

**Липатова Светлана Валерьевна**, окончила факультет информационных телекоммуникационных технологий Ульяновского государственного университета. Аспирантка кафедры телекоммуникационных технологий и сетей УлГУ. Специализируется в области создания информационных систем на базе нейронных сетей и экспертных систем.

**Рудковский Юрий Анатольевич**, окончил факультет информационных систем и технологий Ульяновского государственного технического университета. Аспирант кафедры «Измерительно-вычислительные комплексы» УлГТУ. Главный специалист ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Специализируется в области создания информационных систем и компьютерных технологий.

### Аннотация

В статье рассмотрены вопросы создания автоматизированной системы (АС) морского мониторинга, обеспечивающей интеллектуальную поддержку деятельности лица, принимающего решения в критических ситуациях, возникающих на море в зоне ответственности данного оператора. Выделены функции системы морского мониторинга, предложены общая структурно-функциональная схема системы, модель системы в классе моделей сетей Петри, динамическая модель построения и функционирования экспертной системы (ЭС) и модель системы в классе систем массового обслуживания.

С увеличением интенсивности движения судов в прибрежных районах, особенно вблизи крупных морских портов, которые ежедневно могут принимать сотни судов, задача обеспечения безопасного мореплавания и контроля за их перемещением становится весьма сложной даже для нескольких диспетчеров. Соответственно для своевременного и эффективного управления прохождением судов в акваториях необходима автоматизация деятельности диспетчеров. Для этой цели разрабатывается экспертная система морского мониторинга, которая должна сопрягаться с геоинформационными системами (ГИС) и системой слежения и сбора информации о морских объектах.

Морской мониторинг можно определить как процесс непрерывного сбора информации от

средств наблюдения о местоположении судов относительно друг друга и относительно навигационных опасностей, о состоянии окружающей среды, анализа полученных данных, выявления возможных критических ситуаций, их предупреждения путем выдачи рекомендаций для сведения к минимуму вероятного ущерба.

Главная цель мониторинга заключается в предупреждении критических ситуаций [8], т.е. в непрерывной интерпретации данных в реальном масштабе времени и сигнализации о выходе тех или иных параметров за допустимые пределы [2].

Система морского мониторинга должна обеспечивать в режиме реального времени выполнение следующих функций [4]:

1) сбор, обработка, анализ, хранение и пере-

дача информации о местоположении, обобщенных параметрах состояния безопасности судов, их маршрутах, навигационных параметрах, сведений о среде и районе следования;

2) информационная поддержка работ, выполняемых в целях подготовки и реализации мер по обеспечению безопасного плавания судов, предупреждение и локализация кризисных ситуаций, а также ликвидация их последствий;

3) подготовка интегральных оценок (моделей) кризисных ситуаций в отношении судов, анализ и оценка их возможных последствий;

4) прогнозирование угроз судам и динамики изменения состояния их защищенности под влиянием природных, техногенных и других факторов;

5) ведение информационных баз данных для обеспечения поддержки принятия и реализации управленческих решений по защите судов;

6) предоставление в установленном порядке информационных ресурсов системы мониторинга, обеспечение защиты этих ресурсов от несанкционированного воздействия;

7) формирование единого информационного пространства системы мониторинга на основе унификации и совместимости информационных, программных и аппаратных средств;

8) информационное обеспечение реализации международных договоров и соглашений в области морского мониторинга, участницей которых является Российская Федерация.

Исходя из этих функций, систему мониторинга можно представить в следующем виде (рис. 1).

С помощью системы обмена данными информация, собираемая от источников — радиолокационных станций, автоматических

гидрометеостанций, автоматизированных идентификационных систем (АИС), передается в центр мониторинга, где помещается в хранилище данных (информационные базы), анализируется, выявляются опасные ситуации, ведущие к аварийным случаям, прогнозируется развертывание ситуации на базе моделей кризисных ситуаций, оцениваются возможные последствия и размеры ущерба.

На основе полученных данных принимается решение, которое используется для управления безопасностью движения судов.

Задачами системы мониторинга являются:

- 1) сбор данных от объектов мониторинга;
- 2) хранение и упорядочивание полученной информации;
- 3) анализ данных;
- 4) построение моделей кризисных ситуаций;
- 5) прогнозирование поведения объектов мониторинга, возникновения кризисных ситуаций и изменений параметров внешней среды, влияющих на объекты мониторинга;
- 6) предупреждение и локализация кризисных ситуаций;
- 7) оценка вероятного ущерба и возможных последствий;
- 8) поддержка принятия решения;
- 9) защита информационных ресурсов и системы в целом;
- 10) интеграция системы в общее информационное пространство на уровне страны и мира.

