УДК 656.052.55

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СУДНА С НЕРАБОТАЮЩИМ ДВИГАТЕЛЕМ ПРИ ВЕТРОВОМ ДРЕЙФЕ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Годованюк С.П.
Херсонская государственная морская академия

В статье показано, что от точки местоположения судна во время дрейфа при аварии с неработающим двигателем зависит эффективность поисково-спасательной операции. Рассмотрен ветровой дрейф судна, т. е. дрейф судна вследствие ветра. Поставлена задача определения исходной точки дрейфующего судна (для примера в зоне ответственности Украины на Черном море) от первоначального момента подачи сигнала бедствия «mayday» до точки нахождения судна по истечению определенного времени и сообщение о ней всем спасательным службам. Для расчета местоположения судна выдвинута математическая модель. Известно, что коэффициент скорости дрейфа судна под воздействием ветра зависящий от парусности судна и соотношения надводной и подводной боковой поверхности, для большинства судов равен 0,12 – 0,15, этот коэффициент использовался для нахождения скорости ветрового дрейфа судна. Расчетная точка нахождения судна через заданный промежуток времени определялась с использованием метода Монте-Карло. С учетом проведенного анализа и с надежностью 0,95 найдено, что судно при ветровом дрейфе через 10 часов окажется на определенном расчетном расстоянии.

Ключевые слова: *авария, спасательная служба, ветровой дрейф, местоположение судна, правило «трех сигм», функция Лапласа, метод Монте-Карло, надежность, имитационное моделирование, среда Excel.*

Введение. При плавании судно находится на границе двух сред – воздушной и водной, перемещение которых оказывает на него влияние.

Ветер, который представляет собой поступательное перемещение воздушных масс, определяется направлением и силой, тем самым оказывает влияние на судно, в зависимости от конструктивных особенностей. При развитых надстройках, избыточном надводном борте, небольшой осадке увеличиваются крен и дрейф судна.

В судовождении необходимо учитывать действие ветра на судно и определять его элементы, так как ветер создает дрейф судна (ветровой дрейф).

Для учета ветрового дрейфа необходимо знать прогноз ветра, который в частности может быть показан на карте, поэтому пользуются картами, построенными по данным прогностического центра NCEP/NOAA, США.

Для примера на рис. 1 представлен образец прогноза приземного ветра на Черном море в виде карты.

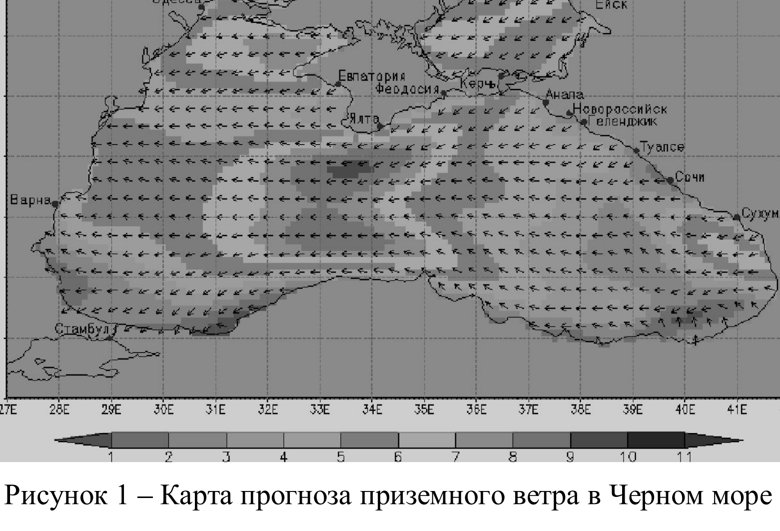

Рисунок 1 – Карта прогноза приземного ветра в Черном море

Карта обновляется ежедневно около 5 час 15 мин, что соответствует Всемирному скоординированному времени.

На карте представлены векторы скорости ветра (м/с) на высоте 10 м. Величина скорости характеризуется цветом, стрелками показано направление ветра.

Постановка проблемы. Предполагаем, что на судне находящимся в Черном море произошла авария – остановка двигателей и судно попадает во власть стихии, в ветровой дрейф в Черном море (в зоне ответственности Украины на Черном море), при этом естественно с течением времени изменяется местоположение судна. От точки местоположения судна во время дрейфа при аварии зависит поисково-спасательная операция.

