

Сочетание полученных параметров продолжительности впрыска топлива 30^0 (для заданной характеристики впрыска) и диаметра сопел 0,856 мм позволяют без нарушения ограничения максимального давления впрыска и максимального давления в цилиндре получить минимальный расход топлива при эмиссии оксидов азота

$$e_{\text{NO}_x} = 9,13 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$$

и твердых частиц

$$e_{\text{PM}} = 0,14 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$$

Вывод. Используемые при обработке показатели качества протекания процессов распыливания, смесеобразования и сгорания топлива отображают закономерность изменения содержания твердых частиц в отработавших газах судовых дизелей. Следовательно, полученные параметры, учитывающие влияние некоторых конструкционных и эксплуатационных факторов могут применяться для исследования процессов образования твердых частиц на этапах проектирования и эксплуатации судовых дизелей.

Литература:

1. Кульчицкий, А.Р. Исследование процессов образования и разработка методов снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизелей внедорожных машин: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Владимир, 2006. – 35с.
2. Возницкий, И.В. Современные судовые среднеоборотные двигатели. – М.: МОРКНИГА, 2005. – 147 с.
3. Климова, Е.В. Рекомендации по применению способов снижения вредного воздействия судовых выбросов на гидросферу / Е.В.Климова, А.Ф. Дорохов // Вест. Астрахан. гос.техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. – 2015. – №1. – С. 91-96.
4. Возницкий, И.В. Судовые двигатели внутреннего сгорания / И.В. Возницкий, А.С. Пунда. – М.: МОРКНИГА, 2010. – 382с.
5. Макаров, В.А. Впрыскивание и распыливание топлива в дизелях / В.А. Макаров, С.А. Девянин, В.И. Мальчук. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 360 с.
6. Броне, Д.Д. Сгорание в поршневых двигателях. – М.: Машиностроение, 1969. – 247 с.
7. Кулешов, А.С. Программа расчета и оптимизации двигателей внутреннего сгорания ДИЗЕЛЬ-РК. Описание математических моделей, решение оптимизационных задач.– М.: МГТУ им. Баумана, 2004. – 123 с.: ил.
8. Кулешов, А.С. Многозонная модель для расчета сгорания в дизеле. 1. Расчет распределения топлива в струе // Вестник МГТУ. Машиностроение. – 2007. – Спец. вып. Двигатели внутреннего сгорания. – С.18-31.
9. Кулешов, А.С. Многозонная модель для расчета сгорания в дизеле. 2. Расчет скорости тепловыделения при многократном впрыске // Вестник МГТУ. Машиностроение. – 2007. – Спец. вып. Двигатели внутреннего сгорания. – С.32-45.
10. Кулешов, А.С. Программа расчета и оптимизации двигателей внутреннего сгорания ДИЗЕЛЬ-РК. Описание математических моделей, решение оптимизационных задач.– М.: МГТУ им. Баумана, 2004. – 123 с.
11. Кулешов, А.С. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливopодачи и рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания / А.С. Кулешов, Л.В. Грехов. – М.: МГТУ, 2000. – 64 с.
12. Кулешов, А.С. Многозонная модель для расчета сгорания в дизеле. 1. Расчет распределения топлива в струе // Вестник МГТУ. Машиностроение. – 2007. – Спец. вып. Двигатели внутреннего сгорания. – С.18-31.
13. Кулешов, А.С. Многозонная модель для расчета сгорания в дизеле. 2. Расчет скорости тепловыделения при многократном впрыске // Вестник МГТУ. Машиностроение. – 2007. – Спец. вып. Двигатели внутреннего сгорания. – С. 32-45.
14. Туркин, А.В. Снижение загрязнения атмосферы очисткой продуктов сгорания судовых и корабельных энергетических установок // Материалы седьмой региональной научно-технической конференции. – Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2008. – С.70.
15. Деружинский, В.Е. Теоретические аспекты экологического мониторинга в транспортном комплексе страны./ В.Е. Деружинский, А.Н. Томилин // Эксплуатация морского транспорта.– 2015.– № 3 (76).– С. 103-113.

