

УДК 621.643.053

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАССТОЯНИЯ ВЫЛЕТА ОЧИСТНОГО УСТРОЙСТВА ИЗ ТРУБОПРОВОДА ПРИ ВЗРЫВЕ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

¹Чепур П.В., ²Астахов А.М., ¹Тарасенко Д.А.

¹ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, e-mail: chepur@me.com, zuleen@mail.ru;

²ОАО «Сибнефтепровод», Тюмень, e-mail: actax@yandex.ru

В статье рассмотрен случай взрыва паров нефти в газовом пространстве отработавшего нефтепровода при демонтажных огнеопасных работах. Выполнено техническое обоснование дальности вылета поршня при взрыве. Согласно проанализированным данным, выброс очистного устройства произошел из полости магистрального нефтепровода под действием избыточного давления взрыва. Предметом исследования авторов является вопрос дальности вылета очистного устройства относительно трубопровода. Установлено, что расстояние вылета зависит от действия различных факторов, таких, как концентрация и состав взрывоопасной смеси, потенциальная энергия тела поршня (в зависимости от его расположения в полости трубы), сила взаимного трения внутритрубного устройства и стенки трубопровода и др. Авторами статьи предложен расчёт, в котором предпринята попытка определить расстояние, на которое удалится очистное устройство из трубопровода, находящегося в подвешенном состоянии, в случае взрыва. Разработана методика, позволяющая определить параметры взрыва на магистральном нефтепроводе при проведении ремонтных работ и демонтажа с целью предотвращения рисков, связанных с безопасностью обслуживающего персонала. Получены зависимости для усилий и перемещений внутритрубных устройств при взрыве.

Ключевые слова: взрыв, внутритрубное устройство, очистное устройство, давление взрыва, трубопровод, магистральный трубопровод, адиабатическая работа, промышленная безопасность

DISTANCE CALCULATION OF DEPARTURE PURIFICATION DEVICES PIPELINE EXPLOSION IN-GAS MIXTURE

¹Chepur P.V., ²Astahov A.M., ¹Tarasenko D.A.

¹«Tyumen state oil and gas institute», Tyumen, e-mail: chepur@me.com, zuleen@mail.ru;

²«Sibnefteprovod», Tyumen, e-mail: actax@yandex.ru

The article describes the case of oil vapor explosion in a gas pipeline in space spent flammable dismantling works. Achieved technical justification range departure piston explosion. According to the analyzed data, the emission abatement device came out of the cavity under the action of the main oil pipeline explosion overpressure. The subject of our studies is the question of range departure cleaning device respect to the pipeline. Found that the distance of departure depends on various factors such as the concentration and composition of the explosive mixture, the potential energy of the piston body (depending on its location in the cavity of the tube), the force of mutual friction-tube unit and the pipe wall, etc. The authors proposed settlement, which attempts to determine the distance that the cleaning device is removed from the pipeline being in limbo, in the event of an explosion. The technique allows to determine the parameters of explosion on oil pipeline during repair and removal in order to prevent the risks associated with security staff. The dependencies for the forces and displacements in the explosion -tube devices.

Keywords: explosion, pig unit, cleaning device, explosion pressure, pipeline, main pipeline, adiabatic work, industrial safety

При демонтаже отработавшего магистрального нефтепровода произошел взрыв паров нефти в газовом пространстве во время производства сварочных работ. Как правило, к подобным инцидентам приводят нарушения в области промышленной безопасности и охраны труда [12]. Человеческий фактор также может сыграть ключевую роль в возникновении подобной аварийной ситуации. В ходе проведенных расследований инцидента появилась необходимость выполнить техническое обоснование дальности вылета поршня при взрыве. Методика расчета, предложенная авторами, легла в основу данной статьи.

Выброс очистного устройства произошел из полости магистрального нефтепровода под действием избыточного давления взрыва. Подобная ситуация имела место на одном из эксплуатируемых магистральных нефтепроводов.

