

- 2) Использование ускоренного вида алгоритма обратного распространения ошибки при обучении сети.

Литература

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. / С. Хайкин. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
2. Bech, M. I., and L. W. Smith, 1969. Analogue simulation of ship manoeuvres, Technical Report Hy-14, Hydro- and Aerodynamics Laboratory, Lyngby, Denmark.
3. Bech, M. I., 1972. Some aspects of the stability of automatic course control of ships. The Journal of Mechanical Engineering Science 14(7), Supplementary Issue, 123-131.
4. Nomoto, K., T. Tagushi, K. Hunda, and S. Hirano, 1957. On the steering qualities of ships, International Ship Building Progress 4(35), 354-370.
5. Norrbin, N. H., 1970. Theory and observation on the use of a mathematical model for ship manoeuvring in deep and confined waters, Proceedings of the 8th Symposium on Naval Hydrodynamics, Pasadena, California.
6. Rosenblatt, F., 1958. The Perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain, Psychological Review 65,386-408.
7. Rosenblatt, F., 1960a. Perceptron simulation experiments, Proceedings of the Institute of Radio Engineers 48,301-309.

REFERENCES

1. Hajkin S. Neuronnye seti: polnyj kurs: Per. s angl. / S. Hajkin. – M.: Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2006. – 1104 s.
2. Bech, M. I., and L. W. Smith, 1969. Analogue simulation of ship manoeuvres, Technical Report Hy-14, Hydro- and Aerodynamics Laboratory, Lyngby, Denmark.
3. Bech, M. I., 1972. Some aspects of the stability of automatic course control of ships. The Journal of Mechanical Engineering Science 14(7), Supplementary Issue, 123-131.
4. Nomoto, K., T. Tagushi, K. Hunda, and S. Hirano, 1957. On the steering qualities of ships, International Ship Building Progress 4(35), 354-370.
5. Norrbin, N. H., 1970. Theory and observation on the use of a mathematical model for ship manoeuvring in deep and confined waters, Proceedings of the 8th Symposium on Naval Hydrodynamics, Pasadena, California.
6. Rosenblatt, F., 1958. The Perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain, Psychological Review 65,386-408.
7. Rosenblatt, F., 1960a. Perceptron simulation experiments, Proceedings of the Institute of Radio Engineers 48,301-309.

УДК 656.61.052:629.5.072

DOI: 10.34046/aumsuomt95/8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ВАЖНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВЕКТОРА СОСТОЯНИЯ СУДНА

М.Л. Джавуцян, аспирант

Д.Е. Студеникин, кандидат технических наук, доцент

В.В. Попов, доктор технических наук, профессор

В статье рассматривается важность идентификации вектора состояния судна. На основании уравнения Риккати построено несколько имитационных моделей динамического объекта в среде моделирования Simulink. Первая модель предназначена для определения счислимых координат судна. Вторая модель, дополнена блоком ошибки, представленным в виде случайного сигнала с нормальным распределением «RandomNumber». Указанная ошибка включена в относительную скорость судна, получаемую от судового лага. Третья модель, созданная в работе, определяет степень важности идентификации параметров вектора состояния судна, а именно, показывая погрешности, возникающие при определении счислимого места судна.

На основании результатов, полученных в процессе исследования, можно с уверенностью сказать, что недостаточная идентификация вектора состояния судна может привести к трагическим последствиям: авариям, человеческим жертвам, загрязнению морской среды. Поэтому необходима система способная своевременно обнаруживать ложные данные, поступающие с судовых приборов.

Ключевые слова: вектор состояния, параметры движения судна, важность идентификации, модель движения судна, счисление судна

The article discusses the importance of identifying a ship's state vector. Based on the Riccati equation, several simulation models of a dynamic object are constructed in the Simulink simulation environment. The first model is designed to determine the calculated coordinates of the vessel. The second model, supplemented by an error block, presented in the form of a random signal with a normal distribution of "Random Number". The indicated error is included in the relative speed of the vessel received from the ship's log. The third model created in the work determines the degree of importance of identifying the parameters of the ship's state vector, namely, showing the errors that occur when determining the dead reckoning position of the ship.

