

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОЖАРА ПРИ ГОРЕНИИ НЕФТИ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК
556.332.633

ASSESSMENT OF IMPACT OF WIND SPEED ON FIRE DISTRIBUTION AT OIL
BURNING ON WATER SURFACE

А.Н. Елизарьев, Р.Г. Ахтямов,
Э.С. Хаертдинова, Г.Г. Сафуганова

ФГБОУ ВПО Уфимский
государственный авиационный
технический университет

A.N. Elizariev, R.G. Akhtyamov,
E.S. Khaertdinova, G.G. Safuganova

FSBEI Ufa state aviation technical
university

На основе проведенного анализа выявлены основные факторы, влияющие на скорость распространения пожара нефти на водной поверхности. Рассмотрены методики оценки влияния направления и скорости ветра на распространение фронта пожара нефти на водной поверхности. В работе получена зависимость скорости распространения пожара нефти на водной поверхности от скорости ветра.

On the basis of the spent analysis the major factors influencing for speed of distribution of a fire of oil on a water surface are revealed. Techniques of an estimation of influence of a direction and speed of a wind on distribution of front of a fire of oil on a water surface are considered. In work dependence of speed of distribution of a fire of oil on a water surface from speed of a wind is received.

Ключевые слова: водный объект, нефть, пожар пролива, скорость ветра.

Key words: water object, oil, passage fire, speed of a wind.

Растущая добыча нефти, глобализация нефтеперевозок и ввод в эксплуатацию новых месторождений с каждым годом приводят к увеличению количества чрезвычайных ситуаций, связанных с разливами нефти. По данным ФСЭТН в 2011 году на объектах нефтегазового комплекса произошло 38 чрезвычайных ситуаций. Любые операции по добыче и транспортировке нефти неизбежно сопряжены с утечками, хотя масштабы утечек различны, и могут быть, как сравнительно незначительными и легко разлагаться экосистемами, так и катастрофическими. Наибольшую опасность представляют утечки нефти на водной поверхности, что обусловлено физико-химическими свойствами нефти.

Физическое свойство нефти покрывать тонкой пленкой огромные акватории даже при сравнительно небольших разливах приводит к тому, что незначительная утечка оборачивается крайне негативными последствиями для окружающей среды. При определенных условиях происходит возгорание паров нефти на поверхности воды с последующим распространением пожара.

На рисунке 1 представлена блок-схема процесса горения нефтяной пленки на водной поверхности.

Горение представляет собой сложный физико-химический процесс, на скорость которого влияет не только химическая реакция, но и неконтролируемый приток окислителя из окружающей среды. Горение нефти происходит при постоянном давлении и имеет диффузионный характер. Любой пожар имеет начало, стадию квазистационарного горения и стадию потухания, когда горение прекращается из-за сгорания разлитой нефти, в результате чего

устанавливается новое термодинамическое равновесие [1].

В то же время, как видно из рисунка 1, процесс горения нефтяной пленки на поверхности воды ограничен некоторыми метеорологическими параметрами, такими как температура окружающей среды, категория устойчивости атмосферы, скорость ветра и другие. Скорость и направление ветра оказывают наибольшее влияние на скорость распространения фронта пожара. Например, при встречном ветре со скоростью 1,25 м/с огонь практически не распространяется по пленке нефти, перемещаемой по реке со скоростью течения воды 0,8 м/с. В связи с этим, целью данной работы является оценка влияния скорости ветра на скорость распространения пожара при горении нефти на водной поверхности.

