

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нефтехимии
и техногенной безопасности

**Оценка основных характеристик поражающих факторов
и вероятных зон их воздействия
при ЧС на нефтепроводе**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента (ки) 4 курса 441 группы
направления 20.03.01 «Техносферная безопасность»
код и наименование направления, специальности

Института химии

Борзова Владислава Игоревича

Научный руководитель
доцент, к.х.н.

В.З. Угланова

Заведующий кафедрой
профессор, д.х.н., профессор

Р.И. Кузьмина

Саратов 2018

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одним из самых экономически обоснованным видом транспортировки нефти являются магистральные нефтепроводы.

Магистральные нефтепроводы представляют собой сложную систему с множеством узлов, несущих общий источник опасности – нефтепродукт.

Данный способ транспортировки нефти был впервые использован на территории Российской империи в 1878 году на нефтепромыслах в районе Баку. Несмотря на долгую и насыщенную историю использования нефтепроводов, полностью исключить отказы и возникновения аварийных ситуаций не удалось. Аварии приводят к загрязнению окружающей природной среды, к возникновению пожаров, к разрушению зданий и сооружений, травматизму и гибели людей, а так же к значительным материальным потерям. Поэтому важнейшей задачей в обеспечении безопасности эксплуатации нефтепроводов является разработка методов прогнозирования аварий, локализации и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Для правильной разработки методов защиты населения и персонала необходимо уметь прогнозировать возможность возникновения аварии, определять их последствия, рассчитывать опасные факторы, которыми характеризуются аварии с разливом нефти.

В связи с этим **целью работы** является оценка основных характеристик пожарной и взрывной опасностей при аварии на нефтепроводе в заданных условиях и разработка мероприятий по предупреждению их возникновения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- 1) определить и рассчитать параметры, характеризующие поражающие факторы пожарной опасности.
- 2) определить и рассчитать параметры, характеризующие поражающие факторы взрывной опасности.

3) Оценить экологический и экономический ущербы, нанесенные ЧС.

4) Разработать мероприятия по повышению безопасности и снижению риска возникновения ЧС на нефтепроводе.

Раздел 1 Расчетная часть

1.1 Определение количества нефти, которое может быть потеряно при аварии на нефтепроводе

Предположим максимально худший вариант чрезвычайной ситуации, когда происходит полное разрушение нефтепровода или его частичное разрушение. В этом случае, объем вытекшей нефти определяется по формуле:

$$V_{\text{ВЖ}} = 0,01 \cdot P_{\text{н}} \cdot \gamma \cdot t + \frac{\pi D^2}{4} \cdot L = 0,01 \cdot 5 \cdot 0,06 \cdot 3600 + \frac{\pi (0,82)^2}{4} \cdot 6000 \\ = 3177,8 \text{ м}^3$$

где $P_{\text{н}}$ – давление перекачки, 5 МПа;

γ – скорость перекачки нефти, 0,06 м³/с;

t – время перекрытия задвижек, 3600 с ;

D – диаметр трубопровода, 820 мм;

L – длина отрезка между соседними задвижками, 6 км.

1.2 Определение массы нефти, разлившейся при аварии

Зная величину объема, рассчитаем массу потерянных нефтепродуктов, что позволит нам более полно охарактеризовать чрезвычайную ситуацию:

$$m_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} \cdot V = 0,855 \cdot 3177,8 = 2717,02 \text{ т}$$

где, $\rho_{\text{ж}}$ – плотность нефти, 0,855 т/м³.

1.3 Определение площади растекания и толщины слоя разлившейся нефти

Диаметр нефти при свободном растекании рассчитывается по формуле:

$$d = \sqrt{25,5 \cdot V} = \sqrt{25,5 \cdot 3177,8} = 284,66 \text{ м}$$

где V – объём нефти, $3177,8 \text{ м}^3$;

Толщина слоя разлившейся нефти определяется из соотношения:

$$h = \frac{V}{S} = \frac{3177,8}{63641,85} = 0,05 \text{ м}$$

S – площадь растекания нефтепродуктов, м^2 , которая рассчитывается по формуле:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 284,66^2}{4} = 63641,85 \text{ м}^2$$

