

УДК 614.835.3

Е.А. Ванина,¹ В.В. Войцеховский,¹
П.Ю. Ванина,² А.В. Ярославцева¹ФГБОУ ВО Амурская ГМА
Минздрава России¹
г. Благовещенск
Санкт-Петербургский политехнический
университет им. Петра Великого²
г. Санкт-Петербург**ОЦЕНКА РИСКА ХИМИЧЕСКОЙ
АВАРИИ НА КОСМОДРОМЕ
«ВОСТОЧНЫЙ»**

Техногенные аварии и катастрофы последних десятилетий – крушения поездов, падения самолетов, пожары и взрывы – закономерно приводят к выводу: двигаясь по пути технического прогресса, человек подвергает себя все большему риску. Только в нашей стране за последние 30 лет от техногенных аварий и катастроф пострадало более 10 млн, погибло более 600 тыс. человек. Риск и масштаб аварий значительно возрос. Необходимы меры по защите человека, по защите окружающей природной среды от опасностей, порождаемых техносферой. На смену технике безопасности должна прийти теория безопасности, или теория риска. Теория риска исходит из того, что ничто нельзя сделать абсолютно надежным. Необходимо знать вероятность аварии, прогнозировать ущерб от нее. И если эти величины малы (мала величина аварийного риска), логично утверждать, что техногенный объект безопасен [1].

В разных задачах под риском понимают то вероятность аварии, то масштаб возможного ущерба от нее, либо комбинацию этих двух величин. Различаются и методы определения риска. Условно можно выделить два основных

метода: статистический и модельный. Первый опирается на статистическую обработку данных об авариях. При втором строятся модели воздействия вредных факторов на человека и окружающую среду, которые могут описывать как последствия обычной работы предприятия, так и ущерб от аварий на нем.

Обычно в практике научного прогнозирования под риском понимается величина, в которую входят и вероятности аварий, и ущербы от этих аварий. При определении риска используется одновременно несколько методов [2].

На космодроме «Восточный», строящемся на Дальнем Востоке в Амурской области, будет проводиться запуск ракет «Союз» 2.1.A (первый запуск с «Восточного» состоялся 28 апреля 2016 года). В качестве топлива используются керосин и гептил: объем керосина составляет около 80–95 тонн, гептила – 3,5 тонны при полете ракеты около 200 км. 1,1-диметилгидразин – штатное горючее жидких ракетных топлив, торговое название – гептил. Хорошо растворим в воде и смешивается с нею в любых концентрациях, обладает высокой летучестью [3]. Керосин представляет собой смесь предельных ароматических углеводородов, олефинов и наftenов. Взрывоопасная концентрация паров керосина в смеси с воздухом составляет 2–3%. Предельно допустимая концентрация паров керосина – 0,3 мг/л. Гептил и керосин относятся к аварийно-опасным химическим веществам [4]. Таким образом, космодром «Восточный» является химически опасным объектом (ХОО) в Амурской области.

В нашей стране принята классификация ХОО, основанная на оценке количества аварийно-опасных химических веществ (АОХВ) на объекте, а также числа людей, которые могут подвергнуться его воздействию при аварийной ситуации. Эти данные являются исходными для оценки масштаба возможных химических катастроф (с учетом возможных

РЕЗЮМЕ

В статье представлены результаты оценки риска химической аварии на космодроме «Восточный», количество пораженного населения и площади заражения при различных исходных данных, установлена степень поражения. Вероятность риска химической аварии с розливом гептила составила 0,1%, с розливом керосина – 0,9%.

Ключевые слова: гептил, керосин, химическая авария, оценка риска.

DOI 10.22448/AMJ.2017.2.58-61

EVALUATION OF RISK OF CHEMICAL ACCIDENT ON THE COSMODROME “EASTERN”E.A. Vanina,¹ V.V. Voytsekhovskiy,¹ P.Y. Vanina,² A.V. Yaroslavtseva¹Amur State Medical Academy,¹ Blagoveshchensk
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University²**Abstract**

In this article chemical accident risk assessment on the «Eastern» cosmodrome is presented. The degree of damage, number of affected population and the area of infection with different initial data, were established. The probability of the chemical accident risk when spreading heptyl is 0, 1%, when spreading kerosene is 0,9%.