При анализе взрыва газозвушной смеси в «опорожненном» трубопроводе с присутствием очистного устройства типа поршня-разделителя, поставлена задача определить расстояние, на которое его может вытолкнуть взрывная сила. Это зависит от действия различных факторов, таких, как концентрация и состав взрывоопасной смеси, потенциальная энергия тела поршня (в зависимости

от его расположения в полости трубы), сила взаимного трения внутритрубного устройства (ВТУ) и стенки трубопровода и др. Авторами статьи предлагается расчёт, в котором предпринята попытка

определить расстояние, на которое удалится очистное устройство из трубопровода, находящегося в подвешенном состоянии, в случае взрыва. На рис. 1 – 3 представлена расчетная схема рассматриваемой аварии.

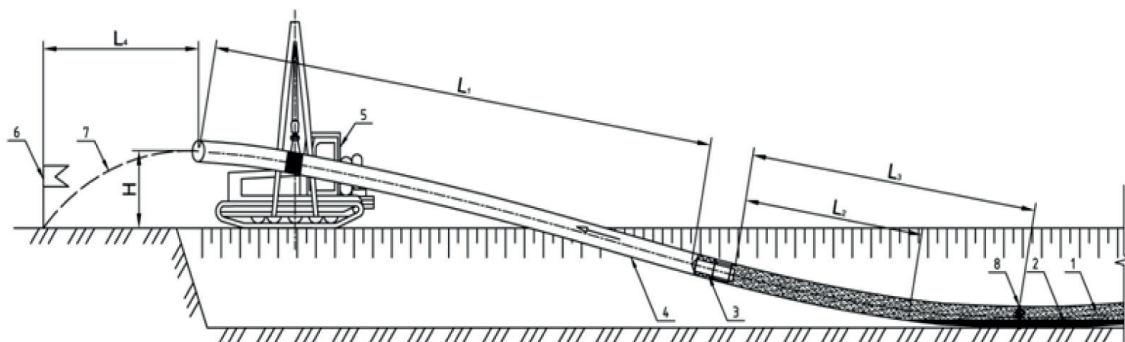


Рис. 1. Расчетная схема (общий вид)

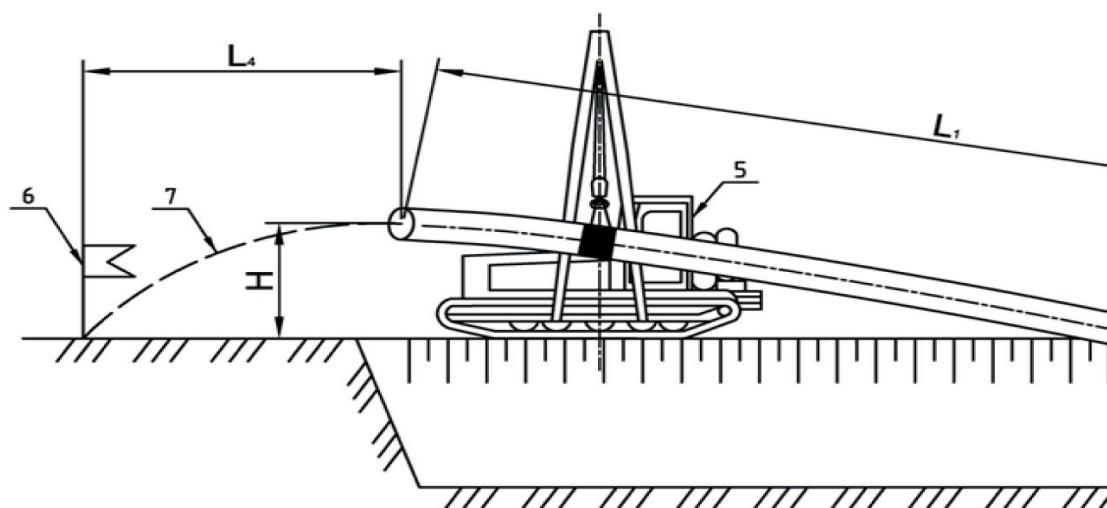


Рис. 2. Расчетная схема (узел вылета ВТУ)

