

Ю.Ю. Гончаренко¹

¹ *к.т.н., Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь*

ОПТИМИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСТЕКАНИЯ НЕФТЯНОГО ПЯТНА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В работе выполнена оптимизация математической модели растекания нефтяного пятна с учетом действия приводного ветра. На основании выполненных экспериментов подтверждаются теоретические выводы и приводятся значения полученных интерполяционных коэффициентов.

Ключевые слова: нефтепродукты, антропогенная примесь, пятно, приводный ветер, площадь загрязнения.

Введение

Прогноз распространения нефтяных загрязнений – одна из задач, решаемых с использованием комплексных систем экологического мониторинга морской водной среды [1], в которых программный модуль в зависимости от входных данных: вида нефтепродукта, его вязкости, термохалинных характеристик морской воды и термобарических параметров атмосферы, производит расчет роста площади антропогенного загрязнения в зависимости от времени, прошедшего с момента начала загрязнения. На этом этапе могут использоваться различные аналитические зависимости, являющиеся функцией площади загрязнения от времени [2]. Их достаточно большое количество, так как в каждом отдельном случае необходимо учитывать региональные особенности, для чего в аналитическую зависимость вводятся новые члены, что, в конечном итоге, значительно ее усложняет [3].

Тем не менее, используемые зависимости не учитывают воздействие некоторых внешних факторов, таких как приводный ветер, особенностью которого является то, что он особенно ярко проявляется в прибрежных районах, в бухтах, гаванях, лиманах, когда вследствие мелководности (малых глубин) районов волнение незначительно, но приводный ветер достаточно сильно деформирует нефтяное пятно. В связи с чем получение соответствующих интерполяционных зависимостей, учитывающих действие приводного ветра, является актуальной научной задачей.

Постановка цели и задач научного исследования

Целью данной работы является получение интерполяционных зависимостей изменения площади поверхностного загрязнения вследствие действия приводного ветра. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научные задачи. Первоначально выполнить оптимизацию математической модели растекания нефтяного пятна с учетом воздействия приводного ветра. Затем проанализировать результаты экспериментов по исследованию растекания нефтяного пятна в условиях воздействия приводного ветра, в результате чего вывести аналитическую зависимость изменения величины интерполяционного коэффициента от силы приводного ветра.

Оптимизация математической модели растекания нефтяного пятна с учетом воздействия приводного ветра

Допустим, что скорость ветра, равная V_0 м/с, является единственным внешним фактором, влияющим на растекание нефтяного пятна. Установим аналитическую зависимость площади пятна S от времени t , то есть $S = S(t)$. Пусть при $t = t_0$ площадь $S = S_0$, при $t = t_1$ площадь $S = S_1$ и $S(t_2) = S_2$, $S(t_3) = S_3$. Без ограничения общности можно считать, что $t_1 = 1$, $t_2 = 2$, $t_3 = 3$, $t_4 = 4$, то есть между соседними значениями аргумента разность $h = 1$.

Поскольку разность между соседними значениями аргумента постоянна, то для установления аналитической зависимости $S = S(t)$ воспользуемся интерполяционной формулой Ньютона:

$$P_4(t) = S_0 + \Delta S_0 \frac{t-t_0}{h} + \frac{\Delta^2 S_0}{2!} \cdot \frac{t-t_0}{h} \cdot \left(\frac{t-t_0}{h} - 1 \right) + \frac{\Delta^3 S_0}{3!} \cdot \frac{t-t_0}{h} \cdot \left(\frac{t-t_0}{h} - 1 \right) \left(\frac{t-t_0}{h} - 2 \right), \quad (1)$$

где

$$\Delta S_0 = S_1 - S_0; \quad \Delta^2 S_0 = S_2 - 2S_1 + S_0; \\ \Delta^3 S_0 = S_3 - 3S_2 + 3S_1 - S_0.$$

Так как $h = 1$, то

$$P_4(t) = S_0 + \Delta S_0(t-1) + \frac{\Delta^2 S_0}{2} \cdot (t-1)(t-2) + \frac{\Delta^3 S_0}{6} \cdot (t-1)(t-2)(t-3). \quad (2)$$

