



Оценка и моделирование риска химической опасности

УДК 622.692.4:531.73

DOI: 10.25514/CHS.2023.1.24015

Определение объема максимального разлива нефти или нефтепродуктов при свободном истечении из трубопровода со сложным произвольным профилем

В. В. Богач¹, С. Ф. Ибрагимова¹✉

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия, e-mail: ibr.sumbel@yandex.ru

Поступила в редакцию: 24.03.2023 г.; после доработки: 22.05.2023 г.; принята в печать: 29.05.2023 г.

Аннотация – Представлен алгоритм проведения расчета максимального разлива нефти или нефтепродуктов при свободном истечении из трубопровода со сложным произвольным профилем. Показано, что применение алгоритма позволяет наиболее точно определить объем разлива и установить его возможные координаты, а также необходимое количество сил и средств для локализации и ликвидации разлива.

Ключевые слова: нефть, нефтепродукты, разлив нефти, локализация разлива нефти, ликвидация разлива нефти, магистральный трубопровод.

Chemical hazard assessment and risk modeling

UDC 622.692.4:531.73

DOI: 10.25514/CHS.2023.1.24015

Determination of large volumes of oil or oil products spills with free calculation from the pipeline with the selection of a general profile

Vitaly V. Bogach¹, and Syumbel F. Ibragimova¹✉

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kazan National Research Technological University”, Kazan, Russia, e-mail: ibr.sumbel@yandex.ru

Received: March 23, 2023; Revised: May 22, 2023; Accepted: May 29, 2023

Abstract – An algorithm for calculating the maximum spill of oil or petroleum products with free flow from a pipeline with a complex arbitrary profile is presented. It is shown that the application of the algorithm makes it possible to most accurately determine the volume of the spill and establish its possible coordinates, as well as the necessary amount of forces and means for localization and liquidation of the spill.

Keywords: oil, petroleum products, oil spill, oil spill localization, oil spill elimination, trunk pipeline.

ВВЕДЕНИЕ

Магистральный трубопроводный транспорт является одним из наиболее эффективных средств доставки нефти и нефтепродуктов потребителю. Однако его эксплуатация связана с существенными рисками причинения экологического вреда вследствие возможных аварийных ситуаций с истечением нефти и нефтепродуктов [1]. Как показано в [2], одним из обязательных условий эксплуатации объектов магистрального трубопроводного транспорта является необходимость оценки возможных разливов нефти и нефтепродуктов и планирования действий по их предотвращению и ликвидации. Состав сил и средств [3], а также методы и способы [4] локализации и ликвидации таких чрезвычайных ситуаций определяются на основе моделирования возможных разливов, в том числе с применением географических информационных систем [5, 6]

Согласно требованиям [2], разрабатываемые планы основываются на оценке максимально возможного разлива. В случае, когда источником разлива является емкостное оборудование, максимальный объем выхода нефти определяется вместимостью таких резервуаров. При рассмотрении трубопроводной системы необходимо учитывать параметры расхода (производительности), объема трубопровода и его профиль, а также определить место реализации наиболее опасного сценария [2].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Не самая сложная, на первый взгляд, задача требует применения алгоритмического численного решения, так как она связана с анализом больших массивов данных, множеством точек «сопротивлений», а также необходимостью учета диаметра трубопровода.

В качестве исходных данных для такой задачи примем координаты точек сварных швов трубопровода относительно уровня моря в данной точке трассы, а также координаты отсекающих устройств, при помощи которых некоторый участок трубопровода можно герметично отключить от соседних. В задачу данного исследования входит определение координаты точки трубопровода из известного набора, в которой при разгерметизации на данном участке будет наблюдаться максимальный выход в окружающую среду нефти или нефтепродукта.

Для построения алгоритмической модели рассмотрим некоторый участок трубопровода постоянного диаметра, герметично отсекаемого от соседних участков, профиль которого представлен в форме N координат точек сварных швов (рис. 1). Секции между точками сварных швов принимаются линейными, рассматривается сечение сварного шва правильной круглой формы, соответственно, расстояние от нижнего до верхнего сечения соответствует внутреннему диаметру трубопровода.

