

УДК 662.311.1

sumbulryamova993@gmail.com

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ  
МАССОВОЙ СКОРОСТИ ВЫГОРАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ****RESEACH OF METHODS FOR DETERMINING THE SPECIFIC  
MASS BURN-UP RATE OF PETROLEUM PRODUCTS**

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

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

Величина массовой скорости выгорания нефтепродуктов используется для определения интенсивности теплового излучения, которая в свою очередь является важным фактором для оценки рисков пожаров на объектах нефтегазопереработки. Удельная массовая скорость выгорания определяется экспериментально. В настоящее время значения её величин приводятся в различных справочных материалах для ограниченного ряда нефтепродуктов. Значение удельной массовой скорости выгорания ( $m'$ ) для простых (однокомпонентных) веществ можно также вычислить расчетным путем. Формулы расчета величины  $m'$  в теории применимы как для простых так и для сложных веществ, однако процесс горения сложных топлив существенно отличается в связи с поэтапным выгоранием отдельных фракций в их составе. Поэтому для сложных веществ расчет должен производиться с учетом изменения плотности и температуры в процессе горения.

Для упрощения метода определения значения  $m'$  нефтепродуктов, являющихся многокомпонентными веществами, нами предлагается номограмма, которая позволяет определить величину удельной массовой скорости выгорания, зная плотность нефтепродукта при нормальных условиях и температуру кипения.

*Ключевые слова:* пожарный риск, удельная массовая скорость выгорания, удельная теплота сгорания, удельная теплота испарения, удельная теплоемкость.

The value of the mass burn-up rate of oil products is used to determine the intensity of thermal radiation which is an important factor for assessing the fire risk at oil and gas facilities. The specific mass burnup rate is determined experimentally. Currently its values are given in various references for a limited number of petroleum products. The value of the specific mass burn-up rate for simple (one-component) substances can also be determined by calculation. Formulas for calculating the specific mass burn-up rate in theory are applicable for both simple and complex substances, however the combustion process of complex fuels significantly differs due to the gradual burnout of individual fractions in their composition. Therefore for complex substances a calculation should be carried out taking into account changes in density and temperature during combustion.

To simplify the method for determining the specific mass burn-up rate of oil products which are complex substances, we propose a nomogram that allows you to determine the value of the mass burn-up rate, knowing the density of the oil product under normal conditions and the boiling point.

*Keywords:* fire risk, specific mass burn-up rate, specific heat of combustion, specific heat of vaporization, specific heat capacity.

Удельная массовая скорость выгорания,  $m'$ ,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  – это масса горючего вещества или материала, выгорающая в единицу времени с единицы площади пожара:  $m' = m / (S_{\text{п}} \cdot \tau)$ , где  $m$  – масса вещества,  $S_{\text{п}}$  – площадь пожара,  $\tau$  – длительность горения [1].

Величина  $m'$  используется при определении величин пожарного риска в производствах, например, в случае пожара пролива для определения интенсивности тепло-

вого излучения. Результаты расчета интенсивности теплового излучения используются для оценки безопасных расстояний при воздействии теплового излучения на людей, здания, сооружения и наружные установки.

В настоящее время показатель  $m'$  определяется экспериментальным. Так в различных справочных материалах на сегодняшний день приведены экспериментально-проверенные величины  $m'$  для ряда нефтепродуктов.

Таблица 1  
Скорость выгорания горючих и легковоспламеняющихся жидкостей

Нефтепродукт	Скорость выгорания
	$\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$
Нефть	0,02–0,03
Мазут	0,02–0,03
Дизтопливо	0,05–0,06
Керосин	0,045–0,055
Бензин	0,045–0,053

Значения удельной массовой скорости выгорания небольшого ряда топлив приведены также в Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утверждена приказом МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404, далее – Методика).

Также величину массовой скорости выгорания для простых (однокомпонентных) веществ можно вычислить расчетным путем, используя следующую формулу [2]:

$$m' = \frac{0.001 \cdot H}{L + C(T_b - T_a)}, \quad (1)$$

где  $H$  – удельная теплота сгорания топлива,  $\text{кДж}/\text{кг}$ ;

$L$  – удельная теплота испарения жидкости,  $\text{кДж}/\text{кг}$ ;

$C$  – удельная теплоемкость жидкости,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;

$T_b$  – температура кипения жидкости при атмосферном давлении,  $\text{К}$ ;

$T_a$  – начальная температура жидкости или температура окружающей среды,  $\text{К}$ .

Однако возникает необходимость расчета величин удельной теплоты сгорания и испарения, удельной теплоемкости при заданном значении температуры, которые можно найти в справочных материалах для ограниченного ряда веществ. Нами исследованы методы расчета данных величин, применимые для горючих и легковоспламеняющихся жидких топлив.