Заметим, что при $t = 1$ получается значение $P_4(t) = S_0$; $P_4(2) = S_0 + \Delta S_0 = S_1$; $P_4(3) = S_0 + 2\Delta S_0 + \Delta^2 S_0 = S_3$; $P_4(4) = S_4$. Следовательно, $P_4(t)$ можно принять за функцию $S = S(t)$, тогда

$$S(t) = S_0 + \Delta S_0(t-1) + \frac{\Delta^2 S_0}{2} \cdot (t-1)(t-2) + \frac{\Delta^3 S_0}{6} \cdot (t-1)(t-2)(t-3) \quad (3)$$

или

$$S(t) = S_0 + \Delta S_0(t-1) + \frac{\Delta^2 S_0}{2} \cdot (t^2 - 3t + 2) + \frac{\Delta^3 S_0}{6} \cdot (t^3 - 6t^2 + 11t - 6) \quad (4)$$

Значение наибольшей площади будем искать, используя стационарные точки $S(t)$, для чего продифференцируем функцию (4):

$$S'(t) = \Delta S_0 + \frac{\Delta^2 S_0}{2} \cdot (2t - 3) + \frac{\Delta^3 S_0}{6} \cdot (3t^2 - 12t + 11) = \\ = \frac{\Delta^3 S_0}{2} t^2 + (\Delta^2 S_0 - 2\Delta^3 S_0)t + \left(\Delta S_0 - \frac{3}{2} \Delta^2 S_0 + \frac{11}{6} \Delta^3 S_0 \right). \quad (5)$$

Обозначим через

$$a = \frac{\Delta^3 S_0}{2} = \frac{1}{2}(S_3 - 3S_2 + 3S_1 - S_0), \\ b = \Delta^2 S_0 - 2\Delta^3 S_0 = S_2 - 2S_1 + S_0 - 2S_3 + 6S_2 - 6S_1 + 2S_0 = 3S_0 + 7S_2 - 2S_3,$$

$$c = \Delta S_0 - \frac{3}{2} \Delta^2 S_0 + \frac{11}{6} \Delta^3 S_0 = \frac{11}{6} S_3 - 7S_2 + \frac{19}{2} S_1 - \frac{13}{3} S_0,$$

тогда $S'(t) = at^2 + bt + c$.

Данная задача будет разрешима, если дискриминант $D = b^2 - 4ac \geq 0$. В этом случае корни находятся по формуле: $t_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$ (будем считать, что $t_1 < t_2$).

Если $D > 0$, $a > 0$, то $S_{\max} = S(t_1)$, так как до t_1 функция $S'(t) > 0$ (функция возрастает), а после t_1 функция $S'(t) < 0$ (функция убывает).

Если $D > 0$, $a < 0$, то $S_{\max} = S(t_2)$, так как до t_2 функция $S'(t) > 0$, а после t_2 функция $S'(t) < 0$.

Если $D = 0$, то $t_1 = t_2$ и при $a > 0$, $S(t_1) = S_{\max}$, а при $a < 0$, $S(t_1) = S_{\min}$.

Итак, при скорости ветра V_e м/с устанавливается наибольшая площадь растекания пятна, и по формуле (4) – непрерывная зависимость площади от времени.

Пусть при скорости ветра V_e наибольшая площадь S_m^0 , а, соответственно, при $V_1 - S_m^1$, $V_2 - S_m^2$. По этим данным установим аналитическую форму зависимости площади пятна от скорости ветра, то есть найдём функцию $S = S(V)$, используя интерполяционную формулу Лагранжа:

$$S(V) = \frac{(V - V_1)(V - V_2)}{(V_0 - V_1)(V_0 - V_2)} S_m^0 + \frac{(V - V_0)(V - V_2)}{(V_1 - V_0)(V_1 - V_2)} S_m^1 + \frac{(V - V_0)(V - V_1)}{(V_2 - V_0)(V_2 - V_1)} S_m^2 \quad (6)$$