Существующие автоматизированные системы мониторинга («КОСПАС-САРСАТ», «НАВТЕКС», OMNITRACS, «КУРС» и др.) в основном решают проблемы сбора информации в командных центрах на берегу и судах, привле-

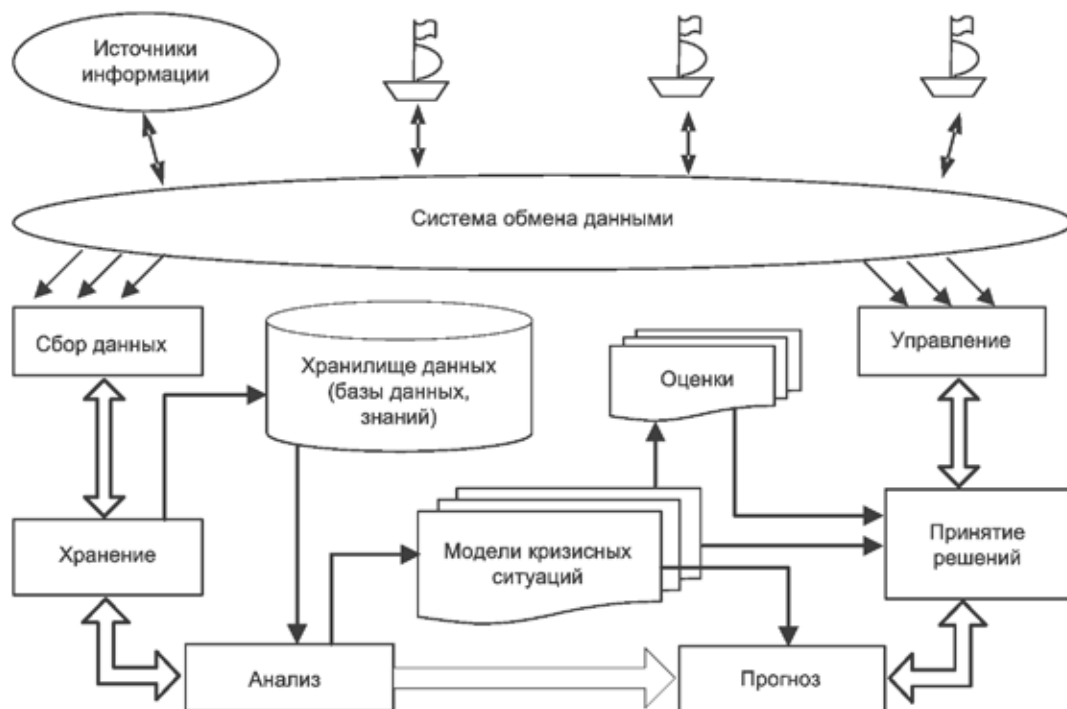


Рис. 1. Общая структурно-функциональная схема системы мониторинга

кая радио-, спутниковые средства связи и навигационные системы (ГЛОНАСС, GPS), а также, в меньшей степени, задачи анализа полученных массивов данных и прогноза [1]. Принятие решения на основе этой информации возложено на лицо, принимающее решения без помощи информационных средств. В других областях технологии поддержки принятия решения и экспертные системы давно зарекомендовали себя с положительной стороны. Включение подобных механизмов в автоматизированные системы поддержки принятия решений позволило бы повысить эффективность и оперативность решений командного состава в центрах мониторинга.

Экспертная система, интегрированная в автоматизированную систему морского мониторинга, должна решать задачи выявления, анализа опасных ситуаций, возникающих на море (в заданном контролируемом районе), оповещения о появлении опасных ситуаций и объектов особого внимания (любой объект, попавший в опасную ситуацию) и выдачи рекомендаций по их устранению с возможностью объяснения решений. Система должна работать в режиме реального времени и выполнять функции (пункты 3-5), приведенные выше. Детализируя эти задачи, ограничим круг кризисных ситуаций набором: опасное сближение судов, отклонение судна от заданного маршрута, опасное маневрирование (сближение с навигационными опасностями, нарушение государственных границ, заход кораблей в закрытые районы, потеря контакта с кораблем), метеорологические опасности (попадание судов в зоны действия штормов, цунами, бурь, туманов и т.д.), появление в контролируемом районе неопознанной подводной лодки.

Выделим задачи, решаемые экспертной системой. Среди них:

- прогнозирование движения судов и метеословий среды;
- выявление опасного сближения судов;
- выявление отклонения судна от маршрута;
- выявление опасного маневра;
- оценка метеорологической опасности;
- определение наличия/отсутствия контакта;
- идентификация подлодки;
- оценка вероятности столкновения, отклонения от маршрута, захода на опасный маневр, попадания в район действия метеопропасности;
- оценка вероятности возможного ущерба при попадании судна в опасную ситуацию;
- сигнализация об опасной ситуации;
- выработка рекомендаций для вывода судна из опасной ситуации;
- объяснение предложенных рекомендаций.