1.4 Определение массы объема нефти, впитавшейся в грунт

Массу и объем впитавшейся в грунт нефти, можно рассчитать по формулам:

$$M_{\text{вп}} = K_{\text{н}} \cdot V_{\text{гр}} \cdot \rho = 0,16 \cdot 9546,28 \cdot 0,855 = 1305,93 \text{ т.}$$

$$V_{\text{вп}} = K_{\text{н}} \cdot V_{\text{гр}} = 0,16 \cdot 9546,28 = 1527,40 \text{ м}^3$$

где ρ – плотность нефти, $0,855 \text{ т/м}^3$;

$V_{\text{гр}}$ – объем нефтенасыщенного грунта, м^3 ;

$K_{\text{н}}$ –нефтеемкость грунта, $0,16 \%$ [30].

Объем нефтенасыщенного грунта рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{гр}} = S_{\text{гр}} \cdot h_{\text{гр}} = 63641,85 \cdot 0,15 = 9546,28 \text{ м}^3.$$

где $S_{\text{гр}}$ – площадь нефтенасыщенного грунта, равная площади пролива нефти, т.е $63641,85 \text{ м}^2$;

$h_{\text{гр}}$ – средняя глубина пропитки грунта, принимается равной $0,15 \text{ м}$.

1.5 Определение зоны образования взрывоопасных концентраций паров нефти в приземном слое атмосферы

Глубина взрывоопасной зоны вычисляется из соотношения:

$$X_{ин} = \sqrt{\frac{A \cdot i \cdot \tau}{\varphi_{нп}}} = \sqrt{\frac{0,17 \cdot 5,84 \cdot 3600}{0,04}} = 298,91 \text{ м}$$

где $X_{ин}$ – расстояние от источника испарения, м;

A – константа, 0,17;

i – интенсивность испарения, кг/с;

τ – продолжительность испарения, с, 3600 с;

$\varphi_{нп}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени для нефти, кг/м³.

Интенсивность испарения нефти определяется по формуле:

$$i = 10^{-6} \cdot \sqrt{M_H} \cdot P_s \cdot S_{зр} = 10^{-6} \cdot \sqrt{61,525} \cdot 11,7 \cdot 63641,85 = 5,84 \text{ кг/с}$$

где M_H – молярная масса нефти (используется молярная масса бензина, равная 61,525 кг/кмоль, поскольку из пролитой нефти испаряются легкие углеводороды);

P_s – давление насыщенных паров нефти, кПа;

$S_{зр}$ – площадь зоны разлива нефти, м².

Давление насыщенных паров нефти определяется по формуле:

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{\exp[6,908 + 0,0433 \cdot (t_H - 0,924 \cdot t_{всп} + 2,055)]}{1047 + 7,48 \cdot t_{всп}} \\ &= \frac{\exp[6,908 + 0,0433 \cdot (21,4 - 0,924 \cdot (-31) + 2,055)]}{1047 + 7,48 \cdot (-31)} \\ &= 11,7 \text{ кПа} \end{aligned}$$

где t_H – температура нефти, равная температуре окружающей среды, 21,4°С;

$t_{всп}$ – температура вспышки нефти в закрытом тигле, равная минус 31°С.

Полученные данные свидетельствует о том, что часть населенного пункта попадает в зону, подверженную взрыву.

1.6 Определение массы паров нефти, поступившей в окружающую природную среду

Массу паров нефти, поступивших в окружающую среду можно рассчитать по формуле:

$$m_n = w \cdot S_u \cdot T = 1,04 \cdot 10^{-4} \cdot 63641,85 \cdot 3600 = 23827,51 \text{ кг}$$

где w — интенсивность испарения, $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$;

S_u — площадь испарения, принимается равной площади разлива нефти 5024 м^2 ;

T — время испарения нефти, принято равным одному часу, т.е. количеству времени до момента появления источника зажигания.

Интенсивность испарения рассчитывается по формуле:

$$w = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot p_n = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{61,525} \cdot 13,3 = 1,04 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$$

где η — безразмерный коэффициент (принимается равным 1),

M — молярная масса;

p_n — давление насыщенных паров нефти, равное 13,3 кПа.