или после преобразований

$$S(V) = \left(\frac{S_m^0}{(V_0 - V_1)(V_0 - V_2)} + \frac{S_m^1}{(V_1 - V_0)(V_1 - V_2)} + \frac{S_m^2}{(V_2 - V_0)(V_2 - V_1)} \right) \cdot V^2 -$$

$$- \left(\frac{S_m^0(V_1 + V_2)}{(V_0 - V_1)(V_0 - V_2)} + \frac{S_m^1(V_0 + V_2)}{(V_1 - V_0)(V_1 - V_2)} + \frac{S_m^2(V_0 + V_1)}{(V_2 - V_0)(V_2 - V_1)} \right) \cdot V +$$

$$+ \left(\frac{S_m^0 V_1 V_2}{(V_0 - V_1)(V_0 - V_2)} + \frac{S_m^1 V_0 V_2}{(V_1 - V_0)(V_1 - V_2)} + \frac{S_m^2 V_0 V_1}{(V_2 - V_0)(V_2 - V_1)} \right) \quad (7)$$

Обозначая коэффициенты, соответственно, при V^2 через p , при V через q и свободный член через r , получим $S(V) = pV^2 + qV + r$, то есть квадратичную зависимость. Для установления стационарной точки найдём $S'(V) = 2pV + q$.

Из уравнения $2pV + q = 0 \Rightarrow V = -q/2p$.

Наибольшая площадь $S_{\max}$ будет достигаться при скорости $V = -q/2p$ м/с, если $S'(V) > 0$ до точки $V = -q/2p$ и $S'(V) < 0$ после неё, а это возможно, если $p < 0$.

Если $p > 0$, то в точке $V = -q/2p$ площадь будет наименьшей.

Принимая отношение наибольшей и наименьшей площадей за $K_A = S_{\max}/S_{\min}$, получим, что значение этого коэффициента в общем виде будет определяться как

$$K_A = \frac{V^{\frac{1}{2}}}{B}, \quad (8)$$

где B – согласующий коэффициент.

Следовательно, получена непрерывная зависимость величины площади пятна нефтяного загрязнения от скорости ветра, в соответствии в которой можно вводить интерполяционные коэффициенты к математической модели, полученной для однородных условий в зависимости от скорости приводного ветра.

Анализ результатов экспериментов по исследованию растекания нефтяного пятна в условиях воздействия приводного ветра

Методика проведения экспериментов предусматривает следующие действия. Резервуар, расположенный под открытым небом, заполняется морской водой. Затем в него выливается 80 мл машинного масла и фиксируется его растекание. Площадь растекающегося нефтяного пятна определялась по фотографиям, получаемым с двух вышек, расположенных у резервуара, с самолета и вертолета, пролетающих на высоте 300-800 м, и космических летательных аппаратов серии 1023-1028. Дискретность фиксации была равной одному часу, а точность определения площади пятна составляла 0,5-1 м².

Диаметр резервуара равен 25 м, соответственно, площадь водной поверхности составила 491 м². Для учета воздействия ветра масло выливалось в резервуар с подветренной стороны.

Было проведено три серии экспериментов.

В первой серии сила ветра была равной 2-4 м/с, во второй – 5-7 м/с. Высота поверхностных волн (ряби) в резервуаре не превышала 5-10 см, поэтому их влиянием на нефтяную пленку можно было пренебречь.

Первая серия экспериментов. В первом эксперименте температура воды 18°C, воздуха 26°C. Средней температуре 22°C соответствует вязкость масла 13,36 Па/с. Площадь пятна через час, два и три составила, соответственно, 120, 240 и 360 м².

Во втором эксперименте термические характеристики воды составили 16°C, а воздуха 20°C. Средней температуре 18°C соответствует вязкость масла 13,92 Па/с. Площадь пятна составила 90, 180, 270 и 370 м², соответственно, через час, два, три и четыре часа.

