УДК 614.84

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ALOHA В ОЦЕНКАХ ПОЖАРНОГО РИСКА

APPLICATION OF ALOHA SOFTWARE IN FIRE RISK ASSESSMENTS

Ж.Н. Саласар, А.К. Чибас, А.В. Краснов, Ю.А. Гарсия, Л.Г. Абреу

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация

Joel N. Salazar, Aryatna C. Chibas, Anton V. Krasnov, Yunieski A. Garcia, Lazaro G. Abreu

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation

e-mail: salazarnoriega1987@gmail.com

Аннотация. Нефтяная промышленность, несомненно, является одной из наиболее уязвимых к возникновению пожаров. В первую очередь, высокая пожарная опасность данной отрасли определяется большим количеством горючих веществ, которые обращаются в технологическом процессе.

По этой причине эксперты в области управления рисками пожара в последние годы сосредоточили свои исследования на поиске компьютерных инструментов, позволяющих достичь большей точности и скорости предупредительных мероприятий.

Большая часть программного обеспечения, которое в настоящее время существует для анализа риска возникновения пожара, может использоваться только в том случае, если оплачена лицензия, и во многих случаях это довольно дорого.

ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) – одна из компьютерных программ, которую можно загрузить из интернета и



использовать при исследовании рисков пожара, получая точные результаты и возможность разработки планов предотвращения аварийных ситуаций.

В статье представлено описание программного обеспечения и приведен пример его использования при ликвидации пожара в одном из резервуаров для хранения топлива на нефтеперерабатывающем заводе «Ñico López» в Гаване (Куба).

Abstract. The oil industry is undoubtedly one of the most vulnerable to the occurrence of fires. First of all, the high fire hazard of this industry is determined by the large number of combustible substances that circulate in the process.

For this reason, fire risk management experts in recent years have focused their studies on search for computer tools to achieve greater accuracy and speed of response before accidents of this type.

Most of the software that currently exist to analyze the fire risk can only be used if license has been paid for, and in many cases it is quite expensive.

ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) is one of the computer programs that can be downloaded from the Internet and used to study fire risks, obtaining accurate results and the possibility of developing emergency prevention plans.

ALOHA software description is presented and an example of this software application in a fire at the fuel storage tank in the «Ñico López» refinery located in Havana (Cuba) is given.

Ключевые слова: тепловое излучение, модель твердого пламени, токсичность, избыточное давление, географические информационные системы, пожар, взрыв, огненные шары, факельное горение, пожар пролива, внезапный пожар, плотность теплового потока

Key words: thermal radiation, solid flame model, toxicity, overpressure, geographic information systems, fire, explosion, fireball, jet fire, pool fire, sudden fire, heat flux density



Краткое описание программного обеспечения ALOHA

ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) – компьютерная программа, которая широко используется для предотвращения и реагирования при аварийных ситуациях (рисунок 1) [1, 2].

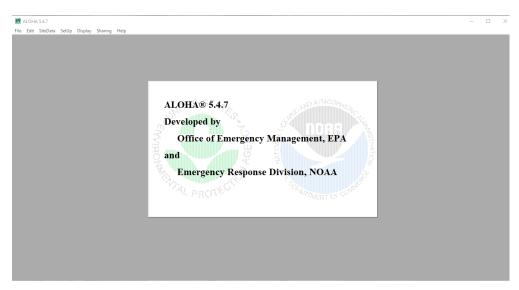


Рисунок 1. Программное обеспечение ALOHA

ALOHA моделирует границы зон поражения на основе опасных факторов: токсичность, тепловое излучение и избыточное давление (взрывная сила), связанных с аварийными выбросами, которые приводят к выбросам токсичных газов, пожарам и/или взрывам.

Программное обеспечение разработано таким образом, что его можно успешно использовать в ситуациях «сжатых сроков». В Программное обеспечение включена база из почти девятисот опасных веществ. В случае отсутствия вещества в «библиотеке веществ», программа позволяет ввести описание нового вещества.

