

ОПЕРАТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ НА АКВАТОРИЯХ МОРЕЙ

Овсиенко С.Н.¹, Вербицкая О.А.², Зильберштейн О.И.², Жабина И.И.³, Лосев В.М.³,
Шапочкин Д.А.², Попов С.К.², Ивченко А.А.¹, Бухаров В.М.³,
Пурина И.Э.³, Недачина А.Ю.³, Степанов Ю.А.³

¹ Государственный океанографический институт

² Компания ИНФОМАР

³ Научно-исследовательский гидрометеорологический центр Российской Федерации

Введение

На российских акваториях в последние 10-15 лет активно ведется проектирование, строительство и эксплуатация различных промышленных объектов, удаленных от берега. В основном, это сооружения нефтегазодобывающего комплекса для разведочного и промышленного бурения, средства транспортировки нефте- и газопродуктов (танкеры, трубопроводы и вспомогательные технологические комплексы).

Интенсивное расширение этой деятельности диктует специальные требования к обеспечению промышленной и экологической безопасности. Любые «нештатные» ситуации природного или техногенного происхождения могут приводить и иногда приводят к аварийным событиям, влекущим тяжелые последствия с огромным ущербом природной среде, дорогостоящим сооружениям и, в некоторых случаях к гибели людей.

Чтобы предотвратить их, или хотя бы уменьшить негативные последствия, в мире существуют специально разрабатываемые системы предупреждения о землетрясениях, цунами, штормовых нагонах и распространении загрязнителей различного рода. Поэтому информация о неблагоприятных гидрометеорологических явлениях на акваториях и аварийных разливах загрязнителей (особенно нефтепродуктов) весьма необходима организациям, работающим на морях. Причем важна как текущая информация - мониторинг, так и оперативные сведения о возможных изменениях гидрометеорологических условий на морях – краткосрочный (до трех суток) прогноз.

Для решения этих задач в Гидрометцентре России наряду с технологиями оперативного метеорологического прогноза была разработана, прошла испытания и используется в оперативной практике технология краткосрочного прогноза (до 48 ч) колебаний уровня и течений в Каспийском море, в которой в качестве входной информации используется метеорологический прогноз, получаемый с помощью региональной модели атмосферы. Эта информация дважды в сутки обновляется в оперативной базе данных.

Обеспечить необходимые технологические решения построения эффективной системы предупреждения о трансформации нефтяного пятна на поверхности моря в случае аварийного разлива возможно было только в Гидрометцентре России, куда регулярно поступает оперативная гидрометеорологическая информация и имеются необходимые технические средства, а также соответствующее программное обеспечение для управления потоками оперативных данных. Такая технологическая среда позволила «нарастить» действующую прогностическую систему дополнительным уникальным блоком расчета распространения аварийных разливов нефти, входной информацией для которого служат данные о состоянии природной среды, а также сведения об объеме, времени и географических координатах события.

1. Оперативная технология мониторинга и прогноза гидрометеорологических характеристик и параметров распространения аварийных разливов нефти на акватории Северного Каспия

Главными составными частями технологии являются:

- Региональная метеорологическая модель Гидрометцентра России, обеспечивающая краткосрочный прогноз метеорологических характеристик;
- Гидродинамическая бароклинная модель расчета колебаний уровня моря и течений Гидрометцентра России;
- Программный комплекс моделирования аварийных разливов нефти (ПК SPILLMOD).

1.1. Региональная метеорологическая модель Гидрометцентра России

Этот блок позволяет численно рассчитывать прогностические поля гидродинамических величин (геопотенциал, температура, ветер, влажность на стандартных изобарических уровнях, а также осадки, включая сильные) на регулярной сетке полярной стереографической проекции [Лосев, 2000].

Прогноз осуществляется интегрированием по времени уравнений гидротермодинамики, учитываются рельеф, фазовые переходы влаги, радиационные потоки, взаимодействие с приземным подслоем. На основе рассчитанных полей определяются элементы погоды (приземные ветер и температура), опасные метеорологические явления (очень сильные ветры и осадки), правильное предсказание которых позволяет избежать значительного ущерба в строительстве, сельском хозяйстве и т.п.

Основная новизна, по сравнению с другими прогностическими схемами в России, заключается в высоком пространственном разрешении, позволяющем существенно повысить качество регионального прогноза Гидрометцентра России и сделать его сравнимым с качеством лучших зарубежных аналогов. Примененные в модели алгоритм реализации неясности, способ аппроксимации барического градиента в системе σ -координат, нелинейный метод инициализации не имеют аналогов в мировой практике.

В 2002 году проводились оперативные испытания модели в Гидрометцентре России. Рассмотрев результаты которых Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета рекомендовала модель к внедрению в Гидрометцентре России для прогноза явлений синоптического масштаба на ограниченной территории на срок до 2-х суток.

Размер сетки, ее ориентация, шаг по горизонтали и количество уровней по вертикали задаются параметрически. Модель легко настроить на регионы меньшей площади, но с повышенным пространственным разрешением (до 20 км), что важно для горных районов и вообще для точной локализации фронтов, центров циклонов и антициклонов. Модель используется в ряде регионов России, Беларуси и может быть настроена для конкретных регионов СНГ и для любой области Северного полушария.

Начальные данные формируются с помощью объективного анализа, который обрабатывает данные, поступающие в виде синоптических, аэрологических и других телеграмм.

Эффективная заблаговременность прогноза до 48 ч. Прогноз составляется дважды в сутки в 0 и 12 ч по Гринвичу. В версии модели, которая работает сейчас в оперативном режиме, дискретность выдачи прогностических метеорологических полей - 6 ч, Шаг по пространству – 75 км, область расчета охватывает территорию всех стран СНГ.

