УДК 614.84

Д. Ю. Вицин, В. А. Алексеев

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНОГО ИСТЕЧЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ПРОНИЦАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

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

Рассмотрены принципы построения пространственной модели для проектирования объемов аварийного пролива. 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 на проницаемой 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 pervious surface. With the help of software package "Fluent" received cards spills and conducted their evaluation.

С развитием нефтяной промышленности, особую остроту приобретает проблема экологической безопасности при использовании магистрального трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. Отказ магистрального нефтепровода, проявляющийся в местной потере герметичности стенки трубы, трубных деталей или в общей потере прочности в результате разрушения, приводит, как правило, к значительному экологическому ущербу с возможными непоправимыми последствиями для окружающей природной среды.

Надёжность систем магистрального нефтепровода является важнейшим фактором стабильности и роста экономического потенциала России. Более 30% всех магистральных нефтепроводов России состоит из труб диаметра - 1020 и 1220 мм; на них приходится транспортировка свыше 70% нефти. Общая длина магистральных нефтепроводов в Российской Федерации превышает 50 тыс. км. При этом половина из них построена 30-35 лет назад при нормативном сроке эксплуатации этих систем 10-25 лет [1].

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.

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. Информация о поведении и характере пятна в том или ином случае позволяют максимально быстро ввести механизм борьбы с утечкой, тем самым, сокращая количество разлившегося нефтепродукта и уменьшить экологический ущерб [2].

Существующие в настоящее время методики оценки площадей разливов нефтепродуктов при аварийной разгерметизации объектов нефтедобычи и транспорта нефтепродуктов, обладают целым рядом ограничений. Основу многих методик составляют аналитические модели, не учитывающие реальную физику процессов. В связи с этим, с уверенностью можно сказать, что создание методики оценки последствий аварийного разлива нефтепродуктов и расчета средств и сил для локализации и ликвидации аварий является актуальной задачей [3].

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);
- Грунт задается пористой средой;
- Отсутствует теплообмен между жидкостью и грунтом;
- Течение жидкости принято ламинарным;
- Растекание происходит по смачиваемой поверхности;
- Учитывается сила поверхностного натяжения;
- Испарение жидкости с поверхности разлива не учитывается.

Математическая составляющая методики, представляла собой систему дифференциальных уравнений, описывающих трехмерное нестационарное движение жидкости. При этом учитывались такие свойства жидкости как вязкость и плотность.

Методика включает в себя уравнение неразрывности, уравнения движения жидкости [4].

Установка представляет собой емкость, которая может иметь различный угол наклона относительно горизонтали. Емкость сообщается с сосудом, объемом 1 литр, через трубку, один конец которой, что сообщается с емкостью, имеет различный диаметр (7, 9, 11 мм). Сам сосуд расположен относительно плоскости разлива на высоте (может быть различным). В качестве рабочей жидкости выступает либо вода, либо дизельное топливо. Разлив проводиться на поверхности с углом смачивания 110 или 70 градусов.

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.

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 [5]. Схема экспериментальной установки представлена на рис.1.

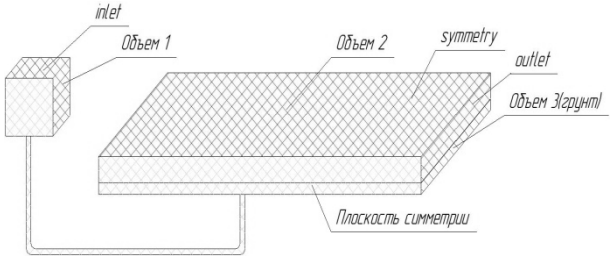

Рис. 1 – Схема экспериментальной установки

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

1. Импортирование сетки.
2. Проверка правильности сетки.
3. Выбор решателя.
4. Выбор определяющих уравнений, составляющих модель.
5. Задание физических свойств веществ.
6. Задание физических свойств области, отвечающей за грунт.
7. Задание граничных условий.
8. Настройка параметров контроля решения.
9. Инициализация поля течения.
10. Расчет.
11. Анализ результатов[6].

После открытия готовой сеточной модели во «Fluent» её необходимо проверить. Следует контролировать, что минимальный объём ячеек не отрицателен, так как в этом случае FLUENT не будет проводить расчёты. Затем задать материал. Необходимо помнить, что в задаче две среды. Определение свойств нового материала под названием «вода» (water) происходит в «Models» → «Multiphase». Данная задача решается с помощью модели Volume of Fluid. Заданое число фаз 2. Определяем, что «phase-1» - «air», а «phase-2» - «water». Задание граничных условий для жидкости (fluid) в «Define» → «Boundary conditions…» Зададим граничные условия на входе и выходе, угол смачивания на поверхности разлива. Расчет проводится в зоне расчета, то есть в пределах границ сеточной модели. Здесь же задается условия для грунта, для заранее размеченного объема включается опция «Porous zone».