1.7 Определение зоны опасных давлений ударной волны

Для проведения расчетов радиуса зон опасных значений ударной волны взрыва при сгорании паровоздушных облаков используется следующее выражение:

$$R_i = K_i \cdot \frac{\sqrt[3]{0,45 \cdot m_{\pi}}}{\sqrt[6]{1 + \left(\frac{7066}{m_{\pi}}\right)^2}} = 3,8 \cdot \frac{\sqrt[3]{0,45 \cdot 23827,51}}{\sqrt[6]{1 + \left(\frac{7066}{23827,51}\right)^2}} = 82,63 \text{ м}$$

Результаты проведенных расчетов отражены в таблице 8.

Результаты расчетов, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов по определению размеров зон избыточного давления всех классов

№ п/п	Зоны избыточного давления всех классов	Радиус, м
1	Зона полного разрушения (> 100 кПа), $K=3,8$	82,63
2	Зона 50%-го разрушения сооружений (53 кПа), $K=5,6$	121,77
3	Зона разрушения без обрушений (28 кПа), $K=9,6$	208,75
4	Зона умеренного разрушения сооружений (12 кПа), $K=28$	608,85
5	Зона повреждения около 10 % остекления (5 кПа), $K=50$	1087,24

1.8 Определение зоны опасного теплового воздействия для людей и зданий

Опасные значения теплового воздействия для людей принимаются свыше 1400 Вт/м^2 , для зданий свыше 7500 Вт/м^2 .

Плотность теплового потока принимается равной 80 кВт/м^2 .

Глубина зоны опасного теплового излучения согласно определяется по формуле:

$$x = 33 \cdot \ln\left(1,25 \cdot \frac{Q_0}{q}\right),$$

где x – глубина зоны опасного теплового излучения, м;

Q_0 – тепловой поток на поверхности факела пламени, кВт/м^2 ;

q – тепловой поток, опасный для зданий, сооружений и людей, находящихся вне здания и укрытий, кВт/м^2 .

Глубина зоны опасного теплового излучения для людей составляет:

$$x = 33 \cdot \ln\left(1,25 \cdot \frac{8000}{1400}\right) = 141 \text{ м.}$$

Глубина зоны опасного теплового излучения для зданий и сооружений составляет:

$$x = 33 \cdot \ln\left(1,25 \cdot \frac{8000}{7500}\right) = 85,5 \text{ м.}$$

При пожаре разлива нефти тепловые зоны будут повторять форму зон разлива нефти. Зоны опасного теплового воздействия не достигают границ населенного пункта.

1.9 Определение горизонтальных размеров зон, ограничивающих газопаровоздушные смеси с концентрацией горючего выше НКПР пламени, при аварии с разливом нефти

Размеры зон, ограниченных НКПР газов и паров определяются по соотношениям:

$$X_{\text{НКПР}} = Y_{\text{НКПР}} = 3,2 \cdot \sqrt{K} \cdot \left(\frac{P_{\text{н}}}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot P_{\text{п}}} \right)^{0,33}$$

$$= 3,2 \cdot \sqrt{1} \cdot \left(\frac{13,3}{1,1} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{23827,51}{2,55 \cdot 13,3} \right)^{0,33} = 204,4 \text{ м}$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,12 \cdot \sqrt{K} \cdot \left(\frac{P_{\text{н}}}{C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot P_{\text{п}}} \right)^{0,33}$$

$$= 0,12 \cdot \sqrt{1} \cdot \left(\frac{13,3}{1,1} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{23827,51}{2,55 \cdot 13,3} \right)^{0,33} = 7,7 \text{ м}$$

где m- масса паров легковоспламеняющейся жидкости, поступивших в открытое пространство за время полного испарения, 23827,51 кг;

$\rho_{\text{п}}$ – плотность паров нефти при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м³;

$P_{\text{н}}$ – давление насыщенных паров нефти при расчетной температуре, кПа;

K – коэффициент ($K = \frac{T}{3600}$ для ЛВЖ);

T – продолжительность поступления паров нефти в открытое пространство, 3600 с;

$C_{\text{НКПР}}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени паров нефти, 1,1 % (об.).

Плотность паров нефти при расчетной температуре:

$$\rho_n = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_1)} = \frac{61,525}{22,4 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 21,4)} = 2,55 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

где М – молярная масса, кг/кмоль;

V_0 – мольный объем (равен 22,4 м³/кмоль);

t_1 – расчетная температура, °С (расчетная температура принимается равной 21,4 °С).