В третьем эксперименте температура воды 12°C, воздуха 16°C. Средней температуре 14°C соответствует вязкость масла 14,40 Па/с. Площадь пятна через час, два, три, четыре, пять и шесть часов была равна 70, 135, 205, 280, 350 и 420 м².

В четвертом эксперименте термические характеристики воды составили 10°C, а воздуха 14°C. Средней температуре 12°C соответствует вязкость масла 14,60 Па/с. Здесь площадь пятна фиксировалась восемь раз с интервалом в один час и была равной 60, 110, 180, 230, 270, 317, 345 и 400 м².

В пятом эксперименте температура воды и воздуха равна 10°C. Этой температуре соответствует вязкость масла 14,88 па/с. Площадь пятна фиксировалась девять раз и была равна 40, 90, 140, 205, 250, 290, 330, 375 и 415 м².

В шестом эксперименте температура воды и воздуха равна 5°C. Ей соответствует вязкость масла 17,68 па/с. Площадь пятна фиксировалась двенадцать раз и была равна 20, 40, 60, 80, 100, 1120, 135, 150, 175, 200, 225 и 240 м².

Результаты всех экспериментов сведены в табл. 1. Здесь также приведено значение расчетной площади, полученной в соответствии с математической моделью вида

$$\begin{cases} S_p = k \cdot [1 - \exp(-l \cdot t)] \text{ где} \\ k = \frac{A}{v} \cdot V \cdot 10^9, \quad l = \frac{B}{2} \cdot (t_g^0 - t_A^0) \cdot 10^{-3}, \end{cases} \quad (9)$$

где A и B – переходные коэффициенты, по модулю близкие к единице;

v – вязкость;

V – объем масла;

t_g^0 – температура воды;

t_A^0 - температура воздуха;

t - текущее время.

В табл. 1 также приводится отношение фактической площади S_ϕ и расчетной S_p , а также обратное отношение в виде коэффициента K_A .

Вторая серия экспериментов. Во второй серии экспериментов их продолжительность не превышала 3,5 – 4,5 часов. Это объясняется тем, что спустя указанное время происходит отрыв нефтяного пятна от стенки, где оно начинало развиваться, в результате чего площадь пятна не возрастает, и эксперимент прекращается.

В первом эксперименте температура воды 17°C, воздуха -25°C. Средняя -21°C, ей соответствует вязкость масла 13,50 Па/с. Площадь пятна через час, два и три часа составила 90, 140 и 190 м².

Во втором эксперименте термические характеристики воды составили 18°C, а воздуха 22°C. Средней температуре 20°C соответствует вязкость масла 13,64 Па/с. Площадь пятна дискретно через каждый час была равной 80, 130 и 170 м².

Таблица 1

Результаты первой серии экспериментов

N	t, час S, κ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1-й эксп- т	S_ϕ	120	240	360									
	S_p	130,29	257,78	382,45									
	S_ϕ / S_p	0,921	0,931	0,941									
	K_A	1,085	1,074	1,062									
2-й эксп- т	S_ϕ	90	180	270	370								
	S_p	102,52	203,22	302,11	399,24								
	S_ϕ / S_p	0,877	0,885	0,893	0,926								
	K_A	1,139	1,129	1,118	1,079								
3-й эксп- т	S_ϕ	70	135	205	280	350	420						
	S_p	77,23	153,39	228,5	302,56	375,58	447,6						
	S_ϕ / S_p	0,906	0,880	0,897	0,925	0,931	0,938						
	K_A	1,103	1,136	1,146	1,080	1,073	1,065						
4-й эксп- т	S_ϕ	60	110	180	230	270	315	345	400				
	S_p	65,36	129,94	139,75	256,8	319,09	380,65	441,47	501,56				
	S_ϕ / S_p	0,917	0,846	0,929	0,895	0,846	0,827	0,781	0,797				
	K_A	1,089	1,181	1,076	1,116	1,181	1,208	1,279	1,253				
5-й эксп- т	S_ϕ	40	90	140	205	250	290	330	375	415			
	S_p	53,49	105,45	158,89	210,81	262,20	313,09	363,7	413,35	426,73			
	S_ϕ / S_p	0,747	0,845	0,881	0,972	0,952	0,926	0,907	0,907	0,896			
	K_A	1,337	1,182	1,134	1,028	1,048	1,079	1,102	1,102	1,115			
6-й эксп- т	S_ϕ	20	40	60	80	100	120	135	150	175	200	225	240
	S_p	22,50	45,02	67,30	89,59	111,77	133,73	155,63	177,42	199,11	220,68	242,14	263,51
	S_ϕ / S_p	0,888	0,888	0,891	0,892	0,892	0,897	0,867	0,845	0,878	0,906	0,929	0,910
	K_A	1,125	1,125	1,121	1,112	1,117	1,114	1,152	1,182	1,137	1,103	1,076	1,097