1.2. Гидродинамическая бароклинная модель расчета колебаний уровня моря и течений Гидрометцентра России

Модель является основой прогностической технологии, прошедшей испытания в отделе морских гидрологических прогнозов Гидрометцентра России и рекомендованная ЦМКП Росгидромета к внедрению в оперативную практику [Вербицкая и др., 2002; Вербицкая и др., 2003]. Построенная технология краткосрочного прогноза уровня моря и течений в Каспийском море оперативно работает в АСОИИ Гидрометцентра России (рис. 1). Качество составленных

прогнозов уровня моря удовлетворяет требованиям действующих нормативных документов Росгидромета по службе морских прогнозов [Методические..., 1991; Наставления..., 1982]. В качестве входной информации служат:

- сезонные климатические поля температуры и солености;
- поля приземного атмосферного давления, полученные по региональной прогностической модели атмосферы, действующей в Гидрометцентре России;
- положение кромки льда 50 % сплоченности по ледовому еженедельному прогнозу, выпускаемому отделом морских гидрологических прогнозов Гидрометцентра России;
- суточный расход р. Волги по данным наблюдений; расходы других рек, впадающих в Каспийское море, по климатическим данным;
- в качестве начальных условий для расчета используются поля уровня моря и течений с предыдущего прогноза (расчета).

В модель включен блок учета осушения и затопления прибрежных территорий. Для мелководных областей Северного Каспия без этой процедуры невозможно получить достоверные величины нагонов и скоростей течений в прибрежной зоне.

Значения приводного атмосферного давления интерполируются в узлы расчетной сетки морской гидродинамической модели, и проводится расчет полей компонент приводного ветра по методике, учитывающей геострофическую составляющую ветра, кривизну изобар, трение о водную поверхность.

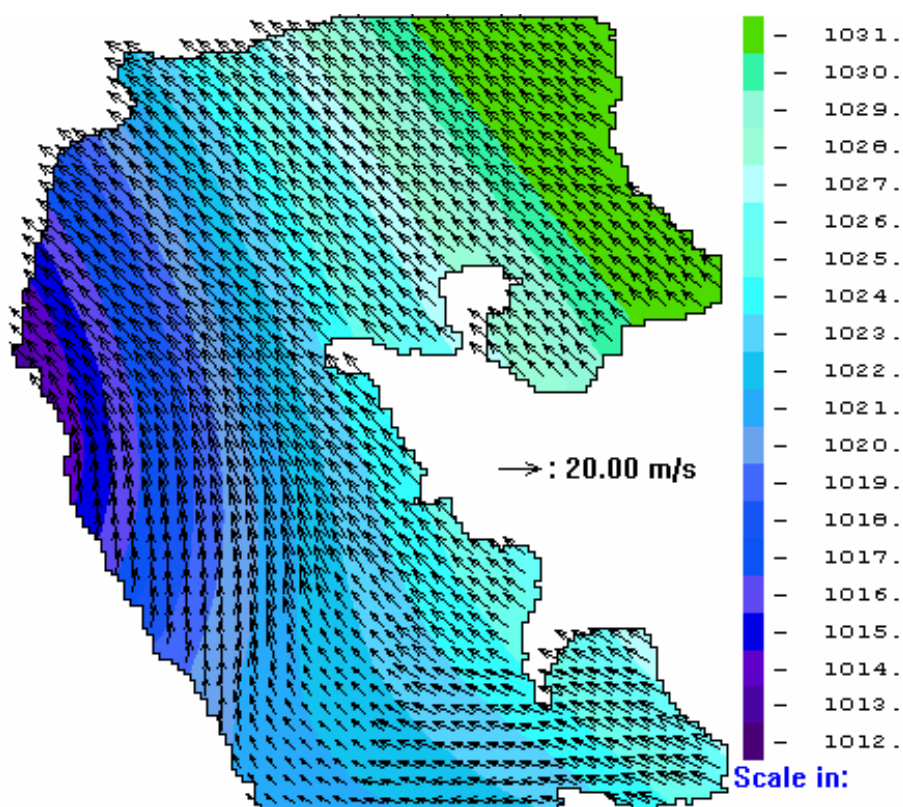
Расчет по морской модели осуществляется 2 раза в сутки, сразу после завершения расчетов по метеорологической модели. Заблаговременность морского прогноза определяется заблаговременностью метеорологического прогноза и составляет 48 ч. Моделирование осуществляется для всей акватории Каспийского моря, что позволяет получать прогноз в виде полей уровня моря и скоростей течений на стандартных горизонтах для всей акватории моря, а также в виде временных рядов значений параметров морского режима в любом пункте (в том числе для районов, где наблюдения отсутствуют). Все прогностические данные – уровень моря, компоненты скорости приводного ветра и скоростей течений на 19 горизонтах - представлены как поля на сетке 126×216 узлов, расстояние между которыми 3 морские мили (5556 м). Дискретность полей - 1 ч, период хранения прогнозов - 5 суток.

27-31 января 2005 г. в Северном Каспии наблюдался сильный штормовой нагон, зарегистрированный с помощью автоматизированной морской прогностической технологии и по данным наблюдений, получаемых в оперативном режиме с наблюдательной сети прикаспийских стран. Это событие относилось к категории особо опасных явлений и является наиболее сильным за период с 1999 г. На рис.1а показаны прогностические поля атмосферного давления и приводного ветра, полученные в рамках действующей оперативной технологии на 0 ч гринвичского времени 30.01.2005 г. На рис. 1б приведены расчетные поля уровня моря и скоростей течений в поверхностного слоя на момент максимального развития шторма.