Экспертная система должна реагировать на события (появление новой информации в системе, возникновение опасных ситуаций) и решать возникшие задачи параллельно (обрабатывать все объекты мониторинга в заданном районе).

Исходя из этого, предлагаем рассмотреть эту систему в виде асинхронной дискретной модели, реализованной в классе сетей Петри.

Модель (интерпретируемая с помощью сети Петри) состоит из 15 позиций (условий и событий, позволяющих выявить опасную ситуацию) и 34 переходов (состояний системы, в которых она анализирует данные, проверяет условия, вырабатывает решения). Начальной маркировке сети соответствует состояние, представленное на рис. 2 (графическое представление модели). В позиции  $P_{15}$  находятся 6 маркеров, они соответствуют 6 опасным ситуациям, которые должна разрешать система.

Движение маркеров по сети позволит проследить за изменением состояния системы. Эта сеть является 6-ограниченной с конфликтующими переходами.

Формально ее можно описать следующим образом [5]:

$$\mu_0 = (0000000000000006);$$

$$P = \{P_1, \dots, P_{15}\};$$

$$T = \{t_1, \dots, t_{34}\};$$

$$I(t_{K+5 \cdot N}) = O(t_{M+5 \cdot N}) = \{P_{15}\}$$

$$\text{при } M=2, 3, 5 \text{ и } K=1, 3;$$

$$I(t_{K+5 \cdot N}) = O(t_{M+5 \cdot N}) = \{P_{1+2 \cdot N}\} \text{ при } M=1 \text{ и } K=2, 4;$$

$$I(t_{K+5 \cdot N}) = O(t_{M+5 \cdot N}) = \{P_{2+2 \cdot N}\} \text{ при } M=4 \text{ и } K=5;$$

$$I(t_{31}) = I(t_{32}) = O(t_{31}) = \{P_{13}\};$$

$$I(t_{33}) = I(t_{34}) = O(t_{32}) = \{P_{14}\};$$

$$O(t_{33}) = \{P_{12}\};$$

$$O(t_{34}) = \{P_{15}\};$$

где  $\mu_0$  - начальная маркировка сети;

$P$  - множество позиций сети;

$T$  - множество переходов сети;

$I(t_i)$ ,  $O(t_i)$  - множества входных и выходных позиций перехода  $t_i \in T$ ,  $N \in [0;5]$ .

Позиции  $P_1$ - $P_{14}$  соответствуют условиям возникновения опасных ситуаций. Например,  $P_1$  показывает, что судно подошло слишком близко к навигационной опасности, госгранице или закрытому району, а  $P_2$  определяет, что это сближение не было оправданным, у судна нет разрешения на посещение закрытого района, его коридор движения не пролегает вблизи границы и т.д. Появление маркера в позициях перехода активизирует его, и тогда происходит его срабатывание (например,  $P_2$  активизирует переход  $t_5$ , который соответствует событию системы - генерации рекомендации по выводу судна из опасного маневра). Остальные позиции и переходы действуют аналогично.

Переходы  $t_1$  и  $t_3$ ,  $t_2$  и  $t_4$ ,  $t_6$  и  $t_8$ ,  $t_7$  и  $t_9$ ,  $t_{11}$  и  $t_{13}$ ,  $t_{12}$  и  $t_{14}$ ,  $t_{16}$  и  $t_{18}$ ,  $t_{17}$  и  $t_{19}$ ,  $t_{21}$  и  $t_{23}$ ,  $t_{22}$  и  $t_{24}$ ,  $t_{26}$  и  $t_{28}$ ,  $t_{31}$  и  $t_{32}$ ,  $t_{33}$  и  $t_{34}$  конфликтуют между собой, и сработать может только один из пары, что отражает семантику задачи, опасная ситуация может возникнуть или нет. Эти пары переходов начинают параллельные ветви графа, т.е. задачи решаются одновременно и асинхронно. Переходы  $t_3$  и  $t_2$  отображают состояние системы, когда нет опасного маневрирования,  $t_7$  и  $t_8$  - вероят-