Анализ литературных источников показал, что при разливе нефти на водной поверхности образуется нефтяное пятно по форме, напоминающее эллипс, большая полуось которого ориентирована в направлении ветра, меньшая перпендикулярна направлению ветра. Зона горения представляет собой эллипс [2]:

$$\frac{(x-x_0)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad S = \pi \cdot a \cdot b, \quad (1)$$

где x и y – координаты контура (рисунок 2);

$$a = \frac{1}{2} \cdot (\omega_A + \omega_B) \cdot t$$

$b = \omega_C \cdot t$ – большая и малая полу-

оси эллипса;

$$x_0 = \frac{1}{2} \cdot (\omega_A - \omega_B) \cdot t$$

, $y = 0$ – координаты центра эллипса; ω_A – скорость распространения фронта пожара по направлению ветра, м/с; ω_B – скорость распространения фронта пожара ω_C – скорость рас-

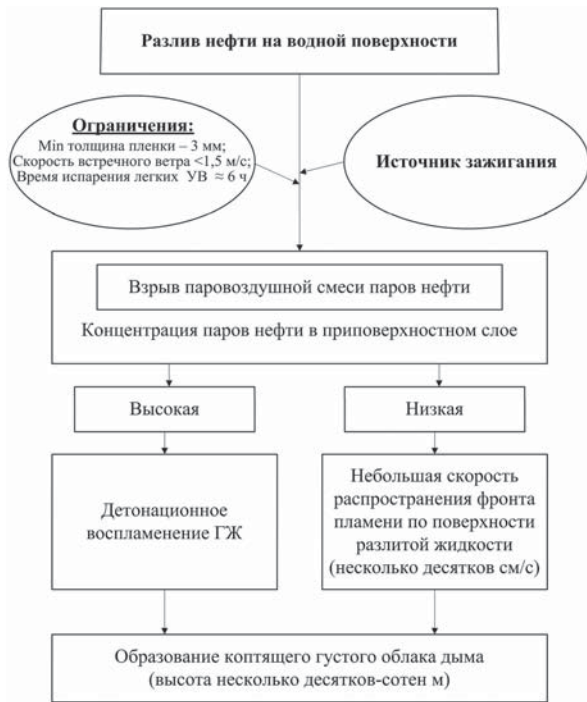


Рисунок 1. Блок-схема процесса горения нефтяной пленки на водной поверхности
пространения пожара перпендикулярно направлению ветра, м/с.

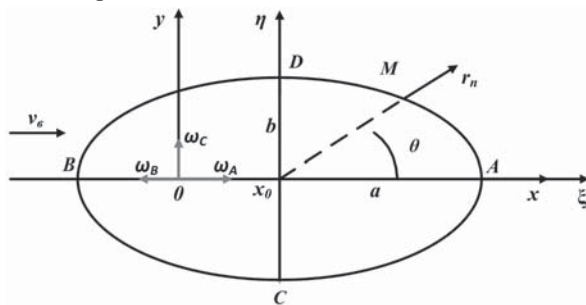


Рисунок 2. Вид эллипса, ограничивающего площадь горения нефти, разлитой на водной поверхности
0 – точка, где произошло зажигание нефти; x, y – координаты контура нефтяного пожара; ξ, η – подвижная система координат, связанная с центром эллипса (x,0); A, B, C, D – характерные точки контура нефтяного пожара

Вид эллипса, ограничивающего площадь горения, представлен на рисунке 2.

В соответствии с методикой [2] скорости распространения фронта пожара рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned} \omega_A &= 3,333 \cdot \hat{E} \cdot \tilde{N} \cdot v_a^n & (2) \\ \omega_{\hat{A}} &= 0,488 \cdot v_a^{0,37} \\ \omega_N &= \frac{(v_a - 2,5)^2}{8,88} \end{aligned}$$

где v_v – скорость ветра, м/с; K – плотность распределения горючих материалов; n и C – коэффициенты, зависящие от продолжительности пожара.

При расчетах в данной работе принимается, что продолжительность пожара составляет 10...20 мин, поэтому $C = 0,72$, а $n = 0,73$. Коэффициент распределения горючих материалов для нефти принимается равным 0,1 [2].

Распределение скоростей ветра на территории



Рисунок 3. Распределение скоростей ветра по территории РФ

Российской Федерации (РФ) представлено на рисунке 3 [3].