Низшую теплоту сгорания нефтепродуктов можно определить по формуле Д. И. Менделеева (2), которая может быть применима для расчета теплоты сгорания как для веществ, имеющих сложный элементный состав, так и для индивидуальных веществ, если предварительно рассчитать массовую долю каждого элемента в соединении ( $\omega$ ) [3]:

$$H_{cr} = 339,4 \cdot \omega(C) + 1257 \cdot \omega(H) - 108,9[\omega(O) + \omega(N) - \omega(S)] - 25,1[9 \cdot \omega(H) + \omega(W)], \quad (2)$$

где  $\omega(H)$ ,  $\omega(O)$ ,  $\omega(N)$ ,  $\omega(S)$ ,  $\omega(W)$  – значения массовых долей элементов и влаги в веществе, %.

Теплоемкость,  $C$ , кДж/(кг·К) — тепло, которое необходимо для нагревания единицы массы вещества на один градус.

Для определения величины удельной теплоемкости жидких нефтепродуктов широко используется эмпирическое уравнение Крэга:

$$C = \frac{1}{\sqrt{\rho_{15}^{15}}} [0,7615 + 0,0034 \cdot (T - 273)], \quad (3)$$

где  $\rho_{15}^{15}$  – относительная плотность нефтепродукта при температуре 15 °С, г/см<sup>3</sup>

Когда говорят о плотности вещества, обычно в отечественной практике используют величину *относительной плотности* нефти или нефтепродукта (обозначается  $\rho_4^{20}$ ), которая равна отношению плотности нефти (нефтепродукта) при температуре 20 °С к плотности воды при температуре 4 °С.

Однако в ряде зарубежных стран за стандартную принята одинаковая температура нефти или нефтепродукта и воды при 60 °F, что соответствует температуре 15,5 °С. В данном случае относительная плотность обозначается  $\rho_{15}^{15}$  [4].

Взаимный пересчет значений относительных плотностей  $\rho_4^{20}$  и  $\rho_{15}^{15}$  производится следующим образом:

$$\rho_{15}^{15} = \rho_4^{20} + \frac{0,0035}{\rho_4^{20}}. \quad (4)$$

Величину *относительной плотности*  $\rho_4^{20}$ , как правило, можно найти в справочных таблицах.

Теплота испарения,  $L$ , кДж/кг – это количество теплоты, поглощаемое жидкостью при испарении (переходе ее в насыщенный пар). У нефтепродуктов теплота испарения меньше чем у воды [5].

Значение теплоты испарения нефтепродуктов при произвольной температуре можно найти по формуле Трутона:

$$L = k \cdot T/M, \quad (5)$$

где  $k$  – характеризующий фактор;

$T$  – заданная температура или температура кипения жидкости, °С;

$M$  – молекулярная масса вещества, г/моль.

Для большей части нефтепродуктов при атмосферном давлении значение  $k$  составляет 83,7–92,1. Более точно значение характеризующего фактора можно рассчитать по формуле В. А. Кистяковского [6]:

$$k = 36,63 + 19,13 \cdot \lg T. \quad (6)$$

Значения теплот испарения для некоторых нефтяных дистиллятов при атмосферном давлении могут иметь примерно следующие величины:

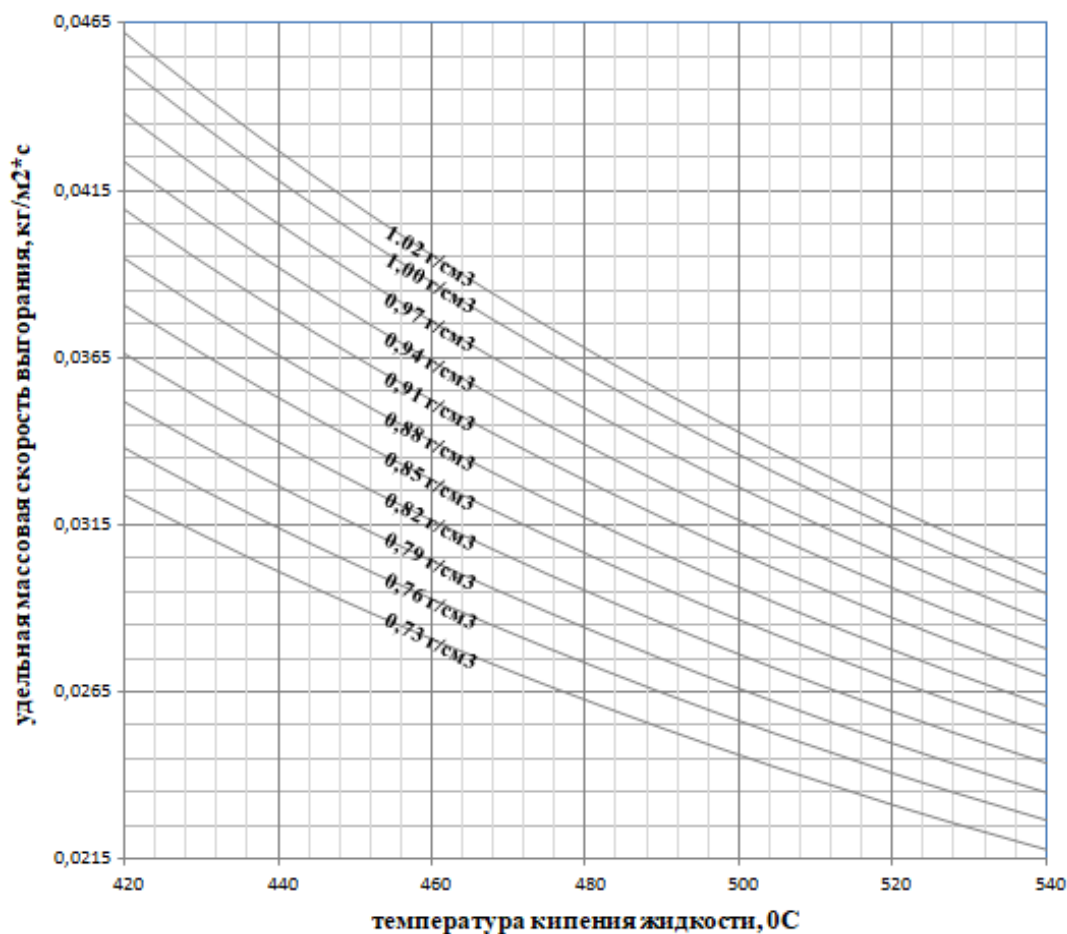
- для бензина 290–300 кДж/кг;
- для керосина 250–270 кДж/кг;
- для дизельного топлива 230–250 кДж/кг;
- для газойля 190–230 кДж/кг.