УДК 628.19

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЁТА РАССЕЙВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ПРИ РАЗЛИВАХ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Лавров В.В., асп.

Гамидов Р.С., асп.

1 июля 2013 года вступил в силу Федеральный закон от 30 декабря 2012 г. №287-ФЗ (далее – ФЗ-287), который внёс изменения в Федеральные законы от 30 ноября 1995 г. №187-ФЗ «О континентальном шельфе Российской

Федерации» (далее – ФЗ-187) и от 31 июля 1998 г. №155-ФЗ «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации» (далее – ФЗ-155).

Так, в соответствии с п. 1 ст. 16.1 ФЗ-155, операции по транспортировке и хранению нефти и нефтепродуктов во внутренних морских водах и в территориальном море допускаются только при наличии плана, который утверждён в порядке, установленном настоящим Федеральным законом, и в соответствии с которым планируются и осуществляются мероприятия по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов (далее – план ПЛРН) в морской среде. В соответствии с п. 2 ст. 16.1, а также п. 4 ст. 34 ФЗ-155, План по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов является объектом государственной экологической экспертизы (далее – ГЭЭ) и должен включать оценку воздействия на все компоненты природной среды.

Одним из таких компонентов является атмосферный воздух. Однако, со времени вступления ФЗ-287 не разработано методик расчёта испарения углеводородов при проведении работ по ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов (далее – ЛРН). Операции по ЛРН производятся с применением нефтесборных систем, при работе которых испарение нефти и нефтепродуктов происходит более интенсивно в связи с механическим воздействием. Кроме того, площадь пятна постепенно уменьшается вследствие сбора нефтепродуктов, что создаёт трудности для оперативного расчёта рассеивания и адекватного отображения значений предельно допустимых концентраций (далее – ПДК) в расчётных точках. В настоящей статье рассматриваются разработанные авторами и апробированные на практике способы расчёта рассеивания загрязняющих веществ (далее – ЗВ) в атмосферном воздухе при разливах нефти и нефтепродуктов в рамках проведения оценки воздействия на окружающую среду (далее - ОВОС).

Ключевые слова: Атмосферный воздух, объём разлива, давление насыщенных паров, молекулярная масса, интенсивность испарения, выброс, площадь зеркала горения, расчёт рассеивания, ГЭЭ.

On July 1, 2013 the Federal Law of December 30, 2012 № 287-FL came into force, which amended the federal law on November 30, 1995 № 187-FL "On the Russian Federation continental shelf" and of 31 July 1998 № 155-FL "On the internal sea waters, territorial sea and contiguous zone of the Russian Federation".

Thus, in accordance with paragraph 1 of Article 16.1 of Federal Law № 155, the operation of transportation and oil and petroleum products storage in the internal sea waters and the territorial sea shall be allowed only if there is a plan that was approved in the order established by the present Federal Law, and in accordance with which planned and implemented measures for prevention and liquidation of oil spills in the marine environment. In accordance with paragraph 2 of Article 16.1, as well as paragraph 4 of Article 34 of the Federal Law-155, plan for prevention and liquidation of oil spills is the object of the state ecological examination and should include an assessment of the impact on all components of the natural environment.

One of these components is air. However, since the entry of FL-287 are not developed hydrocarbon evaporation calculation methods in the works to eliminate oil spills. OSR operations are made using oil-gathering systems at work which evaporation of oil and oil products is more intense due to mechanical action. In addition, the spot area is gradually reduced due to the collection of oil, which creates difficulties for the calculation of the operational and adequate dispersion of the display values of maximum permissible concentration (hereinafter - MPC) in the calculated points. This article describes developed by authors and tested methods of calculating the dispersion of pollutants (hereinafter - the pollutants) in the atmospheric air at oil spills and oil products in the framework of the impact assessment on the environment

Keywords: Atmospheric air, the volume of the spill, vapor pressure, molecular weight, intensity-of evaporative emissions, area of burning mirrors, dispersion calculation, the state ecological expertise.