В третьем эксперименте температура воды 16°C, воздуха 20°C. Средней температуре 18°C соответствует вязкость масла 13,92 Па/с. Площадь пятна через час, два, три и четыре часа равна 70, 120, 160 и 200 м².

В четвертом эксперименте термические характеристики воды составили 10°C, а воздуха 12°C. Средней температуре 11°C соответствует вязкость масла 14,74 Па/с. Площадь пятна через один, два, три и четыре часа равна 30, 65, 105 и 125 м².

В пятом эксперименте температура воды и воздуха равна 10°C. Ей соответствует вязкость масла 14,88 Па/с. Площадь пятна фиксировалась двенадцать раз и была равной 20, 40, 60, 80, 100, 1120, 135, 150, 175, 200, 225 и 240 м².

В шестом температуры воды и воздуха так же равны между собой. Средней температуре 5°C соответствует вязкость масла 17,68 Па/с. Площадь пятна через каждый час была равной 15, 30, 45 и 60 м².

Данные всех экспериментов сведены в табл. 2. В ней также приведены данные расчетных площадей и соотношение фактической и расчетной площадей.

Таблица 2

Результаты второй серии экспериментов					
N	Т, час	1	2	3	4
1-й экс-т	S_{ϕ}	90	140	190	
	S_p	123,14	243,79	361,84	
	S_{ϕ} / S_p	0,73	0,574	0,525	
	K_A	1,368	1,741	1,904	
2-й экс-т	S_{ϕ}	80	130	170	
	S_p	116,13	229,900	341,55	
	S_{ϕ} / S_p	0,688	0,565	0,497	
	K_A	1,451	1,768	2,009	
3-й экс-т	S_{ϕ}	70	120	160	200
	S_p	102,52	203,21	302,11	399,20
	S_{ϕ} / S_p	0,682	0,590	0,529	0,501
	K_A	1,464	1,693	1,888	1,996
4-й экс-т	S_{ϕ}	40	75	105	135
	S_p	59,30	118,09	176,18	233,62
	S_{ϕ} / S_p	0,674	0,635	0,595	0,577
	K_A	1,482	1,574	1,677	1,730
5-й экс-т	S_{ϕ}	30	65	105	125
	S_p	53,49	106,45	158,89	210,81
	S_{ϕ} / S_p	0,560	0,61	0,66	0,592
	K_A	1,783	1,937	1,513	1,686
6-й экс-т	S_{ϕ}	15	30	45	60
	S_p	22,56	45,02	67,36	89,59
	S_{ϕ} / S_p	0,664	0,666	0,668	0,669
	K_A	1,504	1,5	1,496	1,493

Третья серия экспериментов. Продолжительность этих экспериментов не превышала 2,5 – 3,5 часов. Причина та же, что и во второй серии – отрыв пятна от стенки и уменьшение его площади вместо роста.

В первом эксперименте температура воды 16°C, воздуха 22°C. Средней температуре 19°C соответствует вязкость масла 13,78 Па/с. Площадь пятна через один и два часа равна 65 и 120 м².

Во втором эксперименте термические характеристики воды составили 16°C, а воздуха 20°C. Средней температуре 18°C соответствует вязкость масла 13,92 Па/с. Площадь пятна составила 60 и 110 м² через час и два соответственно.