Так как технология работает в оперативном режиме, статистические оценки качества прогнозов продолжают регулярно рассчитываться и уточняться.

В настоящее время начаты оперативные испытания метода краткосрочного прогноза уровня и течений в Баренцевом море. Ведется разработка оперативного метода морского прогноза для Черного и Азовского морей.

a)



б)

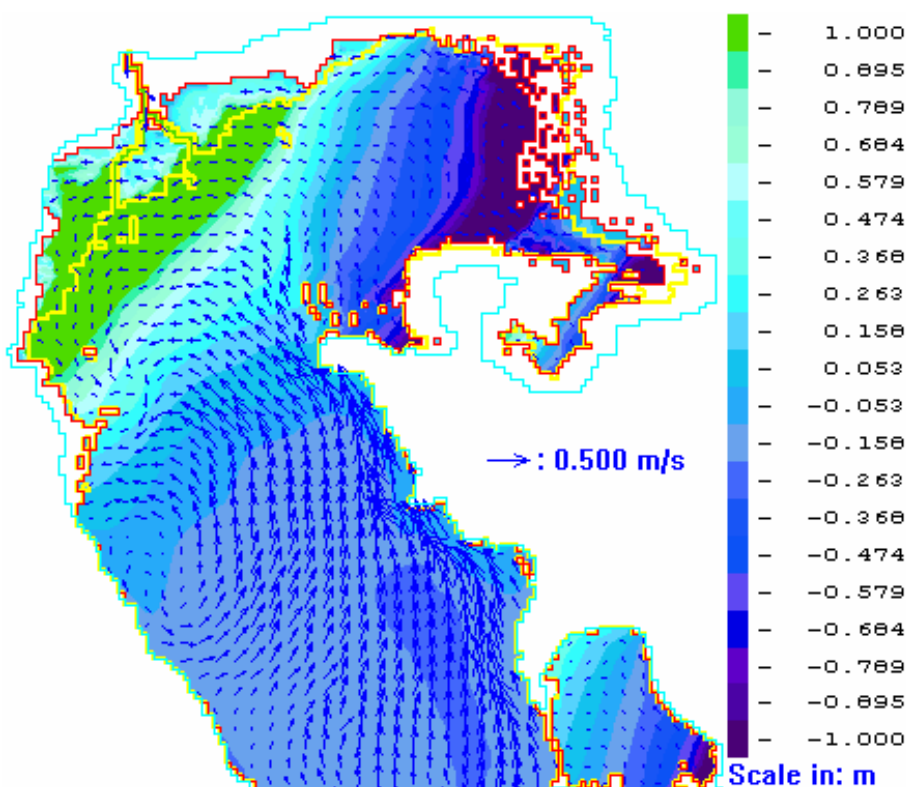


Рис. 1. Примеры расчетных прогностических полей атмосферного давления и ветра (а), а также уровня моря и поверхностных течений (б) на момент максимального развития шторма (0 ч 30 января 2005 г.). Желтая ломаная линия показывает береговой контур до начала штормового события, красная показывает границы затопления (осушения). Величины уровня моря даны относительно его среднемесячного значения для января 2005 г.

1.3. Программный комплекс моделирования аварийных разливов нефти (ПК SPILLMOD)

Специальный программный комплекс, предназначен для моделирования (прогнозирования) распространения нефти в море при аварийных разливах (АРН), а также для информационной поддержки планирования и проведения операций по ликвидации АРН (ЛАРН), оценки эффективности планируемых действий.

Модель распространения аварийных разливов нефти использовалась в таких известных проектах, как Балтийская трубопроводная система, Проектирование нефтедобывающей платформы D6, Каспийский трубопроводный консорциум, Сахалин 1 и Сахалин 2. Основные задачи, которые решались с помощью ПК это диагностические расчеты для оценки рисков возможных зон загрязнения нефтяными углеводородами (НУ) во многих районах акваторий морей России, а также в международных водах (Персидский залив, Балтийское море и др.). Имеется опыт использования данной модели в оперативном режиме в Институте окружающей среды (Финляндия).

Базовая версия ПК ориентирована на использование метеорологической (приводный ветер) и гидрологической (течения в поверхностном слое моря) информации Гидрометцентра России и обеспечивает расчёт (прогноз) распространения нефти в море с учётом процессов переноса (ветровыми и приливными течениями), растекания, турбулентной диффузии, испарения, естественного диспергирования, эмульгирования, осаждения на берег для аварийных разливов различных объёмов нефти и нефтепродуктов с различными режимами истечения. На рис. 2 показано распространение нефтяного пятна при разливе с расходом 3000 тонн в час в течение суток. Скорость ветра составляла 1-5 м/с, направление менялось от в пределах румбов СВ-ССЗ.