Инвентаризация объекта

Инвентаризация объекта – первый и наиболее важный этап, который включает в себя сбор исходных данных, изучения места и технологии ведения деятельности, а также оценку и прогнозирование развития аварийной ситуации на объекте исследования.

Согласно требованиям Правил организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации (утв. постановлением Правительства РФ от 14 ноября 2014 г. № 1189), максимальные расчётные объёмы разливов нефти и нефтепродуктов для судов с двойным дном и двойными бортами – 50% двух смежных танков максимального объёма. Такой разлив может произойти в результате повреждения борта и (или) днища судна при

столкновении, посадке на мель или вследствие техногенных катастроф.

Радиус такого разлива можно определить с помощью специального программного обеспечения или по эмпирической формуле:

$$R(t) = 1,76(gY)^{1/4} V^{1/2} Y^{1/8} t^{3/8} \quad (1)$$

где: $R(t)$ – радиус растекания во времени, м;

$g = 9,81$ м/с – ускорение свободного падения;

$Y = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_w}\right)$ – кинематический коэффициент

вязкости;

ρ_n – плотность нефтепродукта, кг/м³;

ρ_w – плотность воды, кг/м³;

V – объём разлива, м³;

t – время, с.

Для наземных резервуаров объёмы разливов определяются согласно вышеуказанным Правилам (утв. постановлением Правительства РФ от 14 ноября 2014 г. № 1189) и принимаются 100 % объёмом наибольшего

резервуара предназначенного для рассчитываемого нефтепродукта. Площадь такого разлива, обычно принимается в виде суммы площадей обвалования резервуара и площади самого резервуара в результате разрушения.

Объёмы разливов, принятые в качестве исходных данных, должны соответствовать объёмам разливов, рассчитанным и рассмотренным в Плане ПЛРН.

Одним из требований ГЭЭ является расчёт на «максимально худший случай» развития ЧС, в целях соблюдения этого требования, необходимо учитывать сценарий, при котором помимо испарения нефти и нефтепродуктов произойдёт их возгорание и устойчивое горение.

Известно, что при крупных авариях возникает необходимость определения выбросов вредных веществ в текущий момент времени. При организации тушения очага пожара это необходимо для прогноза масштабов экологического бедствия и оценки времени горения. Весь процесс выбросов поллютантов разбивается на стадии (сценарии) испарения нефти и нефтепродуктов с водной поверхности при заданной температуре окружающей среды и стадии (сценарии) формирования очага пожара с дегоранием нефти и нефтепродуктов.

В основном источниками загрязнения атмосферы являются:

- аварийный разлив (испарение) нефти и нефтепродуктов;
- аварийное возгорание нефти и нефтепродуктов;
- судовое и/или стационарное оборудование резервуарного парка
- автотранспорт, участвующий в работах по ликвидации ЧС;
- двигатели нефтесборных систем (скиммера, насосы для откачки нефти и нефтепродукта).

Расчёт итоговых значений масс выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при испарении углеводородов и неконтролируемом горении нефти и нефтепродуктов

Для определения количества выбросов загрязняющих веществ применяются расчётные методы с использованием нормативно-методических и справочных документов. В основном, руководствуются перечнем по расчёту выделений (выбросов) ЗВ в атмосферный воздух, рекомендованных к использованию в 2016 году (утверждён приказом генерального директора

АО «НИИ Атмосфера» от 28 декабря 2015 г. № 33).

Для установления масштаба, характера и степени воздействия выбросов, загрязняющих веществ от источников, образующихся при возникновении аварийной ситуации в заданном районе, проводятся расчёты рассеивания. В частности, для моделирования уровней загрязнения атмосферы проводятся вычисления по программе автоматизированного расчёта «Эколог» (версия 4) производства ООО «Интеграл» (г. Санкт-Петербург), которая базируется на методике расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (далее - ОНД-86).