Анализ данных, представленных на рисунке 3, показал, что в среднем скорость ветра на территории РФ равна 4...5 м/с. Для оценки влияния скорости ветра на распространение пожара нефти на водной поверхности выбран диапазон от 0 до 7 баллов по шкале Бофорта. С учетом принятых условий на основе формул 2 получена зависимость скоростей распространения пожара нефти на водной поверх-

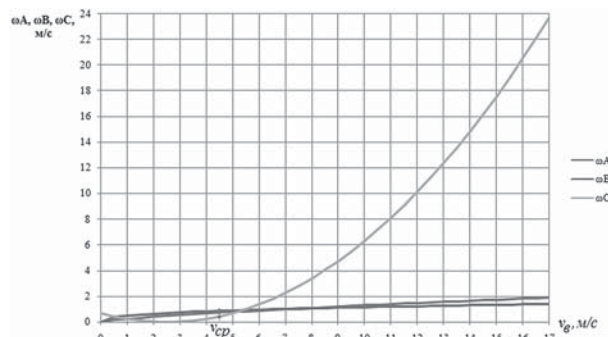


Рисунок 4. График зависимости скоростей распространения фронта пожара нефти на водной поверхности от скорости ветра

ности от скорости ветра, графическое отображение которой представлено на рисунке 4.

Как видно из рисунка 4, при скорости ветра $v_v > 5,3$ м/с, наблюдается превышение скорости распространения фронта пожара, перпендикулярной направлению ветра (ω_C), относительно скорости распространения фронта пожара по направлению ветра (ω_A). Таким образом, горение нефтяной пленки, разлитой по поверхности воды, начинает распространяться по ширине нефтяного пятна, опережая скорость распространения по направлению ветра. Также из рисунка 4 видно, что в диапазоне скорости ветра 0...9 м/с значение скорости распространения фронта пожара по направлению ветра (ω_A) меньше скорости распространения фронта пожара против ветра (ω_B), что означает, что горение по нефтяной

пленке распространяется против ветра быстрее, чем по ветру – что в реальных условиях не достигается. Таким образом, показано, что методика [2] может быть использована для расчета скорости распространения фронта пожара при скорости ветра более 9 м/с.

Анализ зарубежной литературы, позволил выявить методику [4], учитывающую влияние скорости ветра на скорость распространения пожара нефти на водной поверхности. При этом модель распространения пожара в зависимости от скорости ветра строится на следующих допущениях [4]:

1. Общая форма периметра пожара в зависимости от скорости ветра приближена к двум соединенным эллипсам с общей малой полуосью, причем эллипс, имеющий большую протяженность, ориентирован в направлении ветра (рисунок 5).

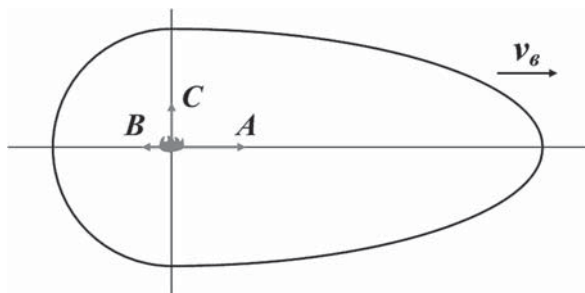


Рисунок 5. Периметр эллиптической формы, ограничивающей площадь распространения пожара в зависимости от скорости ветра

2. Форма периметра эллипса зависит только от скорости ветра.