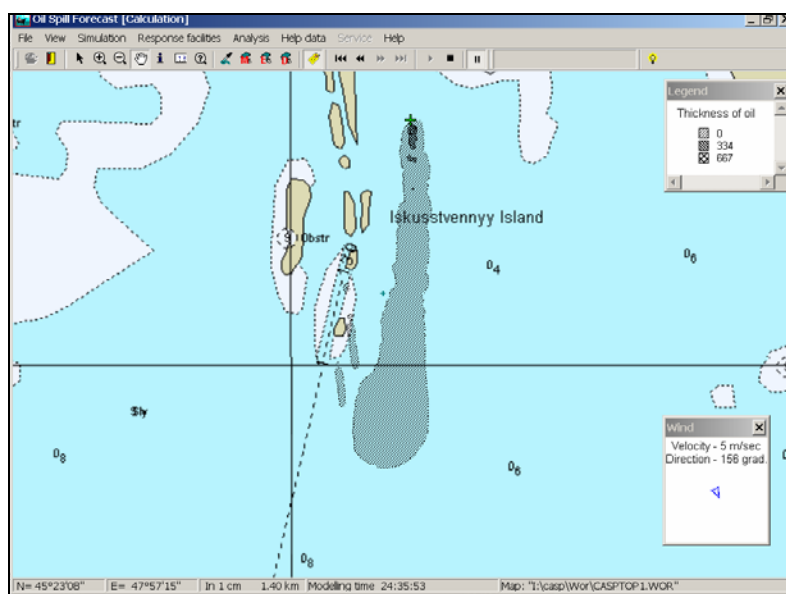
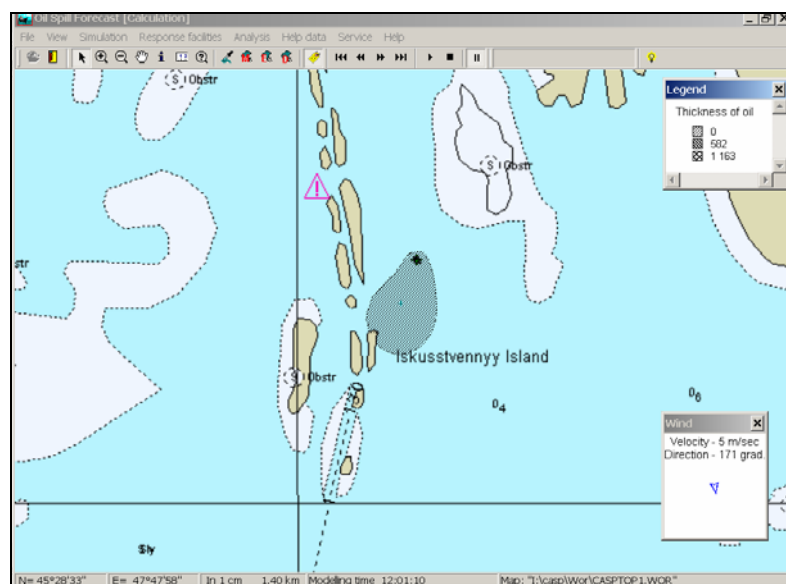
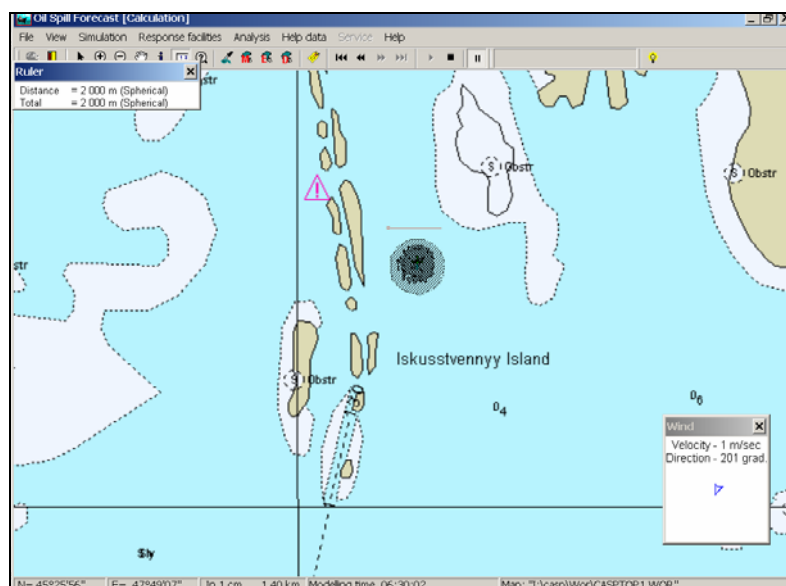


Рис. 2. Разлив с расходом 3000 тонн/час в течение суток. Последовательные положения через 6, 12 и 24 часа после начала аварии.

В качестве дополнительных опций в ПК может быть включено:

- моделирование средств борьбы с разливом (боновые заграждения, скиммеры, автономные нефтесборные системы, диспергаторы, сжигание);
- моделирование (в том числе с применением средств борьбы) любого из рассчитанных ранее (на этапе риск анализа) сценариев аварии;
- моделирование распространения нефти в ледовых условиях (при наличии информации о ледовой обстановке);
- моделирование перемещения свободноплавающих предметов для поиска утерянных объектов.

2. Технологическая линия обеспечения оперативного прогноза распространения нефтяного пятна при аварийных разливах

Данная технология разработана для передачи в каналы связи Гидрометцентра сообщений об аварийных разливах НУ и обеспечения вычислительного процесса и представления результатов потребителю. В ней задействованы разнородные и территориально удаленные друг от друга вычислительные комплексы и оперативные ресурсы Гидрометцентра России.

Принципиальным отличием от традиционных оперативных морских и атмосферных прогнозов является то, что расчеты осуществляются нерегулярно, а только при наличии сообщения об аварии.

Для эффективного управления выделены независимые блоки, связанные между собой только передачей сообщений. В качестве транспортной системы выбран INTERNET и общедоступный FTP-сервер. Схема взаимодействия основных компонентов технологии приведена на рис 3.

В основу заложен принцип: каждое вновь поступившее сообщение должно быть обработано максимально быстро. Все ограничения в системе связаны только с особенностями производства и продолжительностью хранения информации, задействованной в расчете прогноза.

