

COĞRAFIYA**УДК 539.374****ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРОДУКТОМ
МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРОЛОЖЕННЫХ В
СРЕДЕ С ВЫСОКИМ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ РИСК-ФАКТОРОМ**

Д.П.НАМГАЛАДЗЕ, А.Ф.МАММАДОВ
Грузинский Технический Университет, г. Тбилиси
dimanamgaladze@yahoo.com anar@socar.ge

Для нефтепроводов, сооруженных из современных материалов и по оптимальной технологии, нельзя исключить случайные воздействующие явления. Особое внимание требуют участки магистральных нефтепроводов, которые проложены по местности с высоким риск-фактором, например в таких как курортные зоны, пересечения рек, близость к водным акваториям, среда, насыщенная минеральными водами и т.д. Установлено, что разлив в окружающей среде даже малого количества нефти может вызвать необратимые экологические процессы. В связи с этим, рассмотрена гидравлическая задача при истечении продукта из магистрального трубопровода, в случае истечений из двух отверстий. В результате получены аналитические решения.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, экология, риск-фактор, загрязнение продукта, истечение из отверстия

Как известно не существует вероятности разрыва магистральных трубопроводов, которая была бы равна нулю. Даже для нефте- и нефтепродуктопроводов, сооруженных из современных материалов и по оптимальной технологии, нельзя исключить случайные воздействующие явления – например землетрясения или теракты [1,2]. Особое внимание требуют такие участки магистральных нефтепроводов, которые проложены по местности с высоким риск-фактором, например, в таких как курортные зоны, пересечения рек, близость к водным акваториям, среда насыщенная минеральными водами и т.д. Установлено, что разлив в окружающей среде даже малого количества нефти, может вызвать необратимые экологические процессы.

Ниже поставленная и затем решенная задача возникла в процессе проектирования участка магистрального нефтепровода, проходящего в ущелье, в частности, рассматривается седловидный профиль.

Проектом было предусмотрено строительство опорожняющего объекта при предполагаемой аварии трубопровода, так как седловидный участок рассматривался как территория со значительной чувствительностью с точки зрения охраны окружающей среды. Опорожняющий объект расположен вдоль нефтепровода в крайней нижней точке. Соответственно, устройство данного объекта имеет целью минимизацию отрицательного воздействия на окружающую среду, в случае аварийного разлива нефти. Этот объект, который состоит из системы опорожняющих трубопроводов, собирающего резервуара и других устройств, должен располагаться в нижней части нефтепровода седловидного участка, вблизи установленной задвижки (рис.1).

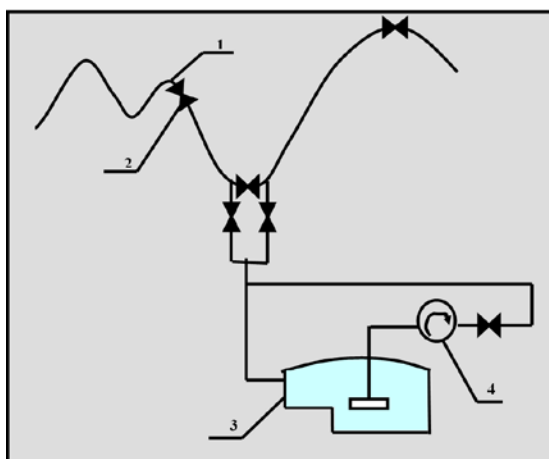


Рис.1. Схема седловидного участка магистрального нефтепровода, опорожняющего устройства и резервуара: 1. Магистральный нефтепровод; 2. Задвижка; 3. Емкость; 4. Насос подается из емкости в магистральный нефтепровод.

Опорожняющий объект седловидного участка предназначен для опорожнения как входящего участка нефтяного потока (верхний поток), так и для выходящего (нижний поток), при закрытии задвижек. Емкость опорожняющего резервуара должна обеспечивать достаточный объем для опорожнения объема нефти находящийся в трубопроводе от самой высокой отметки участка до контрольной задвижки с некоторым резервом. Опорожнение нефти осуществляется несколькими опорожняющими трубопроводами подсоединенными в верхней и нижней части задвижки, диаметр которых меньше диаметра магистрального нефтепровода. Возврат поступившей в резервуар нефти после ликвидации аварии, производится низконапорными мобильными насосами. Для полного опорож-

нения резервуара монтируется низконапорный стационарный насос, с помощью которого возможно полное опорожнение резервуара в автоцистерны.