Key words: heptyl, kerosene, chemical accident, risk assessment.

санитарных потерь), планировании медико-санитарного обеспечения при ликвидации ЧС, а, следовательно, для обоснования необходимого объема резерва антидотов на ликвидацию медико-санитарных последствий ЧС мирного времени и на военное время [1].

Целью работы является оценка риска возникновения химической аварии, расчет количества пораженного населения и площади заражения в случае аварии с разливом гептила или керосина, сравнительная характеристика.

В работе используются статистический и модельный методы.

Модель прогноза аварийного риска

Количественной характеристикой риска является функция от частоты аварий и ожидаемого ущерба [10]. Обычно аварийный риск исчисляется в единицах ущерба, отнесенных ко времени. Определяющее соотношение для прогнозирования оценок аварийного риска может быть представлено в виде формулы: [оценка аварийного риска] = Σ [частота z-аварийного процесса] \times [ущерб при z-аварийном процессе] (1).

Мера ущерба отражает изменение состояния здоровья человека в результате аварийного воздействия. Выбор меры ущерба, определяемый в первую очередь требованиями, предъявляемыми к прогнозированию, зависит от типа воздействия (токсическое, тепловое, механическое и т. д.) на реципиента риска при аварии или катастрофе. В качестве меры ущерба может быть принят, например, определенный уровень поражения глаз, уровень заболеваемости раком легких, уровень потери трудоспособности среди выделенных групп населения и т. д. Часто в качестве меры ущерба выбирается летальный исход.

Токсическое воздействие.

Вероятность наступления эффекта:

$$Pr(D) = a_1 + a_2 \ln D \quad (2)$$

где Pr вероятная единица (пробит), a_1 , a_2 эмпирические коэффициенты, зависящие от вида воздействия и свойства вещества.

Вероятность эффекта:

$$U(D) = \Phi(Pr - 5) \quad (3)$$

где D – эффективная доза, действующая на организм, $\Phi(z)$ – нормальная функция распределения:

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du = \frac{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{z}{\sqrt{2}}\right)}{2} \quad (4)$$

В случае ингаляционного воздействия при постоянной концентрации токсического ве-

щества $D = c^n \times t_0$, где t_0 – время экспозиции (мин.), c – концентрация, которая обычно выражается в мг/м³, либо в единицах ppm.

Соотношение между концентрациями в газовой среде:

$$C_{ppm} = \frac{c \cdot m \cdot g}{\alpha}, \quad \alpha = \frac{\mu \times p}{62,36 \times T}, \quad (5)$$

где C_{ppm} – концентрация вещества, выраженная в единицах ppm, $c \cdot m \cdot g$ – концентрация вещества, выраженная в мг/м³, μ – молекулярный вес, p – атмосферное давление в мм р. ст., T – температура в К.

Нахождение вероятности поражения человека:

$$U(D) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf}\left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2}} \times \ln \frac{D}{LD_{50}}\right)\right) \quad (6)$$

где $U(D)$ – вероятность поражения человека от полученной токсической дозы, σ – дисперсия закона токсичности.

Величина токсической дозы D :

$$D(x, y, z) = \int_0^{t_0} c^n(x, y, z, t) dt, \quad (7)$$

где t_0 – время экспозиции.

Устойчивость организма к токсическому воздействию:

$$S = 0,5(LD_{84}/LD_{50} + LD_{50}/LD_{16}) \quad (8)$$

где LD_{84} , LD_{16} – средние дозы, вызывающие летальный исход у 84% и 16% соответственно.

Термическое воздействие.

Величина ущерба при термическом воздействии:

$$U(I; t) = \Phi(Pr); \quad Pr = -14,9 + 2,56 \cdot \ln(I I^{4/3} t \cdot 10^{-4}), \quad (9)$$

где I – характеризует действующий на организм тепловой поток (Дж/м²с), t – длительность воздействия (с) [2].

Для оценки риска возникновения химической аварии и ее последствий использована методика РД52 – 40. Если авария на космодроме с выбросом в атмосферу гептила или керосина происходит в утреннее время – с 7.00 до 11.00 или с 7.00 до 8.00 – вероятно, около 20% людей находятся дома, 48% – в производственных зданиях, около 26% – в общественном и личном транспорте, 6% – на открытых местностях, улицах [5]. АОХВ транспортируются непосредственно перед запуском ракеты в автомобильных и железнодорожных цистернах вместимостью 40–60 м³ (гептил) под избыточным давлением азота 100–150 кПа. Количество АОХВ, выброшенных в атмосферу, около 3 тонн при повреждении всех цистерн с гептилом и 80 т – с керосином. В качестве метеорологических условий взяты скорость ветра, состояние атмосферы.

Таблица 1. Площадь заражения и ожидаемый ущерб при различных состояниях атмосферы в разное время от начала аварии.

Состояния атмосферы	Гептил		Керосин	
	S _{зар} , площадь заражения, км ²	P _{пор} , ожидаемый ущерб, ч	S _{зар} , площадь заражения, км ²	P _{пор} , ожидаемый ущерб, ч
Инверсия:				
4 ч:	27, 2	2693	170	4543
1ч:	10, 5	2095	50	2958
Изотермия:				
4 ч:	35, 8	3058	195	5740
1 ч:	18, 3	2548	70	3347
Конвекция:				
4 ч:	47, 5	3603	218	6295
1 ч:	28, 5	2728	95	3998

Рассмотрены: землетрясения (с магнитудой более 7,0), террористические акты, наводнения, лесные пожары, ураганы и шквалы [4]. Изучив статистику за последние 50 лет, выявлено, что наибольшая вероятность возникновения химической аварии на космодроме «Восточный» связана с возникновением лесных пожаров в Амурской области, а также не исключен риск возникновения техногенных аварий. Частота лесных пожаров составила 70% (по отношению к другим факторам).

Рассчитываем вероятность риска химической аварии на космодроме «Восточный» по следующим формулам.

Полная глубина заражения:

$$G_{зар} = G_1 + 0,5G_2, (10)$$

где, G₁ – глубина заражения первичным облаком, км; G₂ – вторичным облаком, км.

Предельно возможное значение глубины переноса воздушных масс:

$$G_{пред} = u\tau, (11)$$

G_{пред} – предельная глубина заражения, u – скорость переноса фронта зараженного воздуха, км; τ (тау) – время от начала аварии, ч.

За истинную глубину принимается величина:

$$G = \min \{G_{зар}, G_{пред}\}, (12)$$

Площадь заражения АОХВ:

$$S_{зар} = k_8 G^2 \tau^{0,2} (13)$$

k₈ – коэффициент, учитывающий влияние степени вертикальной устойчивости воздуха на ширину зоны заражения; τ – время от начала аварии, ч.

Ожидаемые потери:

$$P_{пор} = N_{пор} / N = \sum q_i (1 - k_{защ i}), (14)$$

N_{пор} – количество пораженного населения, чел.; N – общее количество населения, чел.; q_i – доля населения, защищаемая от АОХВ i-м способом; k_{защ i} – коэффициент защиты (укрытия i-го типа) [5].

Результаты и обсуждение

В таблице 1 приведено количество пораженного населения (оценка ущерба) и площадь заражения через 4 и 1 час после аварии, а также при различных состояниях атмосферы (инверсия, изотермия, конвекция), рассчитанные по методике РД52-40 [6–7]. Степень поражения населения (легкая, тяжелая, средняя, пороговая, смертельный исход) при различных состояниях атмосферы представлена в таблице 2 [6–7]. Установлен риск возникновения химической аварии на космодроме «Восточный» с разливом гептила, керосина. Вероятность риска химической аварии с разливом гептила составляет 0,1 %, с разливом керосина – 0,9%.

Выводы

Космодром «Восточный», безусловно, является аварийно-опасным химическим объектом, на котором возможна химическая авария с выбросом в окружающую среду АОХВ. Установленный уровень риска для населения Амурской области в десять раз ниже среднего по Российской Федерации.

Литература

1. Рогожников В.А. Организация медицинского обеспечения специальных работ на космодроме «Байконур» / В.А. Рогожников, И.А. Пименов. М.: Литтерра, 2015. С. 69–71.
2. Количественная оценка риска химических аварий / Колодкин В.М., Мурин А.В., Петров А.К., Горский В.Г. / Под ред. Колодкина В.М. Ижевск: издательский дом «Удмуртский университет», 2001. 228 с.
3. Селиванова Л.Н., Захарова З.М., Ласточкина Е.М., Власова Л.А. Вредные химические вещества в ракетно-космической отрасли. Справочник. ФМБА, Москва 2011. С. 118–127.
4. Сидоров П.И. Медицина катастроф: учеб. пособие для студ. учреждений высш. мед. проф. образования / П.И. Сидоров, И.Г. Мосьгин, А.С. Сарычев. М.: издательский центр «Академия», 2010. С. 119–124.
5. Мاستрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях / Б.С. Мастрюков. 5-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2008.

Таблица 2. Степень поражения при различных состояниях атмосферы в разное время от начала аварии.

ГЕПТИЛ	Инверсия		Изотермия		Конвекция	
Степень поражения	4 ч	1 ч	4 ч	1 ч	4 ч	1 ч
Легкая (20%)	539	419	611	510	720	546
Тяжелая, средняя (15%)	403	314	459	382	541	410
Пороговая (55%)	1481	1153	1682	1402	1982	1500
Смертельный исход (10%)	270	209	306	254	360	272
КЕРОСИН	Инверсия		Изотермия		Конвекция	
Степень поражения	4 ч	1 ч	4 ч	1 ч	4 ч	1 ч
Легкая (20%)	909	592	1148	669	1259	799
Тяжелая, средняя (15%)	681	443	861	502	944	600
Пороговая (55%)	2499	1627	3157	1841	3462	2199
Смертельный исход (10%)	454	296	574	335	630	400

С. 97–101

6. Ярославцева А.В. Оценка риска гипотетической аварии на космодроме «Восточный» с использованием методики РД52 – 40. III Всероссийская научно-практическая олимпиада студентов и молодых ученых по медицине катастроф. Сборник материалов олимпиады. Под редакцией И.П. Левчука, М.В. Костюченко. Москва: Изд-во РНИМУ им. Пирогова, 2016. С. 41–42.

7. Ярославцева А.В. Медико-биологическая оценка риска химической аварии в случае разлива гептила, Молодёжь XXI века: Шаг в будущее: материалы XVIII региональной научно-практической конференции (18 мая 2017 года): в 4 т. Благовещенск: изд-во БГПУ, 2017. Т. 4. С. 57–58.

Статья поступила в редакцию 16.06.2017

Координаты для связи

Ванина Елена Александровна, д. физ.-мат. н., профессор, кафедра травматологии с курсом медицины катастроф ФГБОУ ВО Амурская ГМА Минздрава России.

Войцеховский Валерий Владимирович,

д.м.н., доцент, заведующий кафедрой госпитальной терапии с курсом фармакологии ФГБОУ ВО Амурская ГМА Минздрава России. E-mail: voitsehovskij@yandex.ru

Ванина Полина Юрьевна, аспирант Санкт-Петербургского университета им. Петра Великого, инженер, кафедра «Физическая электроника» Института физики, нанотехнологий и телекоммуникаций. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Ярославцева Анастасия Валерьевна, студентка ФГБОУ ВО Амурская ГМА Минздрава России. E-mail: yaroslavceva-nas@mail.ru.

Почтовый адрес ФГБОУ ВО Амурская ГМА Минздрава России: 675000, г. Благовещенск Амурской области, ул. Горького, 95. E-mail: agma@nm.ru