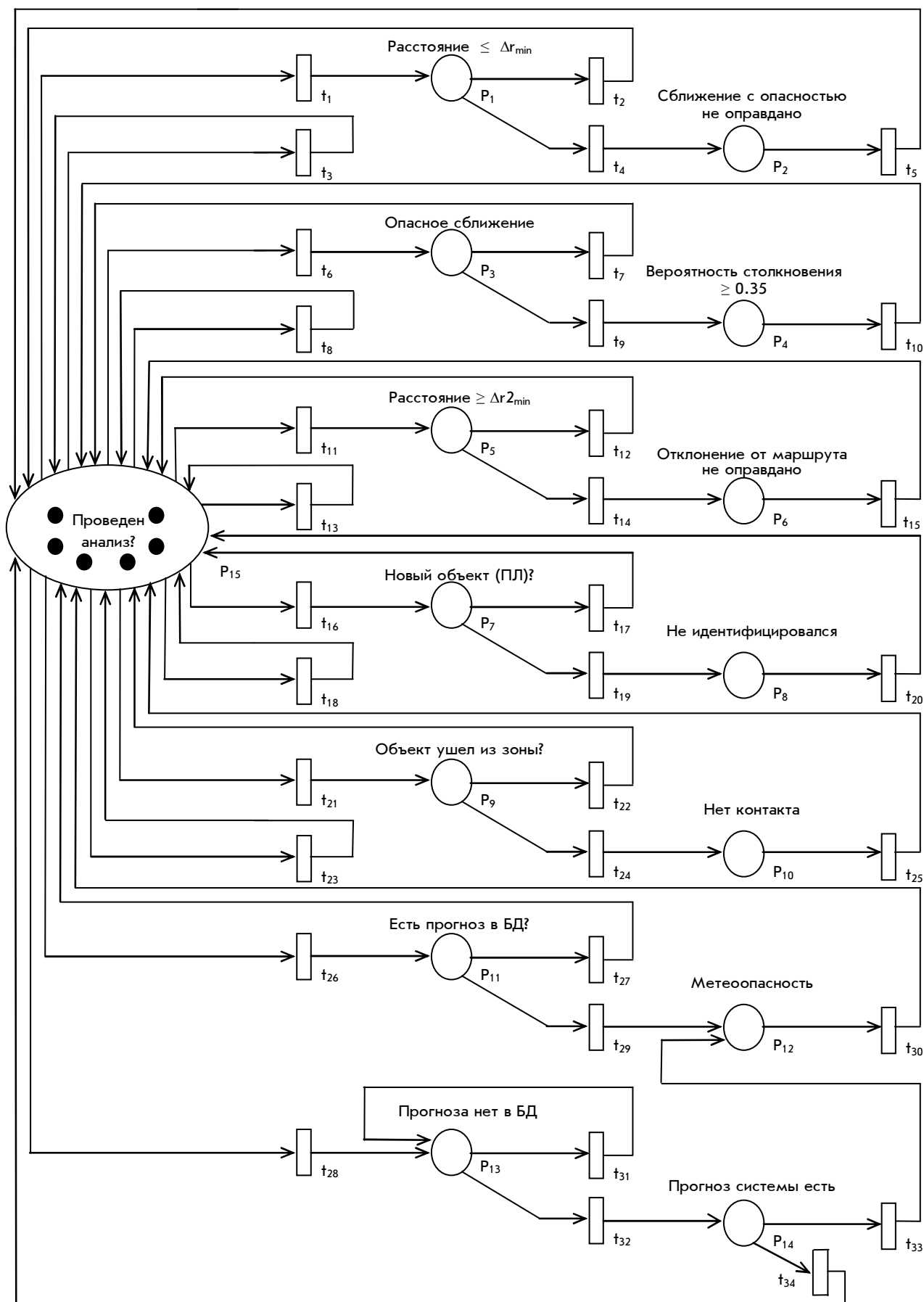


Рис. 2. Событийная модель экспертной системы морского мониторинга

ности столкновения судна с другим судном,  $t_{12}$  и  $t_{13}$  — отклонения от заданного маршрута,  $t_{17}$  и  $t_{18}$  — наличие неопознанных подводных лодок,  $t_{23}$  и  $t_{22}$  — потери контакта с судном,  $t_{27}$  и  $t_{34}$  — наличие метеорологической опасности. Переходы  $t_5$ ,  $t_{10}$ ,  $t_{15}$ ,  $t_{30}$  отражают экспертную часть системы, именно эти события запускают машину вывода экспертной системы, вырабатывающую варианты разрешения опасных ситуаций (метеорологических, отклонения от маршрута, столкновения с другим судном, приближения к навигационной опасности). Переходы  $t_{20}$ ,  $t_{25}$  представляют события-сигналы, когда система сообщает о ситуациях потери контакта и появления неопознанной подлодки.

Анализ всех возможных маркировок позволяет сказать, что все состояния сети достижимы. Модель системы в виде сети Петри позволяет отследить события системы, условия и возможный

порядок их возникновения (см. маркировки сети).