Граница зоны, ограниченной НКПР по горизонтали будет проходить на расстоянии 204,4 м от места дефекта на трубопроводе, а по вертикали на высоте 7,7 м от поверхности земли.

1.10 Определение избыточного давления и импульса волны давления

Величина избыточного давления, развиваемого при сгорании газопаровоздушных смесей вычисляется по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_0 \cdot \left(0,8 \frac{m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + 3 \frac{m_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + 5 \frac{m_{\text{пр}}}{r^3} \right) \\ &= 101,3 \cdot \left(0,8 \frac{22667,76^{0,33}}{730} + 3 \frac{22667,76^{0,66}}{730^2} + 5 \frac{22667,76}{730^3} \right) \\ &= 3,5 \text{ кПа} \end{aligned}$$

где p_0 – атмосферное давление, $p_0=101$ кПа;

r – расстояние от центра газопаровоздушного облака до ближайшего объекта, $r = 730$ м;

$m_{\text{пр}}$ – приведенная масса паров, кг;

Приведенная масса паров нефти определяется по формуле:

$$m_{\text{пр}} = m_n \cdot z \cdot \frac{Q_{\text{сг}}}{Q_0} = 23827,51 \cdot 0,1 \cdot \frac{4,3 \cdot 10^7}{4,52 \cdot 10^6} = 22667,76 \text{ кг}$$

где $Q_{\text{сг}}$ – удельная теплота сгорания пара, $= 4,3 \cdot 10^7$ кДж/кг;

Q_0 – константа, равная $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг;

$m_{\text{п}}$ – масса паров нефти, поступивших в результате аварии в окружающее пространство, кг;

Z – коэффициент участия паров в горении, $Z = 0,1$

Величина импульса волны давления:

$$i = 123 \cdot \frac{m_{\text{п}}^{0,56}}{r} = 123 \cdot \frac{22667,76^{0,56}}{730} = 126,2 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Данные свидетельствуют о том, что величина избыточного давления, развиваемого при сгорании газопаровоздушных смесей выше безопасных величин. При возникновении рассмотренной аварии существует угроза для жителей населенного пункта.

Раздел 2 Эколого-экономический ущерб

2.1 Определение размера компенсационных выплат за загрязнение земель

Ущерб от загрязнения земель нефтью определяется по формуле:

$$Y_{\text{з}} = \text{КП} \cdot \text{К}_{\text{и}} \cdot \text{Н}_{\text{с}} \cdot S_{\text{гр}} \cdot \text{Кэ}(i) \cdot \text{КВ} \cdot \text{К}_{\text{г}}$$

где $Y_{\text{з}}$ – платы за ущерб от загрязнения земель нефтепродуктами, руб.;

КП – коэффициент перерасчета по восстановлению сельскохозяйственных земель, зависящий от времени года, $\text{КП}=2,5$;

$\text{К}_{\text{и}}$ – коэффициент индексации платы за загрязнение окружающей среды в связи с изменением уровня цен на природоохранные мероприятия и строительство, принимается равным 85;

$\text{Н}_{\text{с}}$ – норматив стоимости сельскохозяйственных земель, руб/м², 0,21;

$S_{\text{гр}}$ – площадь нефтенасыщенного грунта, м² , 63641,85;

$\text{Кэ}(i)$ – коэффициент и экологической значимости территории экономического района, равно 1,9;

КВ – коэффициент в зависимости от степени загрязнения земель нефтью, $\text{КВ}=1,5$;

K_z – коэффициент пересчета в зависимости от глубины загрязнения земель, равно 1.

$$Y_z = 2,5 \cdot 85 \cdot 0,21 \cdot 63641,85 \cdot 1,9 \cdot 1,5 \cdot 1 = 8\,094\,050 \text{ руб.}$$

2.2 Определение размера компенсационных выплат за загрязнение атмосферного воздуха

Расчет ущерба от выбросов паров нефти в атмосферу выполняется по формуле:

$$Y_a = 5 \cdot K_n \cdot C_a \cdot M_{н.в}$$

где K_n – коэффициент индексации платы за загрязнение окружающей среды в связи с изменением уровня цен на природоохранные мероприятия, составляет 85 ;

C_a – ставка платы за выброс одной тонны углеводородов в атмосферу в пределах установленного лимита, 129,4 руб/т;

$M_{н.в}$ – масса испарившихся углеводородов нефти, т, составляет 23827,51 кг

Ущерб считается как сверхлимитный выброс, по этому используется коэффициент равный 5.

