

Определение потерь нефти при повреждении магистрального трубопровода

Ф.Р. Мехтиев
НИПИнефтегаз

e-mail: fuadr.mehdiyev@socar.az

Ключевые слова: магистральный трубопровод, насосные станции, транспортировка нефти, утечка нефти, место повреждения трубопровода, определение потерь нефти.

DOI.10.37474/0365-8554/2021-3-31-39

Magistral boru kəmərinin zədələnməsi zamanı neft itkilərinin təyini

F.R. Mehdiyev
"Neftqazelmətdəqiqatlayihə" İnstitutu

Açar sözlər: magistral kəmə, nasos stansiyası, neftin nəqli, neft sızmaları, kəmərin zədələnmə yeri, neft itkilərinin təyini.

Neftin nəqli və neft kəmərlərinin istisman ilə məşğul olan təşkilat və şirkətlər sızmalann müəyyən edilmiş üsullannın tətbiq edilməsi və neft itkilərinin qarşısının alınmasına xüsusi diqqət yetirilir.

Neft itkiləri ilə effektiv mübarizənin aparılması üçün qazalann qabaqcadan təyin edilməsi üsul və vasitələrin tətbiqi təmin olunması, neft kəmərlərinin korroziyadan mühafizəsi üsullannın, zədələnmə yerinin vaxtında təyin olunması və sızmalann aradan qaldırılması üsulları işlənilməlidir.

Məqalədə magistral boru kəmərlərində qazalann başvermə səbəbləri təhlil olunmuşdur. Kamərdə zədələnmə yerinin təyin edilməsi üçün qrafo-analitik üsul verilmişdir.

Detection of oil losses in main pipeline damage

F.R. Mehdiyev
"Oil-Gas Scientific Research Project" Institute

Keywords: main pipeline, pump stations, oil transportation, oil loss, damage point of pipeline, oil loss detection.

The enterprises and companies dealing with the oil transportation and operation of oil pipeline pay special attention to the improvement of methods for spill detection and prevention of oil losses.

The improvement of the methods and means of failure prevention, development of reliable ways of pipeline protection from corrosion, as well as the methods of well-timed specification of damage point and loss elimination are necessary for efficient control of oil losses in the failures.

The paper analyzes the reasons for occurring failures in the main pipelines. The graphic-analytical method for definition of damage point within the pipeline is presented as well.

Транспортировка нефти к потребителю связана со значительными её потерями. Потери от смешения и утечек при трубопроводном транспорте, потери из резервуаров, а также вследствие аварий, разливов, разбрызгивания и испарения наносят большой ущерб экономике страны, приводят к определенным затратам и снижению эффективности производства. Кроме того, потери нефти при авариях и утечках загрязняют окружающую среду.

Организации и компании, занимающиеся вопросами транспорта нефти и эксплуатирующие нефтепроводы, уделяют большое внимание совершенствованию методов обнаружения утечек и предотвращения потерь нефти.

Потери нефти и нефтепродуктов при каждой конкретной аварии зависят в основном от скорости обнаружения и ликвидации аварии, т.е. от эффективности контроля над оборудованием и линейной частью трубопровода.

На аварийные утечки нефти из магистрального трубопровода влияют следующие факторы:

- коррозионная активность окружающей среды и эффективность защиты нефтепровода от агрессивных коррозионных воздействий;
- качество труб и оборудования, а также износ их в процессе эксплуатации;
- некачественное выполнение строительно-монтажных и ремонтных работ на магистральном трубопроводе из-за сложности трассы, уровня квалификации персонала, качества материалов и условия их транспортировки и хранения;

- несоблюдение строительных норм и правил при проектировании, т.е. вероятность аварий из-за качества проектных решений при расчете его конструкции;
- повреждения магистрального трубопровода, связанные с природными воздействиями и стихийными бедствиями;
- несоблюдения правил технической эксплуатации магистрального трубопровода и недостаточное внимательное отношение к своим обязанностям обслуживающего персонала;
- аварии за счет внешнего механического воздействия;
- аварии в результате некачественных сварных швов при сварке стыков труб.