Структурно-функциональная модель системы, представленная на рис. 3, отображает взаимодействие блоков системы между собой и распределение функций между алгоритмической и экспертной частями модели. Стрелкой с черной точкой на схеме обозначено начальное состояние системы, в котором система проводит инициализацию (загружает начальные данные о районе мониторинга, производит настройку по заданным параметрам), после чего производит анализ данных, полученных из базы данных, и распознает опасные ситуации для текущего объекта. Проверив условие для каждой из ситуаций, система определяет наличие или отсутствие конкретной опасности. Собрав воедино результаты анализа, система выявляет наличие опасности для объекта. Если существует вероятность появления хотя бы одной из анали-

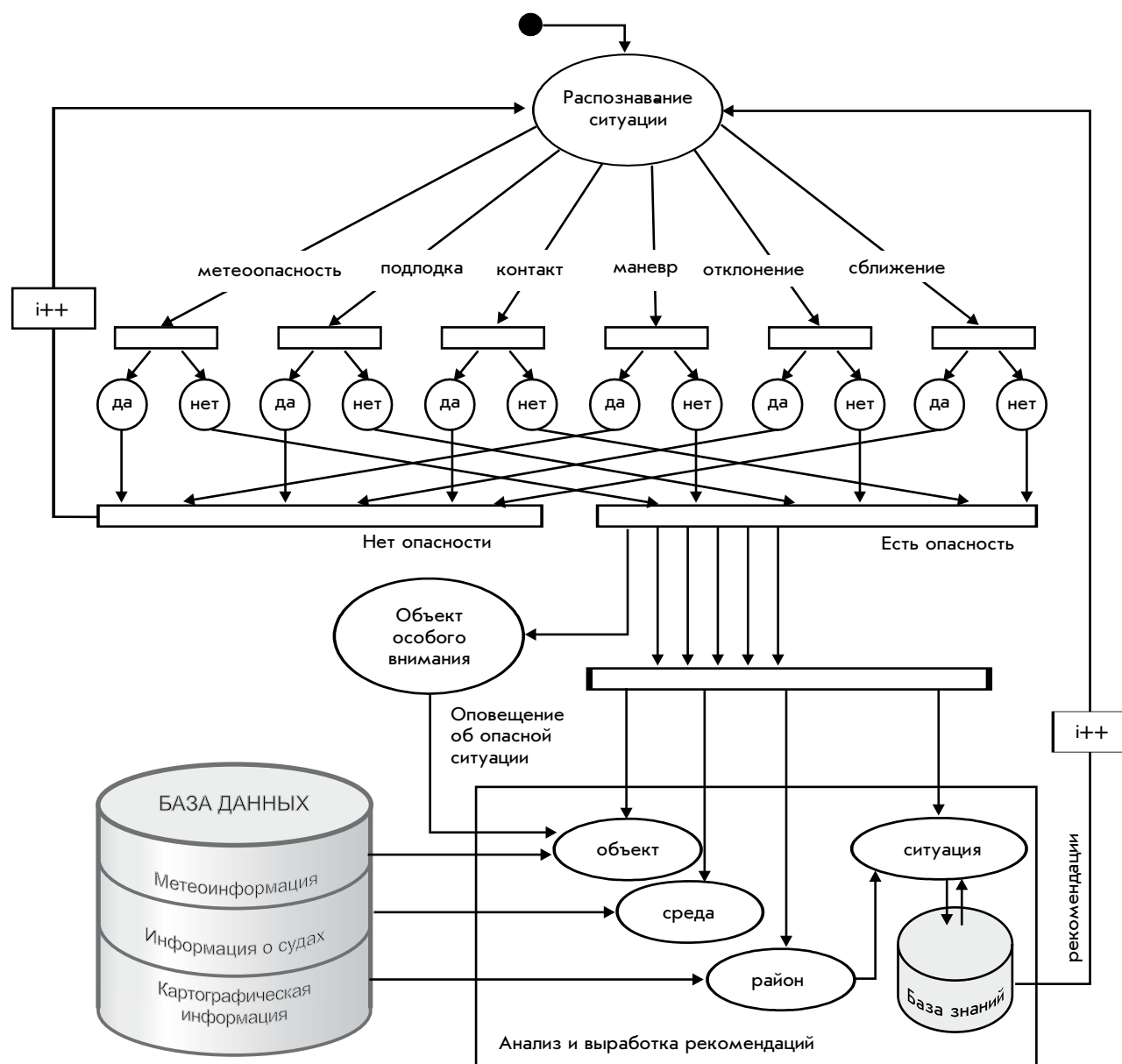


Рис. 3. Структурно-функциональная схема организации потоков данных в экспертной системе

зируемых опасных ситуаций, то система идентифицирует объект как объект особого внимания (требующий разрешения опасной ситуации) и сигнализирует об опасности. Если ни одна из ситуаций не актуальна, то система считает, что объект находится в безопасности и переходит к анализу следующего объекта (обозначено на схеме как  $i++$ ).

Если опасность существует, то система должна выработать рекомендации по выводу объекта из нее и сведению к минимуму возможного ущерба. Для этого выделены объекты реальности, которые необходимы для отображения всех ситуаций: объект (судно), район, в котором находится судно, среда в этом районе и ситуация, в которую попало судно (рис. 4). Эти объекты связаны между собой. Ситуация происходит в определенный момент времени в конкретном районе с соответствующими погодными условиями, поэтому отношения связей между районом и ситуацией, средой и ситуацией характеризуются как «один ко многим». В опасную ситуацию может попасть сразу несколько объектов (например, в столкновении судов участвуют как минимум два объекта), но и один объект может попасть сразу в несколько опасных ситуаций, поэтому связь между ситуацией и объектом - «много ко многим».

