

УДК 681.51
Т 41**АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ
УГЛОВ КРЕНА МАЛОМЕРНОГО СУДНА**В. Л. Тимченко, д-р техн. наук, доц.;
Е. А. Куклина, асп.*Национальный университет кораблестроения, г. Николаев*

Аннотация. Разработана многофункциональная анемометрическая система и на ее основе система определения углов крена и контроля их критических значений, позволяющая информировать судоводителя о текущем значении угла крена, таким образом, снижая возможность возникновения аварийной ситуации маломерных судов при неблагоприятных погодных условиях.

Ключевые слова: система определения и контроля, текущие и критические углы крена, анемометрическая система.

Анотація. Розроблена багатофункціональна анемометрична система та на її основі система визначення кутів крену і контролю їх критичних значень, яка дозволяє інформувати судоводія про поточне значення кута крену, таким чином, знижуючи можливість виникнення аварійної ситуації маломерних суден при несприятливих погодних умовах.

Ключові слова: система визначення та контролю, поточні та критичні кути крену, анемометрична система.

Abstract. The paper deals with the multifunctional anemometer system, and on its basis the system of definition of the rolling angles and control of their critical values has been developed, allowing informing the skipper about the current value of the rolling angle, thereby reducing the possibility of the emergency situations of the small vessels in adverse weather conditions.

Keywords: definition and control system, current and critical rolling angles, anemometric system.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

По данным Укрморречинспекции в 2011–2012 гг., наибольшее число аварий происходит на маломерных судах [1, 8]. В связи с тем, что 80 % аварийных случаев связано с наличием человеческого фактора, автоматическое определение и контроль текущих значений углов крена судна является одним из условий предотвращения потери остойчивости, что особенно актуально при эксплуатации в сложных метеорологических условиях. Таким образом, проблема разработки и усовершенствования систем, которые позволяют оценивать и контролировать углы крена судна, возникающие при воздействии ветрового возмущения и морского волнения на судно, является актуальной и требует дальнейших исследований.

**АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ПУБЛИКАЦИЙ**

Многочисленные исследования, проводимые в последнее время, посвящены изучению взаимодействия корпуса судна с внешними возмущениями (морским волнением и ветровым возмущением, особенно при наличии шквальных порывов), описанию механики процесса бортовой качки и проблемам разработки систем определения параметров качки для ее стабилизации [3, 12]. Существуют различные устройства определения параметров бортовой качки [10, 11], однако они достаточно сложны, имеют высокую стоимость, что не всегда позволяет оснастить ими

маломерное судно. При эксплуатации маломерных судов анализ состояния мореходности производится судоводителем исходя из показаний кренометра или личных оценок состояния моря и параметров ветрового возмущения [5]. Поэтому для уменьшения влияния человеческого фактора при оценке безопасности мореплавания предлагается система, позволяющая автоматически оценивать текущие углы крена судна и сигнализировать о приближении к критическому значению.

При разработке системы определения и контроля текущих значений углов крена выделены следующие этапы:

1) разработка многофункциональной анемометрической системы, позволяющей за счет уточненного измерения скорости и направления, а также ускорения ветра прогнозировать развитие интенсивности ветрового возмущения;

2) формирование математической модели, описывающей моменты сил, которые воздействуют на судно;

3) разработка функциональной и структурной схемы системы определения и контроля углов крена;

4) проведение имитационного моделирования для проверки корректности функционирования системы определения углов крена и контроля их критических значений при воздействии на судно ветрового возмущения и морского волнения.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ – разработка системы, позволяющей определять текущие углы крена и контролировать их критические значения при эксплуатации в сложных метеорологических условиях.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Рассмотрим уравнение угла крена судна [3]

$$\frac{d^2\Theta(t)}{dt^2} + 2\mu_\Theta\omega_\Theta \frac{d\Theta(t)}{dt} + \omega_\Theta^2\Theta(t) = b_\Theta\alpha(t),$$

где $\Theta(t)$ – текущий угол крена; μ_Θ – относительный коэффициент затухания; ω_Θ – частота свободных незатухающих колебаний; b_Θ – коэффициент пропорциональности, который определяется выражением $b_\Theta = \omega_\Theta^2\chi_\Theta$, где χ_Θ – редуцированный коэффициент бортовой качки; $\alpha(t)$ – угол волнового склона.

После применения преобразования Лапласа при нулевых начальных условиях уравнение угла крена судна в операторном виде выражается следующим образом:

$$p^2\Theta(p) + 2\mu_\Theta\omega_\Theta p\Theta(p) + \omega_\Theta^2\Theta(p) = b_\Theta\alpha(p). \quad (1)$$

В данном случае учитывается только угол крена судна, вызываемый морским волнением и определяемый его ординатой. Для получения более точной картины влияния внешних возмущений на изменение угла крена судна необходимо учитывать влияние на его величину ветрового возмущения. Для этого в правую часть уравнения (1) вводится ветровой кренящий момент, который определяется из выражения [12]

$$M_{кр} = \frac{1}{2}\rho C_D K^2 V A_n z_n,$$

где ρ – массовая плотность воздуха; C_D – безразмерный коэффициент сопротивления; K – фактор скорости ветра; A_n – площадь парусности; z_n – ордината плеча парусности.

Таким образом, уравнение (1) примет вид [3]

$$p^2\Theta(p) + 2\mu_\Theta\omega_\Theta p\Theta(p) + \omega_\Theta^2\Theta(p) = b_\Theta\alpha(p) + \frac{1}{2(I_x + \Delta I_x)}\rho C_D K^2 V A_n z_n,$$

где I_x и ΔI_x – момент инерции массы судна и присоединенный момент инерции относительно центральной продольной оси соответственно.

Для проведения имитационного моделирования воздействия на корпус судна внешних факторов рассмотрено маломерное судно с длиной корпуса $L = 27$ м, шириной $B = 6,21$ м, осадкой $T = 1$ м, высотой борта $H = 2$ м, общей площадью парусности $A_n = 37$ м².

Сравнение текущего и критических значений углов крена производится на основе статической и динамической диаграмм устойчивости (ДСО и ДДО соответственно). Для их построения необходимо найти плечи статической и динамической устойчивости при соответствующих углах крена [2, 9]:

$$l_{ст} = y_\Theta \cos\Theta + (z_\Theta - z_c) \sin\Theta - (z_g - z_c) \sin\Theta;$$

$$l_d = y_\Theta \sin\Theta - (z_\Theta - z_c) \cos\Theta - (z_g - z_c)(1 - \cos\Theta),$$

где Θ – угол крена судна; y_Θ и z_Θ – координаты центра величины судна при крене судна на 90°; z_c – аппликата центра величины в прямом положении судна; z_g – аппликата центра тяжести в прямом положении судна.

В системе определения и контроля текущих углов крена, функциональная схема которой представлена на рис. 1, производится сравнение текущего угла крена с критическим значением, найденным по ДСО и ДДО (рис. 2).

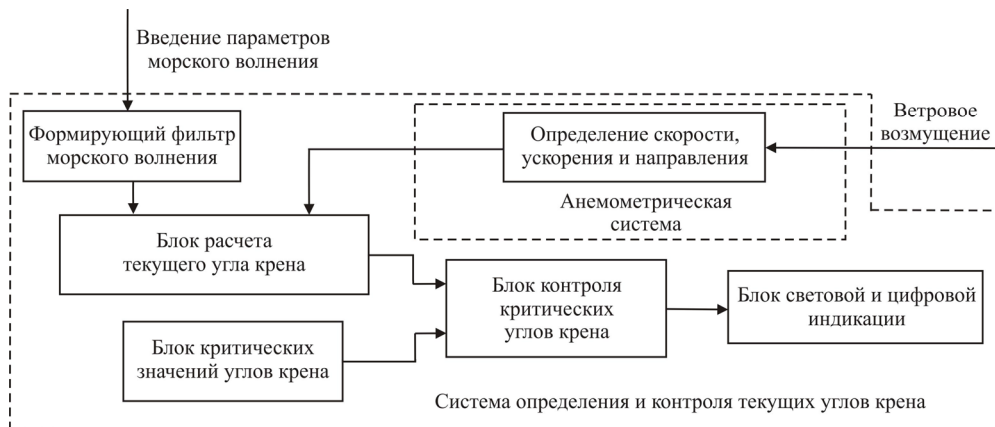


Рис. 1. Функциональная схема системы определения и контроля углов крена судна

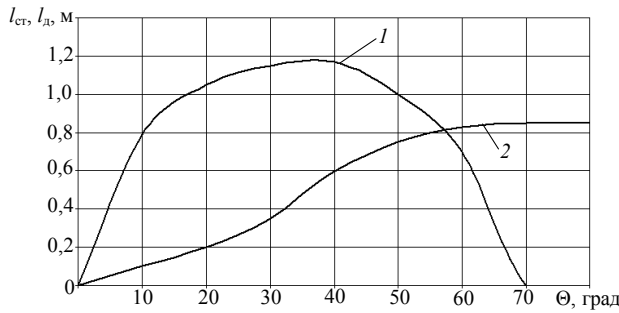


Рис. 2. Диаграммы остойчивости: 1 – ДСО; 2 – ДДО

При синтезе разработанной системы параметры морского волнения вводятся в формирующий фильтр, передаточная функция которого имеет вид [6]

$$H(p) = \frac{2\sqrt{\alpha D_r}}{p^2 + 2\alpha p + (\alpha^2 + \beta^2)},$$

где D_r – дисперсия волновой ординаты; α – коэффициент затухания; β – угловая частота корреляционных функций.