Проблема судоводителя заключается в том, чтобы в любой момент знать местоположение своего дрейфующего судна от первоначального момента подачи сигнала бедствия «mayday» до точки нахождения судна по истечению определенного времени и сообщению своего местонахождения всем спасательным службам.

Расчет местоположения судна. Иногда судну приходится длительное время находиться в море с остановленными двигателями (ожидание светлого времени, неисправность двигателя, ожидание распоряжений и т. п.). При наличии ветра судно в данных обстоятельствах дрейфует с некоторой скоростью и с течением времени расстояние от точки аварии увеличивается.

Поэтому **целью данной работы** является определение расчетным путем расстояния пройденное судном при ветровом дрейфе через определенно заданное время.

Для расчета построили ниже описанную математическую модель.

Введем обозначения:

– A – точка, начальное расположение судна в море в момент аварии (остановки двигателей);
– $\vec{V}$ – вектор скорости ветрового дрейфа судна в районе аварии, м/с;
– V – численная величина скорости, м/с;
– K_V – коэффициент скорости дрейфа судна под воздействием ветра.

Тогда скорость ветрового дрейфа судна $V_{\text{др}}$ запишем:

$$V_{\text{др}} = K_V \cdot V .$$

Отметим, что ветер воздействует на надводную часть корпуса судна, на его надстройки с силой, отклоняющий судно.

Поэтому K_V зависит от парусности судна и соотношения надводной и подводной боковой поверхности.

Для большинства судов $K_V = 0{,}12 - 0{,}15$ [1], т.е. $K_V \in (0{,}12;\ 0{,}15)$.

Как мы предположили, судно во время аварии, в момент остановленных двигателей, находилось в точке A, то в случае ветрового дрейфа судно через небольшой промежуток времени t после начала дрейфа может оказаться в какой-то точке B, от точки A, и в предположении, что коэффициент $K_V = 0{,}12$.

Следовательно, на одной прямой будут лежать два коллинеарных вектора (коллинеарный – лат. collineare – «метить, направлять»), имеющих одинаковые направления, т.е. они сонаправлены, сонаправленные векторы коллинеарны.

Таким образом, $\overrightarrow{AB} \uparrow\uparrow \vec{v}$, $\vec{v}$ – единичный вектор, сонаправленный с вектором $\vec{V}$, а по модулю равный единице, т.е. $|\vec{v}| = 1$.

Тогда $\overrightarrow{AB} = K_V \cdot V \cdot t \cdot \vec{v} = 0{,}12 \cdot V \cdot t \cdot \vec{v}$ или $AB = 0{,}12 \cdot V \cdot t$.

Аналогично, если судно под воздействием ветрового дрейфа окажется через промежуток времени t в точки D, от точке B и если взять $K_V = 0{,}15$, то $\overrightarrow{AD} \uparrow\uparrow \vec{v}$ или $AD = 0{,}15 \cdot V \cdot t$.

Представим на рис. 2 дрейф судна от т. A до т. D с учетом т. B.

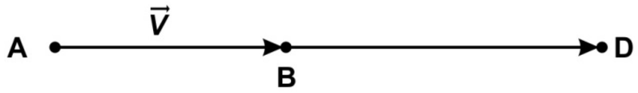

Рисунок 2 – дрейф судна от т. A до т. D

Далее будем считать, что судно, через определенный промежуток времени t после начала дрейфа окажется в т. N (расчетная точка). Очевидно, что эта точка с вероятностью близкой к 1 находится в интервале (B, D), рис. 3.

Растояние, которое пройдет судно при дрейфе, есть случайная величина.

Действительно, расстояние зависит не только от ветра, но и многих других причин (силы инаправления ветра, от парусности судна и соотношения надводной и подводной боковой поверхности и т.д.), которые не могут быть полностью учтены.

В математике пользуются числами, которые описывают случайную величину суммарно, такие числа называют числовыми характеристиками случайной величины. К числу важных числовых характеристик относится математическое ожидание.

Математическое ожидание приближенно равно среднему значению случайной величины. Математическое ожидание – число, вокруг которого сосредоточены значения случайной величины.

Предположим, что т. C является математическим ожиданием положения дрейфующего судна через промежуток времени t.

На рис. 3 т. C расположена в интервале (B; D) и является серединой интервала (B; D), следовательно $\overrightarrow{AC} \uparrow\uparrow \vec{v}$.