Based on the results obtained during the research, it can be said with confidence that insufficient identification of the state vector of the vessel can lead to tragic consequences: accidents, loss of life, and pollution of the marine environment. Therefore, we need a system that can detect false data coming from ship's devices in a timely manner.

Key Words: state vector, ship motion parameters, importance of identification, ship motion model, dead reckoning

Морские движущиеся объекты, как объекты управления, представляют собой сложные динамические системы. Это связано с их конструктивными особенностями и условиями эксплуатации [1-3]. Современные навигационные системы, а именно технические средства, установленные на судах, характеризуются сложностью и высокой размерностью. Однако, вектор состояния плавучего объекта не всегда доступен для измерений [4].

Основное внимание в данной статье уделяется определению степени важности идентификации вектора состояния судна. Фундаментом для решения задачи является математические модели судна [5, 6]. В общем случае модель подвижного морского объекта должна с определенной точностью воспроизводить изменение состояния системы со временем при заданных управляющих воздействиях. Преимущество построения моделей судна в том, что с их помощью можно изучать особенности поведения динамического объекта в целом в различных условиях эксплуатации, прогнозировать динамику изменения параметров движения при его практической реализации.

Существуют определенные сложности в формировании традиционных моделей движения судна. В первую очередь это связано с определением значений коэффициентов используемых алгоритмов. Необходимо отметить, что для идентификации параметров движения сначала необходимо описать ее структуру, а после планировать специальные маневры: циркуляция, маневр зигзаг. В результате формируется исходная база данных, которая необходима для оценки параметров выбранной модели [7].

В зависимости от модели движения судна можно описать и прогнозировать влияния на парход ветра, приливно-отливного течения, волнения, а также крена, угловой скорости, угла поворота пера руля и т.д. Рассмотрим модель численного пути судна и определения текущих координат. Необходимо отметить, что с определёнными ограничениями [8], [9] поперечное ускорение движущегося плавучего объекта $\frac{dV_{oy1}}{dt}$ в условиях воздействия внешних факторов может быть представлено в виде суммы произведений некоторых коэффициентов и функций времени (уравнение Риккати):

$$\frac{dV_{oy1}}{dt} = f(V_{oy1}, t) = -\frac{C_{y\beta}^{\beta} \rho A_{L\sigma}}{2m(1+k_{22})} * |V_{ox1}| * V_{oy1} - \frac{c_2 \rho A_{L\sigma}}{2m(1+k_{22})} |V_{oy1}| * V_{oy1} - \frac{1.05 \rho_A A_{VL}}{2m(1+k_{22})} * V_r^2 \sin \alpha_r - \frac{1+k_{11}}{1+k_{22}} * V_{ox1} \frac{dK}{dt} + \frac{1 * F_w}{m(1+k_{22}) * \cos \theta} \quad (1)$$

где $C_{y\beta}^{\beta}$, c_2 – коэффициенты, определяющие вязкостное трение; k_{11} , k_{22} – соответственно продольный и поперечный коэффициенты присоединённых масс; $A_{L\sigma}$ – приведённая площадь погруженной части диаметральной плоскости; A_{VL} – площадь боковой парусности; ρ_A , ρ – соответственно плотности атмосферного воздуха и воды; m – масса судна; V_{ox1} , V_{oy1} – продольная и поперечная составляющая относительной скорости центра тяжести в системе координат, жёстко связанной с судном; V_r , α_r – скорость и направление относительного ветра соответственно; K – курс судна; θ – угол крена; F_w – сила волнового давления.

В работе [10] в уравнение (1) вводятся некоторые обозначения:

$$\begin{aligned} k_1 &= -\frac{C_{y\beta}^{\beta} A_{L\sigma}}{2m(1+k_{22})}; & x_1(t) &= \rho |V_{ox1}| * V_{oy1}; \\ k_2 &= -\frac{c_2 A_{L\sigma}}{2m(1+k_{22})}; & x_2(t) &= \rho |V_{oy1}| * V_{oy1}; \\ k_3 &= -\frac{1.05 A_{VL}}{2m(1+k_{22})}; & x_3(t) &= \rho_A V_r^2 \sin \alpha_r; \\ k_4 &= -\frac{1+k_{11}}{1+k_{22}}; & x_4(t) &= V_{ox1} \frac{dK}{dt}; \\ k_5 &= \frac{1}{m(1+k_{22})}; & x_5(t) &= \frac{F_w}{\cos \theta} \end{aligned} \quad (2)$$

