



УДК 502.1/2:656

**Батанина Екатерина Александровна**, аспирант 3 года обучения кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

**Пластинин Андрей Евгеньевич**, д.т.н., доцент, профессор кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

**Каленков Александр Николаевич**, к.т.н., доцент кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

**Волкова Надежда Ивановна**, аспирант 4 года обучения кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»  
603951, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

### ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ОБЛАСТИ ВСПЛЫТИЯ НЕФТИ ИЗ ПОДВОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

*Ключевые слова:* нефть, область всплытия, подводный источник, экологическая безопасность, охрана окружающей среды, оценка вариации.

*Аннотация.* Представлены результаты оценки вариации параметров области всплытия нефти из подводных источников. Выявлено наличие сильной степени интенсивности вариации параметров области всплытия при изменении следующих факторов: плотность и объём нефтепродукта, скорость течения и глубина водоёма.

Выполненные ВГУВТ исследования [1-3] позволяют утверждать, что программный комплекс FlowVision может быть использован для моделирования процесса всплытия нефтяного загрязнения от подводных источников и обеспечивает необходимую точность при уменьшении расчетного времени.

Для проведения исследований движения нефтяного пятна в водной среде с помощью программного комплекса FlowVision разработана расчетная область. Под областью расчета понимается объем, в котором определены уравнения математической модели, и граница объема, на которой определены граничные условия [1].

Учитывая, что численные эксперименты требуют много машинного времени, даже на самых мощных компьютерах, в работе рассматривался прямолинейный участок водного объекта с ровным рельефом дна.

Это допущение физически соответствуют условиям рассматриваемой задачи и позволяют упростить её физико-математическую постановку.

Расчётная область, импортированная в среду FlowVision, представлена на рис. 1.

Поверхности расчетной области, импортированные во FlowVision, представляют собой совокупность плоских многоугольников – фасеток. Многоугольники объединены в замкнутые поверхности, которые вложены друг в друга и не пересекаются. Размеры расчетной области выбирались исходя из условия растекания нефти по поверхности воды. Размеры расчетной области были выбраны следующими:  $H=1-100$  м,  $L=100$  м,  $B=50$  м.

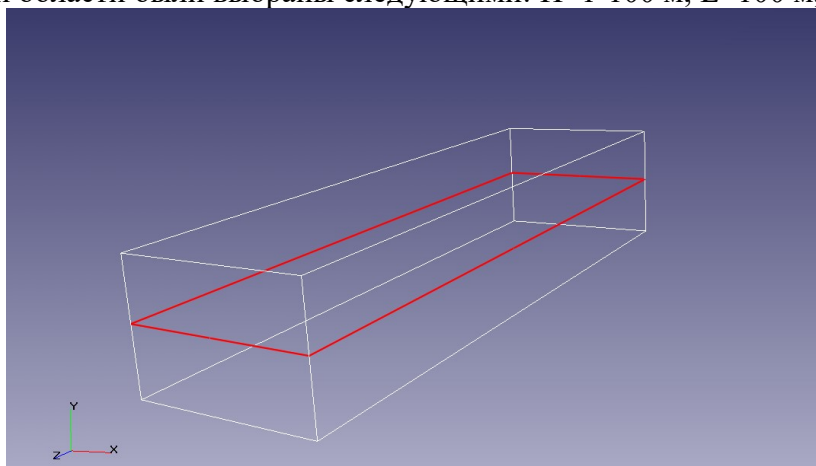


Рис. 1. Расчетная область для решения задачи движения жидкости импортированная в среду FlowVision

Точка выпуска нефти моделировалась с помощью фильтра, задающего начальное распределение модельных частиц внутри расчетной области в пределах некоторого трехмерного объекта. В качестве объекта был выбран параллелограмм с линейным размером 0,9 м, соответствующий максимальному диаметру скважины расположенный вблизи дна канала на расстоянии 30 м от входной границы (рис.2).

Геометрия импортируется в программу «FlowVision» в формате VRML, в виде твердого тела, заданного треугольниками – фасетками. Внутренняя твердая часть при этом вычитается таким образом, что остаются лишь бесконечно тонкие стенки – грани, на которых задаются граничные условия [4-6].

Следующий шаг создания расчетного варианта – это задание граничных условий (ГУ) на границах расчетной области. Граничные условия задаются для каждой из расчетных переменных. Чтобы облегчить выбор и исключить постановку несовместимых граничных условий, они объединены в Тип границы – ТГ. Каждый ТГ соответствует некоторому физическому процессу, происходящему на границе [7-9].