Так как при аварии некоторый объем нефти обязательно просачивается в грунт, то на близлежащей территории необходимо установление ловушек-перехватчиков нефте-водяной смеси. Такие устройства, как правило, устанавливаются в котловинах, в которых происходит задерживание смеси и очистка. Эти сооружения должны быть оснащены впускными и опорожняющими устройствами, для просачивания в цистерны.

Итак, до закрытия задвижек некоторый объем нефти обязательно просачивается в грунт. Этот объем можно условно разделить на две слагаемые. Первое слагаемое – это объем вытекшей из отверстия нефти, до закрытия задвижек в наивысших точках седловидного участка. Фактически это задача определения сосредоточенного отбора, при работающем насосе. Эта задача решена и оценить отмеченный объем – возможно. Для оценки второго слагаемого, т.е. объема нефти просачивающегося в грунт после закрытия и верхних, и нижних задвижек, на сей день не существует научно-обоснованной методики.

В отмеченной ситуации, весьма значительно знать, какой объем нефти опорожняется в резервуар (для установления объема резервуара при проектировании) и какой объем просачивается в грунт.

Для ослабления экологической ситуации вызванной просачиванием нефти в грунт, нужно предусмотреть большое количество факторов. Среди них близость и уклон ближайших поверхностных и грунтовых вод на нисходящем склоне, чувствительность этих вод, отношение их расхода к транспортируемому расходу нефти, характер проникновения нефти в грунт, экологические ресурсы земляной среды и т.д.

Итак, имеется гидравлическая задача, идеализированная схема которой представлена на рис. 2. Т.е. задача касается истечения жидкости из резервуара с двумя отверстиями или насадками (у которых в общем случае могут быть различные диаметры) под переменным напором.

Нашей целью является определение времени опорожнения нефти до верхнего отверстия и объем нефти вытекший из отверстия за это время (т.е. тот объем нефти, который просачивается в грунт). Обозначения параметров процесса представлены на рис. 2. С целью упрощения, сперва рассмотрим задачу, когда площади отверстий одинаковы и равняются ω . Также положим, что одинаковы коэффициенты расхода ($\mu_1 = \mu_2 = \mu = \text{const}$) равны и постоянны.

Расходы из верхнего и нижнего отверстия, соответственно, равны [3]:

$$Q_1 = -\mu\omega\sqrt{2gh}; \quad (1)$$

$$Q_2 = -\mu\omega\sqrt{2g(h+a)}. \quad (2)$$

Здесь a - расстояние между отверстиями, а μ - коэффициент расхода. Уравнение баланса объемов имеет следующий вид

$$\Omega dh = -(Q_1 + Q_2) dt, \quad (3)$$

где Ω - площадь резервуара (принимается, что $\Omega = \text{const}$, т.е. резервуар аналогичен участку трубопровода с постоянным диаметром).

Из (3) получим:

$$dt = -\frac{A dh}{\sqrt{h} + \sqrt{h+a}}, \quad (4)$$

где

$$A = \frac{\Omega}{\mu\omega\sqrt{2g}} \quad (5)$$

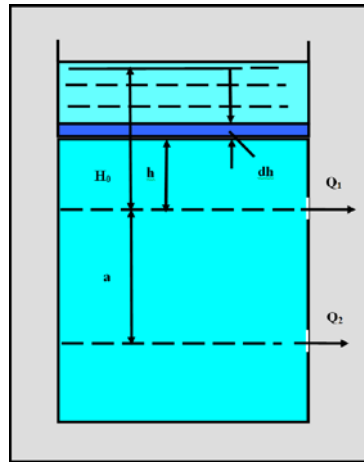


Рис.2. Гидравлическая идеализированная схема опорожнения продукта.

