

УДК 613.161:613.32-032.32

Ю.Ю. Гончаренко

*Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности,  
Севастополь***ВЛИЯНИЕ ПРИВОДНОГО ВЕТРА НА РАЗВИТИЕ НЕФТЯНОГО ПЯТНА**

*В работе рассматриваются результаты экспериментов, на основании которых предлагаются аналитические зависимости изменения темпов роста площади нефтяного загрязнения на водной поверхности под влиянием приводного ветра.*

**Ключевые слова:** нефтяное пятно, нефтепродукты, приводный ветер, уменьшение площади антропогенного загрязнения.

**Введение**

Одним из видов экологических чрезвычайных ситуаций и катастроф является загрязнение морской водной среды нефтепродуктами [1]. Прогнозирование развития подобных чрезвычайных ситуаций на море сводится к решению двух классов задач, а именно: прогноз развития – увеличения площади нефтяного загрязнения с течением времени, и прогноз распространения – перемещения нефтяного пятна по водной поверхности под действием сил поверхностного течения и сил дрейфа от приводного ветра [2]. Наличие такого прогноза позволяет подготовить комплекс мероприятий, включающих применение мелкодисперсных сорбентов, связывающих нефтепродукты, постановку плавучих боновых заграждений, ограничивающих распространение нефтяного пятна, использование специализированных плавсредств, осуществляющих сбор нефтепродуктов с водной поверхности и их последующую сепарацию и т.п. [3]. Эффективность этих мероприятий полностью зависит от своевременности и точности прогноза.

Известно достаточно большое количество моделей развития и распространения нефтяных загрязнений [4, 5], однако у них имеется один существенный недостаток – они не учитывают влияние приводного ветра на развитие нефтяного пятна.

**Целью данной работы** является получение эмпирических зависимостей влияния приводного ветра на развитие нефтяного пятна. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи. Первоначально рассмотреть порядок формирования банка экспериментальных данных и генеральную гипотезу влияния приводного ветра на развитие нефтяного пятна. Затем проанализировать результаты экспериментов, выполненных при относительно низких температурах. После чего сравнить их с результатами экспериментов, выполненных при

более высоких термических характеристиках и вывести итоговые аналитические зависимости.

**Банк данных и генеральная гипотеза влияния приводного ветра на развитие нефтяного пятна**

В восьмидесятые годы прошлого века в Крыму было выполнено большое число экспериментов по юстировке лидаров различного назначения и определению параметров развития нефтяного пятна. Суть экспериментов состояла в следующем. В специальный резервуар, заполняемый морской водой, выливалось определенное количество машинного масла, параметры которого были известны, заранее определялись в лаборатории. Растекающееся нефтяное пятно фотографировали с вышек, расположенных у резервуара, с вертолетов и самолетов, пролетавших на высоте 300 – 800 м, а также с космических летательных аппаратов. По фотографиям, выполненным в определенные моменты времени, определялась площадь нефтяного пятна с точностью до одного м<sup>2</sup>. Наличие всех термических, вязкостных и динамических характеристик позволяли в последующем выполнить теоретические расчеты площади пятна в фиксированные моменты времени по элементарной формуле [4, 5]:

$$S_p = \frac{A \cdot V}{v} \cdot K \left[ 1 - \exp(B \cdot t^{\circ C} \cdot t) \right], \quad (1)$$

где A, B, K – интерполяционные согласующие коэффициенты;

V и v – объем и вязкость нефтепродукта;

t<sup>°C</sup> – температура нефтепродукта;

t – текущее время.

Оказалось, что значение площади пятен, полученных путем расчетов, отличаются от фактических в большую сторону. Причем величина этого отличия тем больше, чем выше была зафиксирована в экспериментах скорость приводного ветра. Отношение

расчетной площади  $S_p$  к фактической  $S_{ф}$ , зафиксированной в определенный момент времени, было названо коэффициентом уменьшения площади нефтяного пятна под действием приводного ветра  $K_A = S_p/S_{ф}$ .

Всего по этой схеме были собраны данные се-

мидесяти девяти экспериментов, которые в зависимости от температуры и вязкости нефтяной пленки были объединены в 18 серий, а в зависимости от силы приводного ветра собраны еще в три группы, как показано в табл. 1.