Скорости распространения фронта пожара нефти на водной поверхности в соответствии с зарубежной методикой определяются по формулам Anderson H.E. [4]:

$$\begin{aligned} \hat{A} &= 1,16 \cdot \exp(0,0432 \cdot v_{\hat{a}}) \\ \hat{A} &= 0,46 \cdot \exp(-0,04325 \cdot v_{\hat{a}}) \\ \tilde{N} &= 0,748 \cdot \exp(-0,03608 \cdot v_{\hat{a}}) \cdot \sqrt{\frac{1+B}{1+A}} \end{aligned} \quad (3)$$

где A – скорость распространения фронта пожара по направлению ветра, м/с; B – скорость распространения фронта пожара против направления ветра, м/с; C – скорость распространения пожара перпендикулярно направлению ветра, м/с.

График зависимости скоростей распространения пожара нефти на водной поверхности от скорости ветра, построенный по формулам 3, представлен на рисунке 6.

Как видно из рисунка 6, скорости распространения пламени против ветра (B) и перпендикулярно скорости ветра (C) уменьшаются при увеличении скорости ветра, а значение скорости распространения пламени по направлению ветра (A) всегда больше значений (B) и (C). Таким образом, данную

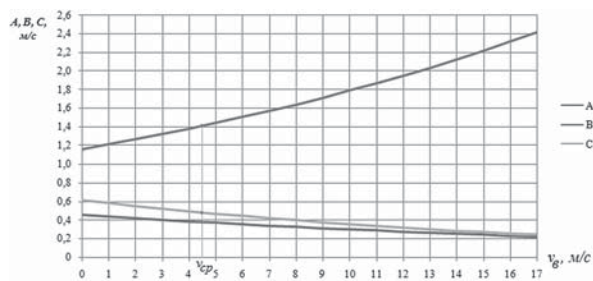


Рисунок 6. График зависимости скоростей распространения фронта пожара нефти на водной поверхности от скорости ветра

методику можно применять для любого диапазона скоростей ветра.

В качестве примера, рассмотрен разлив нефти в результате разгерметизации подводного перехода магистрального нефтепровода ТОН-II через р. Уфа со следующими исходными данными [5]:

- максимальное давление на рассматриваемом участке $\Delta P = 5$ МПа;
- диаметр трубопровода 720 мм, толщина стенки трубопровода 10,11 мм;
- длина подводного перехода через р. Уфа 6 км (между отсечными клапанами).

При прогнозировании ЧС принималось гильотинное разрушение подводного трубопровода, при котором масса утечки составила 1348 т. Причиной разгерметизации нефтепровода послужила вибрация размытого участка подводного перехода под воздействием потока воды.

Перекачиваемая на рассматриваемом участке нефтепровода нефть имеет следующие характеристики:

- плотность 860 кг/м³;
- удельная массовая скорость выгорания 0,04 кг/м²·с;
- нижний концентрационный предел распространения пламени 1,1 % (об).

Возгорание разлива нефти происходит через 30 мин после разгерметизации магистрального нефтепровода. При этом нефтяное пятно распространилось вниз по течению реки на 4,1 км, площадь загрязнения составила 656000 м². Место возгорания разлива находится в 600 м от места разгерметизации подводного перехода.

Метеорологические условия следующие:

- температура воздуха – 20 °С;
- скорость ветра – 2,3 м/с;
- скорость течения – 2,2 м/с.

Карта обстановки в зоне ЧС, вызванной возгоранием разлива нефти в результате разгерметизации подводного перехода МН ТОН-II, представлена на рисунке 7.

На основе исходных данных построены контуры полей скоростей распространения фронта пожара нефти на водной поверхности при расчетной скорости ветра по методикам [2] и [4] (рисунок 8).



Рисунок 7. Обстановка в зоне ЧС, вызванной возгоранием разлива нефти в результате разгерметизации подводного перехода МН ТОН-II

Как видно из рисунка 8, наиболее приближенным к условиям развития реальной чрезвычайной ситуации являются результаты расчета по методике [4], так как эллипс, представляющий собой зону горения, вытянут по направлению ветра, а скорость распространения фронта пламени против направления ветра незначительна. При расчете площади пожара нефти на водной поверхности при одном и том же времени горения, значение площади, рассчитанной по методике [4], принимает наибольшее значение.