При изучении способов определения величины  $m'$  перед нами также стояла задача исследования возможности применения формулы (1) для расчета величины массовой скорости выгорания для сложных веществ (многокомпонентных). Для начала мы провели лабораторный эксперимент, определив величину  $m'$  для индивидуального вещества бензола (полученное в результате опыта значение  $m' \approx 0,04$  кг/(м<sup>2</sup>·с) и сложного – бензина ( $\approx 0,05$  кг/(м<sup>2</sup>·с)). Затем, используя формулу 1, рассчитали  $m'$  для бензола (полученное в результате расчета значение  $m' = 0,047$  кг/(м<sup>2</sup>·с), и для бензина в интервале температур 50–210 °С с учетом изменения плотности в связи с увеличением температуры и выгорания фракций в процессе горения. Массовая скорость выгорания бензина в пределах 50–200 °С превысила

0,66 кг/(м<sup>2</sup>·с), в пределах 200–210 °С составила 0,56–0,65 кг/(м<sup>2</sup>·с). Таким образом, можно сделать вывод, что данная формула (1) для расчета  $m'$  применима для сложного жидкого топлива с учетом изменения плотности и температуры в процессе горения.

Для упрощения метода определения значения  $m'$  для нефтепродуктов, являющихся многокомпонентными веществами, нами предлагается номограмма, которая

позволяет определить величину  $m'$ , зная плотность нефтепродукта при нормальных условиях и температуру кипения (значение для фракции нефтепродукта с максимальной температурой кипения, так как в сложном веществе отдельные фракции выкипают при разной температуре). На рис. приведен пример в виде графика зависимости величины  $m'$  от температуры кипения и плотности для нефти.



*Рисунок. График зависимости значения удельной массовой скорости выгорания от плотности и температуры кипения продукта для нефтей*

#### Литература

1. Тимофеева С. С. и др. Физико-химические основы развития и тушения пожара. 2013. С. 23–28.
2. Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти от 14 сентября 2009 г. № 37.
3. Портола В. А., Луговцова Н. Ю., Торосян Е. С. Расчет процессов горения и взрыву. Томск, 2012. С. 35–36.
4. Матвеев С. Н. Теория и практика добычи нефти. Сургут, 2008. С. 351.
5. Хафизов Ф. Ш., Краснов А. В. Давление насыщенных паров для нефтепродуктов // Нефтегазовое дело. 2012. № 3.

6. Кирсанов Ю. Г. Расчетные и графические методы определения свойств нефти и нефтепродуктов. Екатеринбург, 2014. С. 90–96.

7. Смирнов Н. В. Методика испытаний по определению удельной массовой скорости выгорания твердых веществ и материалов. М., 2014. С. 8.

#### Referenses

1. Timofeeva S. S. et al. Fiziko-himicheskie osnovy razvitiya i tusheniya pozhara. 2013. P. 23–28.

2. Prikaz MCHS RF ot 10 iyulya 2009 g. N 404 «Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah» // Byulleten' normativnyh aktov federal'nyh organov ispolnitel'noj vlasti ot 14 sentyabrya 2009 g. N 37.

3. Portola V. A., Lugovcova N. YU., Torosyan E. S. Raschet processov goreniya i vzryva. Tomsk, 2012. S. 35–36.

4. Matveev S. N. Teoriya i praktika dobychi nefiti. Surgut, 2008. P. 351.

5. Hafizov F. SH., Krasnov A. V. Davlenie nasyshchennyh parov dlya nefteproduktov // Neftegazovoe delo. 2012. № 3.

6. Kirsanov YU. G. Raschetnye i graficheskie metody opredeleniya svojstv nefiti i nefteproduktov. Ekaterinburg, 2014. P. 90–96.

7. Smirnov N. V. Metodika ispytaniy po opredeleniyu udel'noj massovoj skorosti vygoraniya tverdyh veshchestv i materialov. M., 2014. P. 8.