

*В.Ю. Беляев, преподаватель, НУГЗУ,
А.М. Яковлев, к.т.н., доцент, преподаватель, НУГЗУ*

НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ЭВАКУАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ В СЛУЧАЕ УГРОЗЫ АВАРИИ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

(представлено д-ром техн. наук Соловьев В.В.)

Предложена процедура нахождения оптимального маршрута эвакуации населения в случае угрозы поражения опасными химическими веществами (ОХВ). Реализована процедура расчета вероятности токсического поражения при авариях на предприятиях химической и нефтехимической промышленности, с учетом перемещения человека по местности с различным рельефом.

Ключевые слова: эвакуация населения, маршруты эвакуации, токсическая доза (далее по тексту – токсодоза), опасные химические вещества.

Постановка проблемы. На территории Украины размещены более 1,5 тыс. химически опасных объектов, деятельность которых связана с производством, использованием, хранением и транспортировкой ОХВ, а в зонах их размещения проживает более 22,0 млн. человек.

Наиболее сложной задачей при оценке степени риска промышленных объектов является определение степени риска от воздействия токсического вещества на человека при авариях.

Одним из основных путей уменьшения человеческих потерь в случае выброса ОХВ является эвакуация населения из зон возможного воздействия поражающих факторов [1,2]. В то же время, масштабность зоны поражения и ее динамический характер приводят к возможности нанесения ущерба здоровью людей непосредственно во время проведения эвакуации.

Одним из факторов, влияющих на эффективность проведения эвакуации, является выбор маршрутов эвакуации (которые являются составной частью плана эвакуации). При этом для быстроразвивающихся техногенных ЧС (в частности химических выбросов) заблаговременное определение пути эвакуации возможно лишь при дополнительных предположениях о метеорологических условиях и об объеме выброса [3]. Альтернативой плану эвакуации может стать оперативный план эвакуации населения, который должен разрабатываться в режиме реального времени на основе текущей информации о ходе развития ЧС. Наличие такого плана способно значительно повысить эффективность процесса эвакуации.

Анализ последних исследований и публикаций. Существуют различные методики оценки последствий аварий на химически опасных объектах. На сегодняшний день существует несколько методик, позволяющих оценить токсическое поражение человека при аварии (ОНД-86, ТОКСИ, РД-03-26-2007 и т.д.), представленных в работах [4-6]. Однако данные методики не рассматривают действие ОХВ на человека при движении в зоне аварии, что противоречит реальной действительности.

Анализ литературы показал, что на сегодняшний день отсутствуют исследования поведения человека в аварийных ситуациях на производственных объектах для оценки токсических воздействий, проявляющихся в процессе развития аварий на химических и нефтехимических объектах. Вследствие этого, применяя существующие методики, полученные значения риска поражения человека токсическими веществами, как правило, завышены, а так же не учитываются при выборе пути эвакуации. Поэтому нахождение оптимальных (по критерию минимума токсодозы) маршрутов эвакуации, является на сегодняшний день актуальной задачей.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является отыскание оптимальных (по критерию минимума токсодозы) маршрутов эвакуации населения.

Имеются два основных способа наземной эвакуации – пешая (индивидуальная и организованная в виде пешей колонны) и с помощью автотранспорта. Будем различать собственно эвакуацию, когда эвакуируемые лица перевозятся автосредством в качестве пассажиров, и самоэвакуацию, которую осуществляют пешие эвакуируемые.

В общем случае скорость эвакуации V зависит от собственной скорости эвакуации v_T , определяемой способом эвакуации (ТТХ автосредства в случае эвакуации автотранспортом), типа поверхности, по которой осуществляется движение (грунтовые или шоссейные дороги, бездорожье, непроходимые препятствия). При эвакуации автотранспортом необходимо учитывать особенности вдоль маршрута L эвакуации (извилистость и пропускную способность дороги). И для пешей, и для транспортной эвакуации необходимо учитывать влияние рельефа $Z(x, y)$ вдоль маршрута L движения. При пешей эвакуации имеет место снижение скорости движения со временем t . Кроме того, в случае самоэвакуации имеет место зависимость скорости эвакуации от ингаляционной токсодозы C . Таким образом, скорость эвакуации

$$V = f(v_T, x, y, L, Z(x, y), t, C). \quad (1)$$

Ингаляционная токсодоза C в точке (x, y, z) за время экспозиции T

$$C(x, y, z, T) = \int_0^T q(x, y, z, t) dt, \quad (2)$$

где $q(x, y, z, t)$ – динамическое поле концентрации ОХВ.

Для реализации процедуры нахождения оптимального маршрута (по критерию минимума токсодозы) необходимо найти величину токсического поражения человека, эвакуирующегося вдоль этого маршрута. Для этого используем методику [7].