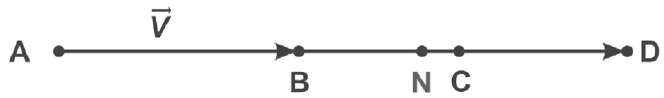

Рисунок 3 – Дрейф судна от т. A до т. D с учетом т. C и т. N

По правилу сложения векторов:

$$\overrightarrow{\mathrm{AC}} = \frac{1}{2}\left(\overrightarrow{\mathrm{AB}} + \overrightarrow{\mathrm{AD}}\right) = \frac{1}{2}\left(0{,}12Vt + 0{,}15Vt\right)\vec{v} = \frac{1}{2}0{,}27 \cdot V \cdot t \cdot \vec{v} = 0{,}135 \cdot V \cdot t \cdot \vec{v}.$$

Таким образом, длина вектора $\overrightarrow{\mathrm{AC}}$ равна длине отрезка AC, т.е.:

$$AC = 0{,}135 \cdot V \cdot t.$$

Согласно рис. 3 положим $\left|\overrightarrow{\mathrm{CN}}\right| = x$; величина x является случайной, т.е. неизвестно, каким будет конкретное значение этой величины. Поскольку предположили, что величина x является случайной, то проанализируем и проведем вычисление, насколько эта случайная величина отклонится от математического ожидания.

Будем предполагать, что x подчиняется нормальному закону распределения. Если случайная величина распределена нормально, то абсолютная величина ее отклонения от математического ожидания не превосходит утроенного среднего квадратического отклонения, что является правилом 3-х σ («трех сигм») [2]. Сигмой (σ) в статистическом анализе обозначают стандартное отклонение.

Естественно предположить, что $\mathrm{BC} = \mathrm{CD} = 3\sigma$.

Пользуясь сценарием как в [2] проанализируем вероятность того, что отклонение нормально распределенной случайной величины X от ее математического ожидания

a по абсолютной величине меньше заданного положительного числа ε, требуется найти вероятность осуществления неравенства $|X-a|<\varepsilon$, где $a=M(X)$ – математическое ожидание нормального распределения.

Заменим это неравенство $|X-a|<\varepsilon$ равносильным ему двойным неравенством

$$-\varepsilon<X-a<\varepsilon, \text{ или } a-\varepsilon<X<a+\varepsilon.$$

Поскольку X распределена по нормальному закону, то принимает значение, принадлежащее интервалу: $X \in (\alpha;\ \beta)$.

Воспользуемся формулой вероятности попадания в заданный интервал $(\alpha;\ \beta)$ и пользуясь функцией ошибок – функцией Лапласа $\Phi(u)$

$$\Phi(u)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}}dz,$$

(отметим, что это уравнение в явном виде неразрешимо и поэтому ниже будем пользоваться таблицей – значений функции Лапласа) получим,

$$P(\alpha<X<\beta)=\Phi\left(\frac{\beta-a}{\sigma}\right)-\Phi\left(\frac{\alpha-a}{\sigma}\right).$$

Тогда

$$P(|X-a|<\varepsilon)=P(a-\varepsilon<X<a+\varepsilon)=\Phi\left[\frac{(a+\varepsilon)-a}{\sigma}\right]-\Phi\left[\frac{(a-\varepsilon)-a}{\sigma}\right]=$$
$$=\Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right)-\Phi\left(-\frac{\varepsilon}{\sigma}\right).$$

Поскольку функция Лапласа является нечетной, т.е.

$$\Phi\left(-\frac{\varepsilon}{\sigma}\right)=-\Phi\left(-\frac{\varepsilon}{\sigma}\right),$$

окончательно получим

$$P(|X-a|<\varepsilon)=2\Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right).$$

Введем обозначение

$$u=\frac{\varepsilon}{\sigma},\ \varepsilon=u\sigma.$$

Тогда получим:

$$P(|X-a|<u\delta)=2\Phi(u).$$

Если $u=3$, то

$$P(|X-a|<3\sigma)=2\Phi(3).$$

Для нахождения значений интегральной функции Лапласа воспользуемся фрагменом таблицы [3].

Таблица 1 – Значения интегральной функции Лапласа

t	*Ф(u)*	*u*	*Ф(u)*	*u*	*Ф(u)*	*u*	*Ф(u)*	*u*	*Ф(u)*	*u*	*Ф(u)*
0,00	0,0000	0,50	0,1915	1,00	0,3413	1,50	0,4332	2,00	0,4772	3,00	0,49865

Используя табл. 1 значений функции Лапласа, получим:

$$P(|X-a|<3\sigma)=2\Phi(3)=2\cdot 0,49865=0,9973.$$

Таким образом, вероятность того, что отклонение случайной величины от математического ожидания по абсолютной величине будет меньше утроенного среднего квадратического отклонения, равна 0,9973.