При этом, для целей нашей работы некоторые величины мы можем принять как статические, а именно:

Таблица 1 – Принятые значения коэффициентов «k»:

Коэффициент	Значение
k_1	$-1,7991 * 10^{-6}$
k_2	$-1,4393 * 10^{-5}$
k_3	$-3,3131 * 10^{-5}$
k_4	-0,7594
k_5	$5,2841 * 10^{-8}$

Переменные « x_1-x_4 » вычисляются простыми математическими действиями при условии, что некоторые параметры движения судна, а также силы, воздействующие на судно, определены заблаговременно. В виду того, что целью не является определение самих переменных и их

точности, зададим основные параметры, воздействующие на судно при начальном движении, для определения переменных «х».

$$V_{ox1} = 6,0 \frac{м}{с}, \quad V_{oy1} = \frac{0,1м}{с}, \quad \rho_A = 1,2754 \frac{кг}{м^3},$$

$$\rho = 1,025 \frac{кг}{м^3}, \quad V_r = \frac{5,0м}{с}, \quad \alpha_r = 30,0^\circ,$$

$$K = 90,0^\circ, \quad \theta = 0^\circ$$

Силу волнового давления F_w можно определить по формулам предложенным в [11]. Для нефтеналивного танкера класса «Панамакс» длиной $L=228$ м, шириной 32 м, осадкой $d=9,0$

м в условиях плавания с высотой волны $h_b=0,5$ м величина $F_w \approx 390$ кН.

После определения поперечного ускорения $\frac{dV_{oy1}}{dt}$ согласно уравнению (1) нетрудно определить скорости судна $V_x(t)$ и $V_y(t)$ в локальной системе. Тогда уравнения для определения счислимых координат судна имеют следующий вид:

$$x(t) = \int_0^t V_x(t) dt; \quad y(t) = \int_0^t V_y(t) dt \quad (3)$$

Промоделируем выражения (1) - (3) в среде MATLAB, а именно в графической среде имитационного моделирования Simulink (рис. 1).