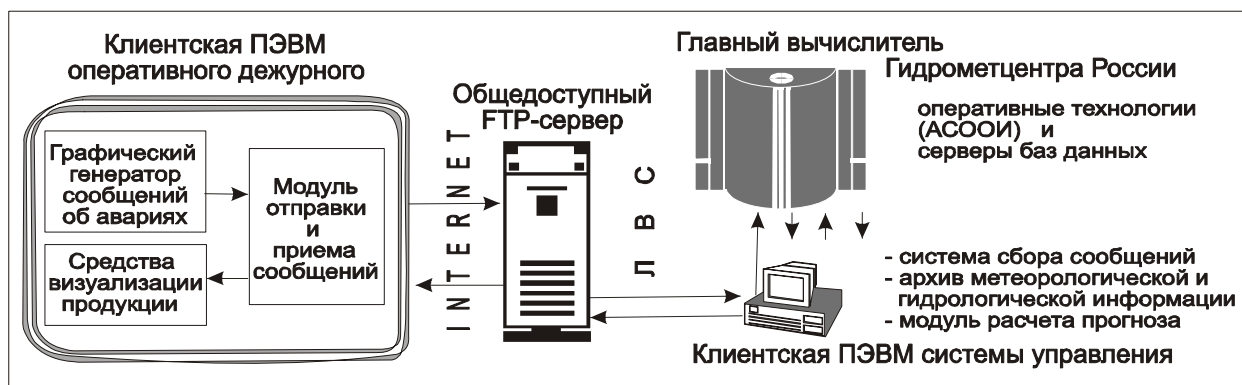


Рис. 3. Схема взаимодействия основных компонентов технологии.

2.1. Информационное обеспечение расчета прогноза

В Гидрометцентре России оперативно работает технология корпоративного уровня АСООИ, предназначенная для обеспечения централизованной автоматизированной обработки гидрометеорологической информации, выполнения регулярного счета прогностических схем, формирования, хранения, представления и распространения их продукции [Пурина и др., 2000].

Информационной основой АСООИ является система управления базами данных (СУБД). В специализированных базах хранится гидрометеорологическая информация различных

уровней обработки: раскодированные данные разных наблюдательных платформ, в том числе, прошедшие процедуры контроля; глобальные поля объективного анализа метеоэлементов; прогностические поля, формируемые региональной, спектральной и целым рядом других моделей атмосферы, а также морских прогностических моделей; продукция других численных схем, осредненные, климатические, архивные и справочные данные.

АСООИ обеспечивает интерфейс клиент-сервер для доступа к базам данных и информационного обеспечения рабочих мест специалистов в локальной вычислительной сети (ЛВС) Гидрометцентра России.

Вычислительной основой АСООИ является банк оперативных задач (БнЗ), в котором размещается прикладное программное обеспечение, прошедшее комплексные испытания и внедренное в оперативную эксплуатацию.

Управляющей основой АСООИ является автоматизированная система (АСУ), обеспечивающая выполнение работ в соответствии с заданным регламентом. АСУ является интегрирующей связующей средой между СУБД и БнЗ. На рис. 4 представлена общая схема функционирования АСООИ и системы ее информационного обеспечения.

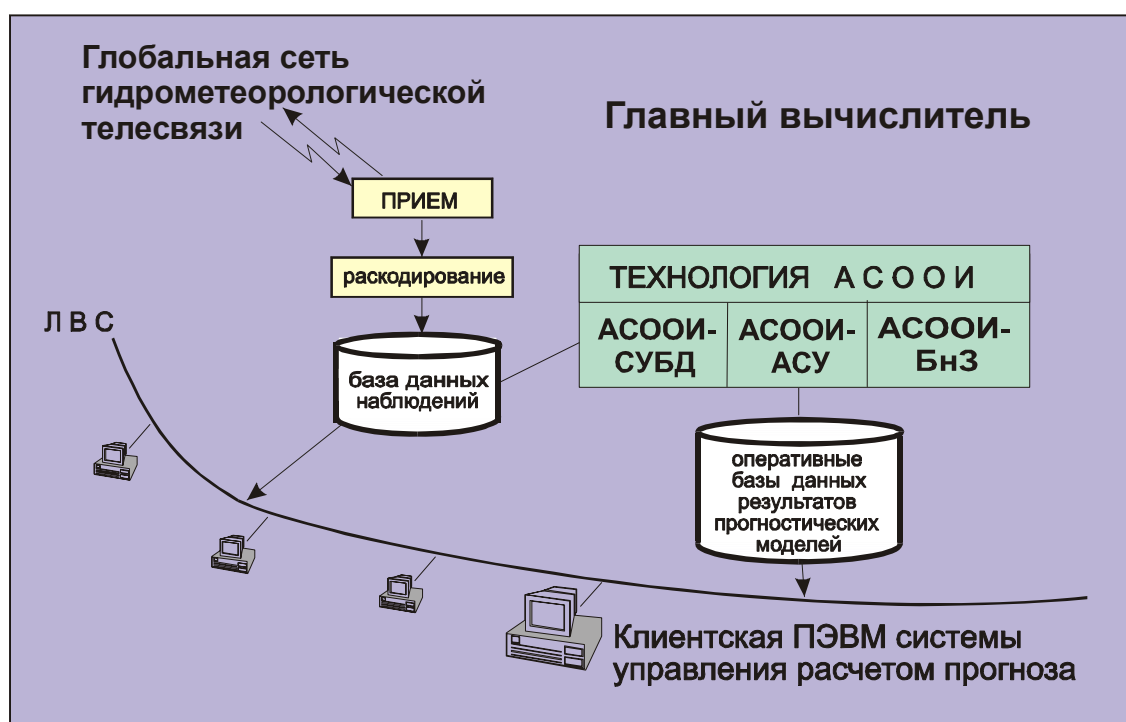


Рис. 4. Общая схема функционирования АСООИ и системы ее информационного обеспечения.