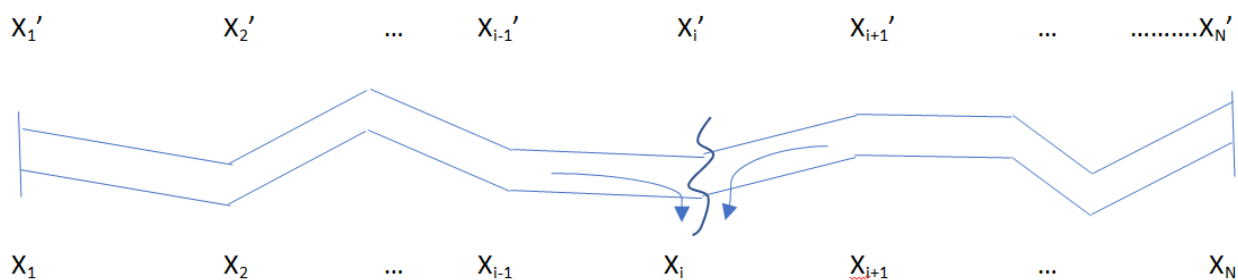


Рис. 1. Произвольный профиль трубопровода постоянного диаметра, где X и X' координаты нижней и верхней точек сечения трубопровода в месте сварного шва соответственно.

Fig. 1. An arbitrary profile of a pipeline of constant diameter, where X and X' are the coordinates of the lower and upper points of the pipeline section at the weld joint, respectively

Разгерметизация трубопровода может произойти в любой его точке, соответственно необходимо рассматривать сток жидкости как справа, так и слева относительно точки разгерметизации при условии, что в точках 1 и N участок трубопровода перекрыт блоками герметичных задвижек.

Примем, что разгерметизация происходит в некоторой точке сечения i . Далее проанализируем возможность истечения жидкости из правого участка трубопровода, учитывая, что аналогичным образом необходимо рассматривать и истечение нефтепродукта из левого участка относительно точки разгерметизации. Истечение из секции трубопровода между точками от $i+1$ до i будет происходить:

- 1) в полном объеме данной секции в том случае, если координата относительно уровня моря $X_{i+1} \geq X_i$;
- 2) частично, если $X_{i+1} < X_i$.

Таким образом, X_i рассматривается как некоторая точка «сопротивления» стоку жидкости из сечения $i+1$ внутренним диаметром D в секции трубопровода длиной L между точками $X_{i+1} - X_i$.

При выполнении условия $X_{i+1} \geq X_i$ для анализа дальнейшей возможности истечения жидкости из сечения $i+2$ точкой «сопротивления» следует считать X_{i+1} , иначе – точкой «сопротивления» остается наиболее высокая из предыдущих точек (в данном случае X_i). Таким образом, производится анализ возможности стока нефти или нефтепродуктов из каждого последующего сечения трубопровода относительно точки «сопротивления» отдельно по каждому направлению: справа (от i до N) и слева (от i до 1) от места разгерметизации. Далее точку «сопротивления» обозначим, как $X_{\max}$

При определении количественного объема стока V из секции трубопровода длиной L и диаметром D в математической модели применяется геометрический анализ объема каждой секции трубопровода:

- 1) если для сечения начала и конца секции выполняются, соответственно условия

$$X_i \geq X_{\max} \text{ и } X_{i+1} \geq X_{\max}, \text{ (рис. 2),} \quad (1)$$

тогда объем жидкости, поступающий из этой секции, будет определяться объемом цилиндра V :

$$V = L\pi D^2/4; \quad (2)$$

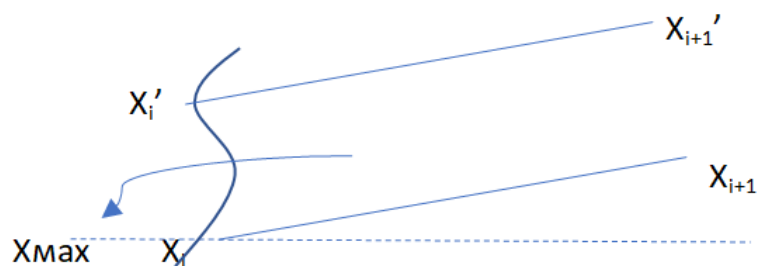


Рис. 2. Секция профиля трубопровода, соответствующая условию (1).

Fig. 2. Section of the pipeline profile corresponding to condition (1).