Повреждением линейной части магистрального трубопровода считают внезапную или частичную остановку нормальной его работы, вызванную нарушением герметичности трубопровода или линейной арматуры.

Основным показателем крупного повреждения является падение давления в нефтепроводе, а при перекачке центробежными насосами – перегрузка двигателей.

Обнаружение аварий и повреждений методом контроля за давлением в нефтепроводе осуществляется по показаниям манометров, установленных на насосной станции и линейной части нефтепровода. Снижение давления на насосной станции более, чем на 0.15 МПа (1.5 кг/см²) от установленного режимами перекачки величины, указывает на наличие аварийной утечки или повреждения нефтепровода. Метод позволяет определить только наличие утечек на нефтепроводе и не указывает места повреждения на трассе нефтепровода.

Место повреждения можно определить графо-аналитическим способом, основанным на исследовании графика падения напора.

При разрыве трубопровода статистический напор на станции равен разности отметок станции и аварийных точек. Отложив этот напор (или давление) АВ в выбранном масштабе высот и проведя линию параллельно оси абсцисс, найдем точку пересечения (точка С) с профилем трассы, которая и будет местом разрыва трубопровода (рис. 1).

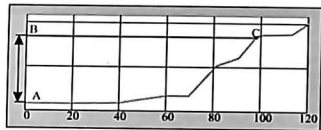


Рис. 1. Определение места повреждения по статическому напору

Более точно аварии могут быть обнаружены по результатам анализа изменения расхода и напора насосной станции и трубопровода.

Рассмотрим влияние аварийной утечки на характер изменения напора и расхода на насосной станции и в нефтепроводе как до места аварии, так и после него.

Характеристика насосной станции при нормальном режиме определяется формулой:

$$H_0 = a - b \cdot Q_0^{2-m} \quad (1)$$

при аварийном режиме:

$$H = a - b \cdot Q_1^{2-m}, \quad (2)$$

где a, b – постоянные коэффициенты, зависящие от типа установленных насосов; Q_0, Q_1 – расходы на насосной станции до и после появления аварии; m – коэффициент, зависящий от режима течения нефти в трубопроводе, при ламинарном течении $m = 1$, при турбулентном – $m = 0 + 0.25$.

Потеря напора в трубопроводе при нормальном режиме работы:

$$H_0 = k \cdot Q_0^{2-m} \cdot l + \Delta z \quad (3)$$

при аварийном режиме:

$$H = k \cdot Q_1^{2-m} \cdot x + k(Q_1 - q)^{2-m} \cdot (l - x) + \Delta z, \quad (4)$$

где q – величина аварийной утечки; k – коэффициент, определяющийся по формуле $k = \beta \cdot (1^m / D^{2-m})$; β – коэффициент, зависящий от режима течения жидкости; D – внутренний диаметр трубопровода; l – длина трубопровода; x – расстояние от насосной станции до места утечки; Δz – разность отметок конца z_2 и начала z_1 нефтепровода ($\Delta z = z_2 - z_1$).

Для анализа аварийных режимов необходимо находиться относительные изменения напора на насосной станции и в нефтепроводе в зависимости от величины и места утечки.

Для насосной станции из формул (1) и (2) следует

$$\delta_n = \left(\frac{a}{H_0} - 1 \right) \cdot \left[\left(\frac{Q_1}{Q_0} \right)^{2-m} - 1 \right], \quad (5)$$

а для трубопровода из выражений (3) и (4) вытекает:

$$\delta_n = \left(1 - \frac{\Delta z}{H_0} \right) \cdot \left\{ 1 - \left[\left(\frac{Q_1}{Q_0} \right)^{2-m} \cdot \frac{x}{l} + \left(\frac{Q_1 - q}{Q_0} \right)^{2-m} \cdot \left(1 - \frac{x}{l} \right) \right] \right\}. \quad (6)$$

Для упрощения расчетов на основании соотношений (5) и (6) проведен анализ влияния аварийной утечки в трубопроводе на изменение напора и расхода на насосной станции, рассчитаны относительные изменения расхода насосной станции для нескольких значений относительных утечек и построены графики (рис. 2, 3).