Другими словами, вероятность того, что абсолютная величина отклонения случайной величины от математического ожидания превысит утроенное среднее квадратическое отклонение, очень мала, а именно равна 0,0027 = 1-0,9973. Это означает, что лишь в 0,27 % случаев такое может произойти. Такие события, исходя из принципа невозможности маловероятных событий, можно считать, практически невозможными. В этом и состоит сущность правила трех сигм: если случайная величина распределена нормально, то абсолютная величина ее отклонения от математического ожидания не превосходит утроенного среднего квадратического отклонения.

Вероятность того, что случайная величина отклонится от своего математического ожидания на большую величину, чем утроенное среднее квадратичное отклонение, практически равна нулю.

Следовательно, предположение того, что судно после остановки двигателей в результате ветрового дрейфа будет находиться в интервале (B,D), соответствует вероятности $2\Phi(3)=0,9973$ (рис. 3).

Отсюда естественно предположить $\mathrm{BC}=\mathrm{CD}=3\sigma$.

На рис. 3 $\mathrm{BC}=\mathrm{CD}$, а $\overrightarrow{\mathrm{BC}}=\overrightarrow{\mathrm{AC}}-\overrightarrow{\mathrm{AB}}=0,135Vt\vec{v}-0,12Vt\vec{v}=0,015V\cdot t\cdot\vec{v}$ или $\left|\overrightarrow{\mathrm{BC}}\right|=\mathrm{BC}=|0,015V\cdot t|\cdot|\vec{v}|=0,015\cdot V\cdot t$.

Тогда

$$3\sigma=0,015\cdot V\cdot t,\text{ а }\sigma=0,005\cdot V\cdot t.$$

Возвращаемся к обсуждению положения точки N (рис. 3), в которой окажется судно через определенный промежуток времени t с после остановки двигателей (потерпевшее аварию).

Для определения положение точки N применим метод Монте-Карло [4]. Метод Монте-Карло широко используется для решения задач, имеющих вероятностную постановку, в тоже время метод Монте-Карло определяется как численный метод решения задач статистического моделирования случайных величин с целью вычисления характеристик их распределений. Как правило, моделирование осуществляется с помощью компьютерных программ.

Для использования в нашей задаче метод Монте-Карло разобъем интервал $(\mathrm{B};\mathrm{D})$ на $2k$ частичных интервала одинаковой длины l.

Величину l будем в дальнейшем определять, исходя из гарантированной возможности визуального обнаружения потерпевшего аврию судна на расстояниии 0,5 l. Численное значение l зависит от времени суток и от возможностей оптических и радиолокационных приборов, имеющихся в распоряжении спасателелей.

Длина каждого частичного интервала будет равна: $\dfrac{\mathrm{BD}}{2k}$.

Поскольку $\mathrm{BD}=\mathrm{AD}-\mathrm{AB}$ (рис. 2), то $\mathrm{BD}=0,15Vt\vec{v}-0,12Vt\vec{v}=0,03\cdot V\cdot t\cdot\vec{v}$.

Следовательно, $\mathrm{BD}=\left|\overrightarrow{\mathrm{BD}}\right|=0,03\cdot V\cdot t$, а $\dfrac{\mathrm{BD}}{2k}=\dfrac{0,03\cdot V\cdot t}{2k}$.

Тогда согласно выше сформулированному требованию $\frac{BD}{2k} = \frac{0,03 \cdot V \cdot t}{2k} \leq 0,5 \cdot l$.

Отсюда следует $k \geq \frac{0,03 \cdot V \cdot t}{l}$.

Для получения числовых значений рассмотрим пример.

Предположим, что судно потерпело аварию в Черном море. В зимний период над всем пространством Черного моря средняя скорость ветра составляет $V = \left|\vec{V}\right| = 8 \div 10$ м/с [5]. Для данного примера считаем, что в районе, где потерпело аварию судно скорость, ветра $V = \left|\vec{V}\right| = 8$ м/с.

Пусть t – промежуток времени, по прошествии которого к месту нахождения потерпевшего аварию судна, может прибыть спасательное судно, равен 10 часам, т.е. $t = 36000$ с.

