

УДК 504 (075.32)

NatalyaDYu@mail.ru

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫБРОСА ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ  
ПРИ ТЕХНОГЕННОЙ АВАРИИ НА ГАЗОНЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ  
НА РАССЕИВАНИЕ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ**

**THE EFFECT OF HARMFUL SUBSTANCES EMISSION PARAMETERS  
AT THE GAS-OIL FIELD ON THE DISPERSAL OF COMBUSTION PRODUCTS  
IN THE ENVIRONMENT**

*Добрынина Н. Ю., Якубова Т. В.,  
Уральский институт Государственной  
противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург*

*Dobrynina N. Yu., Yakubova T. V.,  
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry  
of Russian Federation for Civil Defense, Ekaterinburg*

В статье представлены результаты применения методики расчета вредных выбросов в атмосферу применительно к выбросу от факела пламени газового или газонефтяного фонтана. Выбран параметр – масса выброса, оказывающий наибольшее влияние на рассеивание продуктов горения в атмосферу. Получены распределения приземной концентрации вредных веществ. Определена область рассеивания, зона максимального выброса, максимальная концентрация вредных веществ. Установлено увеличение области рассеивания вредных веществ с ростом массы выброса, при постоянстве зоны максимального рассеивания. Установлена прямопропорциональная зависимость между массой выброса продукта горения и его концентрацией.

*Ключевые слова:* газовый фонтан, масса выброса, продукт горения, зона рассеивания, зона максимального рассеивания.

This article presents the results of the application of the calculating method of harmful emissions into the atmosphere in relation to the injection from the flame of the gas or gas-oil gusher. The mass of ejection is chosen because this parameter has the greatest impact on the dispersal of combustion products into the atmosphere. The distribution of the surface concentration of harmful substances was obtained. The dispersal area, the maximum emission zone, the maximum concentration of harmful substances were determined. It was established that the area of harmful substances dispersal increases with an increase in the mass of emissions, with the constancy of the maximum dispersal zone. There is a direct proportional relationship between the mass of the combustion product and its concentration.

*Keywords:* gas gusher, mass of ejection, combustion product, dispersal zone, maximum dispersal zone.

**Введение**

Техногенные аварии на скважинах газовых и газонефтяных месторождений представляют собой открытые пожары, в которых происходит неуправляемый выброс пластовых флюидов. Газ, содержащийся в пласте газонефтяного месторожде-

ния, находится под давлением порядка 100–200 атм, и скорость его истечения составляет около 100 м<sup>3</sup>/с. Аварийное истечение фонтанирующего газа может продолжаться в течение нескольких суток до воспламенения. В результате вблизи скважины образуется зона загазованности протяженностью

несколько километров и зона растекания нефти радиусом до нескольких сотен метров [1]. Действительная температура горения открытого фонтана приблизительно составляет 1700 К. Значит, аварии наносят экономический и экологический ущерб [2].

Для расчетов применяется предельно допустимая максимальная разовая концентрация (ПДК<sub>мр</sub>), поскольку она устанавливается для атмосферного воздуха населенного пункта. ПДК<sub>мр</sub> (мг/м<sup>3</sup>) в результате выброса при аварии на газовом или газонефтяном месторождении следующая: CO<sub>2</sub> – 5,0; CO – 0,15; NO<sub>2</sub> – 0,085; NO – 0,4; SO<sub>2</sub> – 0,5; H<sub>2</sub>S – 0,008; CS<sub>2</sub> – 0,03; CH<sub>3</sub>SH – 0,0001; C<sub>20</sub>H<sub>12</sub> (бензпирен) – 0,00015, сажа – 0,15 [3].

#### **Методика исследования влияния параметров выброса вредных веществ на распределение в атмосферном воздухе**

В основе расчета лежит методика определения концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий, предложенная Госкомгидрометом [3]. Методика предназначена для расчета приземных концентраций в двухметровом слое над поверхностью земли, а также вертикального распределения концентраций на расстояниях, не превышающих 100 км. Степень опасности загрязнения атмосферного воздуха характеризуется наибольшим рассчитанным значением концентрации, соответствующим неблагоприятным метеорологическим условиям, в том числе опасной скорости ветра.

Также методика позволяет учесть большое количество факторов, среди которых, параметры поступления газов в атмосферу (высота источника выброса вредного вещества, размер источника, масса выброса, температура поступающего в атмосферу вредного вещества), а также влияние других параметров (условия рассеивания загрязняющих веществ в географическом районе, температуры окружающего воздуха, рельефа местности). В итоге, методика позволяет сделать выводы о влиянии изучаемых факторов на организм человека и экологическое состояние окружающей среды.

В статье представлены результаты применения методики расчета вредных выбросов в атмосферу применительно к выбросу от факела пламени газового или газонефтяного фонтана [4].

Объект исследования – одиночный точечный источник – факел пламени газового или газонефтяного фонтана открытого пожара, образующийся в результате техногенной аварии.

Для анализа рассеивания вредных веществ предусмотрено изменение следующих параметров:

- 1)  $H$  (м) – высота факела пламени;
- 2)  $D$  (м) – диаметр устья трубы;
- 3)  $w_0$  (м/с) – скорость выхода газозооной смеси;
- 4)  $T_2$  (К) – температура газозооной смеси;
- 5)  $T_в$  (К) – температура окружающего атмосферного воздуха;
- 6)  $M$  (г/с) – масса выброса;
- 7)  $A$  – коэффициент стратификации атмосферы;
- 8)  $\eta$  – коэффициент рельефа местности;
- 9)  $F$  – коэффициент оседания аэрозольей;
- 10) ПДК<sub>мр</sub> (мг/м<sup>3</sup>).

Авторами работы видится целесообразным сузить число параметров, влияющих на рассеивание вредных веществ в атмосферу и найти наиболее значимые среди них. Можно не анализировать те параметры, которые слабо влияют на рассеивание или являются нормированными. Среди них можно выделить следующие: температура горения предельных углеводородов, которая составляет 1300–1350 °С; температура окружающего атмосферного воздуха, т. к. слабо влияет на разность температур:  $\Delta T = T_2 - T_в$ ; диаметр устья трубы составляет от 200 до 250 мм; коэффициент оседания аэрозольей необходимо принять равным 3, в связи с отсутствием очистки вредного выброса; коэффициент стратификации атмосферы примем равным 200; коэффициент рельефа местности примем равным 1. Не учитывается изменение высоты факела

пламени ( $H$ ), т. к. на реальных пожарах ламинарный режим горения практически не встречается. Турбулизация пламени приводит к замедлению роста высоты факела пламени [2, 5] с увеличением расхода газа, что отражается в известной эмпирической

формуле. Дебит газового фонтана составляет ( $Deb$ , млн  $m^3/сутки$ ):

$$Deb = 0,0025 \cdot H^2. \quad (1)$$

Зависимость высоты факела пламени при выбранном диаметре устья (250 мм) от дебита (или секундного расхода газа) представлена в таблице 1.

Таблица 1

*Зависимость высоты факела пламени газового фонтана от его дебита*

$Deb$ , млн $m^3/сутки$	$V_{\Gamma}$ , $m^3/c$	$w_0$ , $m/c$	$H$ , $m$
0,5	6	118	14
1–2	12–20	236–472	20–28
3–4	35–45	707–943	35–40
5–6	58–69	1179–1415	45–49
7–8	81–93	1651–1886	53–57
9–10	104–116	2122–2358	60–63
12–15	139–174	2830–3537	69–77

Из предложенных параметров модели в таблице 1 в наибольшей степени изменяется параметр  $w_0$ ,  $m/c$  – эффективная скорость истечения газовой струи:

$$w_0 = 4V_{\Gamma} / (\pi D^2), \quad (2)$$

где  $V_{\Gamma}$ ,  $m^3/c$  – секундный расход газа;  $D$  диаметр устья трубы.

Эффективная скорость истечения газовой струи связана с массой выброса вредного вещества по формуле (3):

$$M = \rho_{\Gamma} \cdot V_{\Gamma} \cdot N_{\Gamma}, \quad (3)$$

где  $\rho_{\Gamma}$  – плотность газа при заданной температуре;  $N_{\Gamma}$  – мольная доля газа (вредного вещества), полученная из уравнения реакции горения.

Таким образом, для анализа выброса вредных веществ в окружающую среду будем использовать один параметр – массу выброса.

### Результаты расчетов

В расчете используется приведенная концентрация вредного вещества. В результате получены следующие параметры ра-

Установлено, что масса выброса не влияет на положение максимума кривых:  $x_m=980$  м.

ссеивания вредного вещества в окружающую среду в зависимости от массы выброса:

- область рассеивания вредного вещества  $x'_i - x''_i$ , м;
- расстояние с максимальным значением вредного вещества (или зона максимального выброса)  $x_m$ , м;
- максимальная концентрация выброса  $C_m$ ,  $mg/m^3$ ;
- приведенная максимальная концентрация выброса  $C_m / ПДК_{\text{мр}}$ , в долях.

Анализ расчетов для  $SO_2$  показал: для масс выбросов  $M_1=80$ ;  $M_2=160$  г/с концентрации не превышают  $ПДК_{\text{мр}}$  на любом расстоянии от источника выброса (см. рис.1). Для масс выбросов, превышающих 160 г/с, установлены границы зоны рассеивания продуктов горения:

$M_3=320$  г/с – превышение  $ПДК_{\text{мр}}$  на расстоянии, равном 300–2800 м;

$M_4=640$  г/с – превышение  $ПДК_{\text{мр}}$  на расстоянии 210–4600 м;

$M_5=1280$  г/с – превышение  $ПДК_{\text{мр}}$  на расстоянии от 170 и до более чем 5000 м.

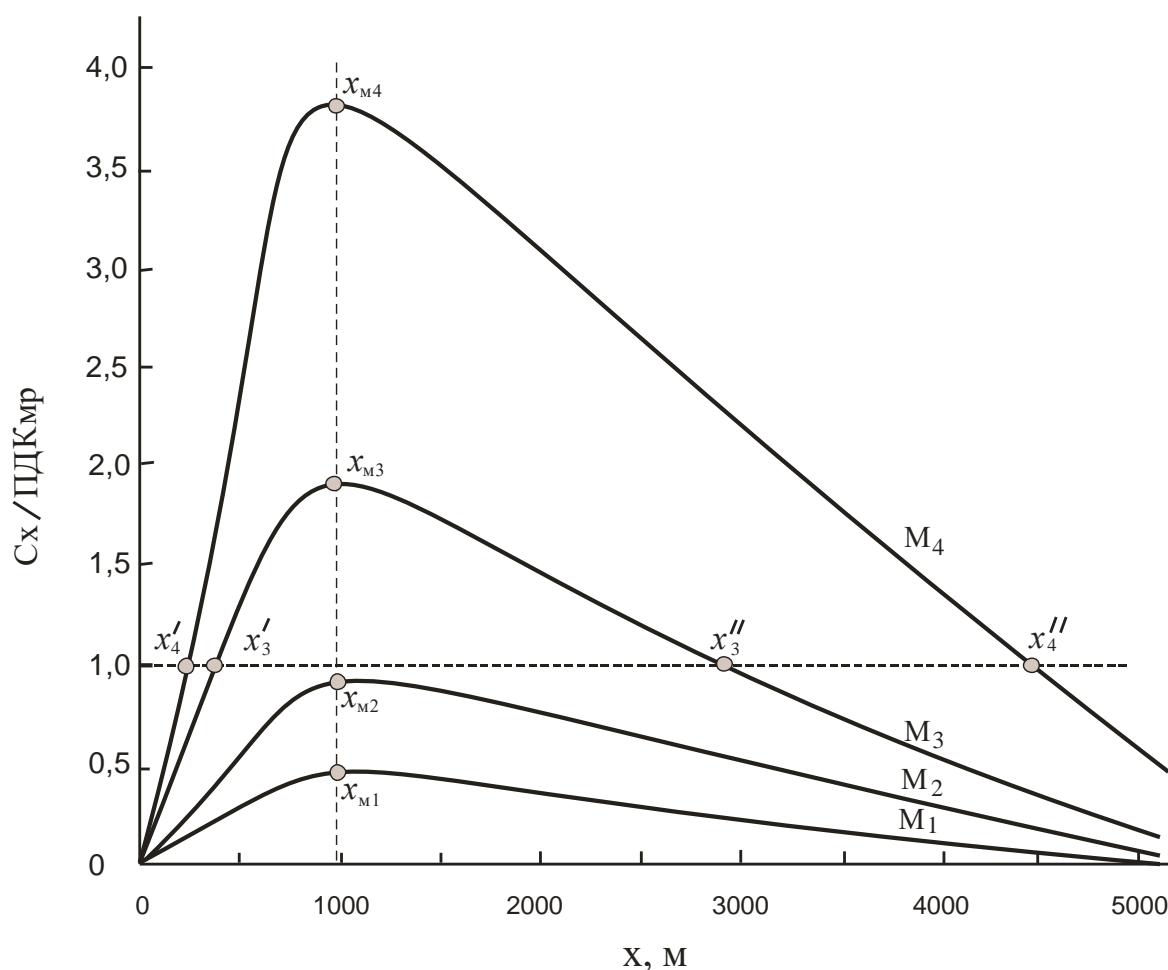


Рисунок 1. Влияние массы выброса ( $M_i$ ) на рассеивание  $SO_2$ .  
 $M_1=80$ ;  $M_2=160$ ;  $M_3=320$ ;  $M_4=640$  г/с при фиксированных значениях остальных параметров:  $H = 24$  м;  $D = 260$  мм;  $w_0 = 369$  м/с;  $t_2 = 1200$  °С;  $A = 140$ ;  $\eta = 1$ ;  $F = 1$ ;  $ПДК_{мр} = 0,5$  мг/м<sup>3</sup>; пунктирная линия соответствует ПДК<sub>мр</sub> вредного вещества

В задачи исследования входило изучение влияния всех рассеиваемых в окружающее пространство вредных веществ в результате техногенной аварии на газовом или газонефтяном

месторождении. Из [6] были взяты данные по выделению вредных веществ в результате горения природного газа. Они приведены в таблице 2.

Таблица 2

Концентрации вредных веществ, выделяющихся при факельном сжигании природного газа

Название вредного вещества, химическая формула	Диапазон концентраций, об. %	Среднее значение массы выброса, г/с
Оксид азота, NO	2,56÷47,3	5095
Диоксид углерода, CO	1÷14	1274
Диоксид азота, NO <sub>2</sub>	0,28÷5,05	127,4
Оксид углерода, CO	0,23÷2,77	318,0
Сажа, С	0,081÷0,75	89,2
Диоксид серы, SO <sub>2</sub>	0,012÷0,02	2,55
Бензпирен, C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	0÷0,000051	0,06

Для оценки влияния природы вредного вещества были использованы средние значения масс выбросов вредных веществ, которые приведены в таблице 2.

Получены распределения приземной концентрации вредных веществ при заданном среднем значении масс выбросов, представленные на рис. 2.