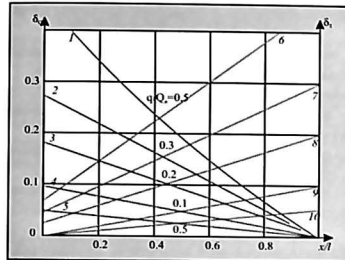


Рис. 2. Зависимость относительного изменения расхода насосной станции (6–10) и расхода в конце трубопровода (1–5) от величины и места аварийной утечки

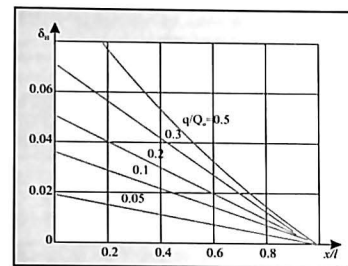


Рис. 3. Зависимость относительного изменения напора насосной станции от величины и места аварийной утечки

При сравнении величин относительного изменения расхода и напора в случае аварии на трубопроводе видно, что расход изменяется больше, чем напор.

Типовой пример расчета

На магистральном трубопроводе в результате аварии произошла утечка нефти. Определить насколько изменятся напор и расход на насосной станции в месте повреждения трубопровода и расход нефти в конце трубопровода.

Исходные данные:

- Длина трубопровода $l, м$ – 1000;
- Профиль трубопровода – горизонтальный;
- Режим перекачки нефти – турбулентный;
- Коэффициент, зависящий от режима перекачки нефти m – 0.25;
- Кривизна характеристики насосной станции a/H_0 – 1.3;
- Расстояние от насосной станции до места утечки $x, м$ – 600;
- Величина утечки q/Q_0 – 0.1

Находим отношение x/l :

$$\frac{x}{l} = \frac{600}{1000} = 0.6.$$

Так как трубопровод горизонтальный – отношение $\Delta z/H_0 = 0$.
Для определения параметров используем графики (рис. 2, 3).

При $q/Q = 0.1$ и $x/l = 0.6$ находим относительное изменение расхода и напора на насосной станции: $\delta_0 = 0.04$ или 4%, $\delta_1 = 0.018$ или 1.8%, а также относительное изменение расхода в конце трубопровода $\delta_2 = 0.07$ или 7%. Тогда относительное изменение расхода в месте аварии будет: $\delta_3 = 0.11 = 11\%$.

При рассмотрении влияния аварийной утечки на изменение параметров трубопровода и насосной станции и в результате расчетов можно сделать вывод, что контроль потерь нефти более эффективен по расходу, чем по напору.

Кроме обнаружения мест повреждения трубопровода, для принятия наиболее эффективных мер, направленных на предупреждение и ликвидацию последствий аварий, необходимо иметь расчетные данные о величине потери нефти во время аварии на нефтепроводе.

При выполнении расчетов, связанных с определением утечек во время аварий на магистральных нефтепроводах применяются различные модели и методы, которые позволяют решать эти задачи и получать оценку в довольно широких пределах.

Весь процесс потерь нефти при повреждении или авариях на нефтепроводе можно разделить на три стадии:

- напорный режим – насосы ещё работают в установленном режиме перекачки, несмотря на то, что авария уже произошла;
- безнапорный режим – насосы уже отключены, но задвижки, изолирующие поврежденный участок от остальной части трубопровода, еще открыты;
- безнапорный режим – насосы отключены и задвижки закрыты.