Для оценки параметров ветрового возмущения и прогнозирования изменения его интенсивности в состав системы определения и контроля текущих углов крена вводится многофункциональная анемометрическая система.

На рис. 3 представлена функциональная схема разработанной анемометрической системы повы-

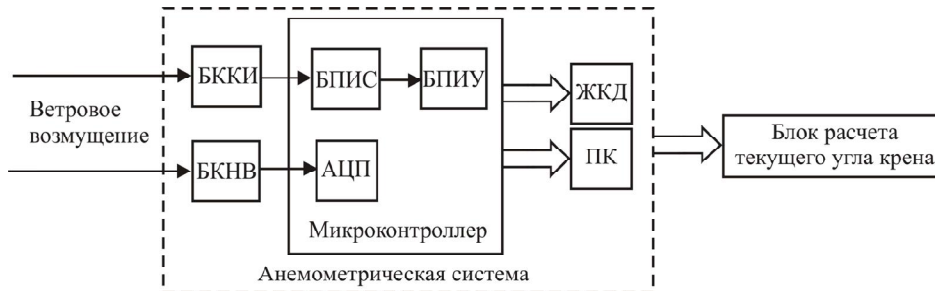
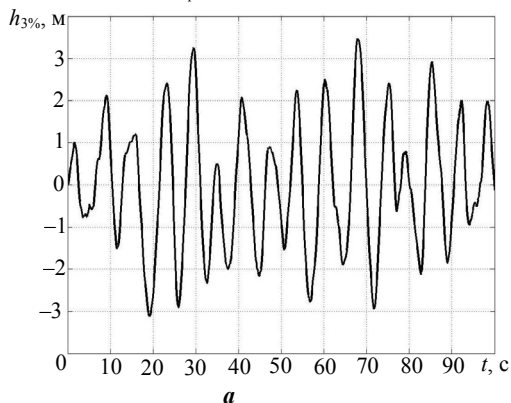


Рис. 3. Функциональная схема анемометрической системы

Для модельного эксперимента были выбраны гидрометеорологические параметры, характерные для зимнего периода в северной и северо-западной части Черного моря [4]: постоянный курсовой угол к ветру 30° , средняя скорость ветра $V_{cp} = 15$ м/с, состояние моря 5 баллов.



шенной точности [4]. На схеме применены следующие обозначения: БКНВ – блок контроля направления ветра; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; БККИ – блок контроля количества импульсов; БПИС – блок пересчета количества импульсов в скорость ветра; БПИУ – блок пересчета количества импульсов в ускорение ветра; ПК – персональный компьютер; ЖКД – жидкокристаллический дисплей.

Ускорение ветрового возмущения определяется в соответствии со следующей алгоритмической процедурой [7] с постоянным шагом измерения для входных параметров (i – шаг измерений, $V_i(t)$ – значение скорости ветра на i -м шаге измерений, $\bar{V}_i(t)$ – среднее значение скорости ветра, n – количество проведенных измерений, T – интервал времени, в течение которого производились измерения) и выходного параметра ($a(t)$ – ускорение ветрового возмущения):

1. Провести измерения $V_i(t)$.
2. Записать полученные значения в массив данных.
3. Вычислить $\bar{V}_i(t) = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n V_i(t) \right]$.
4. Повторно выполнить операции 1–3 на $(i + 1)$ -м шаге для получения $\bar{V}_{(i+1)}(t)$.
5. Вычислить $a(t) = \frac{1}{T} [\bar{V}_{(i+1)}(t) - \bar{V}_i(t)]$.
6. Остановиться.

Результаты имитационного моделирования, демонстрирующего процесс определения и контроля углов крена судна в условиях действия ветрового возмущения и морского волнения, приведены на рис. 4 и 5.

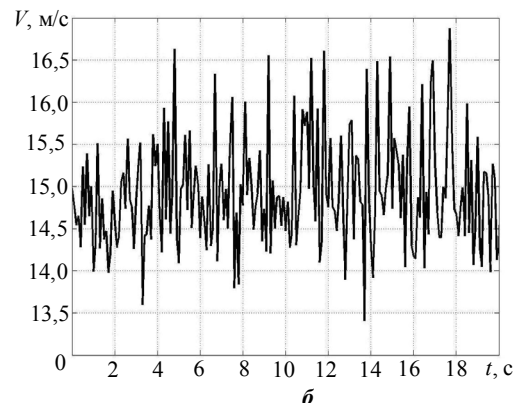


Рис. 4. Зависимость изменения ординаты волны (а) и скорости ветра (б)

На рис. 5 приведена зависимость угла крена, вызванного воздействием на судно морского волнения, изменение ординаты которого представлено на рис. 4,а, в совокупности с ветровым возмущением (см. рис. 4,б).

