

расчете по Shell 92 наблюдается обратный результат, что может быть вызвано недостаточным объемом исходных данных.

Таблица 1

Результаты расчета MSE

Стандарт	MSE (линейная модель)	MSE (нейронная сеть)	MAE (нейронная сеть)	MSE для CV (нейронная сеть)
B31G	$8,0 \times 10^{-7}$	$3,0 \times 10^{-7}$	$5,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-7}$
B31G mod.	$6,0 \times 10^{-7}$	$2,0 \times 10^{-7}$	$4,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-7}$
RSTRENG	$9,0 \times 10^{-5}$	$4,0 \times 10^{-5}$	$6,0 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-5}$
Shell 92	$2,0 \times 10^{-6}$	$2,0 \times 10^{-7}$	$4,0 \times 10^{-4}$	$3,0 \times 10^{-7}$

Методы машинного обучения в случае решения задач регрессии с использованием нейронной сети позволяют отделить нужную информацию из массива больших данных, выявить отличающиеся коррозионные дефекты и провести дополнительную проверку вычислений ERF с высокой точностью. Применение нейронной сети для решений регрессионной задачи может увеличить достоверность оценки технического состояния магистрального трубопровода и обеспечить правильное обоснование управляющего решения по каждому коррозионному дефекту.

Литература

1. Zelmati D. et al. A probabilistic approach to estimate the remaining life and reliability of corroded pipelines //Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2022. – Т. 99. – С. 104387.
2. Mousavi S. S., Moghaddam A. S. Failure pressure estimation error for corroded pipeline using various revisions of ASME B31G //Engineering Failure Analysis. – 2020. – Т. 109. – С. 104284.
3. Fritsch S., Guenther F., Guenther M. F. Package 'neuralnet' //Training of Neural Networks. – 2019.

**МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ, ПЛАНИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ЭКСПЕРИМЕНТА ВСЛЕДСТВИЕ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ И ВЗРЫВА В РЕЗЕРВУАРАХ  
ХРАНЕНИЯ БЕНЗИНА И ОЦЕНКА РИСКА АВАРИЙ**

**Федорова Т.В.**

Научный руководитель профессор Стрижак П.А.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В большинстве областей научной и практической работы специалиста сильное влияние оказывают теоретические методы изучения разных объектов и процессов в окружающем нас мире. Впрочем, несмотря на относительно высокую эффективность применяемых на практике методов, основанных на физических законах, при рассмотрении конкретных технологических проблем, особенно при условии функционирующего производства, исследователю чаще всего приходится рассматривать задачи, решение которых на практике не представляется возможным без организации и проведения определённых экспериментальных исследований.

Оценка последствий и ущерба от возможных аварий включает описание и определение размеров возможных воздействий на людей, имущество и (или) окружающую среду. При этом оценивают физические эффекты аварийных событий (разрушение технических устройств, зданий, сооружений, пожары, взрывы, выбросы токсичных веществ); уточняют объекты, которые могут подвергнуться воздействиям поражающих факторов аварий; используют соответствующие модели аварийных процессов совместно с критериями поражения человека и групп людей, а также критерии разрушения технических устройств, зданий и сооружений [1].

Критичность аварийных ситуаций для расчета показателей риска включает в себя события техногенные катастрофы. В данной статье не рассматриваются случаи, где происходит частичное разрушение резервуара.

При полном нарушении герметичности резервуара с бензином было составлено «дерево событий» изображённое на рисунке.



Рис. «Дерево событий» при полном нарушении герметичности резервуара с бензином

## СЕКЦИЯ 15. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА

В дальнейшем, с помощью «дерева событий» и заданным количеством резервуаров  $n=6$ , были определены вероятности сценариев аварий.

Принимая во внимание, что легко-воспламеняющаяся жидкость – бензин является стабильной жидкостью при температуре окружающей среды, то расчет количества вещества, фигурирующего в формировании взрывоопасной паровоздушной смеси, принимался равным  $G_{\text{МГН}} = 0$  и  $G'' = 0$ .

Поскольку площадь пролива, рассчитанная для случая разлива на неограниченной поверхности,  $F_{\text{ж}} = 32000, \text{ м}^2$ , больше площади, ограниченной обвалованием  $F_{\text{ж}} = 3000, \text{ м}^2$ , то окончательно принимаем  $F_{\text{ж}} = 3000, \text{ м}^2$ .

Были выполнены расчеты количества паровой фазы, при выбросе в окружающую среду из-за разрушения (потери герметичности) баков с бензином. Определённое расчётным путем. Количество пара, принимающего участие в аварийной ситуации, найдено равным  $m=6385$  кг. Данное значение справедливо использовать только при выбросе стабильной жидкости (в этом случае температура жидкости в аппарате менее температуры кипения при давлении равном атмосферному).