2.2. Система управления расчетом прогноза распространения НУ

После получения сообщения об аварии активизируется модуль управления расчетом прогноза и передачи результатов на FTP-сервер. В системе различаются два основных вида сообщений и связанных с ними модулей расчета прогноза:

- **активное** – вновь поступившее сообщение об аварии или изменении параметров интенсивности сброса ранее произошедшего события;
- **сохраняемое** – принятое ранее и находящееся в процессе расчета.

Компонент приема сообщений с FTP-сервера отслеживает появление новой информации с заданной дискретностью. При обнаружении нового сообщения он активизирует интерпретатор, который определяет является ли это новым событием или изменением параметров уже зарегистрированной аварии. После чего формируется регистрационная запись в

соответствующей базе данных АСООИ. При подтверждении регистрации сообщения запускается модуль расчета прогноза.

Монитор должен найти временное «окно» – интервал времени, за который прогноз на 48 часов будет гарантированно просчитан и не пересечется с оперативным счетом модели расчета колебаний уровня и течений Каспийского моря в рамках АСООИ. Как только такое время найдено, модулю расчета прогноза передается сообщение, и он ставится в очередь на выполнение.

При запуске прогноза активизируется процесс отслеживания его завершения для как можно более скорой передачи результатов на FTP- сервер. Таким образом, получается так называемая схема быстрого «проталкивания» активного сообщения для получения предварительного прогноза распространения пятна в сжатые сроки.

По завершении расчета прогноза сообщение получает статус «сохраняемого» в базе данных АСООИ, а результаты помещаются на FTP-сервер.

Прогноз аварийных разливов НУ выполняется сразу после окончания оперативного расчета по морской модели. Моделирование для каждого сообщения (аварии) возобновляется до тех пор, пока не будут достигнуты критические значения расчетных величин (например, толщина нефтяной пленки), после чего сообщение и прогнозы архивируются, а регистрация на сервере аннулируется.

2.3. Рабочее место оператора

Рабочее место позволяет создавать, тестировать и отправлять сообщения об авариях, а так же получать рассчитанные прогнозы и сопровождающую их дополнительную информацию для последующей визуализации.

Сообщение включает информацию о месте, времени и основных характеристиках аварии. Цепочка прохождения сообщения начинается и завершается на клиентской ПЭВМ оперативного дежурного (оператора). Сообщения об авариях могут относиться к стационарным (платформы) или подвижным (суда и нефтепроводы)... Каждому объекту присваивается уникальный идентификатор и свойства формировать и принимать сообщения.

Различаются аварии двух классов:

1. авария с фиксированным по объему единовременным сбросом загрязняющего вещества,
2. авария, для которой характерно продолжительное истечение вещества изменяющейся интенсивности.

Для второго класса аварий предусмотрено формирование цепочки сообщений, дополняющих друг друга при изменении интенсивности сброса или при его завершении.

На рис. 5 приведено диалоговое окно графического генератора объекта, а на рис. 6 – генератора сообщений. Оператор вносит в соответствующие поля необходимые характеристики объекта и аварии. После чего формируется сообщение, которое после прохождения процедуры контроля на непротиворечивость параметров, автоматически пересылается на FTP- сервер. В пилотную версию процедуры контроля включены следующие модули:

- грубый контроль достоверности местоположения аварии в акватории Каспийского моря;
- контроль непротиворечивости временных интервалов для цепочки сообщений второго класса;
- контроль количества сообщений, находящихся в стадии незавершенного расчета прогноза, если такой предел установлен параметрами конфигурации;
- контроль частоты передачи сообщений с каждого объекта в выделенную единицу времени;
- и ряд других более мелких процедур.

При обнаружении ошибки оператору предоставляется возможность исправить ее или отказаться от формирования сообщения.

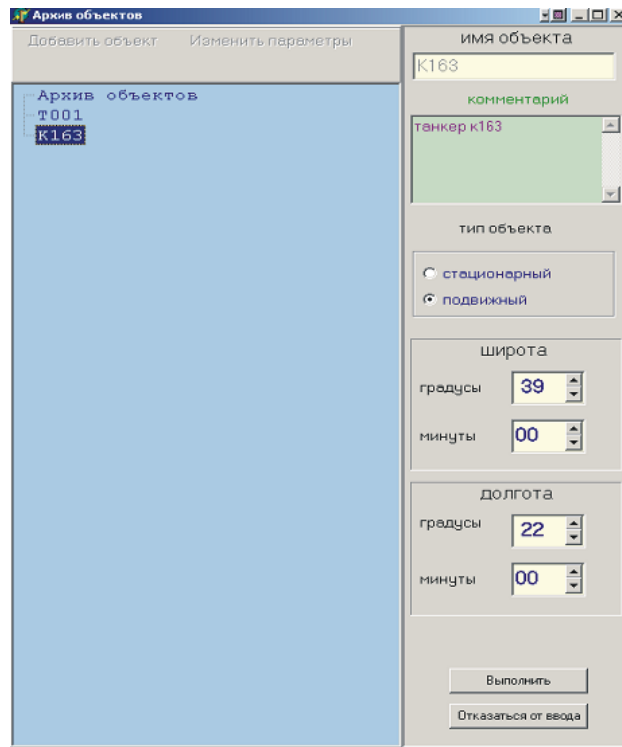


Рис. 5. Диалоговое окно графического генератора объекта.