Ставка платы определяется по формуле:

$$C_a = H_{ба} \cdot K_{эв}$$

где $H_{ба}$ – базовый норматив платы за выброс одной тонны углеводородов в атмосферу в пределах установленного лимита, руб/т; $H_{ба}=64,7$ руб/т [29],

$K_{эв}$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферы в данном регионе, для Саратовской области $K_{эв}= 2,0$.

$$C_a = 64,7 \cdot 2,0 = 129,4 \text{ руб/т}$$

$$Y_a = 5 \cdot 85 \cdot 129,4 \cdot 23,82751 = 1\,310\,365 \text{ руб.}$$

Суммарный экологический ущерб определяется как сумма выплат за загрязнение земель и атмосферы:

$$Y_{\text{экол}} = Y_z + Y_a,$$

$$Y_{\text{экол}} = 8\,094\,050 + 1\,310\,365 \text{ руб.} = 9\,404\,415 \text{ руб.}$$

Таким образом, суммарный экологический ущерб от загрязнения окружающей природной среды, при аварии на магистральном нефтепроводе составит 9,405 млн. рублей.

2.3 Расчет экономического ущерба от чрезвычайной ситуации

2.3.1 Расчет экономического ущерба от безвозвратных потерь нефти

Ущерб от безвозвратных потерь нефти определяется по формуле:

$$Y_{\text{б.п}} = M_{\text{б.п}} \cdot C_{\text{тон}} = 2717,02 \cdot 11935,71 = 32\,429\,562 \text{ руб.}$$

где $M_{\text{б.п}}$ – масса безвозвратно потерянной нефти, 2717,02 т;

$C_{\text{тон}}$ – цена одной тонны нефти, 11935,71 руб/т.

Экономический ущерб от прямых потерь нефти составляет 32 429 562 рублей.

2.3.2 Расчет экономического ущерба из-за неиспользованных мощностей нефтепровода

Ущерб от вынужденного простоя магистрального нефтепровода определяется по формуле:

$$Y_{\text{простоя}} = (K \cdot E + A) \cdot Q_{\text{тр}} \cdot t = (47,7 \cdot 1,3 + 43) \cdot 2778 \cdot 10 = 2\,917\,177 \text{ руб.}$$

где K – удельные капитальные вложения в тонну перекачиваемой нефти, руб/т, принимается 47,7 руб/т;

E – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений в транспортировку нефти, принимается 1,3;

A – удельные эксплуатационные расходы, руб/т, принимается 43 руб/т ;

$Q_{\text{тр}}$ – расход нефти по простаивающему участку трубопровода, составляет 2778 т/ч;

t – время простоя трубопровода, ч (принимается 10 ч).

Таким образом, суммарный экономический ущерб составит:

$$Y_{\text{экон}} = Y_{\text{б.п}} + Y_{\text{простоя}} = 32\,429\,562 + 2\,917\,177,8 = 35\,346\,739,8 \text{ руб.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных расчетов сделаны следующие выводы:

1. Установлены и рассчитаны параметры, характеризующие пожарную опасность. Найдено, что: размеры зон, ограниченных НКПР газов и паров горизонтали будут проходить на расстоянии 204,4 м от места разрушения трубопровода, а по вертикали на высоте 7,7 м от поверхности земли

2. Установлены и рассчитаны параметры, характеризующие взрывную опасность. Показано, что, при заданных исходных условиях, поражающие факторы достигают границ населенного пункта: $R=609$ м – зона

умеренных разрушений, повреждение внутренних перегородок, рам, дверей ,
R=1087 м – зона повреждения около 10% остекления.

3. Суммарный экологический ущерб, возникший от загрязнения земель, атмосферного воздуха, составил 9 404 415 руб.

4. Суммарный экономический ущерб от безвозвратных потерь нефти и неиспользованных мощностей нефтепровода составил 35 346739 руб.

5. Разработаны мероприятия по повышению безопасности объекта и снижения риска возникновения ЧС на нефтетрубопроводе: создание собственных формирований; организация производственного контроля за соблюдением безопасности; создание системы обнаружения разливов нефти; защита персонала и населения.