Поэтому

$$dt = \frac{A}{a} (\sqrt{h} - \sqrt{h+a}) dh \quad (6)$$

и после интегрирования будем иметь:

$$t = \frac{2A}{3a} [h^{3/2} - (h+a)^{3/2}] + C. \quad (7)$$

Здесь C - постоянная интегрирования. Так как $t = 0$, $h = H_0$, поэтому окончательно получим:

$$t = \frac{2A}{3a} [(H_0 + a)^{3/2} - (h+a)^{3/2} - (H_0^{3/2} - h^{3/2})]. \quad (8)$$

Время, в течении которого свободная поверхность жидкости достигнет уровня нижнего отверстия, т.е. когда $h = 0$, равняется:

$$T = \frac{2A}{3a} \left[(\mathbf{H}_0 + a)^{3/2} - a^{3/2} - \mathbf{H}_0^{3/2} \right] \quad (9)$$

или

$$T = \frac{2A}{3a} \mathbf{H}_0^{3/2} \left[\left(1 + \frac{a}{\mathbf{H}_0} \right)^{3/2} - \left[1 + \left(\frac{a}{\mathbf{H}_0} \right)^{3/2} \right] \right] \quad (10)$$

Если $a \ll \mathbf{H}_0$, тогда выражения в скобках можно разложить согласно следующей формуле [4]:

$$(1+x)^{3/2} = 1 + \frac{3}{2}x + \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{4}x^2 - \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{6}x^3 + \dots, \quad (11)$$

где $x = \frac{a}{\mathbf{H}_0}$ и ограничиваясь первыми двумя членами, получим:

$$T = \frac{2A}{3a} \mathbf{H}_0^{3/2} \left[\frac{3a}{2\mathbf{H}_0} - \left(\frac{a}{\mathbf{H}_0} \right)^{3/2} \right], \quad (12)$$

что в пределе, когда $a \rightarrow 0$, приводит к классической формуле стечения, когда оба отверстия находятся на одном уровне, т.е.

$$\lim_{a \rightarrow 0} T = \lim_{a \rightarrow 0} \left[A\sqrt{\mathbf{H}_0} - \frac{2A}{3}\sqrt{a} \right] = A\sqrt{\mathbf{H}_0}. \quad (13)$$

Рассмотрим случай, когда площади отверстий различны друг от друга $\omega_1 \neq \omega_2$ и $\mu_1 \neq \mu_2$. Естественно, что ход рассуждения аналогичен вышеприведенному. Поэтому будем иметь:

$$\begin{cases} Q_1 = -\mu_1 \omega_1 \sqrt{2g\mathbf{H}}; \\ Q_2 = -\mu_2 \omega_2 \sqrt{2g(\mathbf{h}+a)}. \end{cases} \quad (14)$$

$$\Omega dh = -(Q_1 + Q_2)dt \quad (15)$$

$$\Omega dh = -\sqrt{2g}(\mu_1 \omega_1 \sqrt{\mathbf{h}} + \mu_2 \omega_2 \sqrt{\mathbf{h}+a}) dt \quad (16)$$

$$dt = -\frac{\Omega dh}{\sqrt{2g}(\mu_1 \omega_1 \sqrt{\mathbf{h}} + \mu_2 \omega_2 \sqrt{\mathbf{h}+a})} \quad (17)$$

$$t = -\frac{\Omega}{\mu_1 \omega_1 \sqrt{2g}} \int \frac{dh}{\sqrt{\mathbf{h}} + \frac{\mu_2 \omega_2}{\mu_1 \omega_1} \sqrt{\mathbf{h}+a}} + C. \quad (18)$$