Исследование этих режимов является чрезвычайно важным фактором для безопасной и эффективной эксплуатации системы трубопроводного транспорта нефти.

В напорном режиме потери нефти происходят через образовавшееся отверстие при работающей перекачивающей станции. Когда утечка установлена, происходит остановка работы насосов.

В этот период давление в месте аварии не изменяется, и количество вытекшей нефти определяется разностью давлений внутри и вне трубопровода в месте аварии, площадью отверстия и продолжительностью этого периода.

Расход нефти в единицу времени на этом этапе считается постоянной величиной, поэтому объем нефти, вытекшей из нефтепровода с момента возникновения аварии до момента остановки перекачки, определяется по формуле:

$$V_1 = Q_1 \cdot (T_0 - T_a), \quad (7)$$

где Q_1 – потери нефти в месте повреждения нефтепровода; T_a , T_0 – соответственно, время возникновения аварии и остановки перекачки.

Потери нефти при напорном режиме характеризуются распределением потока в нефтепроводе, приведенном на рис. 4 и определяются по формуле:

$$Q_1 = Q' - Q'', \quad (8)$$

где Q' , Q'' – расход нефти соответственно слева и справа от места повреждения.

В безнапорном режиме при открытых задвижках, насосы уже не создают дополнительный напор, нефть вытекает под действием собственного веса слева и справа от места повреждения.

Потери нефти в этом режиме происходят в небольших интервалах времени от 0.01 до 0.25 ч, поэтому расход нефти можно считать постоянной величиной.

После перекрытия линейных задвижек процесс истечения заканчивается либо когда восстанавливается герметичность трубопровода, либо когда нефть прекращает вытекать из места повреждения. Это происходит при уменьшении давления в трубопроводе в месте аварии до атмосферного. Поэтому расход нефти в месте повреждения в этом режиме считается переменной во времени величиной.

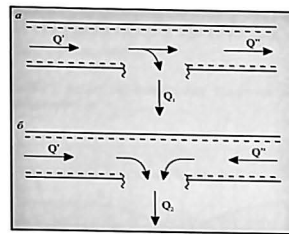


Рис. 4. Распределение потоков нефти в месте повреждения трубопровода при напорном (а) и безнапорном (б) режимах

Потери нефти также зависят от существующего профиля трассы. При этом в наивысших точках трубопровода происходит образование полостей, наполненных насыщенными парами нефти. При движении возникших в трубопроводе свободных поверхностей к аварийному сечению целые участки столба нефти могут исключаться из процесса истечения. В верхних профилях, расположенных ближе к аварийному сечению, происходят разрывы потока, и длина движущегося столба нефти уменьшается.

Потери нефти при безнапорном режиме с открытыми и закрытыми задвижками характеризуются распределением потока в нефтепроводе, приведенном на рис. 4, б и определяются по формуле:

$$Q_1 = Q' + Q''. \quad (9)$$

Из вышесказанного следует, что темп истечения нефти в месте повреждения трубопровода не является постоянным. Он зависит от направления потоков нефти в трубе при движении к дефектному отверстию, профиля трассы трубопровода, диаметра трубопровода и давления в нем, величины повреждения трубопровода и других факторов.

Поэтому задача состоит в том, чтобы найти объем вытекшей нефти в зависимости от времени истечения с учетом различных периодов этого процесса.

Эксперименты показали, что при давлении нефти 1.5 МПа и кинематической вязкости 15 мм²/с могут наблюдаться утечки из малых трещин, не превышающие 0.12 м³/ч. Такие трещины довольно быстро затягиваются слоем парафина и механических примесей, содержащихся в нефти.

Расход нефти через отверстие выражается следующей формулой:

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2g \cdot H}, \quad (10)$$

где S – площадь поперечного сечения; H – напор; μ – коэффициент расхода нефти через место повреждения.