В третьем эксперименте температура воды 14°C, воздуха 18°C. Средней температуре 16°C соответствует вязкость масла 14,20 Па/с. Площадь пятна через час и два была равной 50 и 100 м².

В четвертом эксперименте термические характеристики воды составили 10°C, а воздуха 14°C. Средней температуре 12°C соответствует вязкость масла 14,60 Па/с. Площадь пятна через час, два и три часа равна 30, 50 и 70 м².

В пятом эксперименте температура воды и воздуха равна 10°C. Ей соответствует вязкость масла 14,88 Па/с. Площадь пятна через каждый час составила 20, 35 и 55 м².

В шестом эксперименте температура воды и воздуха равна 5°C. Ей соответствует вязкость масла 17,68 Па/с. Площадь пятна через час, два и три была равной 15, 30, 45 и 66 м².

Данные всех экспериментов этой серии собраны в табл. 3.

Таблица 3

Результаты второй серии экспериментов

N	T, час		1	2	3
	S, к				
1-й экс-т	S_{ϕ}		65	120	
	S_p		109,26	216,47	
	S_{ϕ} / S_p		0,592	0,554	
	K_A		1,686	1,803	
2-й экс-т	S_{ϕ}		60	110	
	S_p		102,52	203,21	
	S_{ϕ} / S_p		0,582	0,541	
	K_A		1,708	1,847	
3-й экс-т	S_{ϕ}		50	100	
	S_p		89,42	177,42	
	S_{ϕ} / S_p		0,559	0,563	
	K_A		1,788	1,774	
4-й экс-т	S_{ϕ}		30	50	70
	S_p		65,36	129,94	193,75
	S_{ϕ} / S_p		0,458	0,384	0,361
	K_A		2,178	2,598	2,767
5-й экс-т	S_{ϕ}		20	35	55
	S_p		53,49	106,45	158,45
	S_{ϕ} / S_p		0,373	0,328	0,346
	K_A		2,674	3,041	2,888

N	Т, час			
	S, к	1	2	3
6-й экс-т	S_{ϕ}	10	20	35
	S_p	22,56	45,02	67,02
	S_{ϕ} / S_p	0,443	0,444	0,519
	K_A	2,256	2,251	1,924

На рис. 1 показан характер загрязнений, конфигурация пятен, наблюдавшихся во всех сериях экспериментов.

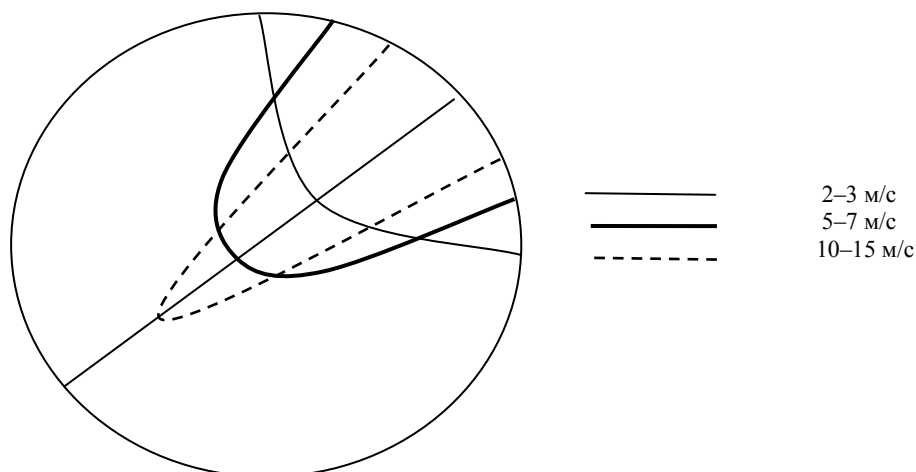


Рис. 1. Конфигурация нефтяных загрязнений в зависимости от силы ветра.

Таким образом, результаты экспериментов подтверждают вывод о том, что чем больше сила ветра, тем меньше темпы распространения (роста площади) нефтяного загрязнения на водной поверхности.