Таблица 1

Результаты экспериментов по определению коэффициента уменьшения площади  $K_A$

№ серии Ветер	1	2	3	4	5	6
	$t_c=22^\circ$ $v=13,36$	$t_c=18^\circ$ $v=13,92$	$t_c=14^\circ$ $v=14,40$	$t_c=12^\circ$ $v=14,60$	$t_c=10^\circ$ $v=14,88$	$t_c=5^\circ$ $v=17,68$
2-4 м/с	1,085 1,074 1,062	1,139 1,129 1,118 1,079	1,103 1,136 1,146 1,080 1,073 1,065	1,089 1,181 1,076 1,116 1,181 1,208 1,279 1,253	1,337 1,182 1,134 1,028 1,079 1,102 1,102 1,115 1,048	1,125; 1,125 1,121; 1,119 1,117; 1,114 1,152; 1,182 1,137; 1,103 1,076; 1,097
	7	8	9	10	11	12
	$t_c=21^\circ$ $v=13,50$	$t_c=20^\circ$ $v=13,64$	$t_c=18^\circ$ $v=13,92$	$t_c=11^\circ$ $v=14,74$	$t_c=10^\circ$ $v=14,88$	$t_c=5^\circ$ $v=17,68$
5-7 м/с	1,368 1,741 1,904	1,451 1,768 2,009	1,464 1,693 1,888 1,996	1,482 1,574 1,677 1,730	1,783 1,637 1,513 1,686	1,504 1,500 1,496 1,493
	13	14	15	16	17	18
	$t_c=19^\circ$ $v=13,78$	$t_c=18^\circ$ $v=13,92$	$t_c=16^\circ$ $v=14,20$	$t_c=12^\circ$ $v=14,60$	$t_c=10^\circ$ $v=14,88$	$t_c=5^\circ$ $v=17,68$
10-15 м/с	1,686 1,803	1,708 1,847	1,788 1,774	2,178 2,598 2,767	2,674 3,041 2,888	2,556 2,251 1,941

Таким образом, база данных, включающая 79 экспериментов, объединена в 18 серий в зависимости от температуры и вязкости нефтяной пленки и собрана в три группы в зависимости от силы приводного ветра. Генеральной гипотезой определено, что чем выше скорость приводного ветра, тем больше степень уменьшения площади пятна загрязнения по сравнению с расчетной.

### Анализ экспериментов, выполненных при относительно низких температурах

Эксперименты, выполненные при температурах менее  $12^\circ\text{C}$ , имеют особенность, которая состоит в том, что в этих случаях с уменьшением температуры нефтяной пленки ее вязкость увеличивается не по линейному закону. Рассмотрим эксперименты, в которых температура пленки равна  $10^\circ\text{C}$ . В пятой серии девять экспериментов, выполненных при ветре 2 – 4 м/с, среднее значение  $K_A = 1,1252$ . В одиннадцатой серии четыре эксперимента, выполненных при силе ветра 5 – 7 м/с, где средняя величина  $K_A = 1,6547$ . В семнадцатой серии три эксперимента,

выполненных при силе ветра 10 – 15 м/с, среднее значение  $K_A = 2,8676$ . С уменьшением температуры нефтяной пленки увеличивается и ее вязкость, что приводит к уменьшению интенсивности динамических процессов и, как следствие, к снижению величины коэффициента уменьшения площади нефтяного пятна. Это подтверждают результаты экспериментов, в которых температура пленки составляла  $5^\circ\text{C}$ . В шестой серии двенадцать экспериментов, выполненных при ветре 2 – 4 м/с, где среднее значение  $K_A = 1,1223$ . В двенадцатой серии четыре эксперимента, выполненных при ветре 5 – 7 м/с. Здесь среднее значение коэффициента уменьшения площади пятна составляет 1,4982. В восемнадцатой серии из трех экспериментов при ветре 10 – 15 м/с среднее значение  $K_A = 2,2436$ . Результаты всех этих экспериментов аппроксимируются зависимостью следующего вида

$$K_A = A_1 \cdot (\alpha + K \cdot t^\circ\text{C}) \cdot V \cdot V_1 \cdot (10\alpha + 2 \cdot K \cdot t_c), \quad (2)$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $\alpha$  и  $K$  – интерполяционные согласующие коэффициенты;  $t^\circ\text{C}$  – температура нефтяной пленки;  $V$  – сила ветра, м/с.

Необходимо отметить, что зависимость (2) справедлива в области низких температур, менее 3°C, только при силе ветра более 3 м/с и при температурах около 0°C, только при ветре более 4 м/с.

Для температур нефтепродукта 5, 10, и 12°C получим следующий набор аналитических зависимостей

$$\begin{cases} K_A = 0,12 \cdot V + 0,80 & \text{при } t = 5^\circ\text{C}; \\ K_A = 0,17 \cdot V + 0,90 & \text{при } t = 10^\circ\text{C}; \\ K_A = 0,19 \cdot V + 0,94 & \text{при } t = 12^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (3)$$

Доверительные интервалы, рассчитанные по критерию Стьюдента с надежностью 0,95, равны

$\pm 0,65, \pm 0,93, \pm 1,05$  соответственно для первой, второй и третьей зависимостей. Все результаты экспериментов укладываются в доверительные интервалы, что подтверждает достоверность полученных аналитических зависимостей.