Коэффициент выхода нефти через отверстие определяется по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\xi + \lambda \cdot \frac{l}{D}}, \quad (11)$$

где ξ – коэффициент местного гидравлического сопротивления при истечении нефти в месте повреждения; l – длина аварийного трубопровода; D – диаметр трубопровода; λ – коэффициент гидравлического сопротивления трению.

Коэффициент λ для всех режимов течения жидкости в трубопроводе определяется по формуле:

$$\lambda = 0.11 \cdot \left(\frac{\Delta}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25}, \quad (12)$$

где Re – число Рейнольдса; Δ – абсолютная шероховатость трубы.

Коэффициент местного гидравлического сопротивления ξ определяется по формуле:

$$\xi = \frac{1}{\varphi^2} - 1, \quad (13)$$

где φ – коэффициент скорости, который находится по числу Рейнольдса для круглого отверстия диаметром d (рис. 5).

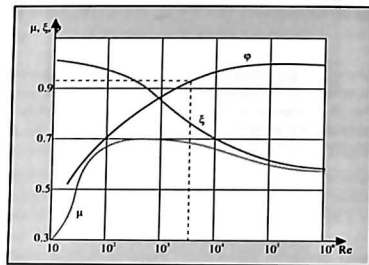


Рис. 5. График для определения коэффициентов μ , ξ , φ в зависимости от числа Рейнольдса

При вытекании нефти из щели, образованной при разрыве стенки трубопровода, вместо диаметра d необходимо ввести параметр, характеризующий размер и форму фактического сечения на выходе нефти из трубопровода в месте разрыва.

Для некруглых отверстий вместо диаметра d вводится так называемый гидравлический (эквивалентный) радиус R_h , который определяется по формуле:

$$R_h = \frac{S}{\chi}, \quad (14)$$

где S – площадь фактического сечения; χ – периметр смачивания.

Для малых отверстий особенности его формы не играют существенной роли, а важна лишь площадь отверстия.

В этом случае коэффициент скорости φ можно определить по графику (см. рис. 5):

$$\varphi = f(Re_0) = \frac{4R_h \sqrt{2g \cdot H}}{g}, \quad (15)$$

где g – кинематическая вязкость жидкости; Re_0 – число Рейнольдса для круглого отверстия; g – ускорение свободного падения.

Истечение нефти через щель будет происходить при переменном напоре, а скорость его при неустановившемся течении непрерывно уменьшится, поэтому время опорожнения всего трубопровода определяется по формуле:

$$\tau = \frac{2 \cdot V}{Q}, \quad (16)$$

где V – объем нефти в трубопроводе длиной L , имеющем площадь поперечного сечения F ; Q – расход нефти из отверстия.

Скорость нефти в трубопроводе определяется по формуле:

$$v_n = \frac{Q}{F}. \quad (17)$$

Типовой пример расчета

Определить потери нефти из образовавшегося в трубопроводе отверстия и рассчитать время опорожнения аварийного участка трубопровода.

Исходные данные:

Длина аварийного участка нефтепровода l , м	– 1000;
Диаметр нефтепровода d , мм	– 700;
Кинематическая вязкость нефти J , м ² /с	– 0,1 · 10 ⁻⁴ ;
Напор H , м	– 100;
Площадь поперечного сечения трубопровода F , м ²	– 0,385;
Длина образовавшегося отверстия h , м	– 0,9;
Площадь фактического сечения отверстия S , м ²	– 0,167;
Абсолютная шероховатость трубы D , мм	– 0,2;
Коэффициент гидравлического сопротивления трению l	– 0,02

(с дальнейшей проверкой методом последовательного приближения)

Гидравлический радиус R_h рассчитывается по формуле 14.

$$R_h = \frac{S}{\chi} = \frac{S}{2\pi \cdot h} = \frac{0,167}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,9} = 0,0295 \text{ м.}$$

Число Рейнольдса, характеризующее режим движения нефти для круглого отверстия

$$Re_0 = \frac{4R_h \cdot \sqrt{2g \cdot H}}{v} = \frac{4 \cdot 0,0295 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 100}}{0,1 \cdot 10^{-4}} = 5,23 \cdot 10^4$$

По числу Рейнольдса находим коэффициент скорости. Этому значению на графике соответствует величина $\varphi = 0,932$ (см. рис. 5).