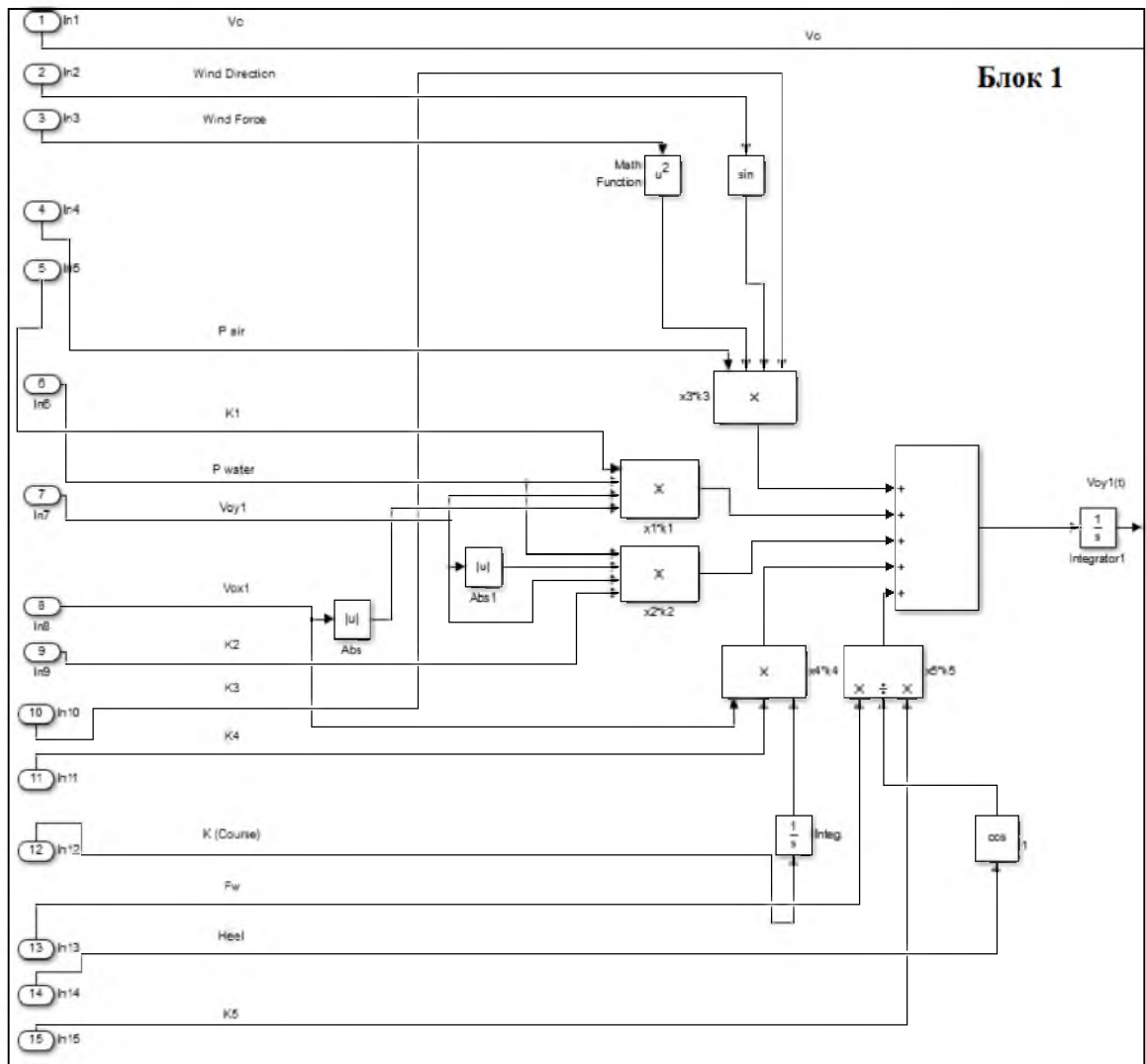


Рисунок 3 – Блок 1. Модель для вычисления продольной составляющей скорости движения судна V_{oy1}

Модель имеет пятнадцать входов с параметрами вектора состояния судна и два выхода с результатами вычисленных координат. Состоит из двух основных блоков. В блоке 1, изначально, определяются значения « $x_i * k_i$ », затем полученные данные суммируются в соответствии с уравнением (1), после определяется поперечная составляющая скорости V_{oy1} . Блок 2 представленный на рисунке 2 является моделью для вычисления счислимых координат судна. Именно в этом

блоке происходит процесс интегрирования продольной и поперечной скоростей судна. В результате моделирования на выходе в осциллографе «Scope» получаем график изменения координат судна (смотри рис. 3).

В полученной имитационной модели судно движется с начальными параметрами установленными заблаговременно. Судоводитель, находящийся на навигационном мостике, способен контролировать местоположение судна. Координаты

изменяются в режиме on-line. Предполагается, что приборы, с которых приходит информация, работают в штатном режиме. Однако предположим, что это не так. И какой-либо параметр вектора состояния судна поступает в модель определения координат с некой ошибкой. Вахтенный помощник управляет судном и не подозревает, что в системе присутствует ложная информация.

Умышленно введем в модель движения судна, рассмотренную выше, некоторую ошибку, представленную в виде случайного сигнала с нормальным распределением «RandomNumber» (рис. 4). Предположительно указанная ошибка исходит от судового лага вместе с относительной скоростью судна. Модель имеет пятнадцать вхо-

дов, также, как и модель без ошибки, однако, выходов три. Третий выход показывает значения сигнала ошибки отдельно от системы. Данный выход позволит в дальнейшем оценить влияние сигнала на вектор состояния судна.

Итак, лаг судна показывает ошибочную скорость. От точности данного параметра зависит точность определения счислимых координат динамического объекта, безопасное расхождение с другими судами на достаточном расстоянии, а также расчет многих переменных движения судна. Для того чтобы понять в какой степени влияет ошибочно взятый параметр вектора состояния на безопасность плавания, построим сравнительную модель состоящую из двух отдельных моделей представленных на рисунках 1, 2 и 4.

