

УДК 614.834:665.6

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ МАССЫ ВЗРЫВООПАСНОГО
ОБЛАКА ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

Чикуров А.В, Матвеев Д.С., Харисов Р.М., Хуснияров М.Х.
ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа
e-mail: aleksandr.chikurov@gmail.com

Аннотация. Рассмотрена проблема оценки количества испаряющегося взрывоопасного вещества в системе поддержки принятия решений при проливе жидких нефтепродуктов в случае аварийной разгерметизации технологического оборудования. Проанализированы существующие методики оценки количества испарившегося вещества с поверхности аварийного пролива. Выявлены недостатки указанных методик и предложена модель, позволяющая устранить указанные недостатки. Модель учитывает физико-химические свойства многокомпонентных углеводородных смесей, включая фракционный состав, молекулярную массу и плотность. Модель основана на условном разделении нефтепродуктов на выкипающие в узком интервале температур фракции и позволяет учесть изменение состава смеси в процессе испарения с поверхности аварийного пролива нефтепродуктов.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, масса взрывоопасного облака; аварийный пролив, фракционный состав; давление насыщенных паров; модель испарения.

Предприятия нефтегазовой отрасли относятся к опасным производственным объектам (ОПО), эксплуатация которых сопряжена с высокими рисками возникновения аварийных ситуаций. Одним из путей снижения уровня риска на ОПО является внедрение интеллектуальных систем обеспечения безопасности (СОБ), позволяющих осуществлять мониторинг состояния технологического оборудования и средств управления технологическим процессом, а также оперативно выявлять отказы и предаварийные ситуации, оценивать риск и последствия аварий. СОБ позволяют за счет применения алгоритмов искусственного интеллекта уменьшить погрешности существующих моделей оценки риска и последствий аварий, возникающие вследствие значительного количества допущений и ограничений.

Для учета неопределенностей различной природы при оценке риска и последствий аварий целесообразно применять класс СОБ, получивший название интеллектуальной системы поддержки принятия решений (СППР). СППР позволяют формировать рекомендации для лиц, принимающих решения по управлению безопасностью опасных объектов нефтегазовой отрасли, как на основе данных оперативных наблюдений, так и с использованием методов искусственного интеллекта, заложенных в экспертные системы СППР, включающие в себя знания специалистов и опыт эксплуатации ОПО [6]. Функционирование СППР требует наличия точных и достаточно простых с вычислительной точки зрения моделей возникновения и протекания аварийных сценариев. В связи с этим в настоящее время актуальной является задача разработки моделей автоматизированных технологических комплексов (АТК) и возможных вариантов аварийных сценариев на них. Эти модели являются неотъемлемой частью СППР и позволяют прогнозировать возможные состояния АТК, обрабатывать действия обслуживающего персонала в аварийных ситуациях и выдавать рекомендации по ликвидации последствий аварий.

Одним из наиболее распространённых сценариев аварийных ситуаций является нарушение целостности оборудования с последующим истечением содержащегося в нём жидкого вещества. При испарении жидкости образуется парогазовое облако, способное при наличии источника зажигания к взрывному превращению. Авария на одном из аппаратов может повлечь за собой развитие аварийной ситуации на расположенном рядом оборудовании. Подобный сценарий приводит к значительным ущербам и даже к гибели и травмам персонала.

При количественной оценке потенциальной опасности объекта важной характеристикой является масса облака испарившегося опасного вещества. Анализ аварийных ситуаций и их последствий, а также ряд экспериментальных исследований показывают, что существующие модели и методики оценки массы взрывоопасного облака во многих случаях не дают адекватных результатов, и как следствие не позволяют спрогнозировать последствия возможных аварий с достаточной точностью. Актуальной является задача разработки новой комплексной модели для определения массы облака опасного вещества, учитывающей физико-химические свойства веществ и параметры содержащего их технологического оборудования.

В настоящее время применяется ряд расчетных моделей и методик для оценки количества испарившейся жидкости при аварийной разгерметизации оборудования.

В ПБ 09-540-03 [8] предлагается следующая формула для расчета интенсивности испарения J , кг/(м²·с) с поверхности аварийного пролива:

$$J = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H \quad (1)$$

где η – безразмерный коэффициент η , учитывающий влияние скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;

P_n – давление насыщенных паров испаряющейся жидкости, Па;

M – молекулярная масса испаряющейся жидкости, кг/кмоль.

Давление насыщенных паров в данной методике предлагается определять по формуле Клапейрона-Клаузиуса.

В рассмотренной методике не учитывается наличие в нефтепродуктах большого количества компонентов, каждый из которых характеризуется собственным значением молекулярной массы и давления насыщенных паров. Кроме того, не учитывается, что состав испаряющейся смеси изменяется по мере испарения более легких компонентов, и при этом изменяется молекулярная масса смеси. Температура пролива постепенно уменьшается, вследствие теплообмена с окружающей средой и потерь тепла на испарение, как следствие, изменяется и давление насыщенных паров, а значит и интенсивность испарения, что так же не учитывается методикой.

В методике «Токси» [9] приводится аналогичное уравнение для расчета интенсивности испарения J :

$$J = (5,83 + 4,1u) \cdot 10^{-6} \cdot P_n \cdot \sqrt{M}, \quad (2)$$

где u – эффективная скорость движения первичного облака на месте выброса, м/с;

P_n – давление насыщенных паров испаряющейся жидкости, мм рт. ст.;

M – молекулярная масса испаряющейся жидкости, кг/моль.

В данной методике принимается, что свойства опасных веществ не зависят от температуры, истечение и их испарение происходят с постоянной скоростью, соответствующей максимальной скорости истечения, разлив жидкой фазы происходит на твердой, не впитывающей поверхности; для случаев отсутствия обвалования высота слоя разлившегося опасного вещества принимается равной 0,05 м, с которой нет обмена массой, а есть только обмен теплом, все расчеты производятся при неизменных метеоусловиях.

Методика «Токси» не учитывает сложного состава углеводородных смесей. Для учета нестационарных эффектов в методике предлагается для более точных расчетов разбиение процесса испарения на стадии малой продолжительности, на каждой из которых учитываются изменения в системе.

В работе [12] приводится сравнение результатов оценки интенсивности испарения бензола, полученных по вышеприведенным методикам. Анализ результатов показывает, что прогноз интенсивности испарения по используемым моделям имеет существенный разброс, достигающий 800%.

В [5] предложен метод расчета количества испаряющихся нефтепродуктов с открытых поверхностей, учитывающий физико-химические свойства

углеводородной смеси и скорость ветра. Интенсивность испарения J , г/м²·ч определяется по эмпирической формуле:

$$J = \sum_{i=1}^n (40,35 + 30,75 \cdot u) \cdot 10^{-3} \cdot p_n \cdot x_i \cdot \sqrt{M_i}, \quad (3)$$

где n – число фракций;

u – скорость ветра на высоте 20 см над поверхностью, м/с;

p_n – давление насыщенных паров каждой фракции углеводородов, Па;

x_i – мольная доля i -той фракции в испаряющейся углеводородной смеси, определяется по результатам лабораторной разгонки;

M_i – молекулярная масса i -той фракции углеводородов.

Нефтепродукт разгоняется на фракции, которые идентифицируются как индивидуальные углеводороды.

Последняя методика, в отличие от ПБ-09-540-03 и «Токси», учитывает многокомпонентный состав нефтепродуктов, однако величина интенсивности испарения так же принимается величиной постоянной во времени.

В работе [10] предлагается усовершенствовать методику [5] путем преобразования уравнения (7) в дифференциальную форму:

$$\frac{dJ}{dt} = \sum_{i=1}^n (40,35 + 30,75 \cdot u) \cdot 10^{-3} \cdot p_n \cdot x_i \cdot \sqrt{M_i}, \quad (4)$$

Уравнение (4) решается численно при заданных граничных условиях. При этом на каждом шаге интегрирования пересчитываются значения x_i , что позволяет учесть изменение состава жидкой фазы по мере испарения легких компонентов.

С целью повышения точности расчета интенсивности испарения нефтепродуктов предлагаются следующие усовершенствования:

1) разделить процесс испарения вещества на две стадии: однократного испарения и последующего постепенного испарения с целью учета наличия перегрева жидкой фазы;

2) рассматриваемый нефтепродукт разделить на фракции, для каждой из которых известны свойства: давление насыщенных паров, молекулярная масса, плотность.

3) составить дифференциальное уравнение теплового баланса для учета изменения температуры жидкой фазы;

В случае, когда происходит аварийный выброс перегретой жидкости, наблюдается явление однократного испарения, называемого иногда «мгновенным испарением». При этом давление и температура вещества резко уменьшаются, что приводит к частичному испарению жидкости.

Обычно при расчетах количества мгновенно испарившейся жидкости предполагают следующее:

1) Испаряясь, пар остается в равновесии с жидкой частью. В действительности этого не происходит, поскольку выброшенный пар имеет более высокую температуру, чем жидкость.

2) Процессы адиабатические. В действительности тепло проникает из окружающей среды, но поскольку явление мгновенного испарения протекает очень быстро, теплообменом с окружающей средой на данной стадии можно пренебречь.

Количество мгновенно испарившейся жидкости оценивается величиной доли отгона e (в англоязычной литературе – доля мгновенно испарившейся части жидкости – TAFF [1]).

Для многокомпонентных жидкостей при однократном испарении любой компонент будет распределяться в определенном соотношении между жидкостью и паром. Для нахождения доли отгона в случае однократного испарения многокомпонентной смеси может быть использовано уравнение Рашфорда-Райса [11]:

$$\sum_{i=1}^n \frac{x'_{i,F} K_i}{1 + e'(K_i - 1)} = 1 \quad (5)$$

где $x'_{i,F}$ – мольная доля i -го компонента в жидкости до испарения;
 K_i – константа равновесия для i -го компонента при заданной температуре;
 e' – мольная доля отгона;
 n – число компонентов.

В состав нефти и нефтепродуктов входит большое число углеводородных компонентов. Обычными методами фракционирования не удастся разделить их на отдельные индивидуальные углеводороды со строго определенными физико-химическими свойствами. Общепринято разделять нефти и нефтепродукты путем перегонки на отдельные узкокипящие фракции – менее сложные смеси углеводородов.

Для определения фракционного состава нефтей и нефтепродуктов большое распространение получила разгонка по Энглеру ввиду простоты проведения в лабораторных условиях. Данный метод лежит в основе стандарта ГОСТ 2177-99 [4]. Определение фракционного состава определяется перегонкой в стандартной колбе путём постепенного испарения анализируемого образца при атмосферном давлении. При этом фиксируют температуры, соответствующие отбору каждой 10% по объему фракций. Зарубежным аналогом данного метода является американский стандарт ASTM D86.

Более точным способом определения фракционного состава является перегонка образцов в ректификационных аппаратах, например в АРН-2 согласно

ГОСТ 11011-85 [3]. Четкость разделения смеси по данному методу гораздо выше, чем по ГОСТ 2177-99, что позволяет построить по результатам перегонки так называемую кривую истинных температур кипения (ИТК) в координатах температура – выход фракций в % об. Аналогом данного метода является американский стандарт ASTM D1160.

Часто для описания фракционного состава нефти и нефтепродуктов их представляют как смеси псевдокомпонентов, каждому из которых ставится в соответствие узкая фракция на кривой ИТК. При этом за температуру кипения псевдокомпонента принимают среднюю температуру кипения соответствующей узкой фракции.

Зная температуру кипения, можно найти молекулярную массу псевдокомпонента, например, по формуле Воинова [7]. Для определения плотностей псевдокомпонентов необходимо определить значения характеристического фактора Ватсона K [7]. Если значение K известно для рассматриваемого нефтепродукта, то для всех псевдокомпонентов оно принимается равным этому значению, что позволяет найти относительные плотности всех псевдокомпонентов. Зная молекулярные массы и плотности всех псевдокомпонентов, можно перевести состав нефтепродукта из объемных процентов в массовые и мольные доли.

Для расчета процесса постепенного испарения по формуле (4) необходимо знать также величины давления насыщенных паров (ДНП) каждого из псевдокомпонентов. Для смесей углеводородов ДНП определяется фракционным составом: чем он шире, тем более значительны отступления от закономерностей, полученные для индивидуальных углеводородов.

Для расчета ДНП индивидуальных углеводородов на основе обработки экспериментальных данных рядом исследователей были предложены свои уравнения: Антуана, Дьюринга, Трегубова, Клаузиуса-Клапейрона, Риделя, Фроста-Колкуорфа-Тодоса, Риделя-Планка-Миллера и др.

Давление насыщенных паров псевдокомпонентов можно рассчитать по формуле Ашворта [7], справедливой при давлениях, близких к атмосферному.

Фракционные составы различных нефтепродуктов и эмпирические формулы для определения молекулярной массы и давления насыщенных паров отдельных фракций и смесей углеводородов даны также в [2].

В работе [13] приведены экспериментальные данные по испарению моторных топлив: бензина, керосина и дизельного топлива. На основе полученных данных автором были выведены эмпирические зависимости для определения массы облака при испарении углеводородных смесей. Однако эти зависимости носят исключительно эмпирический характер и не связывают интенсивность испарения с физико-химическими свойствами этих смесей. Однако результаты этих экспериментов можно интерпретировать с учетом приведенных выше замечаний.

В таблице 1 приведены свойства веществ, использовавшихся для экспериментов. На основе этих данных нефтепродукты могут быть смоделированы в виде смеси псевдокомпонентов, каждому из которых соответствует узкая фракция на кривой истинных температур кипения.

Рассмотрим в качестве примера процесс испарения бензина. После перевода фракционного состава в ИТК примем число псевдокомпонентов равным 10, тогда температурный интервал выкипания одного псевдокомпонента равен 18 °С. В таблице 2 показаны результаты разбиения бензиновой фракции на псевдокомпоненты, а также рассчитанные для каждого из них значения плотностей, молекулярных масс, мольных долей и ДНП.

Таблица 1. Свойства рассматриваемых нефтепродуктов

Свойства	Бензиновая фракция	Керосиновая фракция	Дизельная фракция
Плотность, кг/м ³	776	791	834
Молекулярная масса	119	186	205
Вязкость динамическая, мПа·с	0,570	1,469	1,896
Фракционный состав по ГОСТ 2177-99			
начало кипения	47 °С	150 °С	
10% перегоняется	72 °С	165 °С	200 °С
50% перегоняется	114 °С	195 °С	255 °С
90% перегоняется	137 °С	230 °С	300 °С
конец кипения	168 °С	250 °С	330 °С

Таблица 2. Разбиение бензиновой фракции на псевдокомпоненты

№	T _{нк} , С	T _{ср} , °С	% выкипания об. (инт.)	% выкипания об. (дифф.)	Плотность	Мольная доля	Мол. масса	P _н , Па (100 °С)
1	39	30,4	3,0	3,0	0,727	0,041	70,03	628123
2	57	48,0	10,0	7,0	0,741	0,090	76,69	408836
3	74	65,6	20,5	10,5	0,754	0,124	83,97	260254
4	92	83,2	33,3	12,9	0,767	0,142	91,88	161992
5	110	100,8	47,6	14,3	0,779	0,147	100,40	98563
6	127	118,4	62,4	14,8	0,791	0,141	109,54	58599
7	145	136,0	76,7	14,2	0,803	0,127	119,31	34027
8	162	153,6	89,4	12,7	0,815	0,106	129,69	19287
9	180	171,2	99,6	10,2	0,826	0,080	140,69	10664
10	198	188,8	100,0	0,4	0,836	0,003	152,31	5748

В работе [13] в ходе экспериментального исследования осуществлялось измерение массы и температуры испарившегося вещества через интервалы времени длительностью 1 мин. На рисунке 1 показаны графики массы

испарившейся ежеминутно бензиновой фракции при начальных температурах 40, 60, 80 и 100 °С.

Очевидно, что в течение первой минуты происходит максимальный выброс и образование первичного облака. Так при начальной температуре пролитого бензина 100 °С, масса первичного облака составляет 4,23 г. Расчет по уравнению Рашфорда-Райса показывает, что при условиях эксперимента массовая доля отгона составляет 0,0445, то есть масса первичного облака составляет 4,45 г, что хорошо согласуется с результатами эксперимента.

В таблице 3 приведены результаты расчетов для различных начальных температур бензиновой фракции. Видим, что результаты расчета хорошо согласуются с результатами эксперимента.

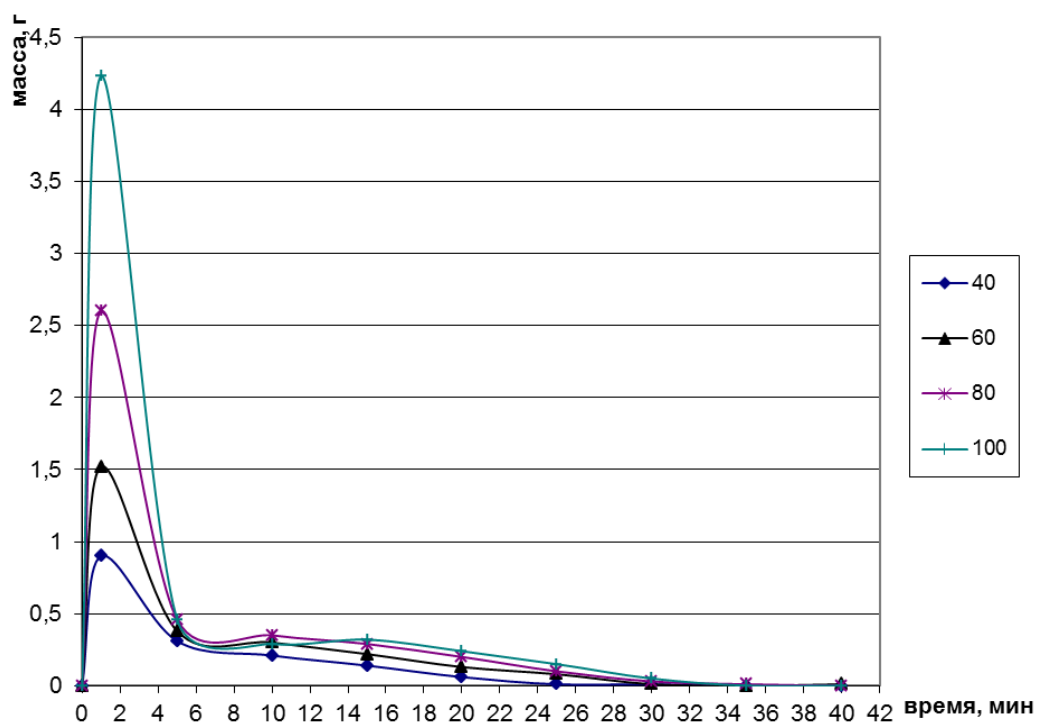


Рисунок 1. Масса бензиновой фракции, испаряющейся ежеминутно при температурах 40, 60, 80 и 100 °С

Таблица 3. Масса первичного облака в зависимости от начальной температуры бензина

№	Начальная температура, °С	Экспериментальная масса первичного облака, г	Рассчитанная масса первичного облака, г
1	40	0,90	1,03
2	60	1,52	1,59
3	80	2,6	2,98
4	100	4,23	4,45

Для расчета процесса постепенного испарения по уравнению (4) используем полученные выше значения ДНП и молекулярных масс псевдокомпонентов. В качестве начального состава жидкой фазы принимаем состав после однократного испарения, а в качестве начальной массы жидкости в проливе – массу жидкой фазы после однократного испарения. Расчет произведем в электронной таблице Microsoft Excel. Решение дифференциального уравнения (4) будем осуществлять по методу Эйлера, реализованному с помощью встроенной в Excel среды программирования Visual Basic for Application. В соответствии с условиями эксперимента в [13] скорость ветра принимаем равной 0 м/с, площадь испарения – 0,006647 м². Шаг интегрирования устанавливаем равным 0,1 с для достижения достаточной точности результата.

На рисунке 2 показаны графики изменения массы облака, полученные по результатам интегрирования уравнения (4) для различных начальных условий. Результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными.

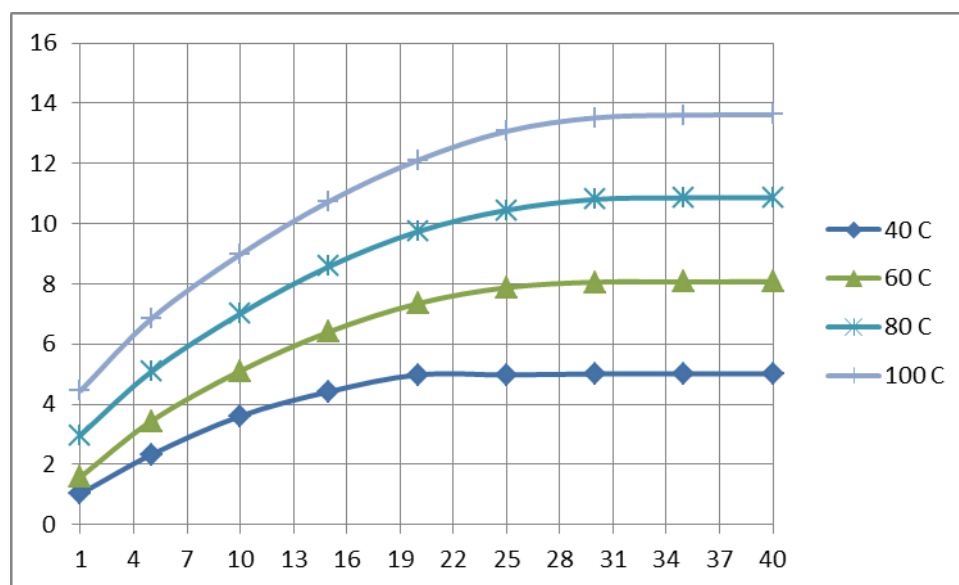


Рисунок 2. Графики изменения массы облака по расчетным данным

Уравнение (4) по сути, представляет собой уравнение материального баланса для процесса постепенного испарения с поверхности пролива нефтепродукта. Однако для более точного расчета необходимо учитывать также и изменение температуры пролива, поскольку от нее зависит ДНП. Иными словами в общую модель испарения с поверхности пролива должно входить уравнение теплового баланса. При переносе тепла возможны следующие варианты теплопередачи: конвективный теплообмен между поверхностью жидкости и воздухом, теплопроводность от слоя жидкости к подстилающей поверхности и излучение, включая солнечную радиацию и лучистый теплообмен между поверхностью жидкости и атмосферой.

В условиях описанного выше эксперимента [13] тепловым балансом ввиду малой величины поверхности пролива можно пренебречь. Однако в случае пролива значительного количества жидкости в общей модели испарения необходимо учитывать уравнения теплового баланса.

Выводы

Таким образом, была предложена модель процесса испарения с поверхности аварийного пролива нефтепродуктов. Модель основана на следующих положениях:

- 1) процесс испарения вещества происходит в две стадии: однократного испарения и последующего постепенного испарения;
- 2) рассматриваемый нефтепродукт разделяется на псевдокомпоненты, для каждого из которых рассчитываются свойства: давление насыщенных паров, молекулярная масса, плотность;
- 3) для учета изменения состава жидкой фазы используется дифференциальное уравнение (4);
- 4) при значительной площади зеркала разлива для учета изменения температуры пролива необходимо использовать уравнение теплового баланса пролива.

Предложенная модель дает результаты, хорошо коррелируемые с данными экспериментального исследования процесса испарения бензиновой фракции [13].

Наличие точных и достаточно простых с вычислительной точки зрения моделей развития аварийных ситуаций является необходимым условием функционирования СППР на всех стадиях возникновения и развития аварий. Разработанная модель является неотъемлемым элементом при построении СППР для оперативной и точной оценки риска при аварийной утечке жидких нефтепродуктов и принятия своевременного решения по предотвращению развития аварийного сценария типа «взрыв парогазового облака».

Литература

1. Lees, F.P., Loss Prevention in the Process Industries - Hazard Identification, Assessment and Control. Volume 1, Oxford, UK: Butterworth-Heinemann. A division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd. 1995. 1276 p.
2. Ахметов С.А., Гайсина А.Р. Моделирование и инженерные расчеты физико-химических свойств углеводородных систем: учеб. пособие. СПб.: Недра, 2010. 128 с.
3. ГОСТ 11011-85 Нефть и нефтепродукты. Метод определения фракционного состава в аппарате АРН-2. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2006. 28 с.

4. ГОСТ 2177-99 Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2006. 23 с.
5. Методика по нормированию и определению выбросов вредных веществ в атмосферу. М.: ОАО НК Роснефть. 2004. 21 с.
6. Михайлова П.Г. Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению безопасностью химических производств: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.01. М., 2006. 194 с.
7. Новиков А.А., Хамухин А.А. Введение в информатику процессов первичной переработки нефти: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 232 с.
8. ПБ 09-540-03 Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. М.: НТЦ «Промышленная безопасность». - Вып. 11 / Фед. служ. геодез. по эколог., технолог. и атомному надзору, 2008. 112 с.
9. РД-03-26—2007. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ. М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2008. - Сер. 27. Вып. 6. 124 с.
10. Самойлов Н.А., да Консейсао А.А. Математическое моделирование испаряемости нефти и нефтепродуктов при их аварийных разливах // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. №1(9). С. 2251.
11. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: учебник для вузов /Скобло А.И. и др. М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2000. 677 с.
12. Хлуденев С.А., Рябчиков С.А., Шумихин А.Г. К вопросу о кинетике испарения опасных веществ с поверхности аварийных проливов на объектах нефтехимического профиля // Промышленная и экологическая безопасность. 2007. №4. С. 61-62.
13. Шивердин, А.В. Оценка массы взрывоопасного парогазового облака, образующегося при аварийной разгерметизации оборудования нефтеперерабатывающих предприятий: дис. ... канд. тех. наук: 05.26.03. Уфа, 2001. 165 с.

DESIGNING A MODEL FOR EVALUATION OF MASS OF EXPLOSIVE CLOUD FOR THE DECISION SUPPORT SYSTEM IN EMERGENCY SITUATIONS AT HAZARDOUS INDUSTRIAL FACILITIES OF OIL AND GAS INDUSTRY

A.V. Chikurov, D.S. Matveev, R.M. Kharisov, M.Kh. Khusniyarov
FSBEI Ufa State Petroleum Technical University, Ufa
e-mail: aleksandr.chikurov@gmail.com

Abstract. The problem of estimation of evaporating explosive substance quantity in decision support system when dealing with emission of liquid petroleum products in emergency mode depressurization of technological equipment. The existing methods of quantity estimation of evaporation substance from the surface of accident pool are considered. The drawbacks of the above mentioned methods are marked and a new model for avoiding those drawbacks is suggested. The model takes into account the physical chemical properties of multicomponent hydrocarbon mixtures, including fractional composition, molecular weight and density. The model is based on conditional division of petroleum products into narrow range boiling fractions and allows considering the change in the mixture composition during the evaporation process from the surface of accident pool of petroleum products.

Keywords: decision support system; explosive cloud mass; accident pool; fractional composition; vapor pressure; evaporation model.

References

1. Lees, F.P., Loss Prevention in the Process Industries - Hazard Identification, Assessment and Control. Volume 1, Oxford, UK: Butterworth-Heinemann. A division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd. 1995. 1276 p.
2. Ahmetov S.A., Gajgina A.R. Modelirovanie i inzhenernye raschety fiziko-himicheskikh svoystv uglevodorodnyh sistem: ucheb. posobie. SPb.: Nedra, 2010. 128 s.
3. GOST 11011-85 Neft' i nefteprodukty. Metod opredeleniya frakcionnogo sostava v apparate ARN-2. Minsk: Mezhdgosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii, 2006. 28 s.
4. GOST 2177-99 Nefteprodukty. Metody opredeleniya frakcionnogo sostava. Minsk: Mezhdgosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii, 2006. 23 s.
5. Metodika po normirovaniyu i opredeleniyu vybrosov vrednyh veshhestv v atmosferu. M.: OAO NK Rosneft'. 2004. 21 s.

6. Mihajlova P.G. Razrabotka intellektual'noj sistemy podderzhki prinjatija reshenij po upravleniju bezopasnost'ju himicheskikh proizvodstv: dis. ... kand. teh. nauk: 05.13.01. M., 2006. 194 s.
7. Novikov A.A., Hamuhin A.A. Vvedenie v informatiku processov pervichnoj pererabotki nefti: uchebnoe posobie. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2008. 232 s.
8. PB 09-540-03 Obshhie pravila vzryvobezopasnosti dlja vzryvopozharoopasnyh himicheskikh, neftehimicheskikh i neftepererabatyvajushhih proizvodstv. Vyp. 11 / Fed. sluzh. geodez. po jekolog., tehnolog. i atomnomu nadzoru. M.: NTC «Promyshlennaja bezopasnost'», 2008. 112 s.
9. RD-03-26—2007. Metodicheskie ukazanija po ocenke posledstvij avarijnyh vybrosov opasnyh veshhestv. Ser. 27. Vyp. 6. M.: NTC «Promyshlennaja bezopasnost'», 2008. 124 s.
10. Samojlov N.A., da Konsejsao A.A. Matematicheskoe modelirovanie isparjaemosti nefti i nefteproduktov pri ih avarijnyh razlivah // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2010. №1(9). S. 2251.
11. Processy i apparaty neftegazopererabotki i neftehimii: uchebnik dlja vuzov /Skoblo A.I. i dr. M.: OOO "Nedra-Biznescentr", 2000. 677 s.
12. Hludenev S.A., Rjabchikov S.A., Shumihin A.G. K voprosu o kinetike isparenija opasnyh veshhestv s poverhnosti avarijnyh prolivov na ob#ektah neftehimicheskogo profilja // Promyshlennaja i jekologicheskaja bezopasnost'. 2007. №4. S. 61-62.
13. Shiverdin, A.V. Ocenka massy vzryvoopasnogo parogazovogo oblaka, obrazujushhegosja pri avarijnoj razgermetizacii oborudovanija neftepererabatyvajushhih predpriyatij: dis. ... kand. teh. nauk: 05.26.03. Ufa, 2001. 165 s.

Сведения об авторах

Чикуров А. В., аспирант, факультет автоматизации производственных процессов, ФГБОУ ВПО УГНТУ

A. V. Chikurov, Postgraduate Ufa State Petroleum Technological University, Faculty of Industrial Processes Automation
aleksandr.chikurov@gmail.com

Матвеев Д.С., к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств», ФГБОУ ВПО УГНТУ

Dmitriy Sergeevich Matveev, Candidate of technical sciences
Ufa State Petroleum Technological University, Faculty of Industrial Processes Automation
Docent at the chair of Automation of Technological Processes and Productions

Хуснияров М. Х., д.т.н., проф. проректор по УР, ФГБОУ ВПО УГНТУ

Mirat Hanifovich Husniyarov Professor, Dr.Sci.Tech
Ufa State Petroleum Technological University
Vice-rector for academic affairs
xmirat@mail.ru, www.rusoil.net

Харисов Р.М., аспирант, факультет автоматизации производственных процессов, ФГБОУ ВПО УГНТУ

R.M Kharisov, Ufa State Petroleum Technological University, Faculty of Industrial Processes Automation
Postgraduate
8 (347) 2431415; +79174488242
kharisov.rustam@gmail.com, www.fapp.rusoil.net
3/1 Kolcevaya St., Ufa, 450064, Russia