Таким образом, проведенный анализ закономерностей распространения пожара на водной поверхности позволил:

- разработать блок-схему процесса горения нефтяной пленки на водной поверхности, учитывающую концентрацию паров нефти в приповерхностном слое;

- рекомендовать, в качестве методики расчета скорости распространения фронта пожара на водной поверхности использовать методику Anderson H.E. [4], которая позволяет прогнозировать параметры

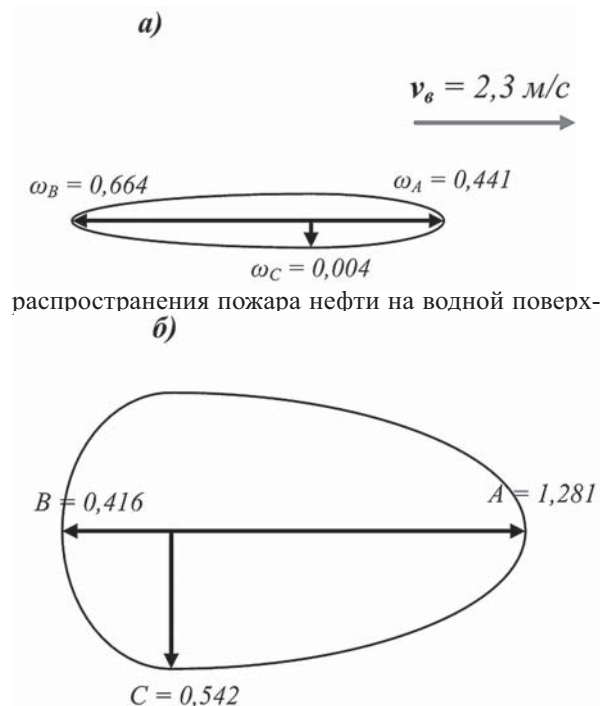


Рисунок 8. Контуры полей скоростей распространения фронта пожара нефти на водной поверхности при расчетной скорости ветра
а – методика [2]; б – методика [4].

ности в зависимости от скорости ветра с большей точностью, чем методика [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев Б.А., Богатов Г.Ф., Герасимов А.А. Теплофизические свойства нефти, нефтепродуктов, газовых конденсатов и их фракций. М.: МЭИ, 1999. 372 с.
2. Методика расчета выбросов от источников горения при разливе нефти и нефтепродуктов / Государственный комитет РФ по охране окружающей среды. М. 1997. 40 с.
3. Распределение значений среднегодовых скоростей ветра на высоте 10 м по территории России (по данным НАСА). Режим доступа: <http://www.zmey.ru>.

4. Albin N, Frank A. Estimating wildfire behavior and effects: USDA Forest Service General Technical Report INT-30, 1976. 100 p.

Елизарьев А.Н., канд. геогр. наук, доцент кафедры «Безопасность производства и прикладная экология», ФГБОУ ВПО УГАТУ

Elizar'ev A.N., cand.geogr.sci., associate professor of chair «Industrial safety and applied ecology», FSBEI USATU

Ахтямов Р.Г., канд.техн.наук, ст.преп. кафедры «Безопасность производства и прикладная экология», ФГБОУ ВПО УГАТУ

Akhtyamov R.G., cand.tech.sci., senior teacher of chair «Industrial safety and applied ecology», FSBEI USATU
e-mail: ahtamov_zchs@mail.ru

Хаертдинова Э.С., аспирант кафедры «Безопасность производства и прикладная экология», ФГБОУ ВПО УГАТУ
Khaertdinova E.S., postgraduate student of chair «Industrial safety and applied ecology», FSBEI USATU

Сафуганова Г.Г., студент кафедры «Безопасность производства и прикладная экология», ФГБОУ ВПО УГАТУ
Safuganova G.G., student of chair «Industrial safety and applied ecology», FSBEI USATU