Влияние силы ветра на темпы роста нефтяного пятна

Проведем статистическую обработку результатов экспериментов. В первой серии 32 эпизода, которые определяют зависимость значения K_A при силе ветра от 1 до 4 м/с. Минимальное значение 1,028, максимальное – 1,337. Среднее арифметическое – 1,1647, а середина интервала 1,1825. Интервал равен 0,309 ($\pm 0,1545$), а разница между серединой интервала и средним арифметическим 0,0178, что менее 6% от величины интервала, т.е. с достаточной степенью достоверности можно говорить о нормальном распределении значений K_A .

Во второй серии экспериментов 22 эпизода, определяющих значение K_A при силе ветра от 5 до 7 м/с. Минимальное значение 1,368, максимальное 2,009. Среднее арифметическое 1,6525. Середина интервала 1,6885, а его величина 0,641 ($\pm 0,3205$). Разница между серединой интервала и средним арифметическим 0,036, что менее 6% от величины интервала, что так же, как и в первом случае, позволяет считать распределение нормальным.

В третьей серии экспериментов 15 эпизодов, определяющих значение K_A при силе

ветра от 10-15 м/с. Минимальное значение 1,686, максимальное 2,009. Среднее арифметическое 3,041. Среднее арифметическое – 2,232, а среднее интервала 2,3635 протяженностью 1,355 ($\pm 0,6775$). Разница между средним арифметическим и серединой интервала равна 0,1315, что около 9% от величины интервала. Следовательно, и это распределение можно считать нормальным.