Алгоритм использования ALOHA:

- 1) укажите город, в котором происходит выброс химических веществ, а также дату и время;
 - 2) выберите вещество из библиотеки ALOHA;
 - 3) введите информацию о погодных условиях;
 - 4) укажите вид разгерметизации резервуара.



После того, как эта информация введена, программа может определить интервалы, в которых значение одного из опасных факторов аварии (токсичность, воспламеняемость, тепловое излучение или избыточное давление) превышает уровень допустимых (LOC) и представляет угрозу для людей и сооружений.

ALOHA указывает на зоны в красном, оранжевом и желтом уровнях угрозы.

Красная зона угрозы представляет наивысшую опасность, а *оранжевая* и *желтая зоны угрозы* — зоны уменьшающейся опасности. Зоны опасности, определенные ALOHA, могут быть экспортированы в географические информационные системы (ГИС) для более точной интерпретации результатов.

Результаты ALOHA могут оказаться ненадежными, если не совсем точно заданы погодные условия и малые скорости ветра.

В ALOHA нельзя моделировать следующие эффекты:

- 1) вторичные поражающие факторы аварийных ситуаций. Например, если выброс химического вещества сопровождается взрывом, фрагменты емкости, в которой хранился продукт, попадут в окружающую зону емкости. ALOHA не моделирует ударную волну от этих фрагментов или их траекторию;
- 2) ALOHA не учитывает побочные продукты сгорания (например дым) или иные химические реакции.

Ограничения АLOHA:

- 1) ALOHA позволяет вводить только индивидуальные значения скорости ветра и направления ветра, а также предполагается плоский профиль местности;
- 2) ALOHA не дает прогноз последствий на промежуток времени более 1 ч после начала выброса или для расстояний более 10 км (6,2 мили) от точки выброса (отсекает зоны угрозы, длина которых превышает 10 км);



- 3) в городских условиях ветер, обтекающий большие здания, образует вихри и изменяет направление и скорость, значительно изменяя форму и движение облака. ALOHA не учитывает эти эффекты, поскольку при расчете участка зоны угрозы предполагается, что облако проходит прямо над или через препятствия, в частности, здания. При интерпретации результатов необходимо учитывать влияние рельефа на ветровой поток;
- 4) ALOHA не учитывает процессы, которые влияют на рассеивание частиц (включая радиоактивные частицы).

В статье представлен анализ моделей пожаров, используемых в программном обеспечении ALOHA для оценки опасности.

Математические модели пожара, используемые в **ALOHA**

ALOHA моделирует опасности пламени, связанные с некоторыми общими сценариями, включая сгорание жидкостей и газов [3].

С использованием ALOHA не могут быть смоделированы сценарии пожара с участием химических веществ с температурой вспышки выше 300 °F.

Сценарии сгорания в АLOHA подразделяются на два типа:

- 1) наличие топлива с облаком при концентрациях в пределах диапазона воспламеняемости;
- 2) наличие «богатого» ядра топлива, которое горит на его внешних краях (в том числе пожар пролива).

ALOHA использует различные математические модели для оценки зон угрозы этих двух типов сценария.

Пожары на поверхности «богатого» ядра топлива могут продолжаться долго. Опасность от теплового излучения может распространяться далеко за пределы самого пожара [4–6]. Подобные типы пожаров описываются тремя математическими моделями:

1) огненные шары, возникающие, когда резервуар, содержащий легковоспламеняющуюся жидкость, взрывается из-за избыточного



давления и немедленно воспламеняется, обычно их называют «BLEVE» (огонь происходит на поверхности огненного шара);

- 2) факельное горение (Jet Fire) возникает, когда легковоспламеняющийся газ выходит из трубы или резервуара (пожар происходит на выходе, огонь по краям «богатого топливом» ядра);
- 3) пожар пролива (Pool Fire) возникает, когда воспламеняющаяся жидкость в проливе воспламеняется и горит прямо над поверхностью.

Существует два общих эмпирических подхода к моделированию этих типов пожаров:

- 1) модели точечных источников, в которых некоторая доля энергии сгорания преобразуется в тепловое излучение и излучается из центра пожара;
- 2) модели твердого пламени, в которых размер и форма поверхности пламени найдены, и излучение, испускаемое от ее поверхности, вычислено.