При расчете условной вероятности смертельного исхода  $P(L_j)$ , берется в расчет одна мера негативного воздействия на человека, которая, при это, может вызвать последствия широкого спектра тяжести. Это напрямую зависит от индивидуальных особенностей организма человека, в частности, чувствительности к различным техногенным воздействиям. Иначе можно сказать, что анализ риска несет в себе некий случайный характер и может зависеть не только от самой аварии, но и от «эффекта воздействия» на конкретного человека. Производился расчет параметров поражающих факторов, в том числе определена вероятность летального исхода человека  $P_{L_j}$ . Для этого был вычислен критерий – пробит-функции при взрыве паро-воздушной смеси (поражение ударной волной)  $P_{r.в.}$ , так же критерий – пробит-функция при поражении человека тепловым излучением  $P_{r.п.п.}$ .

Были определены условные вероятности поражения человека ударной волной  $P_{Lв}$  и тепловым излучением от пожара пролива  $P_{Lп.п.}$ .

Амплитуда волны давления паровоздушной смеси при возникновении в открытом пространстве не учитывается при условии зажигания смеси незначительным источником пламени (искрой). В связи с этим образуется процесс пожара-вспышки и возникает максимальное облако продуктов сгорания.

Скорость распространения волны пламени равна  $V_f=200$  м/с, согласно классификации горючего вещества и классификации загроможденности пространства.

Параметр зоны пожара-вспышки – радиус, который ограничен нижним концентрационным пределом распространения пламени (НКПР), равен  $R_{\text{НКПР}}=107$  м.

Первым из рассчитанных показателей риска был потенциальный риск. Определение потенциального риска связано с потенциалом максимального возможного риска для определенного объекта воздействия, фигурирующий в конкретной области. [3] Потенциальный риск выражается формулой 1.

$$RI = P_{\text{в}} \cdot P_{Lв} + P_{\text{о.ш.}} \cdot P_{L\text{о.ш.}} + P_{\text{п.в.}} \cdot P_{L\text{п.в.}}, \quad (1)$$

где  $P_{Lв}$ ,  $P_{L\text{о.ш.}}$ ,  $P_{L\text{п.в.}}$  – условные вероятности смерти людей, вследствие влияния ударная волна предшествующим взрыву, тепловому излучению.

Из-за выявления на всех принятых к расчетам видов аварийных событий в соответствии с «деревом событий» составленных для категории «резервуар с бензином», рассматриваемых выше, средний индивидуальный риск описывается формулой 2, учитывая область ограниченную координатами  $(x, y)$  и вероятность совокупности аварий.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{x,y} RI(x, y) \cdot N(x, y) \cdot f_k}{\sum_{x,y} N(x, y)}, \quad (2)$$

где  $RI(x, y)$  – значение потенциального риска территориально ограниченного координатами  $(x, y)$ ;  $N(x, y)$  – значение количества людей территориально ограниченных координатами  $(x, y)$ ;  $f_k$  – значение вероятности нахождения  $k$ -го человека в исходной точке ограниченной территории.

Для вычисления параметров риска аварий, были разделены территории на 3 зоны:

- участок  $A$  – область склада (численность людей, регулярно живущих в участке  $A - 5$  человек);
- участок  $B$  – область, где находятся садово-дачные участки (численность людей, регулярно живущих в участке  $B$ ,  $n^B = \rho^B \cdot S$ , где  $\rho^B$  – плотность заселения,  $S$  – площадь, где находятся садово-дачные участки);
- участок  $C$  – область в жилой участке (численность людей, регулярно живущих в участке  $C$ ,  $n^B = \rho^B \cdot S$  ( $\rho^B$  – плотность занимаемого жилого участка,  $S$  – площадь жилого участка).

Произведена дифференциация областей  $B, C$  на подучастки (с  $II$  по  $XIII$ ). Деление производилось через каждые 100 м. Численность людей, регулярно живущих в зонах была также определена согласно занимаемой площади  $n^B, n^C$ .

Частично результаты расчетов показателей риска представлены в таблице.

Таблица

**Результаты расчетов показателей риска в зонах**

Зона	Под зона	Расстояние, м	Потенциальный риск			Число человек в зоне	Средний индивидуальный риск, $R$ , 1/год	Коллективный риск, $RN$ , чел/год
			$P_{\text{в.}} \cdot P_{Lв} \cdot 10^6$ , 1/год	$P_{\text{п.в.}} \cdot P_{L\text{п.в.}} \cdot 10^6$ , 1/год	$RI \cdot 10^6$ , 1/год			
A	I	50	6,886	4,62	2,351	5	$2,07 \cdot 10^{-6}$	$1,19 \cdot 10^{-4}$
B	III	500	0,152	0	1,369	57	$4,88 \cdot 10^{-8}$	
C	VIII	1000	0	0	0,194	1193	0	
	XIII	2000	0	0	0,015	4773		