Определение интенсивности испарения W нефти и нефтепродуктов рекомендовано по формуле, которая приводится в ГОСТ Р 12.3.047-2012 ССБТ [1], приложении И, формула И.1:

$$W = 10^{-6} \times \eta \times \sqrt{M} \times P_H \quad (2)$$

где: $\eta = 1$ – при проливе жидкости вне помещения;

M – молярная масса жидкости, кг/кмоль;

P_H – давление насыщенного пара при расчётной температуре жидкости, кПа.

Зачастую применение данной формулы затрудняется тем, что давление насыщенных паров нефтепродуктов и молекулярную массу паров нефти и нефтепродуктов, для более точного расчёта нужно определять инструментальными замерами, а готовые данные для теоретического расчёта найти достаточно проблематично. Так, для ОВОС в составе Плана ПЛРН, при отсутствии лабораторных исследований, искомые значения W допустимо вычислить по нижеследующим формулам.

Для определения давления насыщенных паров применяется уравнение, полученное в работе [6] на основе информационно-энтропийного моделирования вида:

$$P_t = P_0 \tau_{\text{кип}}^f \quad (3)$$

в котором:

$$f = \alpha_0 - \frac{\alpha_1}{\tau_{\text{кип}}} + \alpha_2 \tau_{\text{кип}} + \alpha_3 d_1^{20} + \alpha_4 (d_1^{20})^2 + \frac{\alpha_5 T_{\text{кип}}^0}{273,15} \quad (4)$$

$$\alpha_0 = -2,8718;$$

$$\alpha_1 = 10,4113;$$

$$\alpha_2 = 2,5858;$$

$$\alpha_3 = -2,8981;$$

$$\alpha_4 = -2,081;$$

$$\alpha_5 = 1,2406;$$

$$\tau_{\text{кип}} = \frac{T}{T_{\text{кип}}^0}$$

где: T – температура кипения при давлении P_T , К;
 $T_{кип}^0$ – нормальная температура кипения, К;
 P_0 – давление насыщенных паров при температуре кипения (стандартное давление).

Для определения молекулярной массы нефтяных фракций парафинового основания (светлые нефтепродукты) применяется формула Войнова, которая имеет вид:

$$M_{cp} = 60 + 0,3t_{cp} + 0,001t_{cp}^2, \quad (5)$$

где: t_{cp} – средняя температура кипения нефтепродукта.

Формула Войнова для моторных топлив (бензинов, керосинов и т.п.), учитывающая характеристический фактор К, имеет вид:

$$M = (7K - 21,5) + (0,76 - 0,04K)t + (0,0003K - 0,00245)t^2 \quad (6)$$

где: К – учитывает влияние химической природы нефтей и нефтепродуктов на их физико-химические свойства.

Средняя величина характеристического фактора К:

- для парафиновых нефтепродуктов 12,5-13;
- для нафтеновых и ароматических нефтепродуктов 10-11;
- для крекинг-бензинов 11,5-11,8;
- для сильно ароматизированных фракций 10 и ниже.

В отсутствии данных для исходных нефтей и нефтепродуктов, молекулярные массы фракций определяют по эмпирическим формулам, исходя из других физических свойств. Например, при известной относительной плотности молекулярную массу можно определить по формуле Крэга.

$$M = \frac{44,29\rho^{288}}{1,03\rho^{288}}, \quad (7)$$

где: ρ^{288} – плотность нефтепродукта при температуре $T = 288K$.

Расчёт выбросов ЗВ при возгорании нефти и нефтепродуктов выполняется с помощью программы «Горение нефти» (версия 1.0.0.5), разработчиком которой является ООО «Интеграл». Программа основана на методике [4]. Исходными данными для расчёта служат такие величины, как площадь зеркала горения жидкости, объём разлива, толщина плёнки и тип нефтепродукта.