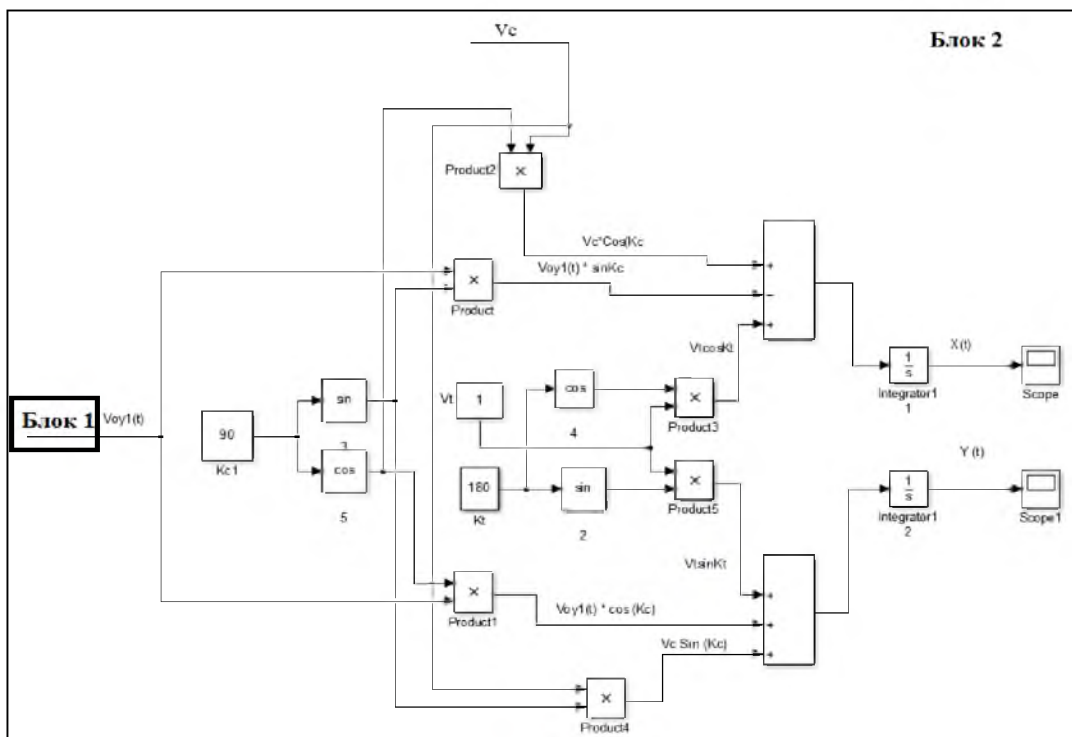


Рисунок 2 – Блок 2. Модель для вычисления значений координат судна $X(t)$, $Y(t)$