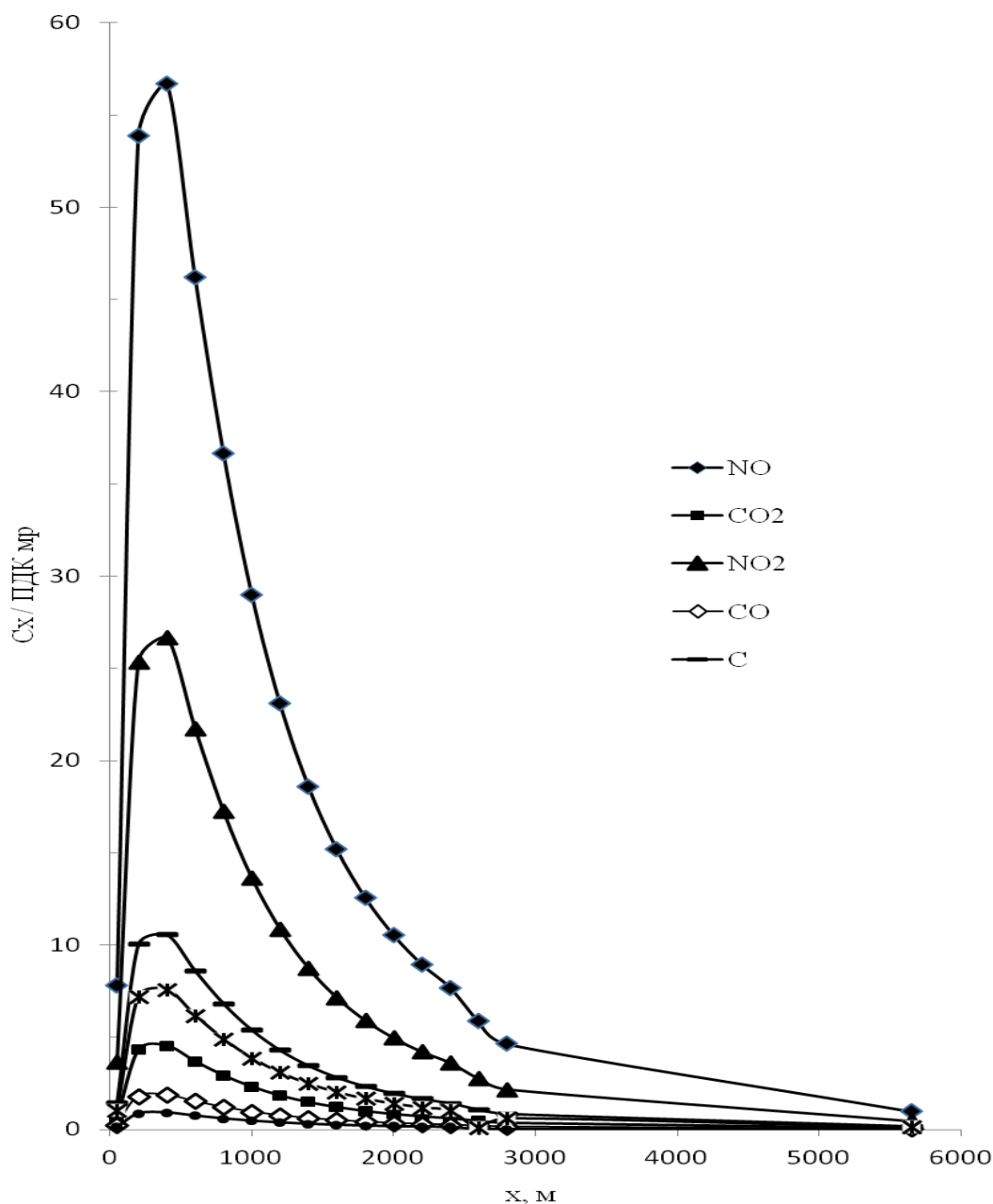


Рисунок 2. Влияние природы вредного вещества ( $ПДК_{мр}$ ) на рассеивание. Фиксированные значения параметров модели следующие:  $H = 44,7$  м;  $D = 250$  мм;  $w_0 = 1178$  м/с;  $t_2 = 1200$  °С;  $t_6 = 20$  °С;  $A = 200$ ;  $\eta = 1$ ;  $F = 3$

В итоге установлена прямопропорциональная зависимость между увеличением массы выброса ( $\Delta M$ ) и изменением концентрации выброса

( $\Delta C / ПДК_{мр}$ ) вредного вещества, при котором в окружающей среде достигается максимальное значение ПДК по расстоянию  $x$  от источника выброса.