При нормальной видимости в дневное время можно положить $l = 1000$ м.

В соответствии с примером получим:

$$k \geq \frac{0,03 \cdot 8 \cdot 3600}{1000} = 8,64 .$$

В дальнейшем использовании k положим $k = 9$ (для удобства вычислений), тогда $2k = 18$.

Таким образом, на основании выше полученного, в соответствии с методом Монте-Карло [6], разобьем интервал $(0;1)$ на $2k = 18$ частей равных по длине частей, рис. 4.

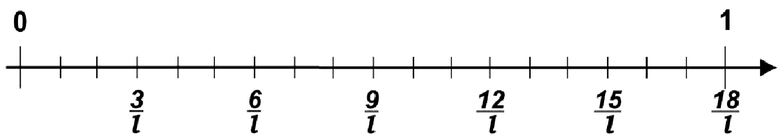

Рисунок 4 – Распределение интервала $(0;1)$ на 18 частей

Тогда $(0;\ 0{,}055)$; $(0{,}055;\ 0{,}111)$; $(0{,}111;\ 0{,}167)$; $(0{,}167;\ 0{,}222)$; $(0{,}222;\ 0{,}278)$; $(0{,}278;\ 0{,}333)$; $(0{,}333;\ 0{,}389)$; $(0{,}389;\ 0{,}444)$; $(0{,}444;\ 0{,}5)$; $(0{,}5;\ 0{,}556)$; $(0{,}556;\ 0{,}611)$; $(0{,}611;\ 0{,}667)$; $(0{,}667;\ 0{,}722)$; $(0{,}722;\ 0{,}778)$; $(0{,}778;\ 0{,}833)$; $(0{,}833;\ 0{,}889)$; $(0{,}889;\ 0{,}944)$; $(0{,}944;\ 1)$.

Обозначим все 18 частей распределенного интервала $(0;\ 1)$ через (1).

Этому разбиению интервала $(0;\ 1)$ соответствует разбиение интервала BD на 18 частичных интервалов.

Пусть δ – верхняя граница ошибки, т.е. самое большое возможное расстояние между истинным положением судна и положением рассчитанным по методу Монте-Карло. Обозначим через γ надежность, т.е. близкую к единице вероятность попадания случайной величины в заданный интервал. В качестве γ, в зависимости от серьёзности последствий принимаемых решений, берут значения уровня достоверности $\gamma = 0,95$, $\gamma = 0,99$, $\gamma = 0,999$. В данной задаче в качестве γ обычно рассматривают значение $\gamma = 0,95$.

Среди методов оценки достоверности различают параметрические и непараметрические. Параметрическими называют количественные методы статистической обработки данных, применение которых требует обязательного знания закона распределения изучаемых признаков в совокупности и вычисления их основных параметров. При проведении выборочных исследований полученный результат не обязательно совпадает с результатом, который мог бы быть получен при исследовании всей совокупности.

С надежностью γ верхнюю границу ошибки δ можно вычислить по формуле:

$$\delta = \frac{u\sigma}{\sqrt{n}},$$

как средняя ошибка средней арифметической величины, где u – значение аргумента функции Лапласа, при котором $\Phi(u) = \frac{\gamma}{2}$, n – число испытаний (разыгранных значений x), σ – среднеквадратическое отклонение.

Если в качестве надежности γ рассматривать число $\gamma = 0,95$, то по таблице значений функции Лапласа из условия $\Phi(u) = 0,475$ находим $u = 1,96$.

Отсюда следует, что наименьшее число испытаний, которое гарантирует заданную верхнюю границу ошибки δ равно n:

$$n = \frac{u^2\sigma^2}{\delta^2}.$$

Так как: $u = 1,96$; $\sigma = 0,005 \cdot V \cdot t = 0,005 \cdot 8 \cdot 36000 = 1440$ м; $\delta = 500$ м, то $n = \frac{\tau^2\sigma_1^2}{\delta_1^2} = \frac{1,96^2 \cdot 1440^2}{500^2} = 1,96^2 \cdot \left(\frac{1440}{500}\right)^2 = 3,8416 \cdot 2,88^2 = 3,8416 \cdot 8,2944 = 31,86$.

Положим $n = 32$. Так как, в работе имитируются случайные величины, то в среде Excel имитационный процесс осуществляется в условиях правдоподобных предположений о законах распределения случайных величин. Статистическая обработка данных, полученных в результате имитационного процесса, позволяет сделать вывод о целесообразности использования случайных величин.