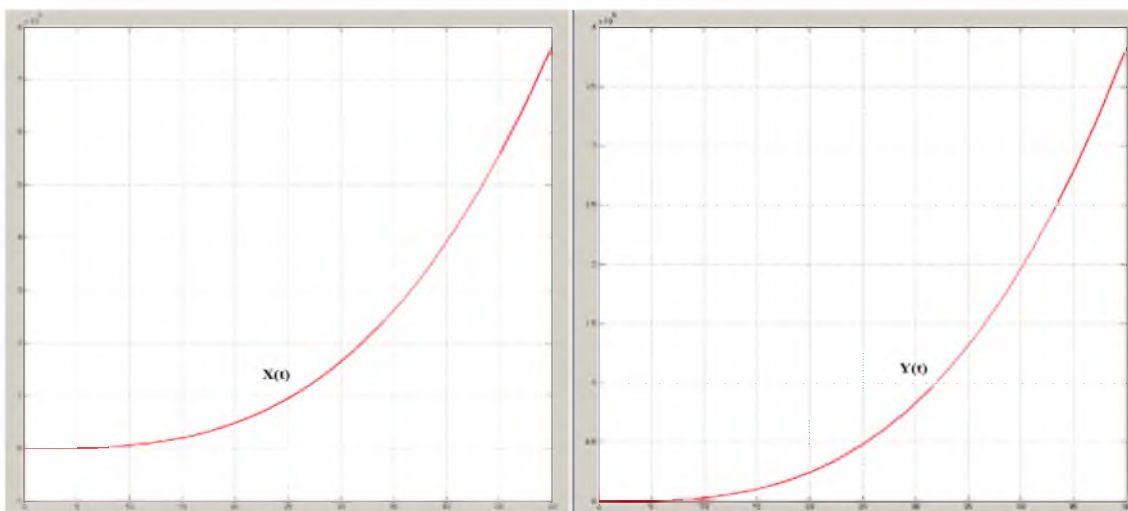


Рисунок 3 – График изменения координат судна $X(t)$ и $Y(t)$

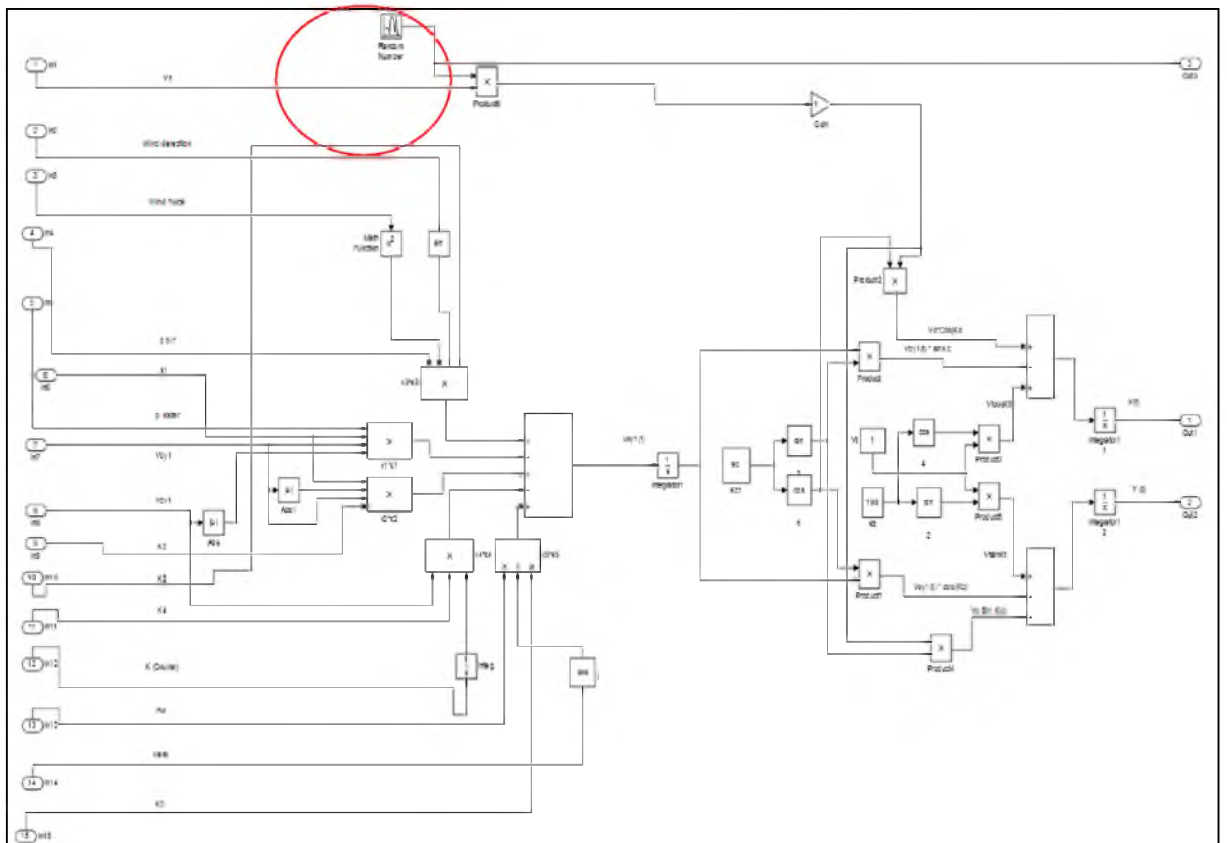


Рисунок 4 – Имитационная модель определения координат судна с намеренно введенной ошибкой