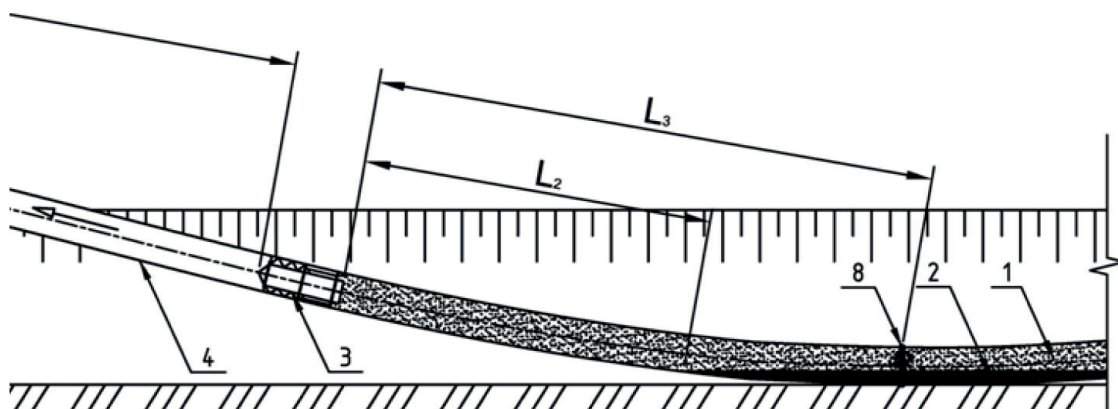


Рис. 3. Расчетная схема (узел эпицентра взрыва)

здесь 1 – взрывоопасная газоздушная смесь;

2 – остатки нефти;

3 – избыточное давление взрыва, оказываемое на очистное устройство, Па.

4 – нефтепровод $d = 1220$ мм;

5 – трубоукладчик;

6 – точка падения внутритрубного устройства;

7 – траектория падения внутритрубного устройства;

8 – место реза трубопровода, эпицентр взрыва;

L_1 – расстояние от начального положения скребка до точки «вылета»;

L_2 – расстояние от начального положения скребка до остатков нефти;

L_3 – расстояние от начального положения скребка до эпицентра взрыва;

L_4 – расстояние от точки «вылета» до точки падения;

H – высота поднятой части трубы относительно отметки земли. Энергия взрыва распространяется во все стороны с одинаковым давлением. Исключив

потери энергии на выделение тепла, можно выразить адиабатическую работу взрыва:

$$A = p \cdot F \cdot L, \quad (1)$$

где L – расстояние, на которое переместилось внутритрубное устройство, м;

F – площадь сечения трубопровода, m^2 ;

p – избыточное давление взрыва, оказываемое на внутритрубное устройство, Па.

Для определения давления взрыва воспользуемся данными [1]. Определим радиус полусферы газового облака приближённым методом для углеводородов:

$$r_0 = 18,5 \cdot \sqrt[3]{0,6 \cdot M_{FX}} \quad (2)$$

где M_{FX} – количество вещества, т.

Давление взрыва определяется по значению коэффициента L_3/r_0 (L_3 – расстояние от эпицентра взрыва до ВТУ):

$$L_3/r_0 = 5,7/1,1 = 5,18. \quad (3)$$

$$M_{FX} = V \cdot C = \pi \cdot R^2 \cdot L_{трубы} \cdot C = 3,14 \cdot 0,61^2 \cdot 135,3 \cdot 2,236 = 353,48 \text{ (т)}$$

$$r_0 = 18,5 \cdot \sqrt[3]{0,6 \cdot 353,48 \cdot 10^{-6}} = 1,1 \text{ (м)}$$

Давление взрыва приближённо равно 40 кПа.

После взрыва очистное устройство развивает определённую скорость, следовательно, обладает кинетической энергией. Помимо этого трубопровод был поднят (от уровня земли до оси трубопровода) на 1,5 м, а значит, поршень также обладает потенциальной энергией:

$$A = K + \Pi = \frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot H \quad (4)$$

$$F'_{дв} = F_{вз} - F_{тр} = p \cdot F - \frac{0,15 \cdot m \cdot g}{\cos \alpha} = 40 \cdot 10^3 \cdot 1,168 - 1669,65 = 45050,35 \text{ (Н)}$$

Затем ВТУ перемещается по воздуху, где на него действует сила сопротивления

Тогда, значение L_4 определяется по формуле:

$$L_4 = \frac{m \cdot v^2 + 2 \cdot m \cdot g \cdot H}{2 \cdot p \cdot F}. \quad (5)$$