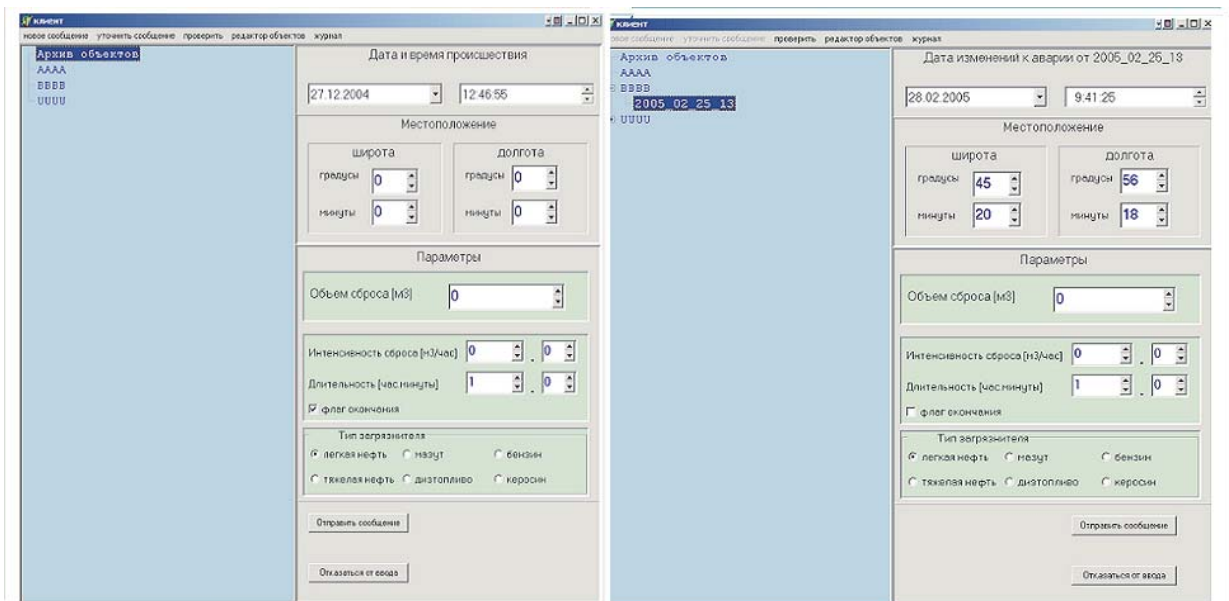


Рис. 6. Диалоговое окно графического генератора сообщений.

Сообщение размещается на сервере, откуда принимается системой управления расчетом прогноза. Результаты расчетов присоединяются к сообщению и возвращаются на FTP-сервер, затем автоматически скачиваются на клиентскую машину оператора, где и визуализируются по запросу.

3. Специализированное оборудование мониторинга нефтяных разливов и гидрометеорологического обеспечения технологических операций, устанавливаемый в потенциально опасных районах

Установка оборудования и программных средств может производиться на морских объектах и сооружениях в целях снижения ущерба при АРН для информационной поддержке проведения операций по ЛАРН, а также обеспечения эффективного выполнения основного технологического цикла и безопасности персонала при швартовых, погрузо-разгрузочных, ремонтных, аварийно-спасательных операциях, спуске и подъеме забортных устройств, малых плавсредств и т.п. В состав модуля мониторинга нефтяных разливов и гидрометеорологических условий входит (см. рис. 7):

- подсистема контроля наличия нефтяных загрязнений на поверхности моря (СПИЛМОН), состоящая из датчиков появления нефтепродуктов на поверхности моря и радио коммуникационной линии;
- подсистема мониторинга метеорологических и океанографических параметров окружающей среды, состоящая из соответствующих датчиков, радио и кабельных линий связи (АГМС);
- базовая станция с программным обеспечением обработки входной информации от датчиков СПИЛМОН и АГМС, и программным комплексом СПИЛМОД, предназначенным для моделирования (прогнозирования) распространения нефти в море при аварийных разливах и оценки эффективности планируемых действий.

Технические средства АГМС в автоматическом режиме обеспечивают квазинепрерывное (с заданным интервалом – от 10 мин. и более) поступление информации о состоянии окружающей среды, ее обработку, архивацию и дисплейное представление данных на рабочей станции, устанавливаемой в помещении дежурного персонала. Эта информация может использоваться дежурным персоналом по мере надобности в зависимости от фазы технологического процесса.

При поступлении сигнала «Тревога» (либо в автоматическом режиме от датчиков СПИЛМОН, либо вводимого оператором после получения информации от соответствующих служб) автоматически или по команде оператора запускается комплекс СПИЛМОД, обеспечивающий на основании данных АГМС краткосрочный прогноз распространения нефти с учётом процессов переноса, растекания, турбулентной диффузии, испарения, естественного диспергирования, эмульгирования, осаждения на берег для аварийных разливов различных объёмов нефти и нефтепродуктов с различными режимами истечения. Данные об объёме разлива и режиме истечения могут уточняться оператором в интерактивном режиме.

