

DOI: 10.33184/dokbsu-2020.1.2

Об особенностях распространения углеводородов при аварийных ситуациях при транспортировке нефти

С. Р. Кильдибаева

*Башкирский государственный университет, Стерлитамакский филиал
Россия, Республика Башкортостан, 453103 г. Стерлитамак, проспект Ленина, 49.*

Email: freya.13@mail.ru

В работе рассматривается распространение струи нефти из поврежденного трубопровода. Течение струи вызвано повреждением трубопровода в результате его разрыва или других природных или техногенных аварийных ситуаций. Миграция углеводородов рассматривается в виде затопленной струи. Для описания миграции использованы уравнения сохранения массы, импульсов и энергии, а также ряд вспомогательных уравнений. Описан процесс турбулентного вовлечения окружающей воды в струю. Получена траектория струи, зависимости скорости и температуры струи от вертикальной координаты для различных начальных значений.

Ключевые слова: разрыв трубопровода, шельф, капли нефти, затопленная струя.

Введение

В связи с увеличением добычи углеводородов в шельфе многократно возрастает вероятность разлива нефти в водоем. Большой проблемой является как ликвидация такой утечки, так и борьба с загрязнением водоема. Вследствие этого так важно изучать способы ликвидации таких утечек. Для описания процесса распространения углеводородов рассматривается течение затопленной струи [1, 2]. В зависимости от характера повреждения трубопровода и начальных параметров окружающей среды могут быть рассмотрены различные режимы течения. Так, струя может быть только нефтяной или газовой или содержать как нефть, так и газ, т.е. быть многофазной. Если в струе присутствует газ и течение происходит в условиях стабильного существования гидрата, то на поверхности пузырьков газа могут образовываться гидратные пузырьки. В таком случае рассматривается течение, сопровождающееся фазовыми переходами. На характер течения струи влияют различные факторы, к примеру, соленость окружающей среды [3], течение окружающей среды [2], процесс гидратообразования [1].

Расчет параметров затопленной струи углеводородов позволит оценить изменение теплофизических характеристик компонент струи, а также спрогнозировать ее поведение. Полученные данные позволят сократить сроки ликвидации утечки. Для моделирования течения углеводородов применим метод ИЛМКО, предложенный в работах [4–6].

Постановка задачи и основные уравнения

Пусть на дне водоема существует некоторый трубопровод, который имеет повреждение, через которое поступает нефть. Рассматривается случай глубоководного пролегания морского трубопровода (до 400 м). Известны следующие параметры истечения: теплофизические характеристики нефти и окружающей среды, радиус повреждения, глубина пролегания трубопровода. Схема разлива приведена на *рис. 1*, черными кружками обозначены капли нефти.

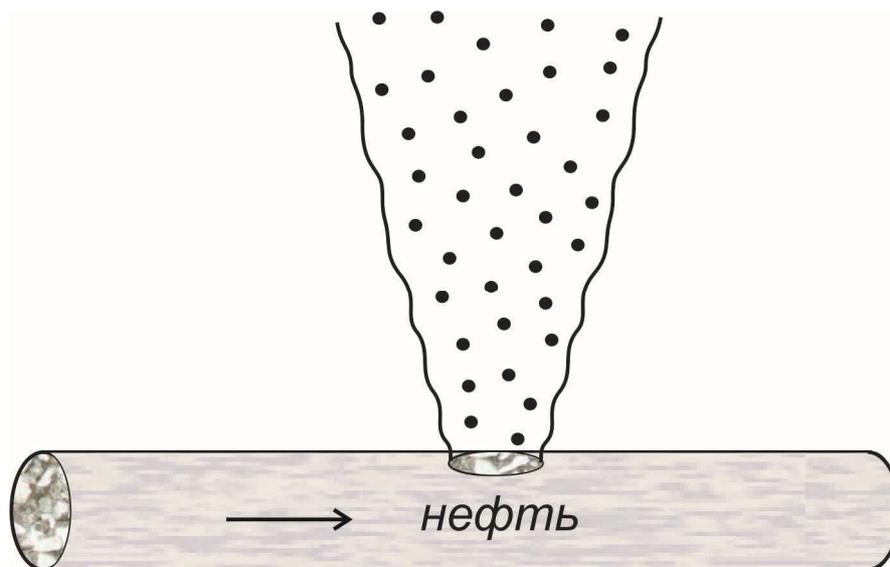


Рис. 1. Схема разлива нефти.

Введем следующие обозначения: r – радиус повреждения трубопровода, Q_o^e – объемный расход выливающейся из трубопровода нефти, T^e и T^w – начальная температура нефти и воды, V_w – скорость окружающей воды, z – глубина пролегания трубопровода.

