

# ПРОБЛЕМЫ НЕФТЕДОБЫЧИ, НЕФТЕХИМИИ, НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

УДК 004.021

Д. Ю. Вицин, В. А. Алексеев

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНОГО ИСТЕЧЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

*Ключевые слова: аварийный разлив нефтепродуктов, объемы утечек, площадь разлива, методика моделирования, пространственная модель, карта разлива.*

*Рассмотрены принципы построения пространственной модели для проектирования объемов аварийного разлива. Приведены ключевые параметры, влияющие на моделирование. Проблема оценки истечения нефтепродуктов через отверстия небольшого диаметра представляет собой актуальную задачу. Были проведены эксперименты с различным диаметром отверстия, углами наклона подстилающей поверхности. С помощью программного пакета "Fluent" получены карты разливов и проведена их оценка.*

*Keywords: emergency oil spill, leak rate, area of the spill, simulation method, three-dimensional model, map of the spill.*

*The principles of the construction of a spatial model for the design of the volume of emergency Strait. Are the key parameters affecting the simulation. The problem of evaluating the expiration of petroleum products through a small diameter hole is an actual problem. Experiments were performed with different diameter holes, tilt the underlying surface. With the help of software package "Fluent" received cards spills and conducted their evaluation.*

Трубопроводные конструкции и системы находят широкое применение практически во всех отраслях промышленности. Трубопроводы относятся к категории энергонапряженных объектов, отказ которых сопряжены со значительным материальным и экологическим ущербом. Многочисленные отказы на технологических трубопроводах, транспортирующих пожаровзрывоопасные продукты, ядовитые компоненты и токсичные среды, приводит к локальным и общим загрязнениям окружающей среды, создают повышенный риск возникновения опасности для персонала и населения. Таким образом, обеспечение безопасности эксплуатации трубопроводов является важной задачей.

Наибольшую опасность для окружающей среды представляют магистральные нефтепроводы [1]. Как правило, причины потерь перекачиваемых нефти и нефтепродуктов связаны с возникновением и развитием дефектов, обусловленных множеством причин конструктивного, технологического и эксплуатационного характера, а также несанкционированными врезками в трубопроводах [2].

Повреждения магистральных нефтепроводов вызываются действием трех групп факторов. Первая группа связана со снижением несущей способности нефтепровода, вторая - с увеличением нагрузок и воздействий, третья - со случайными механическими воздействиями или несанкционированными врезками в трубопровод [3].

Объем утечек нефти при авариях на нефтепроводах зависит от места и размеров повреждения, а также от времени его обнаружения и устранения. Объем вытекшей нефти может оказаться значительным даже при относительно небольших повреждениях, если они остаются незамеченными в течение длительного времени [4]. В настоящее время отсутствует доступная инженерная методика моделиро-

вания разлива жидких углеводородов, учитывающая рельеф местности, свойства грунтов и поверхностного слоя в районе аварии и т.д. Также существует проблема оценки объема загрязненного грунта при аварийном истечении нефтепродуктов через отверстия небольшого диаметра (до одного дюйма). Вследствие этих причин прогнозирование последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов является актуальной задачей [5].

В представленной работе приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных на установки по исследованию разливов нефти, нефтепродуктов и других опасных жидкостей на грунте или непроницаемой поверхности, смоделированной в пакете прикладных программ «FLUENT».

Рассмотрим растекание жидкости по неровной поверхности при разгерметизации подземного трубопровода. При рассмотрении процесса разлива были приняты некоторые допущения:

- Рассматривается растекание ньютоновских жидкостей по подстилающей поверхности;
- Используется двухфазная модель (жидкость, воздух);
- Отсутствует теплообмен между жидкостью и подстилающей поверхностью;
- Течение жидкости принято ламинарным;
- Растекание происходит по смачиваемой поверхности;
- Учитывается сила поверхностного натяжения;
- Испарение жидкости с поверхности разлива не учитывается;

Жидкости всегда подвержены действию некоторых сил. Эти силы являются в основном распределенными, то есть действующими во всех точках объема. По характеру действия распределенные

силы можно разделить на поверхностные и массовые (объемные). К числу первых относятся силы вязкости и давления, ко вторым относятся силы тяжести, инерции. Поверхностные силы являются результатом непосредственного воздействия на частицы жидкости соседних с ними частиц или других тел.