Для реализации процесса имитационного моделирования с помощью средств Excel важнейшую роль играет функция СЛЧИС, которая является датчиком случайных чисел. При каждом обращении к ней генерируется новое случайное число (значение равномерно распределенной на отрезке [0; 1] случайной величины). С помощью данной функции можно осуществить имитацию любой непрерывной или дискретной случайной величины. Каждое обращение к функции СЛЧИС порождает одну реализацию имитационного процесса. На практике ячейка электронной таблицы среды Excel, в которую помещена функция СЛЧИС, копируется нужное число раз. Найдем с помощью датчика случайных величин в среде Excel $n = 32$ чисел из интервала $(0;\ 1)$.

В табл. представим результаты имитационного моделирования, полученные в среде Excel.

Таблица 2 – Результаты имитационного моделирования

	Случайное число (СЛЧИС)		*Случайное число (СЛЧИС)*		*Случайное число (СЛЧИС)*
1	0,505797	12	0,691958	23	0,141283
2	0,656681	13	0,315633	24	0,8966
3	0,19151	14	0,337422	25	0,311437
4	0,232846	15	0,0573	26	0,512243
5	0,464485	16	0,139904	27	0,026467
6	0,84099	17	0,735419	28	0,214898
7	0,247316	18	0,404463	29	0,884702
8	0,634491	19	0,12811	30	0,813493
9	0,582016	20	0,424882	31	0,882372
10	0,520991	21	0,36547	32	0,704152
11	0,984905	22	0,797381	$\sum x_i$	15,64462
$\bar{x}$	0,488994				

Получили величину $\overline{x} = \frac{\sum x_i}{32} = 0,488994$.

Обращаясь к результатам распределения интервала $(0;1)$ на 18 частей, т.е. которое ранее обозначили (1) видим, что в обоих случаях величина $\overline{x} = 0,488994$ находится в промежутке $(0,444;\ 0,5)$.

В заключение, возвращаясь к рис. 3 и зная, что расстояние

$$\text{AB} = 0,12 \cdot V \cdot t = 0,12 \cdot 10 \cdot 14400 = 17280 \text{ м.}$$

$$\text{AD} = 0,15 \cdot V \cdot t = 0,15 \cdot 10 \cdot 14400 = 21600 \text{ м.}$$

$$\text{AC} = \frac{1}{2}(\text{AB} + \text{AD}) = \frac{1}{2}(17280 + 21600) = \frac{1}{2} \cdot 38880 = 19440 \text{ м.}$$

Находим

$$\text{BN} = \text{BD} \cdot \vec{x} = (\text{AD} - \text{AB}) \cdot \vec{x} = (21600 - 17280) \cdot 0,474507 = 4320 \cdot 0,474507 = 2050 \text{ м.}$$

Отсюда следует, что

$$\text{NC} = \text{BC} - \text{BN} = (\text{AC} - \text{AB}) - \text{BN} = (19440 - 17280) - 2050 = 2160 - 2050 = 110 \text{ м.}$$

Таким образом, с определенной погрешностью, ветровой дрейф судна составит:

$$\text{AN} = \text{AB} + \text{BN} = 17280 + 2050 = 19330 \text{ м},$$

с учетом того, что в районе, где потерпело аварию судно скорость ветра составляла $V = |\vec{V}| = 8$ м/с, а время дрейфа до прибытия спасательного судна в точку нахождения судна потерпевшего аварию составило 10 часов, т.е. $t = 36000$ с.

Выводы. После аварии (с остановленными двигателями**)** судно при ветровом дрейфе окажется через 10 часов в точке N для которой расстояние $\text{AN} = 19330$ м, что является расчетным расстоянием. Дальнейшее работа будет сводиться к определению местоположения судна с неработающим двигателем (потерпевшим аварию) при ветровом дрейфе и воздействии течения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бень А. П. Выход в исходную точку поиска в кратчайшее время при осуществлении поисково-спасательных операций / А. П. Бень, В. Н. Плющ // Науковий вісник ХДМА. – 2010. – № 1(2). – С. 24-35.
2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – М. : Высш. шк., 2003. – 479 с.
3. Таблица значений функции Лапласа. natalymath.ru/laplas.html.
4. Соболь И. М. Численные методы Монте-Карло / И. М. Соболь. – М. : Наука, 1973. – 312 с.
5. Стехновский Д. И. Навигационная гидрометеорология : учебник / Д. И. Стехновский, А. Е. Зубков, Ю. С. Петровский. – М. : Транспорт, 1971. – 280 с.
6. Савелова Т. И. Метод Монте-Карло : учеб. пособ. / Т. И. Савелова. – М., 2011. – 150 с.