В связи с отсутствием специальных методик по расчёту площади зеркала горения нефти и нефтепродуктов на морской поверхности применима формула, приведённая в работе [7]:

$$S_{cp} = 4,63 \cdot V_p, \quad (8)$$

где: V_p – объём нефтепродукта в резервуаре/танке.

Величина выбросов углеводородов в атмосферу

Заключительным этапом является нахождение величины максимально разовых и среднегодовых выбросов загрязняющих веществ в воздушный бассейн от всех источников загрязнения атмосферы. После нахождения интенсивности испарения W по формуле **Ошибка! Залка не определена.**, величина выбросов углеводородов вычисляется по формулам:

$$G = W \cdot 10^3 \cdot S_{ж}, \quad (9)$$

где: G – концентрация максимально разового выброса ЗВ (г/с).

$$M = 3,6 \cdot G \cdot t \cdot 10^{-3}, \quad (10)$$

где: M – концентрация среднегодового выброса ЗВ (т/г);

t – продолжительность испарения.

Идентификация примесей, т.е. разделение испарения смеси на отдельные вещества, выполняется по справочным данным. В качестве примера можно привести встроенный справочник в программе «АЗС-Эколог (версия 2.1)» разработки ООО «Интеграл».

Выводы

Методика ОНД 86 предназначена для оценки воздействия на атмосферный воздух в процессе повседневной (штатной) эксплуатации опасных производственных объектов. Авторами настоящей статьи произведена адаптация данной методики для решения задач по оценке воздействия загрязняющих веществ на воздушный бассейн, в результате возникновения аварийной ситуации на объектах инфраструктуры морских портов.

Методика ОНД 86 и основанная на ней программа УПРЗА Эколог (4 версия) могут использоваться для оценки загрязнения атмосферного воздуха при возникновении и ликвидации чрезвычайных ситуаций, обусловленных разливами нефти и нефтепродуктов, с учётом описанных выше особенностей.

Полученные авторами решения были апробированы в практических расчётах для объектов инфраструктуры морских портов Темрюк, Кавказ, Тамань, Новороссийск, Туапсе, Сочи, Находка и Восточный.

Адекватность полученных результатов подтверждается положительными заключениями государственной экологической экспертизы на указанные объекты.

Литература

1. ГОСТ Р 12.3.047-2012 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
2. Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий «Онд-86». Утверждена Председателем Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды 4 августа 1986 г. № 192
3. «Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров», утверждённые приказом Госкомэкологии России № 199 от 08.04.1998 г.
4. «Методика расчёта выбросов вредных веществ в атмосферу при свободном горении нефти и нефтепродуктов»: Самара, 1996.
5. «Методика по определению выбросов вредных веществ в атмосферу на предприятиях госкомнефтепродукта РСФСР». Согласовано Госкомприродой СССР, 27.12.1988 г. Утверждена госкомнефтепродуктом РСФСР, 19.12.1968 г., Астрахань, 1988 г.
6. Моисеев, А. В. Расчетные методы определения физико-химических свойств углеводородных систем, нефтей и нефтепродуктов: Примеры и задачи : учеб. пособие / А. В. Моисеев. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КНАГТУ», 2010.
- 7 Методические указания «Расчёт выбросов вредных веществ в атмосферу при свободном горении нефти и нефтепродуктов. Профессор кафедры "ПромЭко" Г. В. Старикова, доцент, к.т.н. Е. В. Налобина, ст. преп. кафедры "ПромЭко" Л. Б. Хайруллина. Тюменский государственный нефтегазовый университет 2002 г.
- 7 Расчетная инструкция (методика) «Удельные показатели образования вредных веществ, выделяющихся в атмосферу от основных видов технологического оборудования предприятий радиоэлектронного комплекса», Санкт-Петербург, 2006 год.