Для определения скорости рассмотрим силы, действующие на ВТУ. Сначала ВТУ преодолевает внутреннее пространство трубы (6 метров), следовательно, на него действует сила трения с коэффициентом трения 0,15. Тогда, движущая сила на выходе из трубы будет равна:

$$F''_{дв} = F'_{дв} - F_{сопр} = 45050,35 - 0,6 \cdot 1134 \cdot 9,81 = 38375,626 \text{ (Н)}$$

В последний момент движения ВТУ отрицательное ускорение станет максимальным:

$$F''_{дв} = m \cdot a. \quad (6)$$

Отсюда ускорение $a = 33,841 \text{ м/с}^2$. На момент первой секунды горизонтальная скорость будет равна:

$$\vartheta = \frac{\vartheta_1}{\cos \alpha} = \frac{33,841}{0,9994} = 33,861 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right).$$

Тогда, значение L_4 :

$$L_4 = \frac{1134 \cdot 33,861^2 + 2 \cdot 1134 \cdot 9,81 \cdot 1,5}{2 \cdot 40 \cdot 10^3 \cdot 1,168} = 14,273 \text{ (м)}.$$

В реальных условиях дальность вылета L_4 составила 14,9 метра. Погрешность вычислений (4,21 %) вызвана приближенным выбором и подсчетом ряда коэффициентов, использовавшихся в расчёте.

Выводы

1. Разработана методика, позволяющая определить параметры взрыва на магистральном нефтепроводе при проведении ремонтных работ и демонтажа с целью предотвращения рисков, связанных с безопасностью обслуживающего персонала.

2. Получены зависимости для усилий и перемещений внутритрубных устройств при взрыве.

3. Разработанная методика позволяет определить характеристики опасных зон при выполнении ремонтных и демонтажных работ.

Список литературы

1. ПБ 09–170–97. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. Утверждены Постановлением Госгортехнадзора России от 22.12.97 № 52.
2. Овчар З.Н., Хоперский Г.Г., Тарасенко А.А. Региональные особенности использования покрытий для защиты внутренней поверхности металлоконструкций резервуаров от коррозии // Известия вузов «Нефть и газ». – 1997. – № 6. – С. 130.
3. Семин Е.Е., Тарасенко А.А. Использование программных комплексов при оценке технического состояния и проектировании ремонтов вертикальных стальных резервуаров // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2006. – № 4. – С. 84–87.
4. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах: дис... канд. техн. наук. – Тюмень, 1991. – 254 с.
5. Тарасенко А.А. Разработка научных основ методов ремонта вертикальных стальных резервуаров: дис. докт. техн. наук. – Тюмень, 1999. – 299 с.
6. Тарасенко А.А. Изменение свойств трубных сталей после длительной эксплуатации: Материалы международной науч.–практ. конференции «Нефть и газ: энергосберегающие технологии». – Тюмень, 2001. – С. 36.
7. Тарасенко А.А. Решение контактной задачи об упругом взаимодействии подъемного устройства и стенки резервуара // Известия вузов «Нефть и газ». – 1998. – № 6. – С. 59 – 63.
8. Тарасенко А.А., Матонин Э.Ю. Опыт применения машин безоговорочной резки на действующих объектах при выполнении сварочно-монтажных работ: Материалы международной науч.–техн. конференции «Геотехнические

и эксплуатационные проблемы нефтегазовой отрасли». – Тюмень: ТюмГНГУ. – 2007. – С. 128–130.

9. Тарасенко А.А., Пимнев А.Л. Использование интерполирующих бикубических сплайнов в задаче моделирования несовершенств геометрической формы днища и стенки резервуара // Известия вузов «Нефть и газ». – 2000. – № 6. – С. 76–78.

10. Тарасенко А.А., Пимнев А.Л. Оценка минимальной толщины стенки при диагностике резервуаров в США и России // Известия вузов «Нефть и газ». – 2001. – № 2. – С. 78–82.

11. Тарасенко А.А., Попова Е.В., Красносельских Е.А. Применение численных методов для исследования напряженно-деформированного состояния объектов нефтегазовой отрасли // Вестник УГТУ–УПИ № 11(63): Материалы II Всероссийской науч.–техн. конференции «Компьютерный инженерный анализ». – Екатеринбург: УГТУ, 2005. С. 155–159.