АLOHA использует модели твердого пламени для расчета опасности теплового излучения от огненных шаров, факельного горения и пожара пролива. В этих трех сценариях вычисляются поток теплового излучения, испускаемого с поверхности пламени, и излучение, воздействующее на отдаленные объекты.

$$q = E \times F \times \tau \,, \tag{1}$$

где q — поток теплового излучения, падающего на вертикальную поверхность ($B\tau/M^2$);

E — поток энергии теплового излучения на поверхности огненного шара (Вт/ м $^{-2}$);

F – геометрический фактор;

T — коэффициент пропускания атмосферы, значение колеблется от 0 до 1.



АLOHA также определяет опасность пожара, который возникает при рассеивании облака пара по ветру с образованием легковоспламеняющейся смеси с воздухом с неизбежной вероятностью воспламенения. В этом случае ALOHA не моделирует тепловое излучение, связанное с внезапными пожарами (Flash Fire).

Уровни плотности теплового потока (LOC)

ALOHA определяет границы зоны вероятного смертельного поражения людей и технологического оборудования. Для вышеизложенных пожароопасных ситуаций основным поражающим фактором является тепловой поток.

Плотность теплового потока (LOC) — это пороговый уровень теплового излучения; обычно уровень, выше которого может существовать опасность.

Когда запускается сценарий пожара, ALOHA предлагает по умолчанию три значения LOC — три пороговых значения ($\kappa B \tau / m^2$) для создания зон угрозы по умолчанию:

- 1) красный: 10 кBт/м^2 (потенциально смертельно в течение 60 c);
- 2) $opanжeeвый: 5 кBт/м^2$ (ожоги второй степени в течение 60 с);
- 3) желтый: 2 кВт/м^2 (боль в течение 60 c).

Воздействие теплового излучения, которое испытывают люди, зависит от продолжительности воздействия определенного уровеня теплового излучения. Более длительное воздействие, даже при более низком уровне теплового излучения, может привести к серьезным физиологическим эффектам.

Выбор стандартных значений теплового излучения в программе ALOHA основан на известных источниках (например, Американский институт инженеров-химиков, 1994 г.; Федеральное агентство по чрезвычайным ситуациям и др., 1988 г. и Lees, 2001 г.). Если пользователь устанавливает свои собственные значения LOC, то необходимо



основываться на критериях, представленных в таблице 1 (Федеральное агентство по чрезвычайным ситуациям и др., 1988), в которой перечислены некоторые физиологические эффекты при определенных уровнях и продолжительности теплового излучения (на голой коже).

Таблица 1. Критерии ожога теплового излучения

Интенсивность излучения, $\kappa B_T/m^2$	Время сильной боли, с	Время для ожогов 2-й степени, с
1 1	115	
1	115	663
2	45	187
3	27	92
4	18	57
5	13	40
6	11	30
8	7	20
10	5	14
12	$\overline{4}$	11

Пример использования программного обеспечения ALOHA в случае пожара

Сценарий смоделированного пожара происходит на нефтеперерабатывающем заводе «Ñico Lopez» в Гаване (Куба).

Моделирование проводилось при следующих условиях:

- продукт, выходящий из резервуара, образует пролив площадью, ограниченной обвалованием, где находится резервуар;
 - объем пролива 10000 м³;
 - преобладающее направление ветра северо-восточный;
 - скорость ветра -7,00 м/с.

В резервуаре хранится бензин.

В таблице 2 показаны конструктивные характеристики резервуара № 204 и на рисунке 2 его расположение на нефтеперерабатывающем заводе.



Таблица 2.	. Конструктивные характеристики резервуара.	№ 204

№ резервуара	Конструктивные характеристики резервуара			Тип крыши	
7-г резервуара	диаметр, м	высота, м	объем, м	плавающая	фиксированная
204	45,73	17,07	30000	X	



Рисунок 2. Расположение резервуара 204

Характеристики опасной зоны, рассчитанные программой, приведены ниже.

- *Красная зона* диаметром 552 м; при минимальном значении теплового потока 10 кВт/м² существует непосредственный риск смертельных потерь из-за ожогов для людей. Также всё технологическое оборудование, которое находится в этой зоне, будет уничтожено или понесёт большой урон из-за высокой интенсивности излучения. Возможное воздействие эффекта домино ожидается, когда тепловое излучение достигнет значения 10 кВт/м².
- *Оранжевая зона*: диаметром до 764 м; при минимальном значении теплового потока 5 кВт/м² основной риск для людей это ожоги второй степени, хотя длительное пребывание людей в этой опасной зоне может привести к смерти. В этой зоне величина ущерба технологическому



оборудованию будут значительно ниже по сравнению с предыдущим случаем.

- Желтая зона: диаметром до 1164 м; при минимальном значении теплового потока 2 кВт/м² существует опасность ожогов первой степени для людей, также опасность вдыхания газовых продуктов сгорания.

Все это будет развиваться со следующей геометрией и в преобладающем направлении ветра (рисунок 3).

С помощью Google Планета Земля выполняется географическая привязка опасных зон, определенных в ALOHA, для первого сценарии пожара в резервуаре № 204 (рисунок 4).

Известно, что в радиусе 276 м вокруг резервуара при минимальном значении теплового потока 10 кВт/м² существует непосредственный риск смерти от ожогов. Существует неизбежная вероятность возникновения эффекта домино, который включает риск немедленного распространения огня к резервуарам 203, 204, 201, 200, 205, 206, 212 и 210. Кроме того, все технологическое оборудование в этом районе будет уничтожено или пострадает из-за высокой интенсивности излучения.

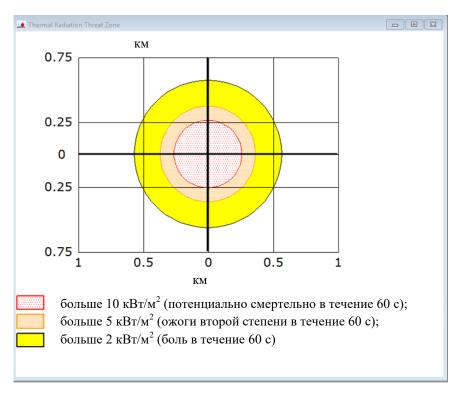


Рисунок 3. Зоны опасности для резервуара 204



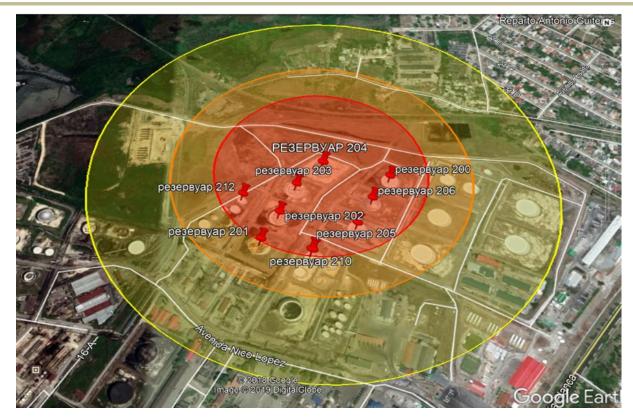


Рисунок 4. Геопривязка опасных зон для резервуара 204

В радиусе до 382 м люди, участвующие в ликвидации пожара, должны будут использовать соответствующие защитные средства, чтобы противостоять высоким температурам.

Пределы безопасного дистанцирования, без воздействия тепла на людей, находятся в минимальном радиусе 582 м.

Во второй части этого сценария определена протяженность облака воспламеняемости, которое образуется при создании лужи в зависимости от физических и химических характеристик веществ, участвующих в сценарии пожара.

На рисунках 5 и 6 показано поведение облаков воспламеняемости в соответствии с существующими атмосферными условиями и их геопривязка в том месте, где произошла аварии.