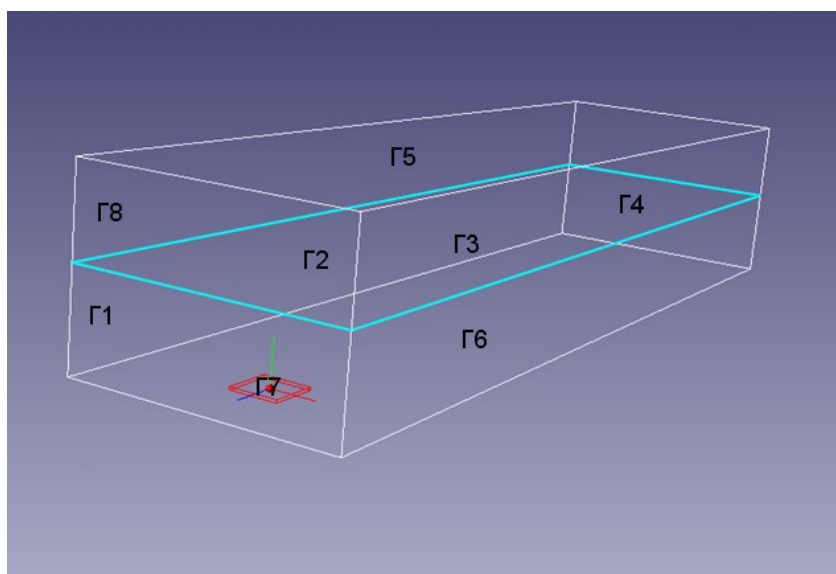


Рис.2. Общий вид расчетной области с граничными условиями

На границах были установлены следующие типы границ и граничные условия:

На грани Г1, Г8 задан тип границы «вход/выход». При этом задаются следующие граничные условия:

- «Концентрация» - значение на стенке,  $f=f_w=0$ , что соответствует входу в расчетную область вещества с индексом «0». В данной задаче индекс «0» присваивается чистой воде, как несущей фазе, а индекс «1» присваивается веществу с характеристиками нефтепродукта.

- «Скорость» - вход с нормальной составляющей. При этом, если  $V_w > 0$ , то жидкость втекает в расчетную область, если  $V_w < 0$ , то вытекает.

На границах Г2, Г3, Г5, установлен тип границы «симметрия». На грани Г4 устанавливается тип границы «свободный выход». На грани Г6 устанавливается тип границы «стенка».

В программе, при постановке граничных условий для скорости жидкости принято, что нормаль направлена внутрь расчетной области и скорость раскладывается на нормальную  $V_n$  и тангенциальную  $V_t$  составляющие (рис.3).

Поскольку предметом исследований являются время всплытия и другие параметры области всплытия нефти (координата центра, длина, ширина, площадь), основной вопрос состоит в оценке факторов влияющих на эти величины.

1. Вид и объём нефтепродукта.

а). Вид нефтепродукта (характеризуется плотностью). Минимальная плотность принималась равной  $205 \text{ кг/м}^3$  – максимальная  $860 \text{ кг/м}^3$ . Параметры области всплытия нефти (ОВН) при разливе нефтепродукта (РН) с различными плотностями представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Влияние факторов на параметры области всплытия нефти при РН из подводного источника**

Значения факторов	Время всплытия, с	Координат а центра ОВН, м	Длина ОВН, м	Ширина ОВН, м	Площадь ОВН, м <sup>2</sup>
Плотность нефтепродукта, кг/м <sup>3</sup> , 205/860	20,2/31,23	2,0/7,0	15,54/12,48	9,22/13,28	105,74/86,09
Объём разлива, т, 1/10	39,48/36,73	3,0/9,0	17,12/9,04	10,25/7,36	105,85/61,39
Скорость течения, м/с, 0,05/0,3	26,93/30,68	1,0/6,0	11,18/14,16	12,76/9,12	107,22/78,43
Глубина водоёма, м, 1/10	13,45/52,20	4,0/12,0	14,28/10,86	9,59/7,13	104,61/65,61
Температура воды, °С, 5/25	43,16/43,50	7,0/7,2	15,54/15,43	15,11/14,95	110,52/110,26
Атмосферное давление, 684/806мм рт.ст.	39,50/39,81	3,1/3,0	12,45/12,58	7,5/7,45	110,52/110,61

б). Объём нефтепродукта. Минимальный объём разлившейся нефти был принят равным 1т – максимальный 10т.

Параметры ОВН при разливе нефтепродукта разного объёма представлены в таблице 2.

2. Факторы среды:

а) Скорость течения. Значения скоростей течения в районах источников разлива определяются по навигационно-гидрографическим очеркам. В настоящей работе минимальная скорость течения принималась равной  $0,05 \text{ м/с}$  – максимальная  $0,3 \text{ м/с}$ .

Параметры ОВН при различных скоростях течения представлены в таблице 1.