Для отображения предметной области используется продукционная модель знаний, на основе которой создается в экспертной системе база знаний. Выделенные объекты используются в продукциях базы знаний. После выявления опасности система создает экземпляры классов, отражающие ее, и использует базу данных для заполнения слотов (атрибутов) объектов. Для полной характеристики ситуации используется база знаний. После этого экспертная система на

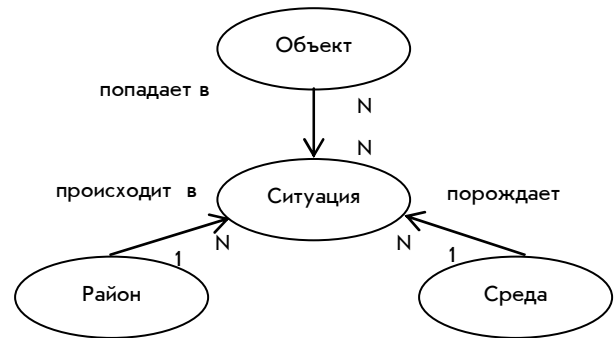


Рис. 4. Диаграмма объектов базы знаний

основе полученных фактов производит выработку решений. Сообщив полученную информацию пользователю, система переходит к следующему объекту.

Для снижения временных затрат и вероятности возникновения опасных ситуаций на море, повышения эффективности и оперативности управления судами в контролируемом районе необходимо включить в состав автоматизированной системы мониторинга механизм поддержки принятия решений. Результатом функционирования этого механизма должен стать выработанный комплекс контрмер по снижению риска возникновения аварийных случаев, реализации угроз, влекущих за собой снижение мореходных качеств судов, убытки и увеличение эксплуатационных ограничений. Их взаимосвязь представлена на рис. 5, модель построена на основе положения о порядке классификации, расследования и учета аварийных случаев с судами [7].

Основной целью механизма поддержки принятия решений является предотвращение аварийных случаев и поддержание показателей мореходных качеств в заданных допустимых пределах.

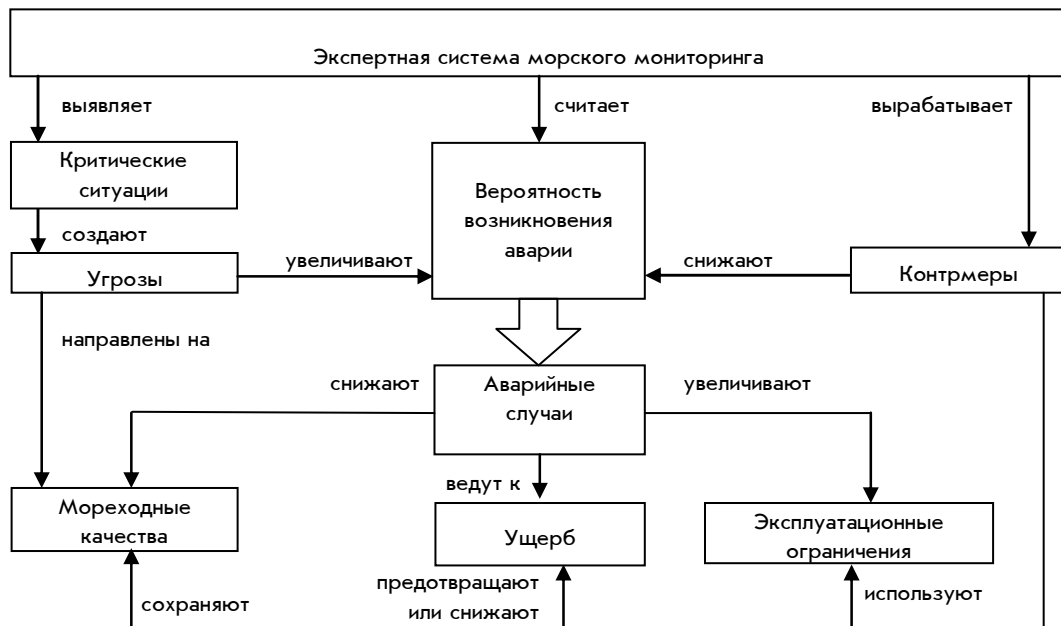


Рис. 5. Динамическая модель построения и функционирования экспертной системы морского мониторинга

Это достигается в системе за счет генерации адекватных контрмер на актуальные угрозы, т.е. контрмеры рассматриваются как управляющее воздействие, снижающее вероятность появления аварийных случаев (см. рис. 6).