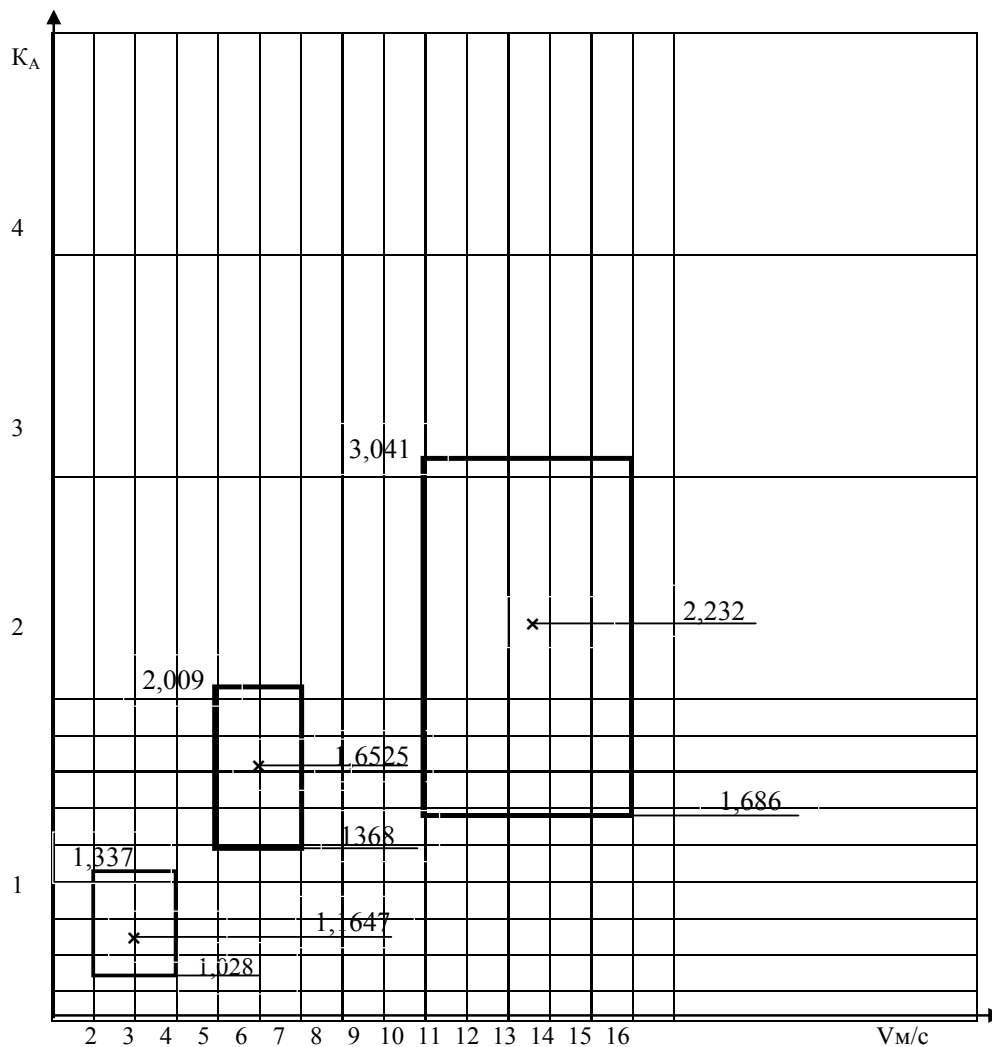


Рис. 2. Распределение K_A в зависимости от силы ветра

Распределение K_A в зависимости от силы ветра представлено на рис. 2. Эти значения наилучшим образом аппроксимируются зависимостью

$$K_A = \frac{1}{1,5} \cdot \sqrt{V}. \quad (10)$$

Таким образом, уменьшение площади растекающегося пятна происходит под действием приводного ветра, причем степень этого изменения пропорциональна значению квадратного корня из величины силы (скорости) ветра в м/с.

Выводы

1. Получена непрерывная зависимость величины площади пятна нефтяного загрязнения от скорости ветра, в соответствии с которой можно вводить интерполяционные коэффициенты в математической модели, полученной для однородных условий в зависимости от скорости приводного ветра.

2. Результаты экспериментов подтверждают вывод о том, что чем больше сила ветра, тем меньше темпы распространения (роста площади) нефтяного загрязнения на водной поверхности.

3. Уменьшение площади растекающегося пятна происходит под действием приводного ветра, причем степень этого изменения пропорциональна значению квадратного корня из величины силы (скорости) ветра в м/с.

Литература

1. Азаренко Е.В. Проблема управления экологической безопасностью прибрежных вод и пути ее решения / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк // 3б. наук. пр. «Системи оброблення інформації». – Харків:ХУПС, 2012. – Вип. 2(100). – С. 271 – 275.
2. Азаренко Е.В. Модели переноса антропогенной примеси вихревым потоком. / Е.В. Азаренко, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк // 3б. наук. пр. СКУЯЕтаП. – Севастополь: СКУЯЕтаП, 2012. – Вип. 2(42). – С. 217 – 270.
3. Азаренко Е.В. Особенности моделирования чрезвычайных ситуаций, вызванных распространением антропогенных загрязнений / Е.В. Азаренко, М.М. Дивизинюк, А.Н. Фурсенко // 3б. наук. пр. СКУЯЕтаП. – Севастополь: СКУЯЕтаП, 2012. – Вип. 1(41). – С. 201 – 207.

Надійшла до редколегії 02.05.2013 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Петров А.С.

Гончаренко Ю.Ю.

ОПТИМІЗАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗТІКАННЯ НАФТОВОЇ ПЛЯМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

У роботі виконана оптимізація математичної моделі розтікання нафтової плями з урахуванням дії приводного вітру. На підставі виконаних експериментів підтверджуються теоретичні висновки і наводяться значення отриманих інтерполяційних коефіцієнтів.

Ключові слова: нафтопродукти, антропогенне домішка, пляма, приводний вітер, площа забруднення.

Goncharenko Yu.Yu.

OPTIMIZATION OF MATHEMATICAL MODEL OF SPREADING OF THE OIL SLICK FOR ENSURING ECOLOGICAL SAFETY

In work optimization of mathematical model of spreading of an oil slick taking into account action of a driving wind is executed. On the basis of the executed experiments theoretical conclusions are confirmed and values of the received interpolation coefficients are given.

Keywords: oil products, anthropogenous impurity, spot, privodny wind, pollution area.