Методика определения вероятности токсического поражения представляет собой пошаговый расчет. Так по пути движения человека находим концентрацию токсического вещества. По значениям концентрации вещества вычисляем токсодозу по формуле (2).

После каждого шага находится суммарная токсодоза, определяемая как сумма всех токсодоз, полученных после каждого шага. Токсодоза суммируется, так как можно принять, что вещество обладает свойством кумулятивности, за счет относительно небольшого времени пребывания человека в облаке ОХВ и непрерывного нахождения в нем. Из значений токсодозы вычисляют пробит-функцию, затем находят вероятность поражения. Из численных значений вероятности поражения можно судить о величине токсического поражения. Маршрут эвакуации выбирается из расчета минимальной вероятности поражения эвакуируемых при движении вдоль маршрута.

При моделировании аварийной ситуации заключающейся в разгерметизации трубопровода с разливом окиси этилена (C_2H_4O) на участке местности, с последующим образованием паровоздушного облака и распространением этого облака на некоторой территории автором работы [7] произведен расчет токсической дозы полученной персоналом при различных путях эвакуации. Расчет токсической дозы производился при существующих и рекомендуемых путях эвакуации.

В табл. 1 представлены расчеты токсической дозы, получаемой персоналом при двух вариантах эвакуации.

Табл. 1. Существующий вариант траектории движения человека (траектория 1)

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Пройденное расстояние, м | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Токсодоза, гр·сек·м ⁻³ | 14 | 46 | 107 | 154 | 203 | 239 | 267 | 297 | 320 | 340 |

Предлагаемый вариант траектории движения человека (траектория 2)

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Пройденное расстояние, м | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Токсодоза, гр·сек·м ⁻³ | 14 | 34 | 39 | 46 | 75 | 108 | 113 | 114 | 115 | 115 |

В случае эвакуации по предлагаемой траектории (траектория 2) человек получает токсической дозы на 66 % меньше, чем в случае эвакуации по существующей траектории (траектории 1).

Картина распространения окиси этилена, полученная при помощи применения программного пакета Fluent, представлена на рис. 1.

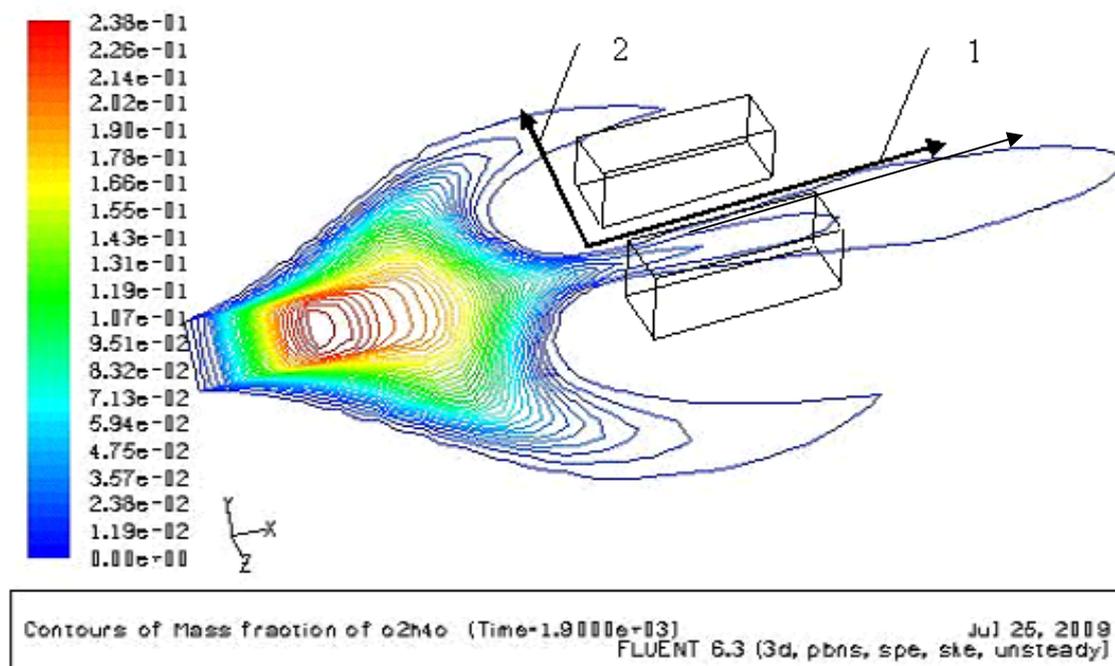


Рис. 1. Схема расположения зданий и распространения облака окиси этилена. 1, 2 – направления эвакуаций персонала

Расчет токсического поражения представлен в табл. 2.

Табл. 2. Существующий вариант траектории движения человека (траектория 1)

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Пройденное расстояние, м | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Токсодоза, гр·сек·м ⁻³ | 4 | 15 | 25 | 34 | 42 | 50 | 56 | 60 | 63 | 62 |

Предлагаемый вариант траектории движения человека (траектория 2)

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Пройденное расстояние, м | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Токсодоза, гр·сек·м ⁻³ | 4 | 15 | 18 | 20 | 24 | 26 | 28 | 31 | 32 | 32 |

В случае эвакуации по предлагаемой траектории (траектория 2) человек получает токсическую дозу на 50 % меньше, чем в случае эвакуации по существующей траектории (траектория 1).

На рис. 1 показаны траектории движения персонала при эвакуации. 1 – существующая траектория, 2 – предлагаемая траектория

евакуації персонала.

В роботі [7] приведено чисельний аналіз аварії і токсичного поразення персонала в резервуарному парку, входящого в склад ОАО «Татнефтегазпереработка» (рис. 2).

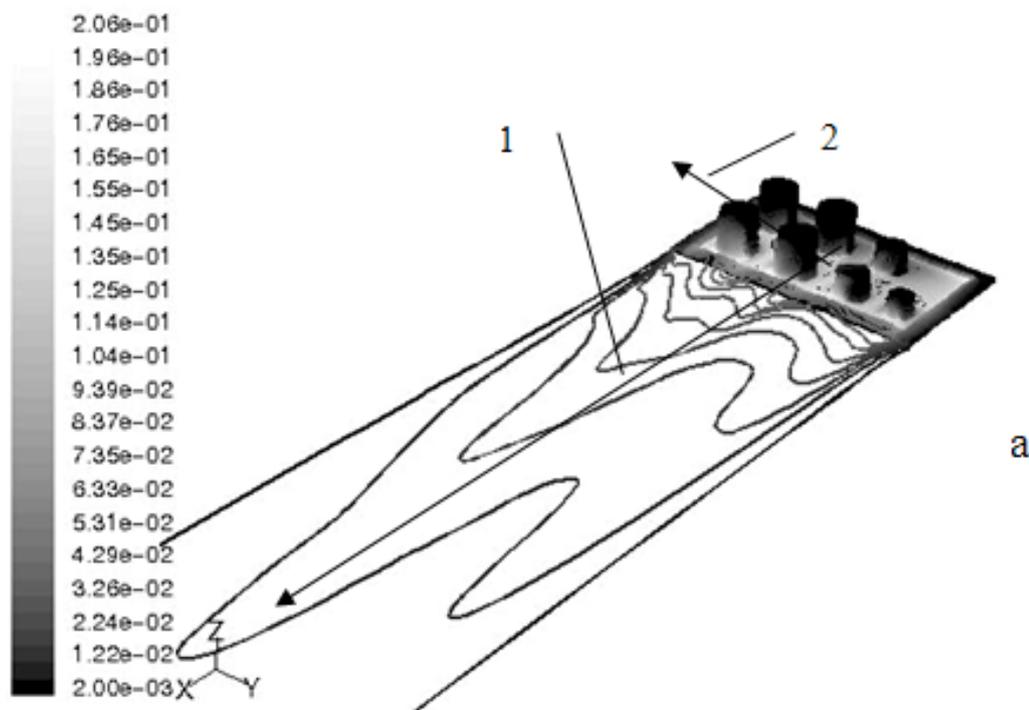


Рис. 2. Схема розташування будівель і розповсюдження хмари бензину. 1, 2 – напрямки евакуації персонала

Також в роботі [7] автором проводився чисельний аналіз аварії на території цеху ОАО «Казанський завод синтетичного каучука». Визначалась токсодоза сероводорода, отримана персоналом в результаті аварійного проливу токсичного речовини при різних варіантах евакуації (рис. 3).

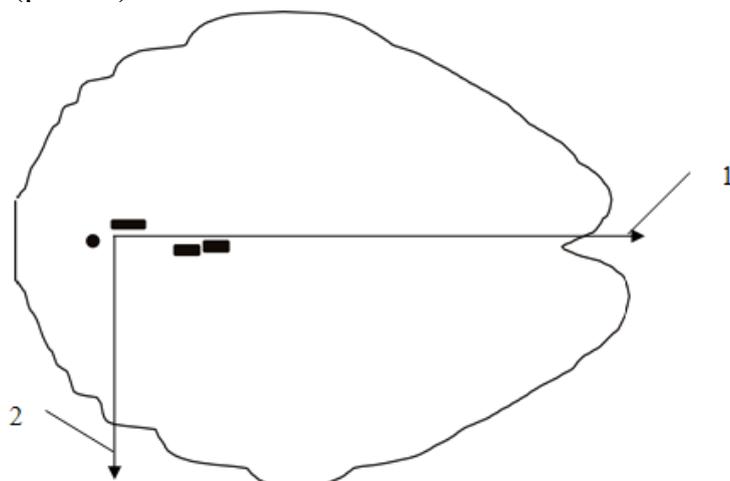


Рис. 3. Ізолінії концентрації сероводорода в момент часу $t=1000$ с. 1, 2 – напрямки евакуації персонала

Расчет токсической дозы, проведенный по аналогии, представлен в табл. 3.

Табл. 3. Существующий вариант траектории движения человека (траектория 1)

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Пройденное расстояние, м | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Токсодоза, гр·сек·м ⁻³ | 6 | 17 | 23 | 36 | 52 | 63 | 74 | 85 | 93 | 95 |

Предлагаемый вариант траектории движения человека (траектория 2)

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Пройденное расстояние, м | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Токсодоза, гр·сек·м ⁻³ | 6 | 17 | 22 | 28 | 32 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 |

В случае эвакуации по предлагаемой траектории (траектория 2) вероятность токсического поражения человека составляет 60 %, а в случае эвакуации по существующей траектории (траектории 1) вероятность токсического поражения составляет 100 %. Таким образом, вероятность токсического поражения человека покидающего зону поражения по предлагаемой траектории на 40 % меньше, чем в случае эвакуации по существующей траектории.

Данные, полученные в работе [7], могут быть использованы при нахождении оптимального маршрута эвакуации из зоны действия поражающих факторов ОХВ.

Достоинством предлагаемой процедуры является возможность ее реализации в рамках ГИС (при наличии электронных карт местности), что обеспечивает оперативность нахождения оптимального маршрута эвакуации.

Выводы. Анализ литературы продемонстрировал отсутствие исследований, которые позволяют найти оптимальные маршруты эвакуации (по критерию минимума токсодозы, получаемой человеком во время движения). Поэтому проблема является актуальной и требует решения. Предложена процедура нахождения оптимального маршрута эвакуации населения в случае угрозы поражения опасными химическими веществами с возможностью ее реализации в рамках ГИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Про затвердження Порядку проведення евакуації у разі загрози виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру: постанова Кабінету Міністрів України від 30 жовтня 2013 р. № 841 // Офіційний вісник України. – 2013. – № 92, 6 грудня. – С. 23. – (Бібліотека офіційних видань).

2. Україна. Закони. Кодекс цивільного захисту України: закон України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI // Відомості Верховної Ради (ВВР) України. – 2013. – № 34-35. – С.458. – (Бібліотека офіційних видань).

3. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. Учебное пособие / Под ред. Фалеева М.И. – Калуга: ГУП «Облиздат», 2001. – 259 с.

4. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86). Методическое пособие / [Госкомгидромет]. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 25 с.

5. Методика оценки последствий химических аварий (Методика «Токси-2.2», утв. НТЦ "Промышленная безопасность", согл. Госгортехнадзором России) в сборнике «Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах»: Сборник документов. Серия 27. – Выпуск 2 / Колл. авт. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2002. – 208 с.

6. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ (РД-03-26–2007): приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 декабря 2007. – № 859, 2008. – 65 с.

7. Хабибуллин И.И. Определение риска токсического поражения при авариях на химически опасных объектах: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность по отраслям» / И.И. Хабибуллин. – Казань, 2011. – 20 с.

В.Ю. Беляев, О.М. Яковлев

Знаходження оптимального маршруту евакуації населення у разі загрози аварії на хімічно небезпечних об'єктах

Запропонована процедура знаходження оптимального маршруту евакуації населення у разі загрози ураження небезпечними хімічними речовинами (ОХВ). Реалізована процедура розрахунку ймовірності токсичного ураження при аваріях на підприємствах хімічної та нафтохімічної промисловості, з урахуванням переміщення людини по місцевості з різним рельєфом.

Ключові слова: евакуація населення, маршрути евакуації, токсична доза (далі по тексту - токсодоза), хімічно небезпечні речовини.

V.Yu. Belyaev, A.M. Yakovlev

Finding the optimal route for the population evacuation in the case of a threat of an accident on chemically dangerous objects

It is proposed the procedure for finding the optimal route for the evacuation of the population in the case of a threat of destruction of hazardous chemicals (DHC). It is implemented the procedure for calculating the probability of toxic damage in case of accidents at the enterprises of chemical and petrochemical industry, the movement of a person in areas with different terrain.

Keywords: evacuation, evacuation routes, toxic dose (hereinafter - toxodeth), chemically hazardous substances.