Аварийные случаи приводят к потере одного или нескольких мореходных качеств (прочности, остойчивости, плавучести, непотопляемости, управляемости, ходкости), ущербу (стоимость потеряннного судна, ремонта, восстановления мореходных качеств, спасательных операций, буксировки, утраченного груза и т.д.) и появлению или увеличению эксплуатационных ограничений (района, сезона, назначения плавания и т.д.). Так как создание универсальной шкалы измерения уровня опасности и контрмер не представляется возможным, то для оценки вероятности возникновения аварийных случаев необходимо использовать экспертные знания, учитывающие существующие эксплуатационные ограничения, возможный ущерб и угрозы мореходным качествам и самому судну.

Модель в классе сетей Петри позволяет рассмотреть систему с точки зрения событий, происходящих с ней, и условий, переводящих ее из одного состояния в другое. Структурно-функциональная схема позволяет отследить потоки данных, циркулирующих в системе, и

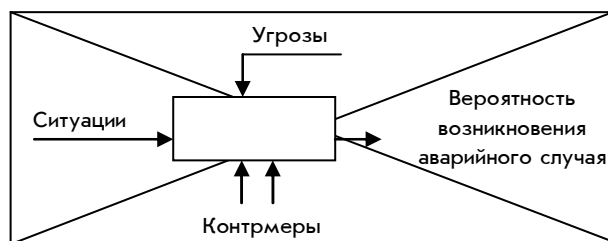


Рис. 6. Схема управления вероятностью аварийного случая

отобразить основные блоки. Но эти модели не позволяют оценить функционирование системы с временной точки зрения, т.к. структурно-функциональная система статична, а в сетях Петри время срабатывания перехода считается равным нулю. Для рассмотрения временных характеристик системы предлагается ее модель в классе систем массового обслуживания (рис. 7). Модель построена в среде имитационного моделирования с использованием библиотеки Enterprise Library [9].

Блок Source генерирует заявки, т.е. моделирует поступление данных о судах в экспертную систему. Транзакция в системе является объектом «Судно», т.е. содержит информацию об одном объекте мониторинга. Блоки Delay (задержка) и Delay1

