

недель экспозиции. Таким образом, наиболее информативной и качественной оценкой восстановления нефтезагрязнённых почв ЭМ-препаратом является сочетание физико-химических и биологических методов.

*В.С. Наумов, А.Е. Пластинин, А.Н. Бородин*  
 ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## МЕТОДИКА ВЫБОРКИ СЦЕНАРИЕВ РАЗЛИВА НЕФТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ

Рассматриваются вопросы прогнозирования разливов нефти на акваториях с объектов транспортного комплекса с применением современных информационных технологий. Предложена оригинальная методика формирования выборочной совокупности сценариев разлива нефти.

В настоящее время наблюдается повышение частоты появления чрезвычайных ситуаций, связанных с разливами нефти при эксплуатации судов (ЧС(Н)), которые сопряжены с гибелью людей и значительным вредом окружающей среде (ОС).

ЧС(Н) сопровождаются интенсивным загрязнением важнейших компонентов природной среды (водных объектов, береговой черты, атмосферного воздуха, биоресурсов), вызывают их последующую деградацию и/или гибель на достаточно больших территориях вокруг источника загрязнения, что обуславливается физико-химическими свойствами нефти и параметрами ОС [1] (рис. 1).

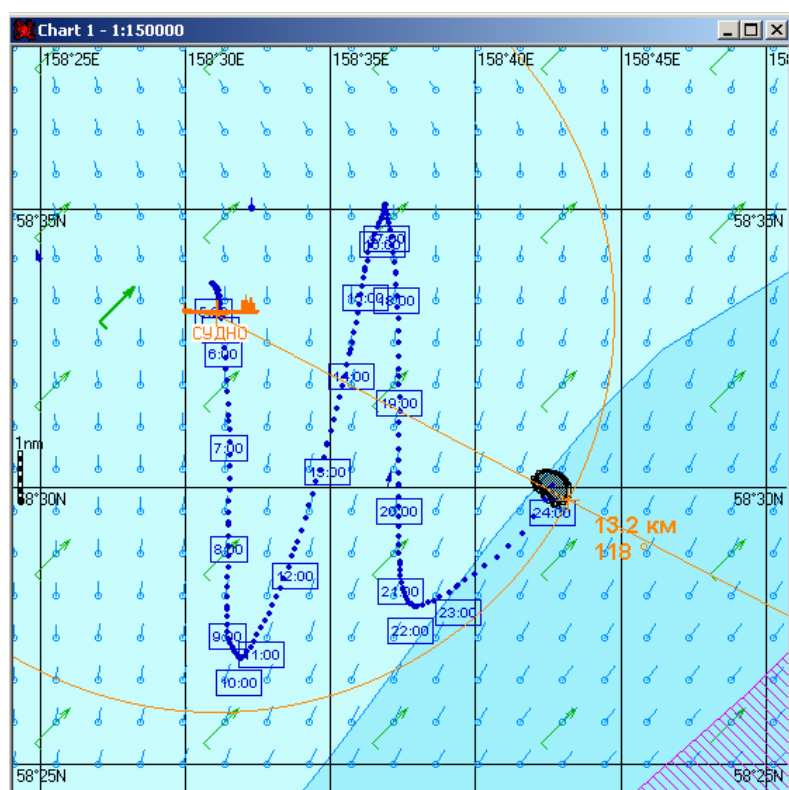


Рис. 1. Карта ЧС(Н) для источника разлива в Охотском море

Прогнозирование разливов нефти (ПРН) на акваториях связано со значительными, в том числе объективными, трудностями методического характера: большое разнообразие ситуаций, при которых возникает разлив нефти; обширная география местоположения возможных источников ЧС(Н); разнообразие типов водных объектов и гидрометеорологических условий; значительное количество сценариев ЧС(Н).

Поэтому для ПРН целесообразно использовать имитационное моделирование, которое воспроизводит процессы, происходящие в нефтяном пятне на поверхности моря: растекание, испарение, диспергирование, эмульсификация, изменение вязкости, взаимодействие нефти с берегом и средствами борьбы. В Волжской государственной академии водного транспорта для этих целей используется программно-аппаратный комплекс (ПАК) «PISCES II» производства компании ТРАНЗАС.

На параметры нефтяного загрязнения влияют множество факторов, которые можно разделить на три группы: 1) географические объекты (расстояние до берега, извилистость береговой черты, тип грунта берега, наличие природоохранных зон и т.п.) 2) факторы источника разлива (объем разлива, тип нефтепродукта, тип источника) 3) гидрометеорологические факторы (характеристики поля течений (скорость, направление, тип), сила и направление ветра, температура воды и воздуха, высота волны, плотность воды и пр.).

Различные комбинации значений этих факторов приводят к большому количеству сценариев (min 29,86 млн).