В случае температур нефтепродукта 0 – 2°C зависимости примут вид

$$\begin{cases} K_A = 0,07 \cdot V + 0,7 & \text{при } t = 0^\circ\text{C}; \\ K_A = 0,09 \cdot V + 0,74 & \text{при } t = 2^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (4)$$

Набор линейных зависимостей коэффициента уменьшения площади нефтяного загрязнения от силы приводного ветра представлен на рис. 1.

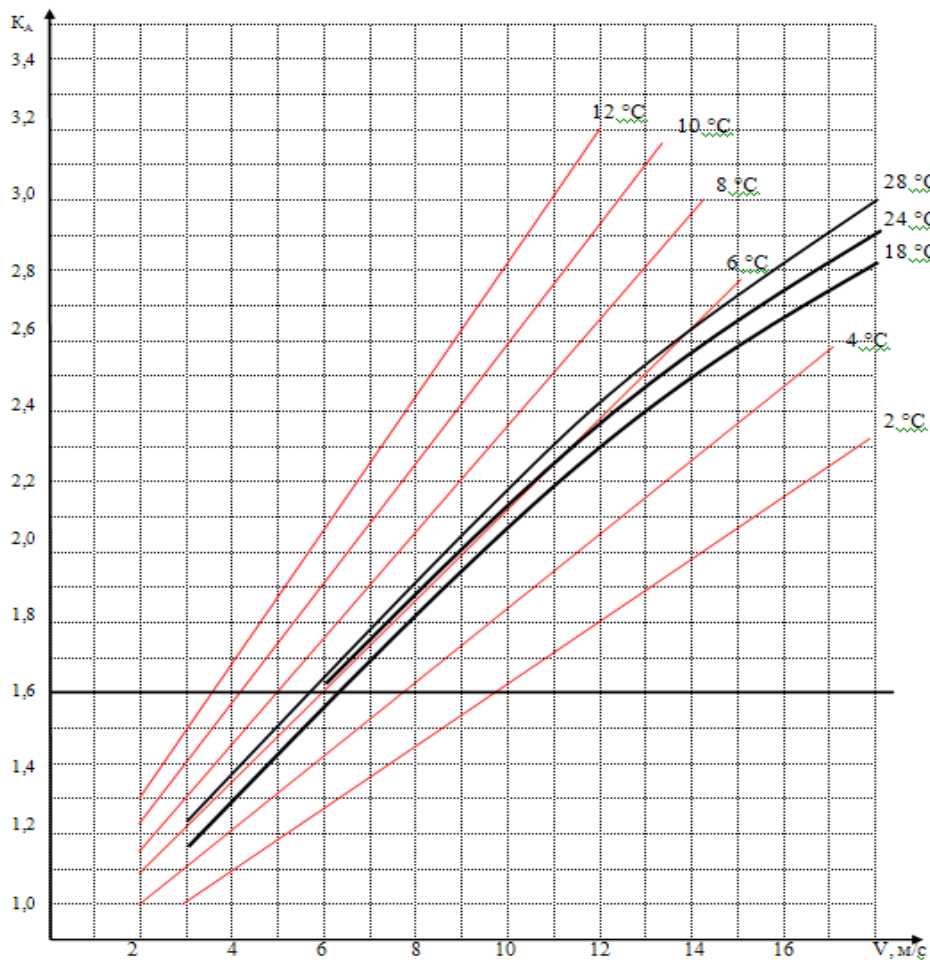


Рис. 1. Эмпирические зависимости  $K_A$  от силы ветра

Таким образом, коэффициент уменьшения площади нефтяного загрязнения линейно зависит от силы приводного ветра. Изменение термических характеристик нефтяной пленки при относительно низких температурах от 0 до 12°C изменяет крутизну этой зависимости.

### Эксперименты, выполненные при относительно высоких термических характеристиках

Среди экспериментов, выполненных при относительно высоких температурах, выделим вторую,

девятую и четырнадцатую серии, где температура нефтяной пленки была равной 18°C. Вторая серия из четырех экспериментов, выполненных при силе ветра 2 – 4 м/с, имеет среднее значение  $K_A = 1,1225$ . Девятая серия из четырех экспериментов, проводимых при ветре 5 – 7 м/с, имеет среднее значение  $K_A = 1,76025$ . В четырнадцатой серии из двух экспериментов при силе ветра 10 – 15 м/с среднее значение коэффициента уменьшения площади составляет 1,7775.