Обозначим

$$M = \frac{\Omega}{\mu_1 \omega_1 \sqrt{2g}} \quad (19)$$

$$N = \frac{\mu_2 \omega_2}{\mu_1 \omega_1}, \quad (20)$$

тогда

$$t = -M \int \frac{dh}{\sqrt{h + N\sqrt{h+a}}} + C \quad (21)$$

Окончательно, после интегрирования и определения постоянных, получим:

$$\begin{aligned} t = & \frac{2M\sqrt{h}}{1-N^2} + \frac{N^2Ma}{1-N^2} \frac{2}{\sqrt{-N^2a(1-N^2)}} \operatorname{arctg} \frac{(1-N^2)\sqrt{h}}{\sqrt{-N^2a(1-N^2)}} - \\ & - \frac{2MN\sqrt{h+a}}{1-N^2} - \frac{aMN}{1-N^2} \frac{2}{\sqrt{-a(1-N^2)}} \operatorname{arctg} \frac{(1-N^2)\sqrt{h+a}}{\sqrt{-a(1-N^2)}} - \\ & - \frac{2M\sqrt{H_0}}{1-N^2} - \frac{N^2Ma}{1-N^2} \frac{2}{\sqrt{-N^2a(1-N^2)}} \operatorname{arctg} \frac{(1-N^2)\sqrt{H_0}}{\sqrt{-N^2a(1-N^2)}} + \\ & + \frac{2MN\sqrt{H_0+a}}{1-N^2} - \frac{aMN}{1-N^2} \frac{2}{\sqrt{-a(1-N^2)}} \operatorname{arctg} \frac{(1-N^2)\sqrt{H_0+a}}{\sqrt{-a(1-N^2)}}. \end{aligned} \quad (22)$$

Когда $N > 1$.

$$\begin{aligned} t = & \frac{2M\sqrt{h}}{1-N^2} + \frac{N^2Ma}{1-N^2} \frac{1}{\sqrt{N^2a(1-N^2)}} \ln \frac{(1-N^2)\sqrt{h} - \sqrt{N^2a(1-N^2)}}{(1-N^2)\sqrt{h} + \sqrt{N^2a(1-N^2)}} - \\ & - \frac{2MN\sqrt{h+a}}{1-N^2} + \frac{aMN}{1-N^2} \frac{1}{\sqrt{a(1-N^2)}} \ln \frac{(1-N^2)\sqrt{h+a} - \sqrt{a(1-N^2)}}{(1-N^2)\sqrt{h+a} + \sqrt{a(1-N^2)}} - \\ & - \frac{2M\sqrt{H_0}}{1-N^2} - \frac{N^2Ma}{1-N^2} \frac{1}{\sqrt{N^2a(1-N^2)}} \ln \frac{(1-N^2)\sqrt{H_0} - \sqrt{N^2a(1-N^2)}}{(1-N^2)\sqrt{H_0} + \sqrt{N^2a(1-N^2)}} + \\ & + \frac{2MN\sqrt{H_0+a}}{1-N^2} - \frac{aMN}{1-N^2} \frac{1}{\sqrt{a(1-N^2)}} \ln \frac{(1-N^2)\sqrt{H_0+a} - \sqrt{a(1-N^2)}}{(1-N^2)\sqrt{H_0+a} + \sqrt{a(1-N^2)}}. \end{aligned} \quad (23)$$

Когда $N < 1$

Перейдем к решению второй части задачи. Допустим, что нижнее отверстие не работает. Тогда исходя из классической гидравлики [1],

время опорожнения жидкости в резервуаре от свободной поверхности до отметки нижнего отверстия, равняется:

$$t_1 = A_1 \sqrt{H_0}. \quad (24)$$

Допустим, что работает только нижнее отверстие. Тогда время, которое требуется для опорожнения (выпуска) того же объема (т.е. время в течение которого свободная поверхность достигает отметки верхнего отверстия) [1]:

$$t_2 = A_2 (\sqrt{H_0 + a} - \sqrt{a}). \quad (25)$$

Величины A_1 и A_2 входящие в выражения (24) и (25), равняются:

$$\begin{cases} A_1 = \frac{\Omega}{\mu_1 \omega_1 \sqrt{2g}}; \\ A_2 = \frac{\Omega}{\mu_2 \omega_2 \sqrt{2g}}. \end{cases} \quad (26)$$

Очевидно, что когда работают оба отверстия, тогда вышедшие объемы W_1 и W_2 , обратно пропорциональны рассмотренному времени, т.е.:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{W_2}{W_1}. \quad (27)$$