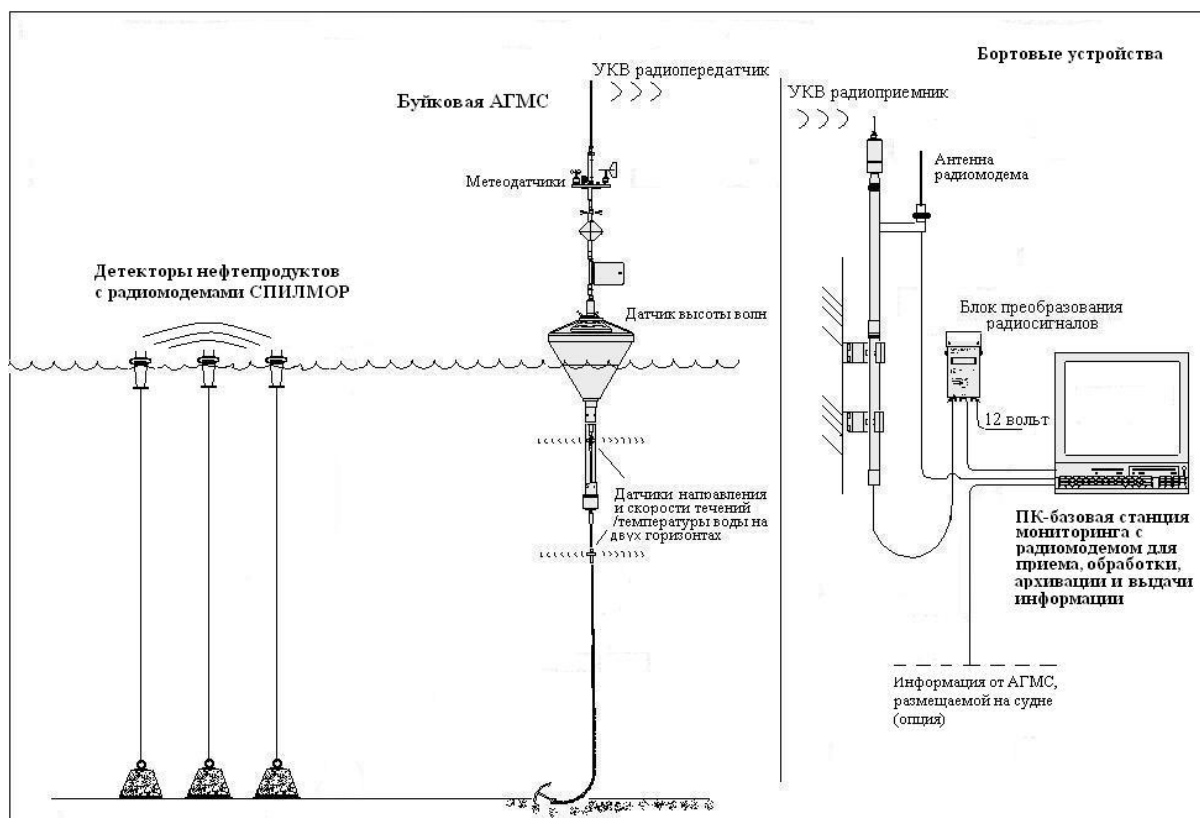


Рис. 7. Блок-схема модуля мониторинга.

Заключение

Разработанная для Каспийского моря оперативная технология мониторинга и прогноза гидрометеорологических характеристик и параметров аварийных разливов нефти является уникальной в России и СНГ. Система строилась исходя из задач оперативного принятия решений и выполнения необходимых мероприятий при возникновении аварийных ситуаций природного или техногенного происхождения. Она построена таким образом, чтобы обеспечивать автоматизированный регулярный доступ к текущей и прогностической информации о состоянии природной среды, включая особо опасные и стихийные гидрометеорологические явления. Предусмотрена удобная визуализация пространственного распределения по акватории Каспия важных прогностических параметров (ветер, течения, уровень моря, аварийные разливы нефти). Технологической основой обеспечения функционирования системы является АСООИ Гидрометцентра России – главного прогностического центра страны. Принципиально новым блоком, впервые интегрированным в общую оперативную технологию является программный комплекс СПИЛМОД, назначением которого является предоставление информации о распространении нефтяного разлива по акватории.

Отдельным элементом системы, установка которого целесообразна рядом с объектами (например добывающая платформа), представляющими потенциальную опасность загрязнения акватории нефтью, является специализированное оборудование мониторинга СПИЛМОН.

Технология продолжает развиваться; планируется ее реализация на акваториях других морей России.

Литература

Вербицкая О.А., Зильберштейн О.И., Попов С.К., Лобов А.Л. Метод краткосрочного гидродинамического прогноза штормовых нагонов в северной части Каспийского моря и результаты его испытаний // Гидрометцентр, Информационный сборник № 29. – 2002. - С. 76-89.

Вербицкая О.А., Зильберштейн О.И., Попов С.К., Лобов А.Л. Возможность специализированного гидрометеорологического обеспечения транспортировки, установки и эксплуатации морских сооружений на основе гидродинамического прогноза уровня моря и течений // Труды РАО-03, Санкт-Петербург, 16-19 сентября, 2003. – 2003. – С. 360-364.

Лосев В.М. Гидродинамическая конечно-разностная модель регионального прогноза на ЭВМ CRAY // Тр. Гидрометеорологического научно-исследовательского центра РФ. - 2000. - Вып. 334. - С. 69-90.

Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. РД 52.27.284-91. - М.: Госгидромет, 1991. - 150 с.

Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Ч. III. Служба морских гидрометеорологических прогнозов. - Л.: Гидрометеиздат, 1982. - 143 с.

Пурина И.Э., Жабина И.И., Недачина А.Ю., Штырева Н.В. Развитие информационных технологий в локальной сети CRAY // Тр. Гидрометеорологического научно-исследовательского центра РФ. - 2000. - Вып. 334. - С. 134-147.

Ovsienko, S., Zatsepa, S. and Ivchenko, A., (1999). Study and modelling of behaviour and spreading of oil in cold water and in ice conditions Proc. 15th Conf. on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Vol. 2, pp. 480-487. Espoo, Finland.

Zatsepa S., Ivchenko A., Ovsienko S. A local operative model for oil drift and dispersion // Proc. Combatting marine oil spills in ice and cold conditions, Helsinki, Finland, 1—3 December. — 1992. — P. 189—192.