

УДК 622.322. 61

ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ПЕРСОНАЛА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕНИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

© 2013 С.П. Шкаруппа, А.Ю. Шупляк

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 29.09.2013

В работе использовался системный подход к решению поставленных задач, исследования проводились с помощью методов моделирования, а в необходимых случаях использовались методы экспертных оценок и статистики. Обоснована необходимость при анализе риска учитывать последствия потенциальных опасностей на всех стадиях жизненного цикла объекта. Применяемые методы исследований позволили комплексно рассмотреть различные аспекты методологии применения анализа риска. Разработаны алгоритм и компьютерная программа Risk, предназначенная для количественной оценки риска для здоровья персонала, обслуживающего опасные площадочные производственные объекты накопления нефтесодержащих отходов.

Ключевые слова: *риск, испарение, рассеивание, нефтешламонакопитель, потенциальная опасность*

Проблема повышения экологической безопасности при обращении с отходами нефтедобычи и нефтепереработки актуальна практически в каждом нефтедобывающем регионе России. Значительные количества нефтяных отходов, характеризующихся низкими темпами утилизации, негативно воздействуют практически на все компоненты природной среды. В настоящее время при планировании деятельности предприятий, эксплуатирующих опасные производственные объекты, в том числе и при финансовом анализе инвестиционных проектов, практически не используются количественные показатели экологического риска для объективной оценки экономических параметров, что существенно искажает показатели инвестиционной привлекательности таких проектов и формирует завышенные ожидания инвесторов [1]. Результаты анализа динамики техногенных рисков в нефтяной и газовой промышленности показывают, что только за последние 10 лет экономический ущерб от аварий возрос более, чем в 2 раза. Согласно опубликованным данным, ежегодно на объектах нефтегазовой промышленности происходит около 20 тысяч крупных аварий, связанных с опасным загрязнением воздуха, природных водоемов и территорий. Основной составляющей ущерба от указанных аварий является вред, нанесенный здоровью промышленного персонала и населению, а также загрязнение окружающей природной среды и материальные потери [1]. Между тем опыт использования анализа риска (ограниченный большей частью оценкой риска в декларациях промышленной безопасности) показывает, что его результаты не учитываются при принятии решений

касающихся безопасности опасных производственных объектов. Анализ риска является по существу ключевым элементом на пути совершенствования систем управления экологической безопасностью, учитывающих постоянно меняющийся риск аварии на объекте [2]. В этих условиях обеспечение безопасности промышленного персонала, населения и защита окружающей природной среды требуют эффективного управления экологическими рисками, основанного на системном анализе причин и условий формирования опасных ситуаций, достоверном прогнозировании их развития и последствий [3]. Особую актуальность эта проблема приобрела в последние годы, характеризующиеся неснижаемым уровнем аварийности при расширении производства и вовлечении в разработку новых месторождений нефти и газа.

Технологический процесс добычи и переработки нефти сопровождается образованием огромного количества нефтесодержащих отходов, которые накапливаются в шламовых амбарах, нефтешламонакопителях, ямах аварийного хранения продукта, полигонах нефтеотходов и др. Подавляющее большинство таких объектов открыто, расположены на местности и активно воздействуют на атмосферу. При выборе способа оценки опасности накопителей следует иметь в виду, что за период их длительной эксплуатации, исчисляемый не одним десятием лет, содержимое таких амбаров превращается в сложную расслоившуюся систему, в которой можно выделить 3 основных слоя: верхний слой (плавающий нефтешлам), средний слой (водную фазу) и нижний слой (донный осадок) [4]. Помимо потенциальной опасности необходимо рассмотреть плохо отраженный в литературе аспект, связанный с токсическим воздействием испаряющихся веществ на здоровье персонала, работающего в районе нефтешламонакопителя. Для прогнозирования

Шкаруппа Светлана Петровна, кандидат химических наук, доцент кафедры «Химическая технология и промышленная экология». E-mail: cp0512@yandex.ru
Шупляк Анатолий Юрьевич, инженер кафедры «Химическая технология и промышленная экология»

экологических последствий в местах накопления нефтесодержащих отходов важную роль играет процесс испарения веществ со свободной поверхности пруда-накопителя и рассеивание в атмосфере. Модели испарения позволяют оценить интенсивность поступления в окружающую среду паров горючих и токсичных веществ, модели рассеивания – образующиеся концентрации испаряющихся веществ [4-6]. Для объектов накопления нефтесодержащих отходов целесообразно использовать комплексную модель оценки риска, основанную на определении весовых коэффициентов, характеризующих опасность различных углеводородов на основе факторного анализа – времени существования накопителя и времени экспозиции для промышленного персонала [4]. Наибольшими недостатками оценки экологического риска для накопителей нефтесодержащих отходов характеризуются методики оценки последствий, связанных с выбросами в окружающее пространство углеводородов, содержащихся в верхнем слое. Это связано с тем, что зачастую в методиках не учитывается движение облака опасных веществ под действием силы тяжести, в связи с чем обоснована необходимость перехода при моделировании подобных процессов от моделей гауссовского типа к моделям рассеяния тяжелого газа, а также разработки соответствующих адекватных программных средств.

Основная опасность нефтешламонакопителя связана с возможностью возникновения долговременного токсического выброса небольшой интенсивности. Последствия такой ситуации можно оценить с помощью расчета ущерба жизни и здоровью людей [7]. При расчетах математического ожидания ущерба и потерь принято, что наибольшую потенциальную опасность представляет открытый верхний углеводородный слой нефтешламонакопителя, с поверхности которого испаряются углеводороды и токсические вещества, приводящие к загазованности территории. Вероятность возгорания и взрыва испаряющихся веществ в данном случае очень мала. В рамках реализации вышеупомянутой методологии [7] разработаны алгоритм и компьютерная программа Risk, предназначенная для количественной оценки риска опасных площадочных производственных объектов накопления нефтесодержащих отходов. Программный комплекс оценки последствий выбросов углеводородов с открытой поверхности накопителя на основе совершенствования методики «ТОКСИ» позволяет наиболее точно, по сравнению с другими отечественными методиками в этой области, определять последствия распространения выброса опасных веществ в атмосфере [4, 5]. Необходимость разработки оригинального программного комплекса объясняется тем, что существующие программы по методике «ТОКСИ» не позволяют определить концентрации опасного вещества для площадных объектов накопления нефтесодержащих отходов с учетом их геометрических размеров, формы и времени эксплуатации. Преимущество разработанной авторами программы

заключается в возможности нанесения зон распространения опасных веществ, рассчитанных для любого накопителя, на реальную картографическую основу.

При построении модели испарения накопителя необходимо учитывать, что температура по глубине накопителя не постоянна. Из результатов обработки экспериментальных данных было установлено, что кинетическая константа не оказывает существенного влияния на процесс испарения [4]. Поэтому можно считать, что процесс испарения веществ с открытой поверхности накопителя лимитируется диффузией внутри жидкой фазы, с переменным во времени и по глубине слоя коэффициентом диффузии:

$$\frac{\partial}{\partial t} C(x, t) = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_T(x, t) \frac{\partial}{\partial x} C(x, t) \right] \quad (1)$$

При пренебрежимо малой величине стефановского потока и отсутствии сопротивления со стороны границы раздела фаз граничное условие третьего рода на поверхности раздела фаз преобразуется в граничное условие первого рода с неподвижной границей:

$$C(x, t) = 0 \text{ при } x=0 \quad (2)$$

$$C(x, t) = C_0 \text{ при } t=0 \quad (3)$$

$$\frac{d}{dx} C(x, t) = 0 \text{ при } x=N \quad (4)$$

где C_0 – концентрация в начальный момент времени, определяемая экспериментально; N – толщина верхнего углеводородного слоя накопителя.

Дифференциальное уравнение (1) при граничных условиях (2)-(4) описывает независимое испарение лёгких компонентов с поверхности нефтешламонакопителя и их поступление из глубины верхнего слоя толщины N к поверхности. Выражение (1) представляет собой нелинейное дифференциальное уравнение в частных производных параболического вида, где коэффициент зависит от температуры. Температура в свою очередь зависит от координаты и времени. Аналитическое решение для ограниченной глубины получить не удаётся, поэтому система уравнений решалась численными методами. Для этого необходимо перейти от непрерывных значений аргументов функции концентрации к дискретным. Разобьем слой на $n - 1$ частей и получим n разных значений функции по глубине слоя, находящихся на расстоянии равном шагу расчётной сетки Δx . Временной отрезок приводится к дискретному заданием шага расчётной сетки по времени, равному Δt . В соответствии с введёнными положениями можно перейти от функционального вида к индексам:

$$C_{j,u} = C(z, t), \quad C_{j+1,u+1} = C(z + \Delta z, t + \Delta z) \quad (5)$$

В соответствии выбранной системой отсчёта выражение (1) с учётом граничных условий можно представить следующей системой выражений:

$$C_{j,u} = C_0 \text{ при } u=0 \quad j \in [0; n] \quad (6)$$

$$C_{j,u} = 0 \text{ при } j=0 \quad u \in [0; \infty) \quad (7)$$

$$C_{j,u+1} = C_{j,u} + \delta_1 [D_{j,u} (C_{j+1,u} - C_{j,u}) - D_{j-1,u} (C_{j,u} - C_{j-1,u})] \text{ при } 0 < j < n \quad (8)$$

$$C_{j,u+1} = C_{j,u} - \delta_1 D_{j-1,u} (C_{j,u} - C_{j-1,u}) \text{ при } j=n \quad (9)$$

где C_0 – начальное значение концентрации; δ_1, δ_2 – коэффициенты, определяемые выражениями $\delta_1 = \Delta t / \Delta x^2$, $\delta_2 = \Delta t / \Delta x$; $D_{j,u}$ – значение функции коэффициента диффузии от средней координаты $D_{j,u} = D(j\Delta x + 0,5\Delta x, u\Delta t)$. Расчёт по формулам (7)-(9) выполняется последовательно от $j=0$ до $j=n$ для заданного промежутка времени. Интенсивность испарения определялась скоростью диффузионного потока на границе раздела фаз:

$$J_u = -\delta_1 D_{j-1,u} (C_{j,u} - C_{j-1,u}) \text{ при } o=0 \quad (10)$$

Основной задачей численного решения является получение зависимостей интенсивностей испарения веществ с разной молекулярной массой и толщиной слоя с течением времени с поверхности накопителя. Решения были аппроксимированы следующей функцией для веществ с молекулярной массой μ_i и глубины слоя H от 5 до 30 см по алгоритму минимизации для каждого i -го компонента:

$$J(C_{0,i}, \mu_i, H, t) = a_1 C_{0,i} \exp(a_2 f_1^t(t) - a_3 f_2^t(t)) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \exp(-a_4 (2n-1)^{1,66} t) \quad (11)$$

где $C_{0,i}$ – начальная концентрация i -го компонента, определяемая из опыта;

$$f_1^t(t) = 2 \cos(\tau_2 t) - [\cos((\tau_2 + \tau_1)t) + \cos((\tau_2 - \tau_1)t)] \quad (12)$$

$$f_2^t(t) = \cos(\tau_1 t + 0,175) \quad (13)$$

τ_1, τ_2 – частоты смены суток и времён года, c^{-1} .

Искомая функция позволяет прогнозировать выброс испаряющихся веществ в течение года. На рис. 1 отображены результаты расчётов интенсивности испарения октана при его концентрации в верхнем углеводородном слое накопителя 10 г/м^3 и при различной глубине слоя 20 и 30 см. Из результатов расчёта видно, что ключевым параметром, характеризующим потенциальную опасность накопителя, с течением времени является концентрация испаряющихся веществ в верхнем слое и глубина накопителя. При сравнительном анализе факторов экспозиции химических веществ на людей целесообразно оценивать вклад производственных воздействий как суммарную химическую нагрузку на персонал, находящийся на исследуемой территории [6]. При одновременном поступлении в организм нескольких опасных веществ обобщённый канцерогенный риск определяется по формуле CR_{Σ} :

$$f_2^t(t) = \cos(\tau_1 t + 0,175) \quad (14)$$

где CR – риск развития рака у индивидуума; Sf – фактор наклона кг день/мг ; $LADD$ – среднесуточная доза в течение жизни мг/(кг день) , определяется по формуле:

$$LADD = \frac{\bar{C}_{\text{атм}} \cdot CR \cdot Ef \cdot (t_1 - t_2)}{BW \cdot AT \cdot 365} \quad (15)$$

где $\bar{C}_{\text{атм}}$ – концентрация вещества в загрязненной среде, мг/м^3 ; CR – скорость поступления воздействию среды; Ef – частота воздействия; t_1 – время начала воздействия от создания объекта; t_2 – время окончания воздействия от создания объекта; BW – масса тела человека, кг ; AT – период усреднения экспозиции; 365 – число дней в году.

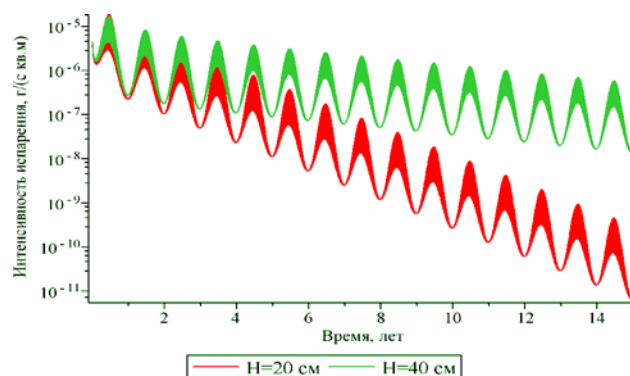


Рис. 1. Сравнение зависимостей интенсивности испарения октана от глубины верхнего углеводородного слоя в течение 15 лет

Изменение скорости испарения с поверхности накопителя (выброс) с течением времени можно определить как сумму скоростей испарения всех углеводородов:

$$W(H, t) = S_{\text{нак}} \sum_{i=1}^{n_{\text{вещ}}} J(C_{0,i}, \mu_i, H, t) \quad (16)$$

где $J(C_{0,i}, \mu_i, H, t)$ определяется выражением (11); $S_{\text{нак}}$ – площадь накопителя.

С учетом формулы (16) функция зависимости изменения концентрации углеводородов в атмосфере в пространстве и во времени имеет следующий вид:

$$W(H, t) = S_{\text{нак}} \sum_{i=1}^{n_{\text{вещ}}} J(C_{0,i}, \mu_i, H, t) \quad (17)$$

Для подстановки полученного значения концентрации, его нужно усреднить по временному промежутку экспозиции:

$$\bar{C}_{\text{атм}}(x, y, z, H, t) = 3,17098 \cdot 10^{-8} \frac{S_{\text{нак}} f^R(x, y, z)}{t_2 - t_1} \sum_{i=1}^{n_{\text{вещ}}} \int_{t_1}^{t_2} J(C_{0,i}, \mu_i, H, t) dt \quad (18)$$

где $3,17098 \cdot 10^{-8}$ – переводной коэффициент по времени;

Согласно [7] величины CR, BW, AT равны $20 \text{ м}^3/\text{сут.}$, 70 кг и 70 лет соответственно. Примем частоту воздействия (Ef), равной 120 дней/год . Подставляем значение величин CR, BW, AT, Ef и выражение (18) в формулу (15) получаем выражение для расчёта среднесуточной дозы:

$$\bar{C}_{\text{атм}}(x, y, z, H, t) = 3,17098 \cdot 10^{-8} \frac{S_{\text{нак}} f^R(x, y, z)}{t_2 - t_1} \sum_{i=1}^{n_{\text{вещ}}} \int_{t_1}^{t_2} J(C_{0,i}, \mu_i, H, t) dt \quad (19)$$

Подставляем полученное выражение (19) и значение $Sf=0,035 \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{день})$ в формулу (14), получаем выражение для расчёта риска здоровью промышленного персонала:

$$CR_{\Sigma}(x, y, z, H, t_1, t_2) = 1,4831 \cdot 10^{-12} S_{\text{нак}} f^R(x, y, z) \sum_{i=1}^{n_{\text{вещ}}} \int_{t_1}^{t_2} J(C_{0,i}, \mu_i, H, t) dt \quad (20)$$

Результаты расчета риска с учётом распределительной функции анализа рассеивания веществ для временного промежутка, равного 15 лет, представлены графически на рис. 2, 3. В целом из приведенных графиков видно, что наиболее активный период воздействия накопителя с толщиной слоя 20 см равен первым пяти годам существования накопителя, при этом величина риска за первый год $CR_{\Sigma} = 2,4 \cdot 10^{-5}$ соответствует половине общей величины риска $CR_{\Sigma} = 4,9 \cdot 10^{-5}$.

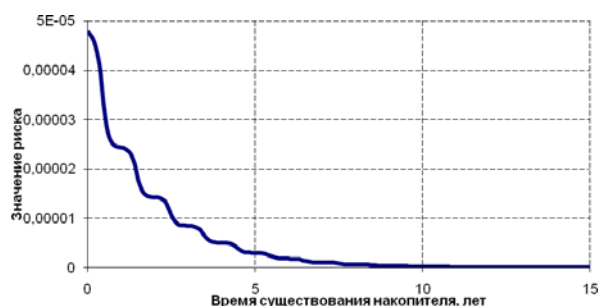


Рис. 2. Динамика экологического риска при эксплуатации накопителя



Рис. 3. Определение полей индивидуального риска ($\times 10^{-5}$) при расчёте распределительной функции по методике ТОКСИ. Масштаб 1:8000

Выводы: анализ риска на производственных объектах накопления нефтесодержащих отходов имеют ярко выраженную специфику, которая определяется физико-химическими особенностями опасных веществ и характеристиками объекта. Предложенный алгоритм расчёта позволяет прогнозировать риск для здоровья промышленного персонала с учетом изменения скорости испарения

веществ в зависимости от сезонных колебаний температуры и времени существования накопителя нефтесодержащих отходов. Предприятиям, эксплуатирующим опасные производственные объекты, оценка риска необходима для объективного обоснования целесообразности внедрения на опасном производственном объекте дополнительных и более совершенных мер по повышению безопасности его эксплуатации. Реализация неэффективных мероприятий по обеспечению промышленной и экологической безопасности приводит не только к излишним затратам, но и повышает вероятность и размеры убытков в случае аварии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мартынюк, В.Ф. Использование результатов анализа риска для формирования управленческих решений по обеспечению промышленной безопасности / В.Ф. Мартынюк, В.В. Смирнова // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2007. № 2. С. 32-37.
2. Мартынюк, В.Ф. Классификация и категорирование опасностей и угроз / В.Ф. Мартынюк, В.В. Смирнова // Нефть, газ и бизнес. 2008. № 5,6. С. 70-76.
3. Мартынюк, В.Ф. Критерии приемлемого риска // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2009. № 1. С. 33-40.
4. Шкаруппа, С.П. Исследование процесса испарения углеводородов с поверхности объектов накопления нефтесодержащих отходов. Глава 2.5. Качество жизни населения и экология: монография / под общ. ред. Л.Н. Семерковой / С.П. Шкаруппа, А.Ю. Шупляк // МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2013. С. 133-152.
5. Шупляк, А.Ю. Расчёт рассеивания выбросов для накопителей нефтесодержащих отходов / А.Ю. Шупляк, С.П. Шкаруппа // Известия Самарского научного центра РАН. Специальный выпуск «Проблемы нефти и газа». 2007. С. 149-152.
6. Шкаруппа, С.П. Моделирование и прогнозирование экологического риска объектов накопления нефтесодержащих отходов / С.П. Шкаруппа, А.Ю. Шупляк // Экологическая безопасность регионов России и риск от техногенных аварий и катастроф: сборник статей XIII Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2013. С. 92-94.
7. РД. 2.1.10.1920-04. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей природной среды и условиями проживания населения. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду.

RISK ASSESSMENT FOR PERSONNEL HEALTH AT OPERATION THE OBJECTS OF PETROCONTAINING WASTE ACCUMULATION

© 2013 S.P. Shkaruppa, A.Yu. Shuplyak

Samara State Technical University

In work systems approach to the solution of objectives was used, researches were conducted by means of model operation methods, and in necessary cases methods of expert estimates and statistics were used. Need is proved in the analysis of risk to consider consequences of potential dangers at all stages of object life cycle. Applied methods of researches allowed to consider in a complex various aspects of methodology of application the risk analysis. Algorithm and computer Risk program intended for quantitative assessment of risk for personnel health, serving dangerous areal production objects for accumulation petro-containing waste are developed.

Key words: risk, evaporation, dispelling, petro sludge accumulator, potential danger

Svetlana Shkaruppa, Candidate of Chemistry, Associate Professor
at the Department "Chemical Technology and Industrial Ecology".
E-mail: cp0512@yandex.ru
Anatoliy Shuplyak, Engineer at the Department "Chemical
Technology and Industrial Ecology"