К этому уравнению добавляется еще одно очевидное уравнение:

$$W_1 + W_2 = \Omega(H_0 + a). \quad (28)$$

Решим систему (27) и (28) относительно W_1 . Получим:

$$W_2 = \Omega(H_0 + a) - W_1. \quad (29)$$

Отсюда:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\Omega(H_0 + a) - W_1}{W_1} = \frac{\Omega(H_0 + a)}{W_1} - 1 \quad (30)$$

$$W_1 = \frac{\Omega(H_0 + a)}{1 + \frac{t_1}{t_2}}. \quad (31)$$

Внесем значения t_1 и t_2 из выражений (24) и (25) в (21), получим:

$$W_1 = \frac{\Omega(H_0 + a)}{1 + \frac{A_1}{A_2} \frac{\sqrt{H_0}}{\sqrt{H_0 + a} - \sqrt{a}}} . \quad (32)$$

В том случае, когда отверстия одинаковы, тогда $A_1 = A_2$ и получим:

$$W_1 = \frac{\Omega(H_0 + a)}{1 + \frac{\sqrt{H_0}}{\sqrt{H_0 + a} - \sqrt{a}}} . \quad (33)$$

Полученные результаты дают возможность разыграть все возможные сценарии аварийной утечки нефти из нефтепровода.

Выводы и рекомендации

1. Решена гидравлическая задача истечения жидкости из двух одинаковых отверстий и аналитически получены зависимости для расхода и времени опорожнения;

2. Решена гидравлическая задача истечения жидкости из двух различных отверстий (с различными площадями и коэффициентами расхода) и аналитически получены зависимости для расхода и времени опорожнения;

3. Полученные результаты дают возможность разыграть все возможные сценарии аварийной утечки нефти из нефтепровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов В.Д. и др. Трубопроводный транспорт нефти и газа. М.: Недра. 1978, 407 с
2. Иванцов О.М., Харитонов В.И. Надежность магистральных трубопроводов. М.: Недра, 1978, 166 с.
3. Агроскин И.И., Дмитриев Г.Т, Пикалов Ф.И. Гидравлика. Энергия. М., Л.: 1964, 484 с.
4. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М.: Наука, Лейпциг, Тойбнер, 1981, 781 с.

YÜKSƏK EKOLOJİ RİSK AMİLLƏRİ OLAN MÜHİTDƏN KEÇƏN MAGİSTRAL BORU KƏMƏRLƏRİNİN MƏHSULLARI İLƏ ÇİRKLƏNMƏNİN TƏDQIQI

D.P.NAMQALADZE, A.F.MƏMMƏDOV

XÜLASƏ

Optimal texnologiyaya görə müasir materiallardan hazırlanmış neft boruları üçün təsadüfi hallar da mövcuddur. Yüksək riskli amilləri olan ərazilərdə, məsələn, kurort zonalarında, çayların kəsişdiyi yerlərdə, su akvatoriyalarına yaxın ərazilərdə, mineral sularla yayılan mühitdə və s.-dən keçən magistral boruları xüsusi diqqət tələb edir. Bununla bağlı ikidedişikli hal üçün magistral ötürücü borulardan axınların məhsulun hidravliki vəziyyətinə baxılmışdır.

Açar sözlər: magistral boru kəmərləri, ekologiya, risk faktoru, məhsulun çirklənməsi, dəlikdən axın

THE RESEARCH OF THE POLLUTION FROM MAIN PIPELINE PRODUCTS IN ENVIRONMENTALLY HIGH RISK AREAS

D.P.NAMGALADZE, A.F.MAMMADOV

SUMMARY

It is impossible to exclude the casual effects for installation of oil pipelines from modern materials and on optimum technology. The special attention demand such sides of the principle oil pipelines, which are laid on areas with high risk-factor, for example, in health-resort zones, river crossings, affinity to water areas, environment rich with mineral waters etc. In this connection, the hydraulic task (fluid problem) is considered at the expiration of a product from the main pipeline, in case of outlets (expirations) from two apertures.

Key words: main pipelines, ecology, risk factor, contamination of the product, efflux from a hole

Поступило в редакцию: 15.02.2013 г.

Подписано к печати: 06.03.2013 г.