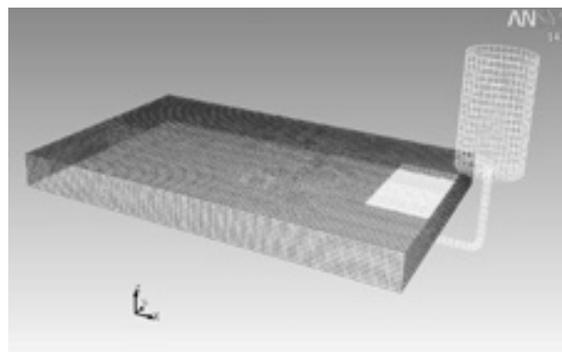
Создание геометрии расчетной области проводится в препроцессоре Gambit, а численное моделирование процесса течения жидкости при разгерметизации трубопроводов - в решателе программного комплекса по расчету задач гидрогазодинамики, подобного Fluent.

Численное моделирование процесса истечения жидкости при разгерметизации трубопроводов состоит из нескольких этапов:

1. Создание геометрии и расчетной сетки.
2. Импортирование сетки.
3. Проверка правильности сетки.
4. Выбор решателя.
5. Выбор определяющих уравнений, составляющих модель.
6. Задание физических свойств веществ.
7. Задание граничных условий.
8. Настройка параметров контроля решения.
9. Инициализация поля течения.
10. Расчет.
11. Анализ результатов.
12. Сохранение результатов.
13. В случае необходимости пересмотр физических и численных моделей [6].

Задача симметричная, поэтому строим только половину установки, другую половину отображаем симметрично. Для построения геометрии в группе кнопок «Geometry» выбираем группу «Volume» с операциями над объемами, задаем параллелепипед с ребрами, параллельными осям некоторой системы координат, затем эллиптический цилиндр, объединяем поверхности. Затем выбираем группу кнопок «Mesh» – «Volume». Создание трехмерной сетки в заданном объеме. Введем 0.5 в текстовое поле напротив Ratio, тем самым, задавая размер ячейки. Выбираем кнопку в группе «Zones», которая служат для задания типа граничных условий и типа подобластей внутри расчетной области соответственно.

Определим входные и выходные границы. Выберем «PRESSURE\_INLET» для верха бака и «PRESSURE\_OUTLET» для боковых и верхней стенки в списке «Type». Определим симметричную плоскость. Выберем «SYMMETRY» в списке «Type». Определим поверхность разлива «WALL». Для отверстия выбираем тип «INTERIOR». Всем нераспределенным областям автоматически присваивается тип «WALL». Сохраним построенную геометрию и сетку во внешний файл: «File» → «Export» → «Mesh». Можно задать различный угол наклона поверхности с помощью команды перемещения → копирование или перемещение со сменой их положения и (или) ориентации. Пространственная модель экспериментальной установки представлена на рис.1.



**Рис. 1 - Пространственная сеточная модель для моделирования разлива жидкостей**

Открываем сохраненную сетку во «Fluent». Проверяем сетку. Следует контролировать, что минимальный объем ячеек не отрицателен, так как в этом случае FLUENT не будет проводить расчёты. Задаем материал. Помним, что в задаче две среды. Определение свойств нового материала под названием «вода» (water). Заходим в «Models» → «Multiphase». Данная задача решается с помощью модели Volume of Fluid. Задаем число фаз 2. Таким образом, задачи становится двух фазной и сводится к определению содержания той или иной фазы в ячейке. Определяем, что «phase-1» - «air», а «phase-2» - «water». Заметим, что первая фаза является основной и будет находиться во всем объеме. Задание граничных условий для жидкости (fluid) в «Define» → «Boundary conditions...» Зададим граничные условия на входе и выходе, угол смачивания на поверхности разлива. Нужно иметь ввиду что жидкость не должна утекать за зону расчета, то есть за сетку. Инициализация поля скорости производится с использованием граничных условий на входной границе в качестве начального приближения: «Solve» → «Initialize» → «Initialize...». Далее необходимо скорректировать начальные данные, то есть задать начальное положение воды в баке «Solve» → «Initialize» → «Path...». после этих операций можно начинать расчет. Представим результаты - контур распределения фаз: «Display» → «Contours...» → «Phase...».

При моделировании процессов истечения жидких углеводородов полученные системы уравнений решаются методом конечных элементов, с разбиением расчетных областей на прямоугольные ячейки, в которых занесена информация о свойствах грунта. В результате моделирования аварии определяются площадь, геометрия разлития нефтепродуктов и объем загрязненного грунта.

На построенной сеточной модели был поставлен эксперимент, полностью соответствующий, ранее проведенному, реальному опыту на экспериментальной установке. Для эксперимента были установлены следующие начальные условия: Тип поверхности - бетон; продукт разлива – вода или дизельное топливо.

Результаты моделирования приведены на рис. 2, 3.