При осуществлении ПРН факторы, относящиеся к первой группе, не поддаются статистическому учету и зависят только от зоны ЧС. Поэтому имитационное моделирование необходимо производить непосредственно для каждого потенциального источника разлива в объеме не менее 62,2 тыс. сценариев.

Так как моделирование такого количества сценариев невозможно практически, то встает задача выделения значимых факторов, влияющих на параметры области возможного загрязнения (ОВЗ), для решения которой наиболее целесообразно использовать метод планирования эксперимента, а для обработки результатов компьютерную программу STATISTICA 8.0.

Для исследования использовался дробный двухуровневый факторный план Бокса и Хантера, который позволяет осуществить тестирование значимости исследуемых факторов на параметры ОВЗ.

Анализ многофакторного эксперимента показал (рис. 2), что на параметры ОВЗ (зависимую переменную) значимо влияют только 5 главных факторов: тип нефтепродукта, объем разлива нефтепродукта, течение, скорость ветра и высота волны, направление ветра.

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 21 августа 2000 г. № 613 «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» прогнозирование осуществляется относительно последствий максимально возможных разливов нефти и нефтепродуктов, поэтому для каждого потенциального источника разлива будет приниматься только один максимально возможный объем разлива с определенным типом нефтепродукта.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что для определения параметров ОВЗ необходимо проводить моделирование для каждого потенциального источника и учитывать действие 3-х факторов: течение, направление ветра и скорость ветра.

Тем не менее, различные комбинации значений этих факторов приводят к значительному количеству сценариев (min 864). Поэтому возникает задача снижения количества сценариев за счет осуществления выборки из генеральной совокупности.

При решении этой задачи возникает 2 главных вопроса: 1) Как осуществить выборку? 2) Какой необходим объем выборки из генеральной совокупности?

Для осуществления выборки необходимо использовать взвешенную случайную выборку, так как все элементы генеральной совокупности имеют различную вероят-

ность оказаться в выборке. При взвешенной выборке в качестве весовых коэффициентов используются вероятности течения, направления и скорости ветра.



Рис. 2. Карта Парето

Процедура выборки предполагает несколько этапов: 1) на первом этапе необходимо определить вероятность возникновения каждого сценария; 2) на втором этапе генеральная совокупность разбивается на интервалы со своими весовыми коэффициентами. Каждый интервал соответствует одному сценарию со своими значениями параметров течения, направления и скорости ветра. Все интервалы последовательно размещаются на числовую ось от 0 до 1.3) Третий этап выборки сценариев осуществляется с использованием генератора случайных чисел RND, который случайным образом выбирает необходимое количество чисел от 0 до 1. Каждое случайное число попадает в интервал определенного сценария на числовой оси. По номеру этого сценария определяются исходные данные для моделирования: течение, скорость и направление ветра.

Для решения следующего вопроса – определение необходимого объема выборки сценариев предварительно необходимо решить вопросы идентификации параметров ОВЗ и выбора метода их оценки.

Таковыми параметрами, определяющими выбор методов локализации и ликвидации, являются: дислокация, длина и ширина пятна, количество смеси на плаву, количество испарившейся нефти, толщина пленки и т.п.[1].

Для выбора метода их оценки необходимо проводить проверку гипотезы о нормальности распределения с помощью критерия Шапиро-Уилка с применением программы STATISTICA 8.0.

Для вариационных рядов, где гипотеза о нормальности распределения подтверждается, целесообразно использовать его характерное свойство, состоящее в том, что 95% всех наблюдений лежат в диапазоне  $\pm 2$  стандартное отклонение от среднего. Для прочих вариационных рядов вычисляется 95-я перцентиль – такое значение, ниже которого попадают 95% значений переменной.

При определении необходимого объема выборки из генеральной совокупности в качестве критерия целесообразно использовать величину максимального отклонения

(предельно допустимой ошибки) оценки параметра ОВЗ выборочной совокупности от значения, полученного при учете всей генеральной совокупности сценариев.

Для решения этого вопроса осуществляли моделирование из 10-ти случайных выборок по 10, 20, 30, 40 и 50 сценариев в каждой (табл. 1). После получения оценок параметров ОВЗ (среднее  $\pm$  2 стандартных отклонения или 95-я перцентиль), рассчитываемых для каждой выборки, определяли максимальное отклонение для каждой из 10-ти выборок от генеральной совокупности.

В качестве примера в этой работе приведены результаты статистического исследования количества смеси на плаву. Анализ полученных данных (см. табл. 1), показал, что, наименьшее максимальное отклонение имеет выборка из 50 сценариев. Дальнейшее увеличение количества сценариев нецелесообразно, так как не приводит к существенному снижению величины отклонения, и приводит к усложнению процедуры определения рассматриваемого параметра ОВЗ. Поэтому количество сценариев для моделирования необходимо выбирать исходя из допустимой точности определения параметров ОВЗ.