2) при условии $X_i = X_{\max}$ и $X_{i+1}' = X_{\max}$, (рис. 3) (3)
 объем жидкости, поступающий из этой секции будет определяться, как половина объема цилиндра:

$$V = L\pi D^2/8 \quad (4)$$

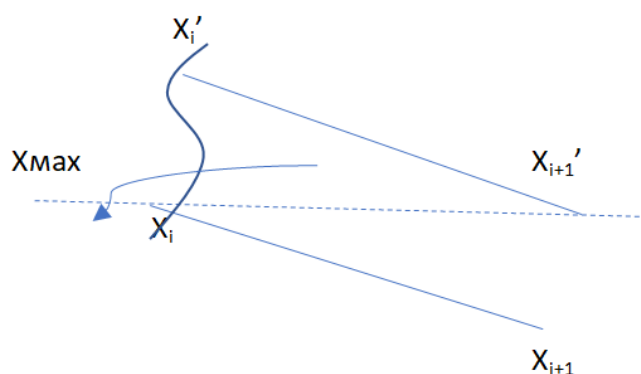


Рис. 3. Секция профиля трубопровода, соответствующая условию (3).

Fig. 3. Section of the pipeline profile corresponding to condition (3).

3) при условии $X_i \leq X_{\max}$ и $X_{i+1}' \leq X_{\max}$, (рис. 4) (5)
 объем жидкости, поступающий из этого участка, будет равен 0.

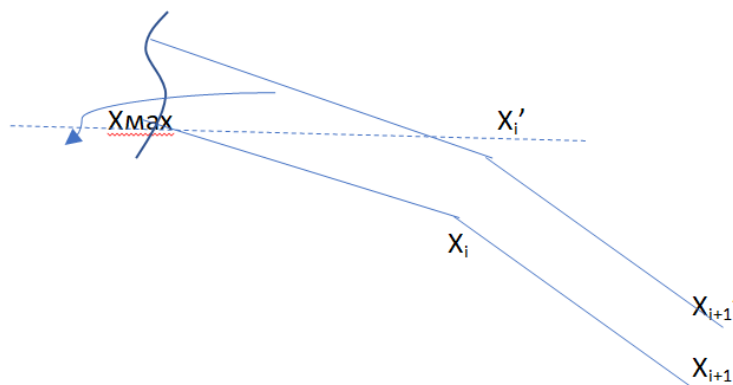


Рис. 4. Секция профиля трубопровода, соответствующая условию (5).

Fig. 4. Section of the pipeline profile corresponding to condition (5).

4) при одновременном выполнении условий:
 $X_i > X_{\max}$; $X_i < X_{\max}$ и $X_{i+1}' > X_{\max}$; $X_{i+1}' < X_{\max}$, (рис.5) (6)

объем жидкости, поступающий из этой секции в общем случае необходимо определять путем интегрирования по длине секции, при этом полагаем, что с достаточной для таких расчетов точностью возможно использовать формулу, учитывающую среднюю величину площади сечения (7):

$$V = L (S_1 + S_2) / 2 \quad (7)$$

Площади сечений S_1 и S_2 для примера на рисунке 5 могут быть определены, как площади сегментов круга, ограниченного хордой с координатой $X_{\max}$:

$$S_1 = \pi R^2 (360 - \alpha_1) / 360 + R^2 \sin(\alpha_1) / 2 \quad (8)$$

$$S_2 = \pi R^2 \alpha_2 / 360 - R^2 \sin(\alpha_2) / 2 \quad (9)$$

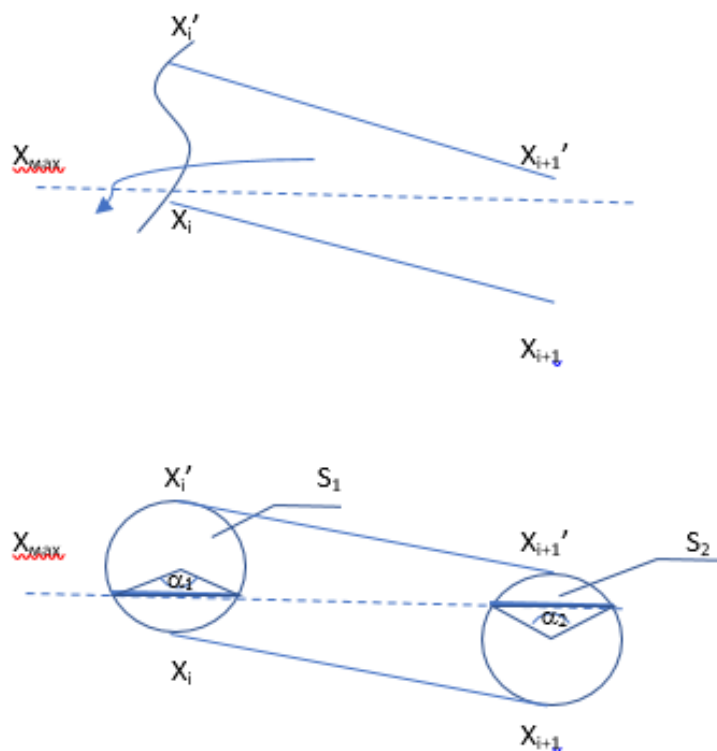


Рис. 5. Секция профиля трубопровода, соответствующая условию (6).

Fig. 5. Section of the pipeline profile corresponding to condition (6).

5) при одновременном выполнении условий:

$$X_{i'} > X_{\max}; X_i \leq X_{\max} \text{ и } X_{i+1'} < X_{\max}; X_{i+1} < X_{\max}, \text{ (рис. 6)} \quad (10)$$

объем жидкости, поступающий из этой секции с учетом принятого выше допущения о замене интегрирования по длине секции средней площадью сечения, можно определить, как

$$V = L_1 S_1 / 2 \quad (11)$$

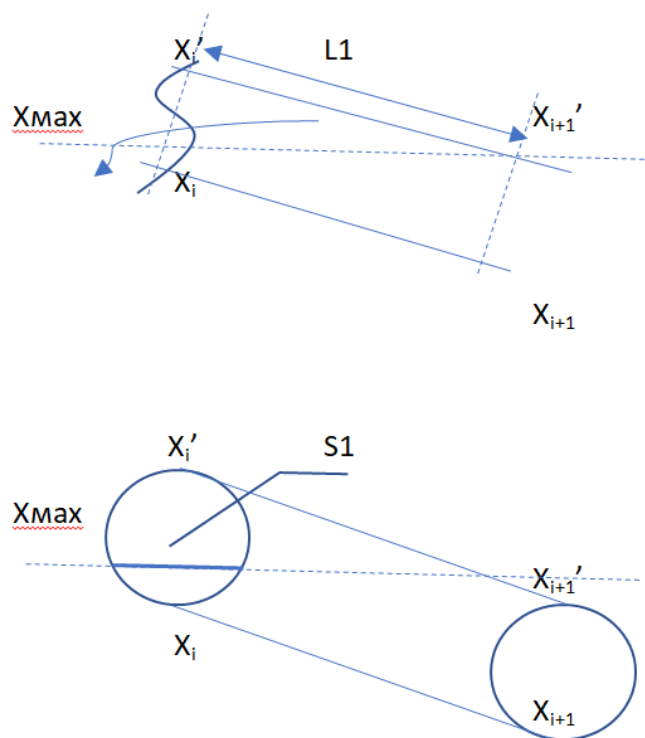


Рис. 6. Секция профиля трубопровода, соответствующая условию (10), где: L1 – длина трубопровода от точки X_i' до точки пересечения проекции трубопровода с осью $X_{\max}$.

Fig. 6. Section of the pipeline profile corresponding to condition (10), where L1 is the length of the pipeline from the point X_i' to the point of intersection of the pipeline projection with the $X_{\max}$ axis.

В связи с принятой линейностью секции трубопровода между сварными швами (между соседними точками X_i и X_{i+1}), длина L1, отсекаемая координатой $X_{\max}$, может быть определена, как:

$$L1 = L (X_{i'} - X_{\max}) / (X_{i'} - X_{i+1}') \quad (12)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общий объем свободного истечения нефти или нефтепродукта из рассматриваемого участка трубопровода (после его отсечения) при разгерметизации по сечению точки i будет суммой всех найденных объемов для секций справа от i до N и слева от i до 1. Аналогичным образом производится расчет в каждой точке разгерметизации от 1 до N , после чего определяется координата точки, в которой объем разлива будем максимальным.

Рассмотренный выше алгоритм позволяет наиболее точно рассчитать объем максимально возможного свободного разлива из трубопровода, чем вариант, когда максимальный объем разлива принимается равным полному объему трубопровода, и соответственно наиболее объективно установить координаты такого возможного максимального разлива, определить необходимые силы и средства для его локализации и ликвидации, а также необходимый объем финансовых ресурсов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS:

The authors declare no conflict of interests.