Пористость грунта - это отношение объема пор в грунте ко всему объему грунта. Пористость равна 0,3725, данный коэффициент был определен экспериментально. В мерную колбу насыпался грунт с установки и высчитывался его объем – полный объем грунта, колба взвешивалась. Далее, в колбу наливалась вода до поверхности грунта. Принимается, что все поры заполнены жидкостью. Измеряется масса колбы с водой, высчитывается масса жидкости, затем её объем – объем пор. Далее высчитывается пористость. Эксперимент проводился несколько раз, за коэффициент взято среднее значение пористости.

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…».

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 - песок; продукт разлива – вода или дизельное топливо. Результаты моделирования приведены на рис. 2 и рис.3.

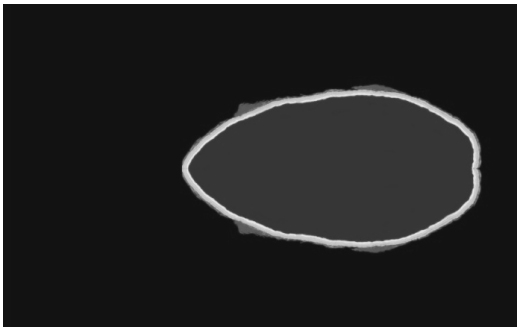

Рис. 2 - Карта разлива. Угол наклона 0.927, время разлива 8.41 сек., диаметр отверстия – 7 мм, угол смачивания 70˚. Площадь разлива 152338.31 мм^2

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.

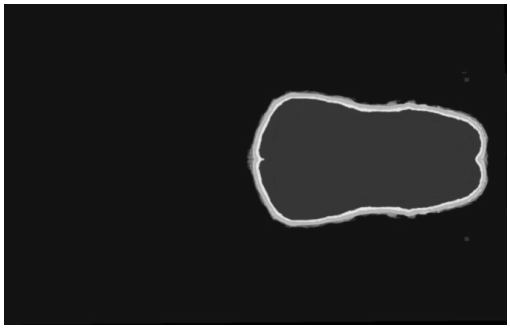

Рис. 3 - Карта разлива. Угол наклона 1.36, время разлива 5 сек., диаметр отверстия – 7 мм, угол смачивания 70˚. Площадь разлива 104160.3 мм^2

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:

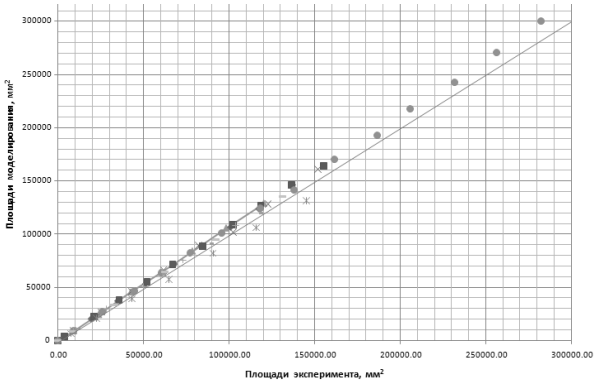

Рис. 4 - Сравнение площадей полученых экспериментом(ось x) и площадей, полученных моделированием(ось y)

Основываясь на результатах проведенных экспериментов, для проницаемой поверхности был подсчитан средний поправочный коэффициент, который равен 0.973 для данной сеточной модели.

Исходя из этого, и полученного графика, можно сделать вывод, что модель описывает реальную установку с точностью ±3%. Основываясь на вышеизложенном, можно сделать вывод, что данная методика показала себя как адекватно описывающая все детали развития аварийной ситуации.

Проведен ряд экспериментов, которые наглядно показывают, что характер растекания зависит не только от диаметра отверстия, но и от характера грунта, угла смачивания, высоты напора.

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

Полученные данные о площади и динамики разлива позволяют провести расчет требуемого количества сил и средств для ликвидации аварии. Помимо этого результаты расчета таких аварий позволяют заблаговременно подготовить необходимый запас сил и средств, а также принять более эффективные предупредительные меры.

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. Шарапов 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.

© Д. Ю. Вицин – магистрант каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ, slimshadydima@mail.ru; **В. А. Алексеев –** канд. техн. наук, доц. той же кафедры, alekseev_v_a@mail.ru.