Для удобства визуализации и контроля по диаграммам остойчивости углы крена можно условно разделить на три группы:

- безопасная зона – малые углы крена;
- опасная зона – большие углы крена;
- особо опасная зона – углы крена, близкие к критическому, при котором возможна потеря остойчивости.

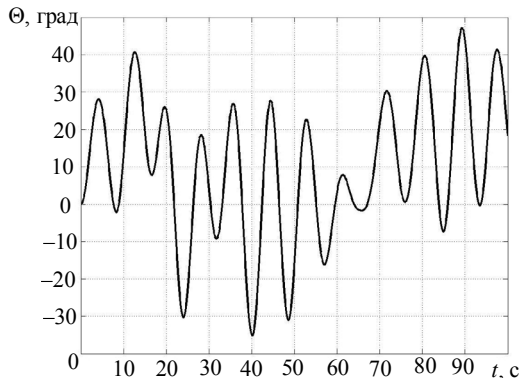


Рис. 5. Изменение угла крена судна при воздействии морского волнения и ветрового возмущения

ВЫВОДЫ

1. Использование многофункциональной анемометрической системы в составе системы определения и контроля углов крена судна позволяет:

оценивать с достаточной точностью параметры ветра, действующего на судно, и учитывать полученные данные при определении углов крена;

прогнозировать изменение интенсивности ветрового возмущения за счет оценки ускорения ветра, что позволит повысить безопасность мореплавания, снижая возможность возникновения аварии.

2. Ветровое возмущение, особенно носящее характер «шквала», оказывает существенное влияние на крен маломерного судна, поэтому использование предложенной системы при визуализации контроля углов крена по диаграммам остойчивости позволяет уменьшить влияние человеческого фактора в процессе оценки безопасности мореплавания.

3. Предложенная система определения и контроля углов крена может быть использована на различных типах маломерных судов при учете соответствующих аэро- и гидродинамических характеристик судна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Аварийность на морском и речном транспорте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.maritimebusinessnews.com.ua>.
- [2] **Байгунусов, В. Б.** Судоводителям о плавучести и остойчивости судна [Текст] / В. Б. Байгунусов. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2001. – 86 с.
- [3] **Вагущенко, Л. Л.** Бортовые автоматизированные системы контроля мореходности [Текст] / Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко, С. И. Заичко. – О. : Феникс, 2005. – 272 с.
- [4] Ветер и волны в морях и океанах [Текст] : справочные данные / Регистр СССР. – М. : Транспорт, 1974. – 359 с.
- [5] **Коваленко, Б. П.** Основы остойчивости судна [Текст] : пособие для судоводителей / Б. П. Коваленко. – СПб., 2003. – 40 с.
- [6] **Лукомский, Ю. А.** Системы управления морскими подвижными объектами [Текст] / Ю. А. Лукомский, В. С. Чугунов. – Л. : Судостроение, 1988. – 247 с.
- [7] **Пат. 72946 Украина, МПК 2009 G01P 5/06.** Анемометрична система [Текст] / Тимченко В. Л., Тимченко І. В., Кукліна К. О. ; заявник та патентовласник Нац. ун-т кораблебуд. ім. адм. Макарова. – № и 201112524 ; заявл. 25.10.2011 ; опубл. 11.09.2012, Бюл. №17/2012. – 5 с.
- [8] **Соболевский, Г.** Нужно исключить дублирование проверок судов в портах [Электронный ресурс] / Г. Соболевский. – Режим доступа: <http://www.cfts.org.ua/opinions>.
- [9] Статика корабля [Текст] / Р. В. Борисов, В. В. Луговский, Б. В. Мирохин, В. В. Рождественский. – СПб. : Судостроение, 2005. – 254 с.
- [10] Устройство для измерения угла крена или дифферента плавучего средства на волнении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.freepatent.ru/patents/2440912>.
- [11] Устройство для определения углов крена и дифферента подвижных объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.freepatent.ru/patents/2486098>.

- [12] **Ярисов, В. В.** Разработка предложений по оценке безопасности мореплавания в части ветростойкости для крупнотоннажных парусно-моторных судов на примере УПС «Крузенштерн» [Текст] / В. В. Ярисов, Г. Н. Палецкий // Науч.-техн. сборник. – СПб. : Российский морской регистр судоходства, 2012. – Вып. 35. – С. 30–39.

© В. Л. Тимченко, К. О. Кукліна
Надійшла до редколегії 21.04.13
Статтю рекомендує до друку
д-р техн. наук, проф. Ю. Д. Жуков