Список литературы:

1. Челомбитко С.И., Пивень В.В. (2020). Методы оценки загрязнения территорий разливами нефти или нефтепродуктов. *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ.* (2), 140–146. <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2020-2-140-146>
2. Тучкова О.А., Хайруллина Л.И., Хайруллин И.Р., Гасилов В.С. (2022). Нормативно-правовые основы в области предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов: анализ изменений и пути взаимодействия. *Химическая безопасность*, 6(2), 265–278. <https://doi.org/10.25514/CHS.2022.2.23018>
3. Пермяков В.Н., Парфенов В.Г., Александров С.В. (2011). *Готовность к ликвидации аварийных разливов нефти – гарантия обеспечения экологической безопасности системы трубопроводного транспорта нефти. Сборник: Нефть и газ Западной Сибири: материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 55-летию Тюменского государственного нефтегазового университета.* Т.1, Тюмень: ТюмГНГУ, С. 348–350.
4. Гребенщикова Ю. В. (2020). Методы ликвидации аварийных разливов нефти при авариях на магистральных трубопроводах. *Актуальные исследования.* 23(26). 48–50. <https://apni.ru/article/1614-metodi-likvidatsii-avarijnikh-razlivov-nefti>. (дата обращения 20.02.2023)
5. Звягинцева А.В., Яковлев Р.А., Чистяков И.М. (2019). Прогностические модели разливов нефти и нефтепродуктов на водоемах и водотоках с применением географических информационных систем. *В сборнике: Фундаментально-прикладные проблемы безопасности, живучести, надежности, устойчивости и эффективности систем. Материалы III международной научно-практической конференции, посвящённой 110-летию со дня рождения академика Н.А. Пилюгина.* С. 315–320.
6. Баишева А.Р., Сайфутдинова Г.М. (2009). Геоинформационное моделирование аварийного разлива нефти при решении задач трехмерной визуализации чрезвычайных ситуаций на территории резервуарного парка. *В кн. «Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвузовский научный сборник»* Уфа: Уфимский гос. авиационный технический ун-т, С. 109–115.

References:

1. Chelombitko, S.I., & Piven, V.V. (2020). Methods for assessing territory pollution by oil or petroleum product spills. *Oil and Gas Studies.* (2), 140–146. (in Russ.). <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2020-2-140-146>
2. Tuchkova, O.A., Khairullina, L.I., Kgaireullin, I.R., & Gasilov, V.S. (2022). Regulatory framework in the field of prevention and elimination of oil and petroleum product spills: analysis of changes and ways of interaction. *Khimicheskaya Bezopasnost' = Chemical Safety Science*, 6(2), 265–278. (in Russ.). <https://doi.org/10.25514/CHS.2022.2.23018>
3. Permyakov, V.N., Parfenov, V.G., & Alexandrov, S.V. (2011). Readiness to eliminate emergency oil spills is a guarantee of ensuring environmental safety of the oil pipeline transportation system. *Collection: Oil and gas of Western Siberia: Materials of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 55th anniversary of the Tyumen State Oil and Gas University.* V.1; Tyumen: TSOGU, 348–350. (in Russ.)
4. Grebenshchikova, Yu.V. (2020). Methods of liquidation of emergency oil spills in case of accidents on main pipelines. *Actual research.* 23(26). P. 48–50 (in Russ.). <https://apni.ru/article/1614-metodi-likvidatsii-avarijnikh-razlivov-nefti> (accessed 20.02.2023)

5. Zvyagintseva, A.V., Yakovlev, R.A., & Chistyakov, I.M. 2019. Predictive models of oil and petroleum product spills in reservoirs and watercourses using geographic information systems. *In the collection: Fundamental and applied problems of safety, survivability, reliability, stability and efficiency of systems. Materials of the III International Scientific and practical conference dedicated to the 110th anniversary of the birth of Academician N.A. Pilyugin.* 315–320. (in Russ.).
6. Baisheva, A.R., & Sayfutdinova, G.M. (2009). *Geoinformation modeling of an emergency oil spill when solving problems of three-dimensional visualization of emergency situations on the territory of the tank farm.* In: *Geoinformation technologies in the design and creation of corporate information systems: interuniversity scientific collection.* Ufa: Ufa State University, Aviation Technical University, 109–115. (in Russ.).