Результаты этих экспериментов аппроксимируются зависимостью

$$K_A = \frac{A_2}{\Omega - K \cdot t_C} \cdot \sqrt{V}, \quad (5)$$

где  $A_2$ ,  $\Omega$ ,  $K$  – интерполяционные согласующие коэффициенты;  $t_C$  – температура нефтяной пленки, °C;  $V$  – сила ветра, м/с.

Эта параболическая зависимость отражает объективную точку зрения генеральной гипотезы, состоящей в том, что чем больше сила ветра, тем больше величина коэффициента уменьшения площади. Эти же процессы с ростом температуры возрастают, так как происходит уменьшение вязкостных коэффициентов нефтепродукта.

Для конкретных значений температур 18, 24 и 28°C эти зависимости примут вид:

$$\begin{cases} K_A = \frac{\sqrt{V}}{1,5} & \text{при } t = 18^\circ \text{C;} \\ K_A = \frac{\sqrt{V}}{1,44} & \text{при } t = 24^\circ \text{C;} \\ K_A = \frac{\sqrt{V}}{1,4} & \text{при } t = 28^\circ \text{C.} \end{cases} \quad (6)$$

Как видно на рис. 1, параболические зависимости размещаются более компактно, чем линейные. Тем не менее, результаты всех экспериментов, выполненных для относительно высоких температур, укладываются в доверительные интервалы, рассчитанные с надежностью 0,95.

Таким образом, коэффициент уменьшения площади нефтяного загрязнения при относительно высоких температурах нефтяной пленки от 18 до 28 градусов изменяется по параболическому закону в зависимости от силы приводного ветра, однако изменение термических характеристик пленки незначительно изменяет параметры параболы.

### Выводы

1. База данных, включающая 79 экспериментов, объединена в 18 серий в зависимости от температуры и вязкости нефтяной пленки и собрана в три группы в зависимости от силы приводного ветра.

Генеральной гипотезой определено, что чем выше скорость приводного ветра, тем больше степень уменьшения площади пятна загрязнения по сравнению с расчетной.

2. Коэффициент уменьшения площади нефтяного загрязнения линейно зависит от силы приводного ветра. Изменение термических характеристик нефтяной пленки при относительно низких температурах от 0 до 12°C изменяет крутизну этой зависимости.

3. Коэффициент уменьшения площади нефтяного загрязнения при относительно высоких температурах нефтяной пленки от 18 до 28 градусов изменяется по параболическому закону в зависимости от силы приводного ветра, однако изменение термических характеристик пленки незначительно изменяет параметры параболы.

### Список литературы

1. Азаренко Е.В. Особенности моделирования чрезвычайных ситуаций, вызванных распространением антропогенных загрязнений / Е.В. Азаренко, М.М. Дивизинюк, А.Н. Фурсенко // *Зб. наук. прац. СХУЯЕтаП. – Севастополь: СХУЯЕтаП, 2012. – Вип 1(41). – С. 212-218.*
2. Гончаренко Ю.Ю. Модели распространения нефтяных загрязнений на водной поверхности. – Севастополь: Гос. океанариум, 2011. – 104 с.
3. Азаренко Е.В. Проблемы управления экологической безопасностью прибрежных вод и пути её решения / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк // *Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2012. – Вип. 2(100). – С. 271-275.*
4. Азаренко Е.В. Модели распространения антропогенных примесей в Черном море / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк. – Севастополь: Гос. океанариум, 2012. – 92 с.
5. Азаренко Е.В. Модели переноса антропогенных примесей вихревым потоком / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк // *Зб. наук. пр. СХУЯЕтаП. – Севастополь: СХУЯЕтаП, 2012. – Вип 2(42). – С. 78-83.*

Поступила в редколлегию 26.07.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Н.И. Адаменко, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков.

### ВПЛИВ ПРИВОДНОГО ВІТРУ НА РОЗВИТОК НАФТОВОЇ ПЛЯМИ

Ю.Ю. Гончаренко

*У роботі розглядаються результати експериментів, на підставі яких пропонуються аналітичні залежності зміни темпів росту площі нафтового забруднення на водній поверхні під впливом приводного вітру.*

**Ключові слова:** нафтова пляма, нафтопродукти, приводний вітер, зменшення площі антропогенного забруднення.

### INFLUENCE OF DRIVE WIND ON DEVELOPMENT OF OIL-SPOT

Yu.Yu. Goncharenko

*The results of experiments on the basis of which analytical dependences of change of rates of height of area of petroleum contamination are offered on a water surface under influence of drive wind are in-process examined.*

**Keywords:** oil-spot, oil products, drive wind, diminishing of area of anthropogenic contamination.