REFERENCES

1. Benj A. P. Vihkhod v iskhodnuyu tochku poiska v kratchayjshee vremya pri osuthestvlenii poiskovo-spasateljnihkh operaciyj / A. P. Benj, V. N. Plyuth // Naukoviyj visnik KhDMA. – 2010. – № 1(2). – S. 24-35.
2. Gmurman V. E. Teoriya veroyatnosteyj i matematicheskaya statistika : ucheb. posobie dlya vuzov / V. E. Gmurman. – M. : Vihssh. shk., 2003. – 479 s.
3. Tablica znacheniyj funkcii Laplasa. natalymath.ru/laplas.html.
4. Sobolj I. M. Chislennihe metodih Monte-Karlo / I. M. Sobolj. – M. : Nauka, 1973. – 312 s.
5. Stekhnovskiyj D. I. Navigacionnaya gidrometeorologiya : uchebnik / D. I. Stekhnovskiyj, A. E. Zubkov, Yu. S. Petrovskiyj. – M. : Transport, 1971. – 280 s.
6. Savelova T. I. Metod Monte-Karlo : ucheb. posob. / T. I. Savelova. – M., 2011. – 150 s.

Годованюк С.П. ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ СУДНА З НЕПРАЦЮЮЧИМ ДВИГУНОМ ПРИ ВІТРОВОМУ ДРЕЙФІ У ЧОРНОМУ МОРІ

У статті показано, що від точки місця розташування судна під час дрейфу при аварії з непрацюючим двигуном залежить ефективність пошуково-рятувальної операції. Розглянутий вітровий дрейф судна, тобто дрейф судна внаслідок дії вітру. Поставлене завдання: визначення вихідної точки дрейфуючого судна (для прикладу в зоні відповідальності України на Чорному морі) від первісного моменту подачі сигналу лиха «tayday» до точки знаходження судна по закінченню певного часу та повідомлення про неї всім рятувальним службам. Для розрахунків місця розташування судна висунута математична модель. Відомо, що коефіцієнт швидкості дрейфу судна під впливом вітру залежить від парусності судна та співвідношення надводної і підводної бічної поверхні, для більшості суден рівний 0,12 – 0,15. Цей коефіцієнт використовується для знаходження швидкості вітрового дрейфу судна. Розрахункова точка знаходження судна через заданий проміжок часу визначається з використанням методу Монте-Карло. З урахуванням проведеного аналізу та з надійністю 0,95 вирахувано, що судно при вітровому дрейфі через 10 годин виявиться на певній розрахунковій відстані.

Ключові слова: аварія, рятувальна служба, вітровий дрейф, місце розташування судна, правило «трьох сигм», функція Лапласа, метод Монте-Карло, надійність, імітаційне моделювання, середовище Excel.

Godovaniuk S.P. DETERMINATION OF THE WHEREABOUTS OF A SHIP WITH THE BROKEN ENGINE DURING THE WIND DRIFT IN THE BLACK SEA

The article shows that the position of the vessel during the drift with a broken engine depends on the efficiency of the search and rescue operation. The author described the drift of the vessel itself or the drift of the vessel due to the action of the wind. The task of the author is to determine the starting point of the drifting vessel (for example in the Ukrainian waters in the Black Sea) from the original filing distress «mayday» to the position of the ship in a certain period of time and a message about a ship to all the emergency services. To calculate the ship's position the author uses a mathematical model. It is known that the ratio of the drift velocity vessel under the influence of the wind depends on the sailing boat and the ratio of surface and underwater lateral surface for most of the courts is 0.12 – 0.15. This ratio is used to find the speed of the wind drift vessel. The Designed point of the ship in a specified period of time is determined by using the Monte Carlo method. Taking into account the analysis and the reliability of 0,95 it is found that the vessel is in the wind drift during 10 hours will be calculated at a certain distance.

Key words: accident, rescue service, wind drift, the ship's position, the rule of «three sigma» function Laplace, Monte Carlo method, reliability, simulation, Excel.

Статтю прийнято
до редакції 6.05.15