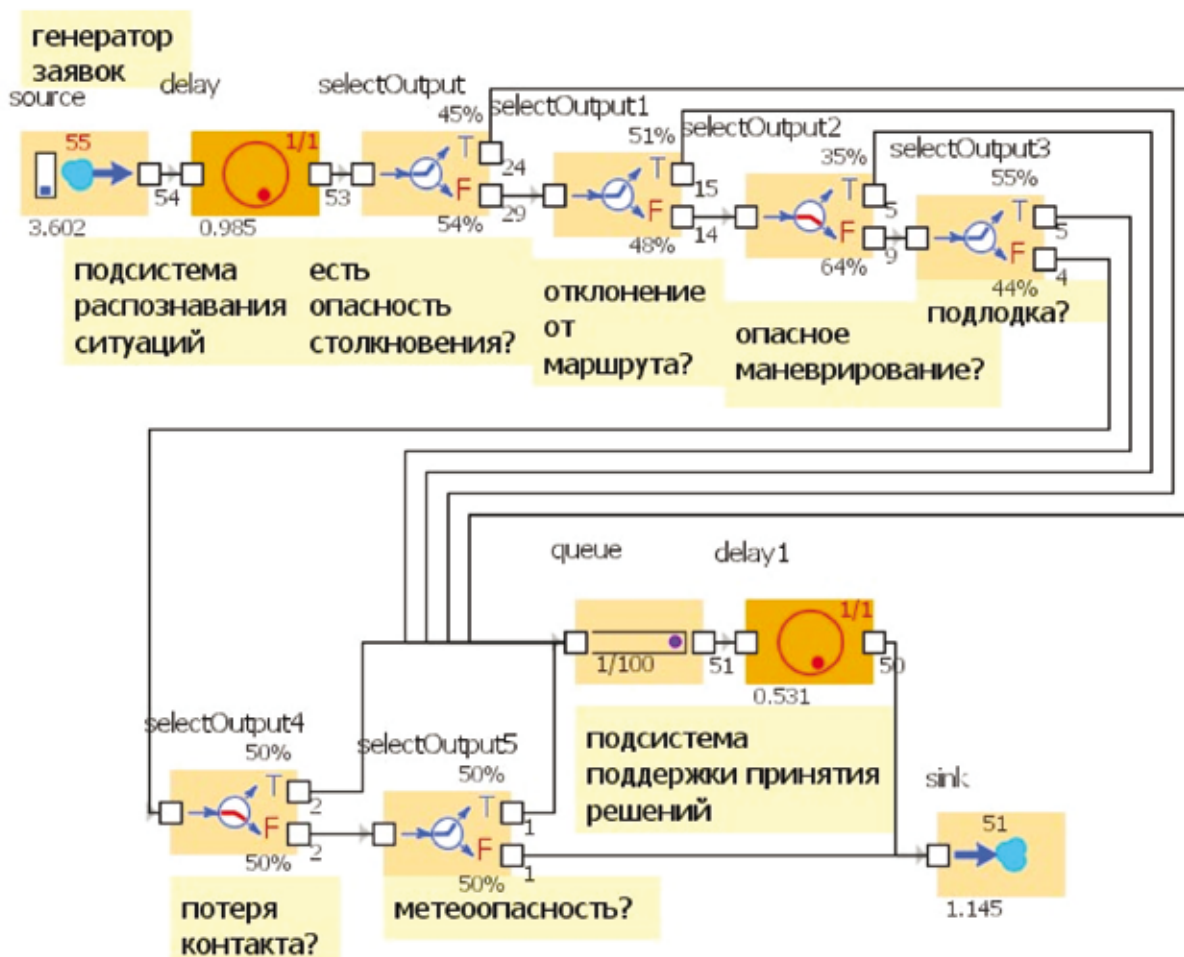


Рис. 7. Экспертная система в классе систем массового обслуживания

(задержка 1) представляют подсистемы распознавания критических ситуаций и принятия решений. Блок Queue входит в подсистему принятия решений и отображает последовательность решаемых задач. Блоки SelectOutput 0-5 проверяют, есть ли та или иная опасность для объекта, и, если есть, направляют объект в подсистему принятия решений, если нет — выводят из системы через блок Sink. Такая модель позволяет получить статистические данные по работе системы, оценить время, затрачиваемое на обработку одной транзакции, максимальный процент аварийности, при котором система реагирует адекватно, загруженность системы.

На основе приведенных выше моделей был разработан макет экспертной системы морского мониторинга. Макет является программным комплексом, интегрирующим экспертную систему, созданную в оболочке экспертных систем CLIPS, программу-редактор базы знаний, ГИС «Панорама», используемую для графического отображения в режиме реального времени объектов мониторинга в заданном районе, базу данных оперативной обстановки в СУБД Линтер и объединяющий их интерфейс оператора. Тестирование макета экспертной системы показало, что выбранный подход к построению системы мониторинга жизнеспособен и позволяет решить поставленные выше задачи.

Макет содержит минимальный набор правил вывода, базирующихся на руководящем документе «Международные правила предупреждения столкновений судов в море — 72» [3].

Дальнейшее развитие данной работы предлагается вести в следующих направлениях:

1. Создание абстрагированного от языка представления знаний экспертной системы интерфейса, который позволит в диалоговом режиме эксперту, не специалисту в области искусственного интеллекта и информационных технологий, пополнять базу знаний.

2. Расширение перечня решаемых экспертной системой задач.

3. Создание системы документирования и объяснения выдаваемых рекомендаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированные системы мониторинга судоходства / А.Н. Маринич, И.Г. Проценко, В.Ю. Резников, Ю. М. Устинов, А.Р. Шигабутинов. Под общ. ред. докт. техн. наук, проф. Ю.М. Устинова. — СПб: Судостроение, 2003. — 248 с.

2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. — СПб.: Питер, 2001. — 384 с.

3. Конвенция о международных Правилах предупреждения столкновения судов в море, 1972 г. — Режим доступа: [http://www.businesspravo.ru/Docum/DocumShow\\_DocumID\\_33261.html](http://www.businesspravo.ru/Docum/DocumShow_DocumID_33261.html).

4. Концепция федеральной системы мониторинга критически важных объектов и (или) потенциально опасных объектов инфраструктуры Российской Федерации и опасных грузов. — Режим доступа: — [http://www.businesspravo.ru/Docum/DocumShow\\_DocumID\\_103448.html](http://www.businesspravo.ru/Docum/DocumShow_DocumID_103448.html).

5. Кумунжиев К.В. Теория систем и системный анализ: учебное пособие. Ч. 1, 2. — Ульяновск, 2003 — 240 с.

6. Международные правила предупреждения столкновений судов в море. — М.: РосКонсульт, 2006. — 80 с.

7. Положение о порядке классификации, расследования и учета аварийных случаев с судами с изменениями и дополнениями, внесенными приказом Роскомрыболовства от 17 августа 1994 г. № 127. — Режим доступа: — [http://www.seacrew.ru/component/option,com\\_alphacontent/section,8/cat,70/task,view/id,753/Itemid,85/](http://www.seacrew.ru/component/option,com_alphacontent/section,8/cat,70/task,view/id,753/Itemid,85/).

8. Сладкова О. Б. Информационный мониторинг. — М., 2001.—5с.

9. Учебное пособие по Enterprise Library. XJ Technologies Company Ltd. — Режим доступа: <http://www.xjtek.ru/file/131>.