Приведем систему уравнения, описывающую процесс распространения струи:

$$\frac{dM_w}{dt} = \rho_w Q_w, \quad \frac{dM_o}{dt} = 0,$$

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}(Mu) &= u_w \rho_w Q_w, \\ \frac{d}{dt}(Mv) &= v_w \rho_w Q_w, \\ \frac{d}{dt}[(M_w + M_o)w] &= w_w \rho_w Q_w + (\rho_w - \rho_l) \pi b^2 h (\alpha_w + \alpha_o) g, \\ \frac{d}{dt}(cMT) &= c_w T_w \rho_w Q_w, \quad c = \sum \chi_i c_i, \quad c = \chi_o c_o + \chi_g c_g + \chi_h c_h + \chi_w c_w \\ \vec{V} &= u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}, \quad \vec{V}_w = u_w\vec{i} + v_w\vec{j} + w_w\vec{k}, \quad \rho_l = \alpha_w \rho_w + \alpha_o \rho_o,\end{aligned}$$

где M_i , ρ_i , c_i , α_i , ($i=o,w$) – масса, плотность, теплоемкость, объемное содержание нефти и воды, Q_w – объемный расход вовлеченной в струю окружающей воды, V – скорость струи.

Процесс перемешивания нефти с окружающей водой и ее вовлечение в струю могут быть описаны следующим образом:

$$Q_w = 2\pi b h \alpha |\vec{V}|^r, \quad \alpha = \sqrt{2} \left(0.057 + \frac{0.554 \sin \varphi}{E^2 \text{Fr}^2} \right), \quad \text{Fr} = |\vec{V}| \left(g \frac{\Delta \rho}{\rho_a} b \right)^{-1/2}.$$

Уравнения, приведенные выше, описывают процесс распространения струи, на их основе можно получить траекторию струи, а также зависимости теплофизических характеристик струи от вертикальной координаты.

Результаты расчетов

Для анализа поведения углеводородов при разливе использованы следующие начальные условия: $z=80$ м, $r=10$ см, $Q_o^e=0.05$ м³/с, $\rho_w=1000$ кг/м³, $\rho_o=850$ кг/м³, $V_w=0$ м/с.

На *рис. 2а* представлена траектория струи. Расширение струи происходит за счет взаимодействия с окружающей водой и процесса захвата окружающей воды в струю. В теоретических работах изменение радиуса струи описывается уравнением [7]:

$$b = b_0 + \beta z,$$

где b_0 – начальный радиус струи, z – вертикальная координата, $\beta=0.149$ – эмпирический параметр. Численные расчеты согласуются с теоретической формулой.

На *рис. 2б* представлена зависимость температуры струи от вертикальной координаты. Сплошная линия соответствует объемному расходу нефти $Q_o^e=0.05$ м³/с, пунктирная соответствует объемному расходу нефти $Q_o^e=0.01$ м³/с. Охлаждение струи связано с взаимодействием с более холодной окружающей водой. Из графика видно, что при

уменьшении начального объемного расхода нефти температура струи охлаждается интенсивнее. На рис. 3 представлена зависимость скорости струи от вертикальной координаты. В связи с утяжелением струи и уменьшением начального импульса струи скорость струи уменьшается.