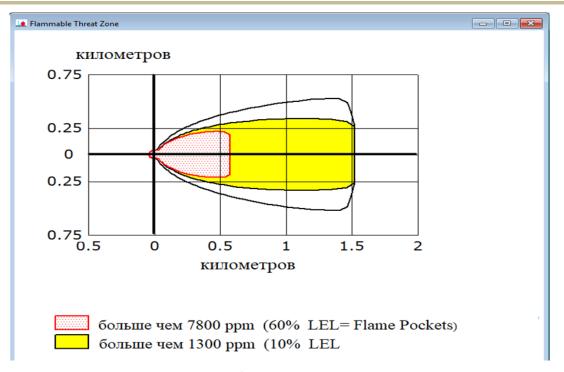


Рисунок 5. Облако воспламеняемости



Рисунок 6. Геопривязка облака воспламеняемости для резервуара 204

Следует отметить, что облако загрязнения образуется в радиусе до 578 м, в пределах которого есть возможность воспламенения. В случае воспламенения существует непосредственная опасность пожара на заводе и возможность возгорания резервуаров №№ 203, 202, 201, 212, 213, 214, 211, 210, 291,209, 110 и 199.



Пределы безопасного расстояния находятся на расстоянии до 1,5 км по направлению ветра.

Выводы

В статье представлено описание программного обеспечения ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres), которое можно использовать при исследовании рисков пожара, получая точные результаты и возможность разработки планов предотвращения аварийных ситуаций.

Приведен пример использования программного обеспечения ALOHA при ликвидации пожара на одном из резервуаров для хранения топлива на нефтеперерабатывающем заводе «Ñico López» в Гаване (Куба).

Установлено, что облако загрязнения образуется в радиусе до 578 м, в пределах которого есть возможность воспламенения. В случае воспламенения существует непосредственная опасность возгорания резервуаров №№ 203, 202, 201, 212, 213, 214, 211, 210, 291,209, 110 и 199.

Пределы безопасного расстояния находятся на расстоянии до 1,5 км по направлению ветра.

Список используемых источников

- 1. ALOHA. User's Manual February 2007. U.S.: Environmental Protection Agency, 2007.
- 2. ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4. Technical Documentation. URL: https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ALOHA_Tech_Doc.pdf (дата обращения: 12.04.2019).
- 3. Thomas P.H. The Size of Flames from Natural Fires // Paper Read at 9th International Combustion Symposium. Pittsburgh, 1963.
- 4. Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs. N.Y.: Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1994.



- 5. Sparrow E.M., Cess R.D. Radiation Heat Transfer. Augmented ed, Series in Thermal and Fluids Engineering. Washington: Hemisphere Pub. Corp., 1978.
- 6. Workbook of Test Cases for Vapor Cloud Dispersion Models. N.Y.: Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1989.

References

- 1. ALOHA. User's Manual February 2007. U.S., Environmental Protection Agency, 2007.
- 2. ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4. Technical Documentation. Available at: https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ALOHA_Tech_Doc.pdf (accessed 12.04.2019).
- 3. Thomas P.H. The Size of Flames from Natural Fires. *Paper read at 9th International Combustion Symposium*. Pittsburgh, 1963.
- 4. Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs. N.Y., Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1994.
- 5. Sparrow E.M., Cess R.D. Radiation Heat Transfer. Augmented ed, Series in Thermal and Fluids Engineering. Washington, Hemisphere Pub. Corp., 1978.
- 6. Workbook of Test Cases for Vapor Cloud Dispersion Models. N.Y., Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1989.

Сведения об авторах

About the authors

Жоэль Саласар Норьега, студент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Joel N. Salazar, Student of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: salazarnoriega1987@gmail.com



Ариатна Чибас Кастаньера, мастер по добыче нефти и газа Инжиниринговой Компании нефтяных проектов, г. Гавана, Куба

Aryatna Chibas Castaner, Master in Oil and Gas Production of Engineering & Oil Projects Company, Havana, Cuba

Краснов Антон Валерьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Anton V. Krasnov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Fire and Industrial Safety Department, USPTU, Ufa, Russian Federation e-mail: 00770088@mail.ru

Ласаро Абреу Гарсия, студент кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Lazaro Abreu Garcia, Student of Transport and Storage of Oil and Gas Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: thng@mail.ru

Юниески Гарсия Авила, студент кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Yunieski Garcia Avila, Student of Technological Machines and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: 123tmo@mail.ru