12. Тарасенко А.А., Сильницкий П.Ф., Тарасенко Д.А. Противоречия в современной нормативно-технической базе при ремонте резервуаров // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 (часть 15). – С. 3400–403. URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002342.

13. Тарасенко А.А., Хоперский Г.Г., Саяпин М.В. Исследование возможности применения сварки для ремонта коррозионных повреждений металлоконструкций резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – 1997. – № 6. – С. 129.

14. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В., Тарасенко Д.А. Модель резервуара в среде ANSYSWorkbench 14.5 // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 (ч. 15). – С. 3404–3408. URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002343.

15. Хоперский Г.Г., Саяпин М.В., Тарасенко А.А., Николаев Н.В. Принцип независимости действия сил при расчете напряженно-деформированного состояния стенки резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – 1998. – № 4. – С. 73–77.

References

1. ПБ 09 – 170 – 97. General rules for explosion explosive chemical, petrochemical and refining industries. Approved by the Resolution of Gosgortekhnadzor Russia from 22.12.97 no. 52.
2. Ovchar Z.N., Hoperskij G.G., Tarasenko A.A. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft' igaz – Academic news «Oil and gas», 1997, no. 6, p. 130.
3. Semin E.E., Tarasenko A.A. Pipeline transport: theory and practice, 2006, no. 4, pp. 84 – 87.
4. Tarasenko A.A. Stress – strained state of large – sized tanks during repairs. Candidate technical sciences dissertation. Tyumen, 1991. 254 p.
5. Tarasenko A.A. Razrabotka nauchnyh osnov metodov remonta vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov: dis. doct. tehn. nauk [Development of scientific bases of methods of repair of vertical steel tanks]. Tyumen, 1999. 299 p.
6. Tarasenko A.A. Materialy mezhdunarodnoj nauchno – prakticheskoj konferencii « Neft' igaz: jenergoberegajushhiye tehnologii » (Proceedings of the international scientific – practical

conference «Oil and Gas: Energy Saving Technologies»). Tyumen, 2001, p. 36.

7. Tarasenko A.A. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz – Academic news «Oil and gas», 1998, no. 6, pp. 59 – 63.

8. Tarasenko A.A., Matonin Je.Ju. Materialy mezhdunarodnoj nauchno – tehnicheckoj konferencii «Geotekhnicheskie i ekspluatacionnyye problemy neftegazovoj otrasli» (Proceedings of International Scientific and Technical Conference «Geotechnical and operational problems of oil and gas industry»). Tyumen, 2001, pp. 128 – 130.

9. Tarasenko A.A., Pimnev A.L. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz – Academic news «Oil and gas», 2000, no. 6, pp. 76 – 78.

10. Tarasenko A.A., Pimnev A.L. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz – Academic news «Oil and gas», 2001, no. 2, pp. 78 – 82.

11. Tarasenko A.A., Popova E.V., Krasnosel'skih E.A. Vestnik UGTU – UPI №11(63). Materialy II vserossijskoj nauchno – tehnicheckoj konferencii «Komp'yuternyj inzhenernyj analiz» (Herald USTU number 11 (63). Proceedings of the II All – Russian Scientific and Technical Conference «Computer engineering»). Ekaterinburg, 2005, pp. 155 – 159.

12. Tarasenko A.A., Sil'nickij P.F., Tarasenko D.A.

Fundamental research, 2013, no. 10 part 15, pp. 3400 – 3403.

13. Tarasenko A.A., Hoperskij G.G., Sajapin M.V. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz – Academic news «Oil and gas», 1997, no. 6, p. 129.

14. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V., Tarasenko D.A. Fundamental research, 2013, no. 10 part 15, pp. 3404–3408. URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002343

15. Hoperskij G.G., Sajapin M.V., Tarasenko A.A., Nikolaev N.V. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Neft'igaz – Academic news «Oil and gas», 1998, no. 4, pp. 73–77.

Рецензенты:

Обухов А.Г., д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры «Высшая математика», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Мерданов Ш.М., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Транспортные и технологические системы», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 10.06.2014.