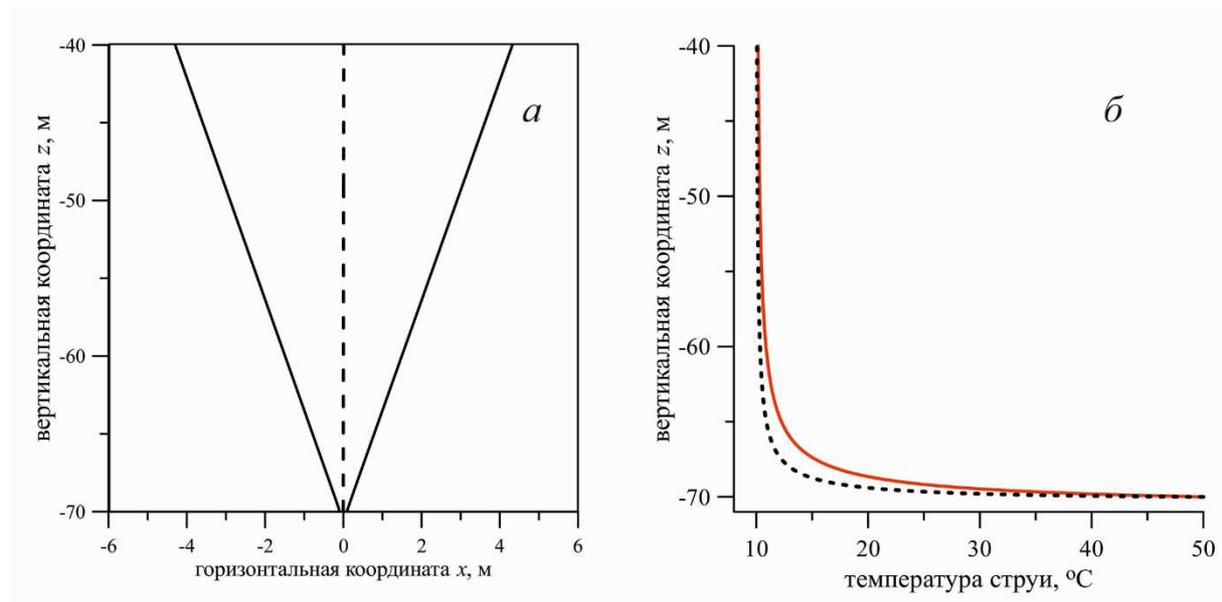


Рис. 2. Траектория струи (а) зависимость температуры (б) струи от вертикальной координаты.

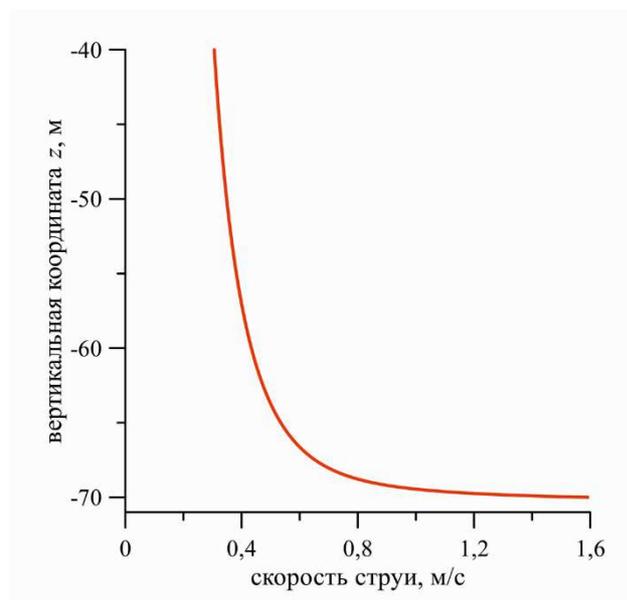


Рис. 3. Зависимость скорости струи от вертикальной координаты.

Заключение

В работе рассмотрено течение углеводородов в виде затопленной струи при повреждении морского трубопровода. Построена модель течения углеводородов из повре-

жденного трубопровода. В результате численных расчетов получены траектория струи, зависимости скорости и температуры струи от вертикальной координаты для различных начальных значений.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-31-00264 мол_а).

Литература

1. Кильдибаева С. Р., Гималтдинов И. К. Математическая модель затопленной струи с учетом влияния 3D течения окружающей воды // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2019. – Т. 12, №1. – С. 137–143.
2. Гималтдинов И. К., Кильдибаева С. Р. Модель затопленной струи с учетом двух предельных схем гидратообразования // Теплофизика и аэромеханика. – 2018. – Т. 25, №1. – С. 79–88.
3. Кильдибаева С. Р., Гималтдинов И. К. Динамика многофазного струйного потока с учетом солености окружающей воды // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2018. – №6. – С. 197–211.
4. Yapa P. D., Zheng L. Simulation of oil spills from underwater accidents I: model development // Journal of hydraulic research, international association of hydraulic research, The Netherlands. – 1997. – Vol. 35, №5. – P. 673–688.
5. Yapa P. D., Dasanayaka L. K., Bandara U. C., Nakata K. A model to simulate the transport and fate of gas and hydrates released in deepwater // Journal of hydraulic research. – 2010. – Vol. 48, №5. – P. 559–572.
6. Yapa P. D., Zheng L., Nakata K. Modeling of underwater oil/gas jets and plumes // Journal of hydraulic engineering. – 1999. – Vol. 125, №5. – P. 481–491.
7. Lee J. H. W., Chu V. H. Turbulent jets and plumes – a Lagrangian approach // Kluwer, 2003. 390 p.

Статья рекомендована к печати кафедрой прикладной информатики и программирования СФ БашГУ (канд. физ.-мат. наук, доц. М. К. Хасанов)

About features of flow of hydrocarbons at accidents at transportation of oil

S. R. Kildibaeva

*Bashkir State University, Sterlitamak Branch
49 Lenin Street, 453103 Sterlitamak, Republic of Bashkortostan, Russia.*

Email: freya.13@mail.ru

The paper deals with the propagation of a jet of oil from a damaged pipeline. The flow of the jet is caused by damage to the pipeline as a result of its rupture or other natural or man-made emergencies. The paper considers the flow of hydrocarbons in the form of a flooded jet. The equations of conservation of mass, momentum and energy, as well as a number of auxiliary equations are used to describe the migration. The process of turbulent involvement of the surrounding water in the jet is described. The trajectory of the jet, the dependence of the velocity and temperature of the jet on the vertical coordinate for different initial values are obtained.

Keywords: damage to the pipeline, offshore, oil drops, submerged jet.