

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В работе предложен новый прогностический метод, позволяющий осуществлять прогноз распространения нефтяных загрязнений на водной поверхности. Достоинством метода является относительно небольшое число входных данных, главными из которых являются региональные гидрометеофакторы.

Ключевые слова: математическая модель, информационно-технологический метод прогнозирования, алгоритм реализации.

Введение. Предупреждение экологических чрезвычайных ситуаций и катастроф - одна из актуальнейших проблем, которая стоит перед учеными и инженерами, администрацией районов и городов, а также региональных подразделений МЧС. Экологические чрезвычайные ситуации на море, как правило, сопровождаются загрязнением водной среды нефтепродуктами [1]. В этом случае задачи прогноза развития чрезвычайной ситуации сводятся к прогнозированию распространения нефтяного загрязнения [2], его трансформации и поражения береговой черты.

В настоящее время существует достаточно большое количество математических моделей, описывающих перемещение антропогенных примесей в водной среде [3,4]. Каждая из них специфична, потому что учитывает строго определенные региональные особенности, имеет различное число входных параметров и, как следствие, обладает различными степенями сложности прогноза.

Постановка цели и задачи научного исследования. Целью данной работы является формирование нового информационно-технологического метода прогнозирования распространения нефтяных загрязнений на водной поверхности. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научные задачи. Во-первых, проанализировать структуры и особенности прогностических методов. Во-вторых, рассмотреть управляющий алгоритм, реализующий его.

Структура и особенности прогностических методов. В общем случае прогностический метод включает в свою структуру три основные части. Первая – это характеристика физического процесса или природного явления, его качественные показатели и закономерности. Например, в жаркую погоду испарение воды происходит быстрее, чем в холодную, или чем больше сила ветра, тем выше высота волн и т.д. Имея качественное описание природного явления, приступают к разработке второй части метода – математической модели и специализированного математического аппарата. Эта часть представляет собой совокупность одной или нескольких аналитических зависимостей, которые в математических символах описывают исследуемое физическое явление или какую-то его часть. Третья часть – это алгоритмизация математической модели, т.е. разработка последовательности действий, приводящих к получению конечного результата.

Новый информационно-технологический метод прогнозирования распространения нефтяного загрязнения основан на следующих фундаментальных свойствах. Нефтепродукты – это жидкости, плотность которых меньше плотности морской воды, поэтому при попадании в нее они находятся на поверхности. Под действием силы атмосферного давления и силы плавучести нефтепродукт растекается, при этом увеличивается площадь пятна и уменьшается толщина пленки. Препятствуют растеканию силы сцепления и вязкости, свойства которых зависят от температуры нефтепродукта. Кроме этого, под действием силы ветра и волнения скорость растекания уменьшается, а силы поверхностного течения и ветрового дрейфа переносят нефтяное пятно по акватории из одного района в другой.

С учетом всех выше перечисленных факторов разработана математическая модель распространения нефтяного загрязнения на водной поверхности в виде:

$$\begin{cases} S = \frac{A \cdot V}{v \cdot K_A R_B} [1 - \exp(B \cdot T_n \cdot t)] \\ S = f \left[\left(M_{(M)} \times \vec{V}_t \times \vec{\omega} \right), t \right] \end{cases}, \quad (1)$$

где S – площадь нефтяного загрязнения;

A и B – согласующие коэффициенты;

V и v – объем и вязкость нефтепродукта;

T_n – температура пленки;

$M_{(M)}$ – множество реперных точек;

\vec{V} и $\vec{\omega}$ – векторы течения и дрейфа;

t – время.

В случае конечного числа реперных точек: O – центральная, H – начальная, K – конечная, P – правая и L – левая, соответственно, координаты каждой точки будут определяться как $O_{\varphi, \lambda}(t)$, $K_{\varphi, \lambda}(t)$, где φ – географическая широта, λ – долгота.

Безусловным преимуществом этой математической модели является относительно небольшое количество входных данных, по сравнению с другими моделями.

Управляющий алгоритм, реализующий прогностический метод. Разработанный на основе математической модели (1) алгоритм представлен на рис. 1. В его структурную схему входят: блок начальных данных, в который вводится район, в соответствии с одним из портов Черного моря (Севастополь – бухты и внешний рейд Севастополя, Балаклава – бухта и внешний рейд и т. д.).

С вводом района загружается одна из соответствующих баз данных, где приводится электронная карта, соответствующая этому району схема постоянных поверхностных течений, которая имеет корректуры для соответствующего климатического сезона и уточняется введением даты рассматриваемого экологического (антропогенного) события. Второй вид начальных данных – это гидрометеорологическая обстановка на время происходящих событий, которая определяется значениями направления и силы ветра в момент экологического загрязнения, ожидаемой его продолжительностью и экстремальными значениями параметров ветра в определенные промежутки времени. Здесь им задается временной интервал Δt_i , в соответствии с которым и происходит синхронизация всех остальных расчетов. Временные интервалы, как правило, могут быть 15 минут (0,25 часа), 20 минут (0,33 часа), 30 минут (0,5 часа), 45 минут (0,75 часа), 60 минут (1 час). По ним производится интерполяция соответствующих данных, а именно: силы и направления приводного ветра. В этот блок также вводится вид, определяемый значением кинетической вязкости разливаемого нефтепродукта, и его объем.

Особый вид данных – координаты эпицентра разлива, который может указываться введением численных координат, так и электронной подсветкой места происшествя на электронной карте.

В блоке расчёта векторов дрейфа они определяются в зависимости от минимальной и максимальной силы ветра, его генерального и крайних правого и левого отклонений. Сформированная матрица данных векторов дрейфа поступает в блок определения векторов течений по карте постоянных течений в зависимости от текущих координат реперных точек. В следующем блоке – расчет матрицы перемещений для реперных точек и построение новых реперных точек – происходит расчёт сложения двух векторов дрейфа и течения для каждой реперной точки. Здесь происходит также построение новых реперных точек, если эта стратегия была принята для решения поставленной задачи.

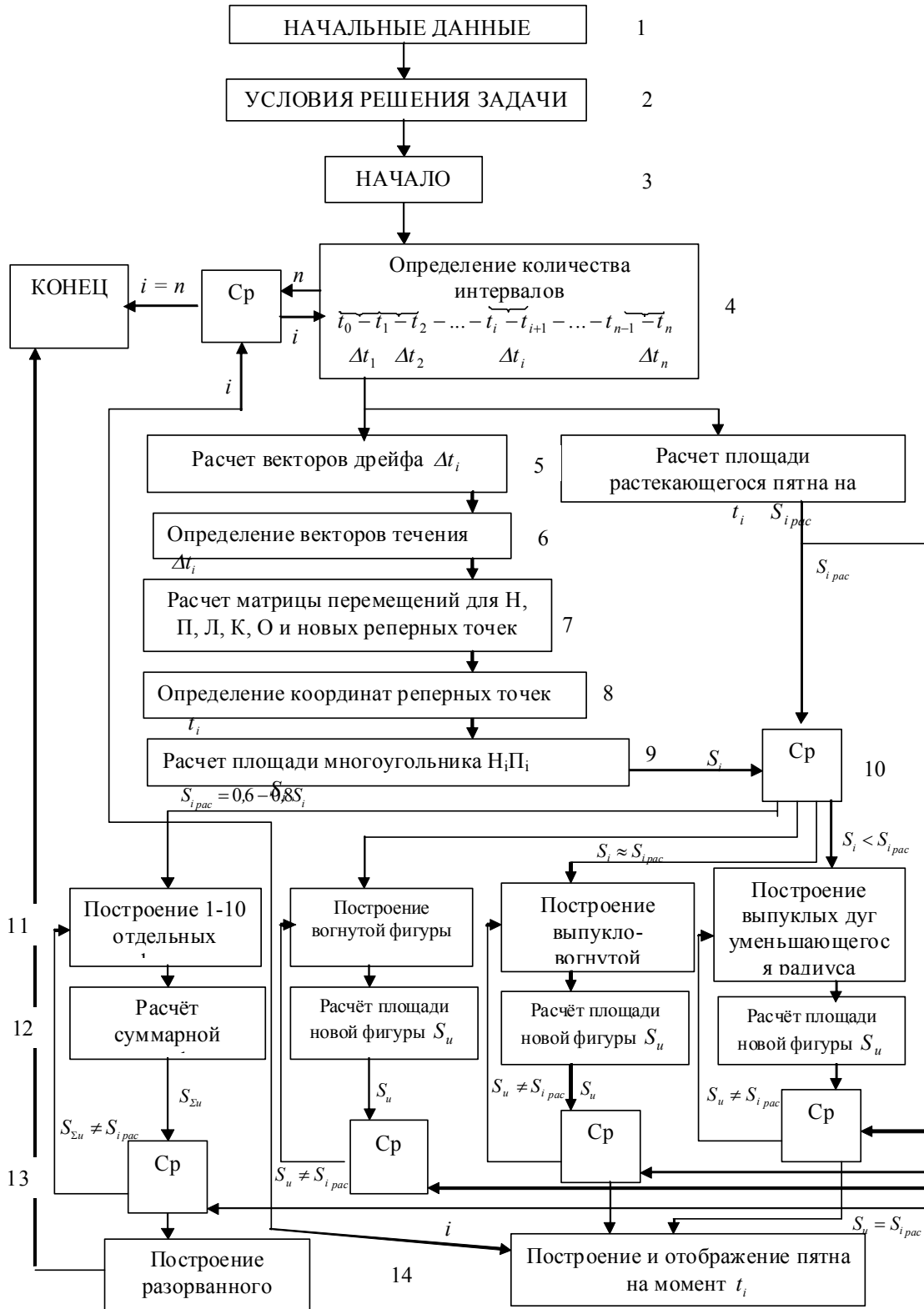


Рис. 1. Структурная схема алгоритма управления экологической безопасностью.

На восьмом уровне по данным матрицы перемещений для реперных точек производится определение их географических координат в фиксированный момент времени t_i . После этого на девятом уровне происходит расчёт площади четырёхугольника, если число точек

постоянно, и многоугольника, если число точек увеличивается. Расчётная площадь многоугольника S_i поступает на следующий, десятый, уровень, где сравнивается с расчётной площадью растекающегося пятна в момент времени t_i , то есть $S_{i\text{pac}}$. При сравнении возможны четыре варианта. Рассмотрим каждый в отдельности.

Первый вариант, когда площадь многоугольника меньше расчётной площади растекающегося пятна ($S_i < S_{i\text{pac}}$). В этом случае на одиннадцатом уровне работает блок построения выпуклых дуг уменьшающихся радиусов. На двенадцатом уровне в блоке расчёта площади новой фигуры производится расчёт её площади S_u , которая затем на тринадцатом уровне сравнивается с площадью растекающегося пятна в момент времени t_i . Если равенство площадей отсутствует, то обратная связь приводит опять в блок построения выпуклых дуг, радиус их уменьшается, вследствие чего фигура становится более выпуклой, и площадь S_u увеличивается. В случае, если наступает равенство площадей, осуществляется переход к четырнадцатому уровню – построение и отображение пятна в момент времени t_i . Выполненное i -тое построение отмечается посредством обратной связи в блок сравнения, а затем в блок определения количества интервалов. После этого выполняется $i+1$ процедура, которая завершается $i+1$ построением и отображением перемещающегося антропогенного пятна. Наконец, выполняется $n-1$, а затем и n -я процедура, после которой с блока сравнения третьего уровня (условие $i = n$) завершается работа.

Второй вариант может наступать, а может и не наступать, все зависит от конкретных условий, задаваемых на этапе определения начальных данных и условий решения задачи. Тем не менее, второй вариант наступает, если площадь многоугольника S_i и расчётная площадь растекающегося пятна $S_{i\text{pac}}$ сравнимы, незначительно (в пределах 2-5%) отличаются друг от друга. Происходит построение выпукло-вогнутой фигуры, то есть начальные (передовые) дуги строящейся фигуры будут выпуклыми, а концевые – вогнутыми. Далее производится расчёт площади новой фигуры S_u и её сравнение с расчётной площадью растекающегося пятна. В случае их равенства происходит построение и отображение пятна в момент времени t_i , а в случае отсутствия равенства – возвращение на одиннадцатый уровень и построение новой выпукло-вогнутой фигуры с последующим расчётом её площади и сравнением.

Третий вариант наступает, когда площадь многоугольника больше (более, чем на 5%) площади растекающегося пятна на момент времени t_i , то есть $S_i > S_{i\text{pac}}$. В этом случае на одиннадцатом уровне происходит построение вогнутой фигуры, в которой передняя граница остается практически неизменной (за счёт большого радиуса передовых дуг), а концевые, вогнутые дуги имеют относительно малый радиус, за счёт чего площадь получаемой фигуры S_u будет значительно меньше площади многоугольника S_i . Рассчитанная площадь вогнутой фигуры также сравнивается с площадью растекающегося пятна $S_{i\text{pac}}$, корректируется до получения равенства, после чего на четырнадцатом уровне происходит построение и отображение пятна в момент времени t_i , и так далее.

Особенность четвертого случая состоит в том, что он является пороговым. Когда на десятом уровне при сравнении площадей площадь растекающегося пятна составит 60–80% от площади многоугольника, то есть $S_{i\text{pac}} = 0,6 - 0,8S_i$, то наступает четвертый вариант. Порог срабатывания 60–80% устанавливает оператор. Он же определяет целостность пятна. При его превышении пятно должно разделиться на част: от двух до десяти, которые также определяет оператор. После этого в блоке построения отдельных фигур происходит их изображение, а затем расчёт суммарной площади полученных пятен. Корректурa через обратную связь, соединяющую тринадцатый и одиннадцатый уровни, происходит до тех пор,

пока не будет достигнуто условие равенства площадей, после чего осуществляется построение разорванного пятна, и работа завершается независимо от соотношения i и n .

Вывод. Информационно-технологический метод прогнозирования нефтяных загрязнений при резком изменении гидрометеорологических условий состоит в выборе рабочей гипотезы растекания пятна, расчете его площади в дискретные промежутки времени, систематизации гидрологических и гидрометеорологических факторов, определяющих векторы перемещения реперных точек в течении этих дискретных промежутков времени, оконтуривания антропогенного пятна по реперным точкам на моменты, соответствующие окончаниям дискретных интервалов. Алгоритм, реализующий этот метод, разработок на базе математической модели, описывающей распространение антропогенного пятна на водной поверхности, структура которого состоит из взаимосвязанных двадцати семи блоков, расположенных на четырнадцати уровнях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азаренко Е.В. Особенности моделирования чрезвычайных ситуаций, вызванных распространением антропогенных загрязнений. / Е.В. Азаренко, М.М. Дивизинюк, А.Н. Фурсенко // Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2012. – Вип. 1(41). – С. 201 – 207.
2. Азаренко Е.В. Проблема управления экологической безопасностью прибрежных вод и пути ее решения / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк // Зб. наук. пр. «Системи оброблення інформації». – Харків:ХУПС, 2012. – Вип. 2(100). – С. 271 – 275.
3. Азаренко Е.В. Модели переноса антропогенной примеси вихревым потоком. /Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк // Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2012. – Вип. 2(42). – С. 217 – 270.
4. Гончаренко Ю.Ю. Модели распространения нефтяных загрязнений на водной поверхности. – Севастополь: Гос. океанариум, 2011. – 104 с.

Надійшла: 24.03.2013 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Козловський В.В.