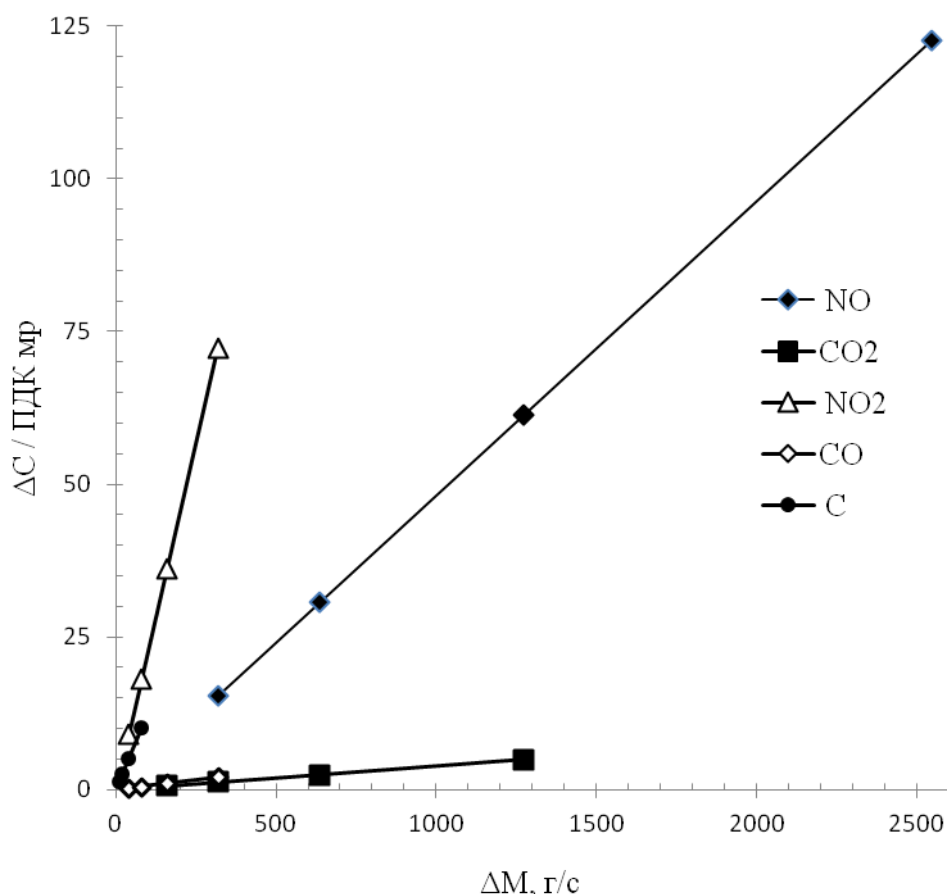


Рисунок 3. Влияние диапазона выброса вредных веществ на их рассеивание. Фиксированные значения параметров модели следующие:  $H = 44,7$  м;  $D = 250$  мм;  $w_0 = 1178$  м/с;  $t_2 = 1200$  °С;  $t_6 = 20$  °С;  $A = 200$ ;  $\eta = 1$ ;  $F = 3$

### Выводы

В статье представлены результаты применения методики расчета вредных выбросов в атмосферу применительно к выбросу от факела пламени газового или газонефтяного фонтана. В расчетах использованы усредненные данные по выделению вредных веществ в результате горения природного газа.

Объектом исследования является одиночный точечный источник – факел пламени газового или газонефтяного фонтана открытого пожара. Для анализа выброса вредных веществ в окружающую среду выбран один, наиболее значимый параметр,

оказывающий наибольшее влияние на рассеивание продуктов горения в атмосферу – масса выброса. Получены распределения приземной концентрации вредных веществ. Определена область рассеивания, зона максимального выброса, максимальная концентрация вредных веществ. Установлено увеличение области рассеивания вредных веществ с ростом массы выброса, при этом положение зоны максимального рассеивания вдоль координаты  $x$  не изменялось. Установлена прямопропорциональная зависимость между массой выброса продукта горения и его концентрацией.

**Литература**

1. Расчет основных характеристик техногенной аварии, сопровождающейся горением газовых и газонефтяных фонтанов / сост. Е. В. Гайнуллина, Н. Ю. Добрынина. Екатеринбург, 2018. 41 с.
2. Физико-химические основа развития и тушения пожаров / В. Ф. Марков и др. Екатеринбург, 2009. 274 с.
3. ОНД-86 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л., 1987. 96 с.
4. Лабораторный практикум по дисциплине «Физико-химические основы пожароопасных процессов в техносфере» / сост. Е. В. Гайнуллина, Н. Ю. Добрынина. Екатеринбург, 2020. 98 с.
5. Гайнуллина Е. В., Кокшаров А. В., Добрынина Н. Ю. Пожароопасные процессы в техносфере. Екатеринбург, 2018. 123 с.
6. Энциклопедия теплоснабжения: свобод. энцикл. URL: <http://www.rosteplo.ru> (дата обращения: 01.03.2020).

**References**

1. Raschet osnovnyh harakteristik tekhnogennoj avarii, soprovozhdayushchejsya gorenieniem gazovyh i gazoneftyanyh fontanov / sost. E. V. Gajnullina, N. YU. Dobrynina. Ekaterinburg, 2018. 41 s.
2. Fiziko-himicheskie osnova razvitiya i tusheniya pozharov / V. F. Markov i dr. Ekaterinburg, 2009. 274 s.
3. OND-86 «Metodika rascheta koncentracij v atmosfernom vozduhe vrednyh veshchestv, sodержashchihsya v vybrosah predpriyatij. L., 1987. 96 s.
4. Laboratornyj praktikum po discipline «Fiziko-himicheskie osnovy pozharoопасnyh processov v tekhnosfere» / sost. E. V. Gajnullina, N. YU. Dobrynina. Ekaterinburg, 2020. 98 s.
5. Gajnullina E. V. Pozharoопасnye processy v tekhnosfere / E. V. Gajnullina, A. V. Koksharov, N. YU. Dobrynina. Ekaterinburg, 2018. 123 s.
6. Enciklopediya teplosnabzheniya: svobod. encikl. URL: <http://www.rosteplo.ru> (data obrashcheniya: 01.03.2020).