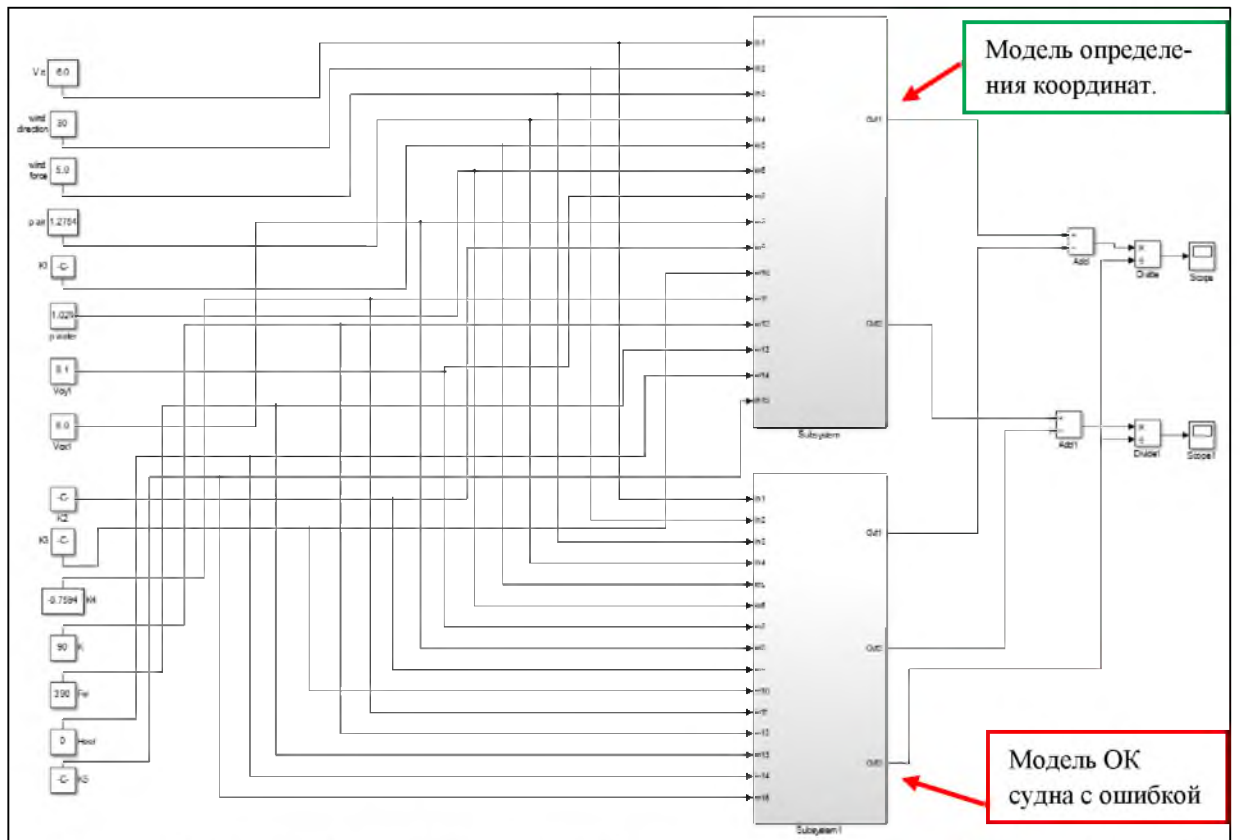


Рисунок 5 – Модель оценки влияния ошибочно взятого параметра вектора состояния на безопасность плавания

Сгенерированная модель, представленная на рисунке 5, состоит из 15 входных параметров, значения которых заданы, как уже говорилось ра-

нее; модели «Subsystem», представленной на рисунках 1 и 2, а также «Subsystem1» как показано на рисунке 4. Выходные сигналы от обеих моделей идут в сумматоры и далее в блоки «Divide» и

«Divide1», в которых происходит сравнение полученных координат. В конечном итоге в осцилло-

графе «Score» можем наблюдать график погрешности, возникающей при измерении координаты $X(t)$, а в «Score1» координаты $Y(t)$ (рис. 6).



Рисунок 6 – График погрешности, возникающий в модели ввиду недостаточной идентификации параметра вектора состояния судна

Как мы видим, даже небольшие шумы могут оказать значительное влияние. