

УДК 662.311.1

sumbulryamova993@gmail.com

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫХ РАССТОЯНИЙ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
В СЛУЧАЕ ПОЖАРА ПРОЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ**

**DETERMINATION OF SAFE DISTANCES
OF EXPOSURE TO THERMAL RADIATION IN THE EVENT
OF A FIRE SPILLING OIL PRODUCTS**

*Бакиров И. К., кандидат технических наук,
Хафизов Ф. Ш., доктор технических наук,
Хуснутдинова С. М.,
Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа*

*Bakirov I., Khafizov F., Khusnutdinova S.,
Ufa state petroleum technical university, Ufa*

Показатель удельной массовой скорости выгорания используется для вычисления интенсивности теплоизлучения при оценке рисков возникновения пожаров пролива на производственных объектах. Значение интенсивности теплового излучения важно для определения безопасных расстояний при воздействии теплоизлучения на людей, объекты постройки и оборудование.

На сегодня значения параметра удельной массовой скорости выгорания приводятся в различных справочных материалах для ограниченного ряда жидких углеводородов. При расчете искомой величины с помощью существующих формул возникает необходимость определения удельной теплоты сгорания, удельной теплоты испарения, удельной теплоемкости вещества. Данные показатели можно найти в справочных материалах не для всех веществ, а процесс их расчета достаточно трудоемкий. К тому же процесс горения сложных углеводородных топлив отличается поэтапным выгоранием отдельных фракций в их составе. Следовательно, для топливных смесей расчет должен быть произведен с учетом изменения плотности и температуры в процессе выгорания.

В то же время необходимо исследовать практическое применение расчета величин удельной массовой скорости выгорания в целях усовершенствования существующей методики определения полей опасных факторов пожара.

Ключевые слова: тепловое излучение, удельная массовая скорость выгорания, однокомпонентное вещество, топливная смесь, среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени.

The value of the specific mass burnup rate is used to calculate the intensity of thermal radiation to predict the risks of spill fires at production facilities. The value of the intensity of thermal radiation is important for determining safe distances in the event of exposure to people, industrial buildings, structures and equipment of thermal radiation.

Currently specific mass burnup values are given in various reference materials for a limited number of liquid hydrocarbons. When calculating the desired value using the existing formulas it becomes necessary to calculate the values of the specific heats of combustion and evaporation and the specific heat capacity of a substance. These indicators can be found in reference materials not for all substances, and the process of calculating them is quite laborious. In addition the process of combustion of complex hydrocarbon fuels is

significantly different due to the gradual burnout of individual fractions in their composition. Therefore for fuel mixtures the calculation should be made taking into account the change in density and temperature during the combustion process.

At the same time it is need to investigate the practical application of calculating the values of the specific mass burnup rate in order to improve the existing method for determining the fire safety distances.

Keywords: thermal radiation, specific mass rate of burnup, one-component substance, fuel mixture, average surface intensity of thermal radiation of a flame.

Величина интенсивности излучения тепла (кВт/м^2) в случае пожара пролива легковоспламеняющихся, горючих жидкостей, сжиженного природного газа или сжиженных углеводородных газов рассчитывается по следующей формуле [1, 2]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (1)$$

где E_f – среднеповерхностная интенсивность теплоизлучения, кВт/м^2 ; F_q – угловой коэффициент облученности; τ – коэффициент пропускания атмосферы.

Значение E_f определяется на основе имеющихся на сегодня экспериментальных справочных значений или по таблице в П 3.4 Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [1]. Для некоторых нефтепродуктов (например, керосин, газолин, мазуты) справочная информация отсутствует.

Если сведения о величине E_f (кВт/м^2) для нефти и нефтепродуктов в справочных данных отсутствует, допускается определять ее по следующей формуле:

$$E_f = 140 \cdot e^{-0.12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0.12 \cdot d}), \quad (2)$$

где d – эффективный диаметр пролива, м.

Для индивидуальных жидкостей, в случае отсутствия данных, допускается величину E_f (кВт/м^2) определять по формуле:

$$E_f = \frac{0.4 \cdot m' \cdot H_{\text{сгор}}}{1 + 4 \cdot L/d}, \quad (3)$$

где m' – массовая скорость выгорания, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; $H_{\text{сгор}}$ – теплота сгорания, кДж/кг ; L – длина пламени, м.

В вышеупомянутой Методике [1] приведена формула расчета параметра m' :

$$m' = \frac{0.001 \cdot H_{\text{сгор}}}{L + C_{\text{ж}}(T_{\text{кип}} - T_{\text{нач}})}, \quad (4)$$

где $H_{\text{сгор}}$ – теплота сгорания топлива, кДж/кг ; L – теплота испарения жидкости, кДж/кг ; $C_{\text{ж}}$ – теплоемкость жидкости, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; $T_{\text{кип}}$ – температура кипения жидкости при атмосферном давлении, К ;

$T_{\text{нач}}$ – начальная температура продукта, К .

Согласно Методическим рекомендациям по проведению количественного анализа риска аварий на конденсаторпроводах и продуктопроводах [3], расчет удельной массовой скорости выгорания определяется по соотношению:

$$m_f = m_f^0 \cdot [1 - \exp(-\beta_f \cdot D_{\text{эф.ф}})], \quad (5)$$

Где β_f – параметр из табл. 1 Приложения 10 Методических рекомендаций по проведению количественного анализа риска аварий на конденсаторпроводах и продуктопроводах [3], в случае отсутствия данных в табл. 1, принимается величина $\beta_f = 0,7 \text{ м}^{-1}$;

m_f^0 – удельная массовая скорость выгорания из табл. 1 Приложения 10 Методических рекомендаций по проведению количественного анализа риска аварий на конденсаторпроводах и продуктопроводах [3], в случае отсутствия данных вычисляется по формуле 2.1.4.1

$$m_f^0 = m', \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с});$$

$D_{эф.f}$ – эффективный диаметр пролива, м.

Как уже отмечалось, величина m' необходима для определения интенсивности теплоизлучения пожара, показатель которой важен при оценке риска распространения пожара.

Сегодня значения величин массовой скорости выгорания приведены в различных справочных материалах для ограниченного ряда нефтепродуктов. При отсутствии справочных данных возникает необходимость прибегать к опытному методу определения рассматриваемой величины. Не исключен риск получения данным методом итоговых показателей с большими погрешностями, так как результаты зависят от исходных параметров окружающей среды, которые существенно отличаются от параметров, способствующих возникновению реального пожара на объекте, из-за разницы в потере влаги, к тому же значение величины m' имеет зависимость от площади поверхности горения, которую невозможно инициировать экспериментальным путем.

Для простых веществ m' определяется расчетным путем [1,3–5]. Существующие формулы в теории применимы как для

простых, так и для многокомпонентных веществ, при условии расчета на фракцию в составе топливной смеси с наибольшим значением показателя m' . Однако появляется необходимость расчета удельной теплоты сгорания и испарения, удельной теплоемкости, которые не всегда можно рассчитать либо найти в справочных материалах [6–12].

Процесс горения топливной смеси характеризуется выгоранием отдельных фракций в их составе, следственно для топливной смеси расчет нужно производить с учетом увеличения значений плотности и температуры кипения фракций. Появляется необходимость в усовершенствовании существующих методов определения величины удельной массовой скорости выгорания сложных углеводородных жидкостей.

Таким образом, для упрощения процесса определения m' для сложных топлив, предлагается ввести номограмму, которая дает возможность определить искомое значение, зная плотность вещества и его температуру кипения [4–12]. Ниже представлен график зависимости величины m' от плотности (в диапазоне 0,65–1,02 г/см³) и температуры кипения (рис.), температура окружающей среды принята 20 °С.

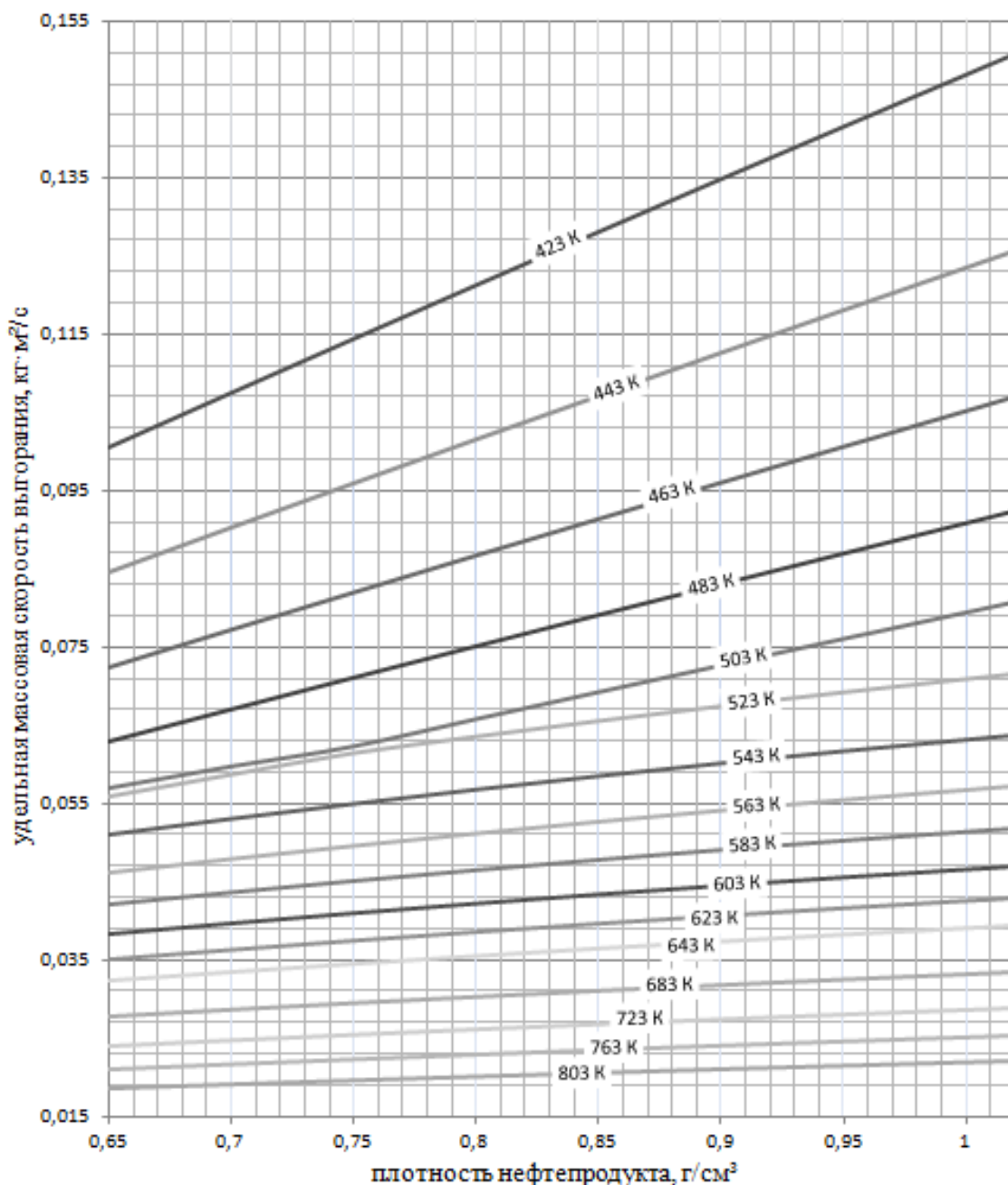


Рисунок 1. График определения значений удельной массовой скорости выгорания нефтепродукта в зависимости от его плотности и температуры кипения

С помощью данной номограммы появится возможность определения величины m' при известных значениях плотности нефтепродукта при нормальных условиях и его температуры кипения, что в свою очередь облегчит процесс прогнозирования пожарных рисков на объектах нефтегазового комплекса.

Для анализа предложенного метода были сравнены значения E_f и m' для бензина и дизтоплива в таблице ПЗ.4 Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [1] и значения показателей, полученные в результате расчета с использованием номограммы (табл. 1).

Таблица 1
Значения E_f пламени в зависимости от площади очага возгорания
и величины m' бензина и дизельного топлива

| Вещество | E_f (кВт/м ²), при d , м | | | | | m' , кг/(м ² ·с) |
|---|--|---------|---------|---------|---------|----------------------------------|
| | 10,0 | 20,0 | 30,0 | 40,0 | 50,0 | |
| Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах | | | | | | |
| Бензин | 60,0 | 47,0 | 35,0 | 28,0 | 25,0 | 0,06 |
| Дизтопливо | 40,0 | 32,0 | 25,0 | 21,0 | 18,0 | 0,04 |
| Расчет с использованием номограммы на рис. | | | | | | |
| Бензин | 147–153 | 177–184 | 196–204 | 211–219 | 223–232 | 0,067–0,073 |
| Дизтопливо | 113–138 | 143–159 | 162–176 | 178–189 | 190–199 | 0,042–0,054 |

Несмотря на то, что для определения величины E_f использовался алгоритм расчета из Методики расчета параметров пожарного риска [1], при незначительной

разнице в значениях m' (кг/м²·с), наблюдается существенная разница между исходными и полученными результатами величин E_f .

Таблица 2
Значения безопасных расстояний от границы пролива
до зоны воздействия теплового излучения

| Фракции нефти | Безопасное расстояние при воздействии теплоизлучения, м | | |
|-------------------------------|---|---|---|
| | Непереносимая боль спустя 20–30 с Ожог 1 ст. спустя 15–20 с Ожог 2 ст. спустя 30–40 с $q = 4,2 - 7,0$ кВт/м ² | Безопасно для человека в брезентовой одежде $q = 1,4 - 4,2$ кВт/м ² | Без негативных последствий в течение длительного времени, $q < 1,4$ кВт/м ² |
| $F_{пр} = 100$ м ² | | | |
| Бензиновые | 32 | 44 | 81 |
| Керосиновые | 29 | 40 | 74 |
| Дизельные | 26 | 37 | 68 |
| Мазуты | 24,2 | 33 | 58 |
| $F_{пр} = 200$ м ² | | | |
| Бензиновые | 44 | 61 | 112 |
| Керосиновые | 40 | 55 | 102 |
| Дизельные | 36 | 50 | 95 |
| Мазуты | 33 | 45 | 80 |
| $F_{пр} = 300$ м ² | | | |
| Бензиновые | 53 | 73 | 135 |
| Керосиновые | 48 | 66,5 | 124 |
| Дизельные | 44 | 61 | 114 |
| Мазуты | 39 | 53 | 97 |

Также представлены результаты расчета пожаробезопасных расстояний для резервуаров с обвалованием, площадью пролива 100, 200 и 300 м² с высотой обва-

лований, исключающих вероятность пролива через них. Безопасные расстояния рассчитаны с учетом пороговых величин теплового излучения [1].

Литература

1. Приказ МЧС РФ «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» от 10 июля 2009 г. № 404 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти: с изм. и допол. 2009. № 37.
2. Тепловое излучение // Studfiles. URL: <https://studfile.net/preview/2455643/page:28/> (дата обращения: 07.09.2021).
3. Приказ ФСЭТАН «Об утверждении Руководства по безопасности "Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на конденсатопроводах и продуктопроводах» от 30 марта 2020 г. № 139 // Официальный интернет-портал правовой информации. 2020.
4. Хуснутдинова С. М., Хафизов Ф. Ш., Хафизов И. Ф. Исследование методов определения удельной массовой скорости выгорания нефтепродуктов // Техносферная безопасность. 2021. № 1 (30). С. 67–71.
5. Хуснутдинова С. М., Хафизов Ф. Ш., Хафизов И. Ф., Мингазетдинов Р. Ф. Расчет удельной массовой скорости выгорания нефтепродуктов // Нефтегазовое дело. 2021. № 2. С. 5–14.
6. Портола В. А., Луговцова Н. Ю., Торосян Е. С. Расчет процессов горения и взрыва. Томск, 2012. С. 35–36.
7. Дубовкин Н. Ф. Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив: справочник. М., 1985. С. 92–104.
8. Кирсанов Ю. Г. Анализ нефти и нефтепродуктов. Екатеринбург, 2016. С. 24–27; 37–41.
9. Теплота сгорания // Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Теплота_сгорания (дата обращения: 01.08.2021).
10. Рабинович Г. Г. Расчет основных процессов и аппаратов нефтепереработки: справ. М., 1979. С. 23–25.
11. Теплофизические свойства // Химия нефти. URL: <http://proofoil.ru/Oilchemistry/heatphysicsproperty1.html> (дата обращения: 01.05.2021).
12. Гуревич И. Л. Технология переработки нефти и газа. Часть первая. М., 1972. С. 38–39.

Referenses

1. Prikaz MCHS RF "Ob utverzhdanii metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob'ektakh" ot 10.07.2009 № 404 s izm. i dopol // Byulleten' normativnykh aktov federal'nykh organov ispolnitel'noy vlasti. 2009. № 37.
2. Teplovoe izluchenie // Studfiles. URL: <https://studfile.net/preview/2455643/page:28/> (data obrashcheniya: 07.09.2021).
3. Prikaz Rostekhnadzora "Ob utverzhdanii rukovodstva po bezopasnosti "Metodicheskie rekomendacii po provedeniyu kolichestvennogo analiza riska avarij na kondensatoprovodakh i produktoprovodakh" ot 30.03.2020 № 139 // Oficial'nyj internet-portal pravovoj informacii. 2020.
4. Husnutdinova S. M., Hafizov F. SH., Hafizov I. F. Issledovanie metodov opredeleniya udel'noj massovoy skorosti vygoraniya nefteproduktov // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2021. № 1 (30). P. 67–71.
5. Husnutdinova S. M. et al. Raschet udel'noj massovoy skorosti vygoraniya nefteproduktov // Neftegazovoe delo. 2021. № 2. P. 5–14.
6. Portola V. A., Lugovcova N. YU., Torosyan E. S. Raschet processov goreniya i vzryva. 2012. P. 35–36.
7. Dubovkin N. F. Fiziko-himicheskie i ekspluatacionnye svoystva reaktivnykh topliv: sprav. M., 1985. P. 92–104.
8. Kirsanov YU. G. Analiz nefti i nefteproduktov. Ekaterinburg, 2016. P. 24–27; 37–41.
9. Teplota sgoraniya // Wikipediya. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Teplota_sgoraniya (data obrashcheniya: 01.08.2021).
10. Rabinovich G. G. Raschet osnovnykh processov i apparatov neftepererabotki. 3-e izd.: sprav. M., 1979. P. 23–25.
11. Teplofizicheskie svoystva // Himiya nefti. URL: <http://proofoil.ru/Oilchemistry/heatphysicsproperty1.html> (data obrashcheniya: 01.05.2021).
12. Gurevich I. L. Tekhnologiya pererabotki nefti i gaza. CH. 1. M., 1972. P. 38–39.