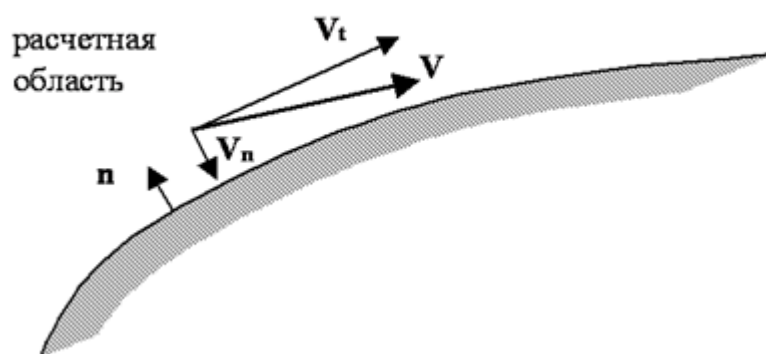


Рис. 3. Разложение вектора скорости на составляющие

Таблица 2

**Относительный размах вариации параметров ОВН при РН из подводного источника**

Значения факторов	Относительный размах вариации параметров, %				
	время всплытия	координата центра ОВН	длина ОВН	ширина ОВН	Площадь ОВН
Плотность нефтепродукта, кг/м <sup>3</sup> 205/860	35,32	71,43	19,69	30,57	18,58
Объем разлива, т 1/10	6,97	66,67	47,20	28,20	42,00
Скорость течения, м/с 0,05/0,3	12,22	83,33	21,05	28,53	26,85
Глубина водоёма, м 1/10	74,23	66,67	23,95	25,65	37,28
Температура воды, °С 5/25	0,78	2,78	0,71	1,06	0,24
Атмосферное давление, мм рт.ст. 684/806	0,78	3,23	1,03	0,67	0,08

б) Глубина водоёма. Значения глубин в районах источников разлива определяются по навигационно-гидрографическим очеркам.

В настоящей работе минимальная глубина принималась равной 1 м – максимальная 100 м.

Параметры ОВН при различных глубинах водоёма представлены в таблице 1.

в) Температура воды. Температура воды изменяется от 5 до 25<sup>0</sup>С.

г) Температура воздуха изменяется от -15 до +30<sup>0</sup>С.

д) Атмосферное давление.

е) Плотность воды. Исследования показали, что плотность воды незначительно влияет на параметры ОВН.

Количественные результаты по исследованию влияния различных факторов на параметры ОВН при РН из подводного источника представлены в таблице 1.

Относительный размах вариации исследуемых параметров ОВН определялся по формуле:

$$R = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{X_{\max}} \times 100\%, \quad (1)$$

где X наблюдаемое значение параметра ОВН.

Анализ относительных размахов вариации параметров ОВН (см. таблицу 2) позволил сделать вывод о сильной степени интенсивности вариации при изменении всех исследуемых факторов, за исключением температуры воды и атмосферного давления, поэтому эти факторы значимо не влияют на параметры ОВН и могут не учитываться в дальнейших исследованиях [5].

#### Список литературы:

- [1] Наумов В.С., Пластинин А. Е., Каленков А.Н. Оценка нефтяного загрязнения от подводных источников // Журнал университета водных коммуникаций. 2013. №1. С.90-94.
- [2] Наумов В.С., Пластинин А.Е., Каленков В.С., Отделкин Н.С. Моделирование всплытия нефти от подводных источников в ледовых условиях. Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 4(42). Т.2. С. 87-91.
- [3] Ничипорук А.О., Гончарова Н.В. Анализ требований, предъявляемых к качеству перевозок участниками транспортного процесса. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2012. № 33. С. 154-162.
- [4] Туркин А.В., Береза И.Г., Туркин В.А. Использование метода имитационного моделирования при анализе аварийной ситуации "перелив танкера" // Эксплуатация морского транспорта. 2011. № 4. С. 67-70.
- [5] Решняк В.И., Батяев А.В., Решняк К.В. Разработка системы управления экологической безопасностью судоходства // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2016. № 2 (36). С. 34-41.
- [6] Решняк В.И., Решняк К.В. Управление экологической безопасностью при эксплуатации судов на внутренних водных путях // Эксплуатация морского транспорта. 2017. № 1 (82). С. 106-109.
- [7] Корнев А.Б., Домнина О.Л., Пластинин А.Е. Пути развития экологической безопасности региона // В сборнике: Великие реки'2016 Труды научного конгресса 18-го Международного научно-промышленного форума: в 3-х томах. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет; ответственный редактор А. А. Лапшин. 2016. С. 90-92.
- [8] Mizgiryov D., Kurnikov A., Katraeva I., Moralova E., Mikheeva E. Using hydrodynamic cavitators for wastewater post-treatment and disinfection // В сборнике: International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Ecology, Economics, Education and Legislation. 2017. С. 1071-1076..
- [9] Костров В.Н., Ничипорук А.О. Современные проблемы и направления государственного регулирования на внутреннем водном транспорте// Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2012. № 33. С. 123-127.

#### ESTIMATION OF PARAMETERS OF THE AREA OF OIL ASCENT FROM UNDERWATER SOURCES

Ekaterina A. Batanina, Andrej E. Plastinin, Aleksandr N. Kalenkov, Nadezhda I. Volkova

*Keywords: oil, ascent area, underwater source, environmental safety, environmental protection, variation assessment.*

*The results of evaluating the variation in the parameters of the area of oil floating from underwater sources are presented. The presence of a strong degree of intensity variation in the parameters of the ascent region with a change in the following factors: the density and volume of the oil product, the flow velocity and the depth of the reservoir was revealed.*