Рассчитаем коэффициент местного гидравлического сопротивления

$$\xi = \frac{1}{\varphi^2} - 1 = \frac{1}{0,932^2} - 1 = 0,151.$$

Рассчитаем коэффициент расхода нефти через место повреждения

$$\mu = \frac{1}{\xi + \lambda \cdot \frac{l}{d}} = \frac{1}{0,151 + 0,02 \cdot \frac{1000}{0,7}} = 0,035;$$

Расход нефти через отверстие рассчитывается по формуле (10)

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2g \cdot H} = 0,035 \cdot 0,167 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 100} = 0,26 \text{ м}^3/\text{с}$$

Этому расходу соответствует скорость истечения:

$$v_n = \frac{Q}{F} = \frac{0,26}{0,385} = 0,675 \text{ м/с}$$

Тогда число Рейнольдса определяется

$$Re = \frac{v_n \cdot d}{g} = \frac{0,675 \cdot 0,7}{0,1 \cdot 10^{-4}} = 4,7 \cdot 10^4$$

Рассчитаем коэффициент гидравлического сопротивления трению:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,2}{700} + \frac{68}{4,7 \cdot 10^4} \right)^{0,25} \approx 0,022$$

Полученный коэффициент l соответствует ранее принятому значению.

Время полного опорожнения трубопровода через щель в месте его разрыва

$$\tau = \frac{2 \cdot V}{Q} = \frac{2 \cdot 0.385 \cdot 1000}{0.26} \approx 0.82 \text{ ч}$$

Вышеуказанный метод расчета применим для малых отверстий при повреждении магистрального нефтепровода. Если же площадь отверстия в стенке трубы велика, в нем возникает интенсивное течение жидкости к месту аварии, и значительная часть движущего напора теряется на преодоление сил внутреннего трения (гидравлические потери напора на трение).

Потому для отверстий больших размеров за основу расчетов предлагается рассматривать систему дифференциальных уравнений, включающих условие неразрывности, закон сохранения импульса потока и формулу связи давления и плотности, указанных в РД "Оценка степени риска аварий на магистральных трубопроводах", приложение 3, пункт 1.2.2.

$$\frac{d\rho}{dt} = -\frac{d(\rho \cdot v)}{dx} \quad (18)$$

$$\frac{d(\rho \cdot v)}{dt} = -\frac{d}{dx}(\rho \cdot v^2 + p) - \lambda(\text{Re}) \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2D} + \rho \cdot g \cdot \beta \quad (19)$$

$$p - p_0 = c^2(\rho - \rho_0), \quad (20)$$

где τ – время; x – расстояние от начала трубопровода; p, ρ_0, v – средние по сечению давление, плотность и скорость нефти; $\lambda(\text{Re})$ – коэффициент трения, зависящий от режима течения в трубе (от числа Рейнольдса, $\text{Re} = vD/\nu$); g – ускорение силы тяжести; b – локальный угловой коэффициент трассы нефтепровода; $b = dz/dx$; c – скорость распространения звука в нефти вдоль трубопровода, км/с; z – нивелирная отметка трассы; ϑ – кинематический коэффициент вязкости нефти, $\vartheta = \omega/\rho$; ω – динамический коэффициент вязкости нефти.

Объем нефти вытекающей в безнапорном режиме истечения с открытыми и закрытыми задвижками определяется опорожнением поврежденного участка нефтепровода и рассчитывается согласно "Методике определения ущерба окружающей среды при авариях на магистральных трубопроводах" пункт 2.1.3–2.1.4.