Таблица 1

**Зависимость отклонений определения количества смеси на плаву от количества сценариев в выборке**

№ выборки	Выборка по 10 сценариев	Выборка по 20 сценариев	Выборка по 30 сценариев	Выборка по 40 сценариев	Выборка по 50 сценариев
	Количество смеси на плаву, т	Количество смеси на плаву, т	Количество смеси на плаву, т	Количество смеси на плаву, т	Количество смеси на плаву, т
1	2882,2	2830,4	2915,4	2957,5	2917,1
2	2852,1	2966,4	3004,5	2942,1	2908,5
3	3140,0	3108,1	2991,5	2938,2	2970,1
4	3160,2	2903,4	2869,8	2933,4	2912,8
5	2334,7	2707,0	2869,2	2857,2	2826,7
6	2836,6	2969,9	2930,0	2877,3	2916,3
7	3167,2	3006,7	2910,1	2948,8	2923,3
8	2883,0	2791,0	2897,1	2878,7	2861,5
9	2759,5	2850,4	2854,7	2844,4	2888,3
10	2623,3	2829,1	2842,8	2899,8	2941,9
Генеральная совокупность	2914,5	2914,5	2914,5	2914,5	2914,5
Максимальное отклонение от генеральной совокупности	19,9%	7,1%	3,1%	2,4%	1,9%

Таким образом, выборка сценариев ЧС(Н) осуществляется в следующей последовательности 1) сбор статистических данных по факторам второй и третьей группы; 2) определение вероятности возникновения каждого сценария; 3) определение необходимого количества сценариев моделирования по заданной точности определения параметров ОВЗ; 4) осуществление случайной выборки сценариев из генеральной совокупности.

Результаты исследований могут быть полезны при создании информационного обеспечения Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) и документов, разрабатываемых в рамках этой системы

(планов локализации и ликвидации разливов нефти, деклараций промышленной безопасности и пр.), а также при проведении тренажерной подготовки персонала.

#### Список литературы:

[1] Наумов В.С. Оценка ущерба при разливах нефти на объектах транспортного комплекса / В.С. Наумов, А.Е. Пластинин // Журнал университета водных коммуникаций. – 2010. – №5(1). – С. 152–157.

[2] Методика расчета минимальной оснащенности аварийно-спасательных служб (формирований) предназначенных для локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации, на континентальном шельфе и в исключительной экономической зоне Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://mchs.gov.ru/upload/iblock/434/pril\\_001\\_070711.doc](http://mchs.gov.ru/upload/iblock/434/pril_001_070711.doc), свободный. – Загл. с экрана.

*Е.Ю. Чебан, Е.Н. Пузанова*  
*ФБОУ ВПО «ВГАВТ»*

## ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБТЕКАНИЯ БОНОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ

В настоящее время для исследования обтекания боновых ограждений и других средств ЛРН, используются как натурные испытания, проводимые в специализированных опытовых бассейнах (например, ОНМSETT), так и CFD-программы, в основе которых лежат численные методы решения дифференциальных уравнений Навье-Стокса [3, 4, 5].

Одной из проблем при численном моделировании гидродинамических явлений является соответствие его результатов данным, полученным в модельных или натуральных экспериментах, проведенных в аналогичных условиях.

Для боновых ограждений, параметром, который позволяет судить об адекватности численного моделирования может быть величина силы сопротивления или коэффициент сопротивления. Точность определения силы сопротивления важна еще и потому, что от ее величины зависит выбор способа закоривания, масса и тип якоря, а также общая прочность конструкции.

Большой объем экспериментальных данных по буксировочным испытаниям натуральных образцов боновых ограждений в опытовом бассейне накоплен ОНМSETT. Аналогичные исследования выполнялись и в ВГАВТе. Однако если сравнить обобщенные результаты моделирования, которые по различным данным составляют величины  $C_x=1,845$ ,  $C_x=1,51$ ,  $C_x=1,18$ . Разница в величинах коэффициентов может быть объяснена различной конструкцией испытываемых бонов. Поскольку конкретные особенности испытанных конструкций неизвестны, то оценивать точность численного моделирования по этим данным нельзя. Поэтому для сравнения необходимы специально выполненные буксировочные испытания, результаты которых подтверждаются расчетами по хорошо изученным теоретическим закономерностям. Для боновых ограждений такие расчеты невозможны, поэтому одним из вариантов решения этого вопроса может быть сравнение результатов численного моделирования с результатами буксировок простых тел. Для бонового ограждения такими телами могут быть цилиндр и пластина.

Подобный подход позволяет также подобрать такие параметры моделирования, которые позволят получить адекватные результаты и значительно снизить затраты времени на моделирование в дальнейшем.