Проведен анализ и оценка опасных факторов в резервуарах хранения бензина. Рассчитаны параметры поражающих факторов и показателей риска. Наиболее экономически эффективным способом развития нефтегазовой отрасли является увеличение объема отдельных резервуаров, следовательно, сокращение аварий, экономии места на территории нефтегазового месторождения и технологических затрат. Но в этих условиях пожар в одном из резервуаров может вызвать каскадное развитие пожара с распространением на весь резервуарный парк и прилегающую территорию. Совершенствование способов предотвращения пожаров в резервуарных парках снизит возникновение опасности для технологического оборудования, обслуживающего персонала и окружающей среды.

#### Литература

1. Калач, А. В. К вопросу о совершенствовании технологии и техники пенного пожаротушения [Текст] / А. В. Калач // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, №1. – С. 75.
2. Кицак, А. И. Влияние нестационарности процесса теплопередачи на эффективность тушения пожара подкласса А1 модулем порошкового пожаротушения [Текст] / А. И. Кицак // Пожарная безопасность. – 2019. – №3. – С. 176.
3. Официальный сайт Ростехнадзора [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosnadzor.ru/>.
4. Швырков, А. С. Нормирование требований пожаробезопасности к геометрическим параметрам ограждений резервуаров типа «стакан в стакане» [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Швырков Александр Сергеевич. – Москва, 2019. – 141 с.
5. Галеев А.Д., Поникаров С. И. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах [Текст] / Галеев А.Д., Поникаров С. И. // Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань, 2017. – С. 152.
6. ГОСТ Р 51105-2020 Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Бензин неэтилированный – Москва: Изд-во стандартов, 2020 – С. 15.

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА РЕМОНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕМОНТНОЙ КОНСТРУКЦИИ В СЛУЧАЯХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ НЕСОВЕРШЕНСТВ ТРУБОПРОВОДА Фролова А.В.

Научный руководитель доцент В.К. Никульчиков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Важной составляющей частью системы снабжения промышленности, энергетики и топлива является трубопроводный транспорт нефти, который включает в себя магистральные трубопроводы – важнейшие и неотъемлемые составляющие топливно-энергетического комплекса нашей страны. На территории России находится разветвленная сеть магистральных нефтепроводов, протяженность которой более 50 тысяч километров.

Поскольку в процессе длительной эксплуатации нефтепровода происходит износ, наступает динамика снижения вязких и пластических свойств металла, предела текучести, ударной вязкости, запаса прочности и как следствие несоответствие механических свойств и нормативных показателей металла, что может привести к нарушению целостности трубопровода. Для обеспечения бесперебойной работы нефтепроводов предприятия проводят диагностические работы и ремонт участков нефтепроводов с дефектами [1].

Одним из рациональных методов ремонта отдельных дефектов без замены участка является ремонт с применением ремонтных конструкций, назначением которых является обеспечение несущей способности нефтепровода и восстановления его ресурса с дефектом в виде вмятины, гофры, потеря металла, трещины и других согласно нормативным документам.

Использование стальных обжимных муфт считается одним из недорогих методов ремонта. Согласно нормативно-технической документацией данной муфтой допускается ремонт трещин с глубиной до 70% от толщины стенки на внешней поверхности трубопровода [2].

Однако на сегодняшний день остается актуальным вопрос об оптимальном положении муфты на участке ремонтируемого нефтепровода, так как трубы и используемые муфты для ремонта имеют расхождения от правильной формы цилиндра. Поэтому в ходе установки ремонтной конструкции на трубопровод появляются зазоры между ними, которые не позволяют создать максимальную разгрузку со стенок ремонтируемого нефтепровода и тем самым могут являться неэффективным методом ремонта.

Для исследования эффективности данного метода ремонта участка нефтепровода была поставлена задача определить допустимое величину зазора между ремонтной конструкцией и трубопроводом. Для этого было необходимо рассчитать напряженно-деформированное состояние трубопровода, определяющее критерии прочности участка нефтепровода с трещиной, определить коэффициент усиления при влиянии геометрических несовершенств в установке.

Решение поставленной задачи проводилось методом конечных элементов, используя программные комплексы Inventor и ANSYS WORKBENCH [3].

Было рассмотрено два варианта использования ремонтной конструкции в виде муфты: с зазором 0,5 мм с трубой и с зазором 3 мм. Данные построение нефтепровода с трещиной и муфтой были смоделированы в программе Inventor в соответствии с исходными данными. В таблице представлены исходные параметры нефтепровода, ремонтная конструкция была сварена с трубой. Приварная обжимная муфта – муфта П2. Размеры муфты и трещины были приняты согласно нормативным документам.