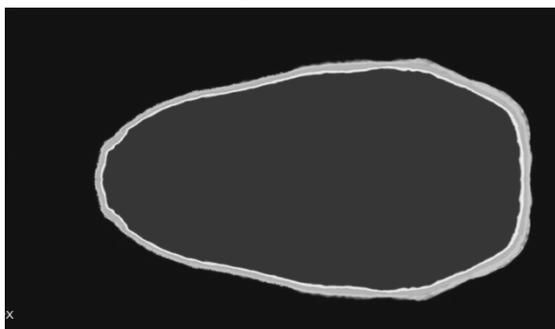


Рис. 2 - Карта разлива. Угол наклона 0,494, время разлива 24 сек., диаметр отверстия – 11мм, угол смачивания 70°. Площадь разлива 557143.75 мм<sup>2</sup>

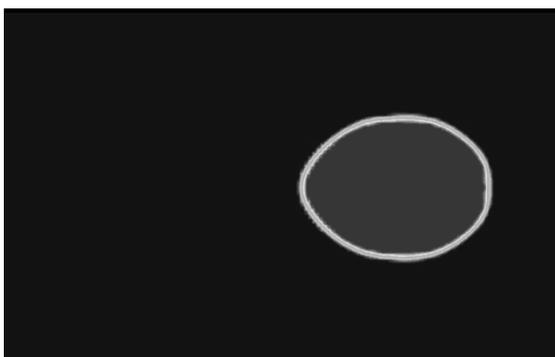


Рис. 3 - Карта разлива. Угол наклона 0,927, время разлива 8 сек. диаметр отверстия – 7мм., угол смачивания 110°. Площадь разлива 118658.27 мм<sup>2</sup>

Преимуществами прогнозирования площадей разлива на ЭВМ являются большая точность по сравнению с экспериментальной установкой и простота в обработке и представлении результатов вычислений. Исключается необходимость построения установки и проведения эксперимента.

Для обработки и представления результатов экспериментов был составлен график зависимости площадей полученных на экспериментальной установке и путем численного моделирования. График с результатами представлен на рис.4.

Исходя из этого, и полученного графика, можно сделать вывод, что модель описывает реальную установку с точностью ±4%. Основываясь на вышеизложенном, можно сделать вывод, что данная методика показала себя как адекватно описывающая все детали развития аварийной ситуации. Связанные с разгерметизацией трубопроводного оборудования.

Процент погрешности, возникающей при расчетах, довольно мал, что позволяет использовать данную методику для прогнозирования последствий чрезвычайных ситуаций.

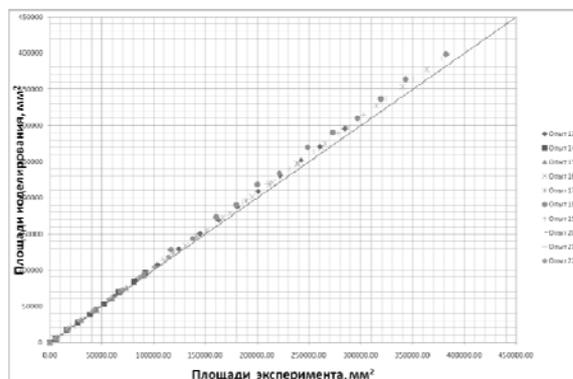


Рис. 4 - Сравнение площадей полученных экспериментом (ось x) и площадей, полученных моделированием (ось y)

### Литература

1. Бородавкин П. П. Подземные магистральные трубопроводы (проектирование и строительство). – М.: Недра, 1982. –С. 11-22.
2. Гольянов А.А. Анализ методов обнаружения утечек на трубопроводах. / Транспорт и хранение нефтепродуктов, 2002, №10, с.5-14.
3. Гумеров А.Г., Ахметов Х.А., Гумеров Р.С., Векштейн М.Г. Аварийно-восстановительный ремонт магистральных нефтепроводов. – М.: ООО "Недра - Бизнесцентр", 1998. – 290 с.
4. Алексеев В.А., Алексеев С.В., Миннегалеев А.Н., Ахметов Р.Р. Моделирование процесса разлива нефти и нефтепродуктов при разгерметизации на подводных переходах магистральных нефтепродуктопроводов // Вестник Казанского технологического университета, 2011, №8, с. 172-177.
5. Шарипов М.Э., Алексеев В.А. Численное моделирование разлива при разгерметизации трубопровода // Вестник Казанского технологического университета, 2012, №16, с. 221-223.
6. Алексеев С.В., Алексеев В.А., Поникаров С.И. Обустройство резервуарных парков: монография./ М-во образ. и науки РФ, Казан. гос. технол. ун-т.-Казань: КГТУ, 2010.-96с.