Общие потери нефти при аварии на магистральном трубопроводе определяются суммой объемов истечения нефти на всех стадиях, с момента возникновения аварии до прекращения утечки, т.е. во всех трех режимах.

Выводы

1. Потери нефти обуславливаются как специфическими её свойствами, так и условиями протекания, техническим состоянием магистрального трубопровода. Потери нефти в окружающую среду требуют постоянного анализа причин возникновения аварий и соблюдения действенных мер, направленных на снижение аварийных утечек. Перечень таких мероприятий определяется на основе сведений о наиболее значимых факторах влияния на величину потерь нефти на поврежденном участке нефтепровода.

2. Для эффективной борьбы с потерями нефти при авариях необходимо совершенствование способов и средств предупреждения аварий, разработка надежных методов защиты нефтепроводов от коррозии, а также методов своевременного определения места повреждения и устранения утечек.

3. Величина потерь нефти зависит от согласованной работы во время аварий, которая достигается путем быстрого регулирования режимов работы трубопровода.

4. Современные методы расчетов и действующие нормативно-технические документы позволяют достоверно и весьма точно определять потери нефти при авариях на трубопроводах.

Список литературы

1. Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах. – М.: Минтопэнерго, 1995.
2. РД "Методическое руководство по оценке степени риска аварии на магистральных нефтепроводах". – М.: Транснефть, 2002.
3. РД 153-39.4-114-01. "Правила ликвидации аварий и повреждений на магистральных нефтепроводах". – М.: Транснефть, 2001.
4. Арбузова Ф.Ф. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении. – М.: Недра, 1981.
5. Галаев В.Б. Магистральные нефтепродуктопроводы. – М.: Недра, 1986.
6. Забелин К.А. Ликвидация аварий и ремонт подводящих трубопроводов. – М.: Недра, 1986.
7. Коваленко А.Б. Оценка аварийных утечек нефти из трубопровода. 2009.
8. Лурье М.В. Экспертиза потерь нефти и газа при авариях на трубопроводах. РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2009.
9. Лурье М.В. Задачник по трубопроводному транспорту нефти, нефтепродуктов и газа. – М.: Недра, 2003.
10. Садрев И.Р. Самотечное движение нефти при прорыве и остановке трубопровода // Нефтяное хозяйство, 2000, № 1, с. 50-53.

References

1. Metodika opredeleniya ushcherba okruzhayushchey srede pri avaryakh na magistral'nykh nefteprovodakh. – M.: Mintopenergo, 1995.
2. RD "Metodicheskoe rukovodstvo po otsenke stepeni riska avaryi na magistral'nykh nefteprovodakh". – M.: Transneft', 2002.
3. RD 153-39.4-114-01. "Pravila likvidatsii avarii i povrezhdeniy na magistral'nykh nefteprovodakh". – M.: Transneft', 2001.
4. Arbutsova F.F. Bor'ba s poteryami nefli i nefteproduktov pri ikh transportirovki i khraneni. – M.: Nedra, 1981.
5. Galayev V.B. Magistral'nye nefteproduktoprovody. – M.: Nedra, 1986.
6. Zabelin K.A. Likvidatsiya avarii i remont podvodykh truboprovodov. – M.: Nedra, 1986.
7. Kovalenko A.B. Otsenka avaryinykh utechek nefli iz truboprovoda. 2009.
8. Lur'ye M.V. Ekspertiza poter' nefli i gaza pri avaryakh na truboprovodakh. RGU nefli i gaza im. I.M. Gubkina, 2009.
9. Lur'ye M.V. Zadachnik po truboprovodnomu transportu nefli, nefteproduktov i gaza. – M.: Nedra, 2003.
10. Sadrev I.R. Samotечноe dvizhenie nefli pri proryve i ostanovke truboprovoda // Neftyanoye khozaystvo, 2000, No 1, s. 50-53.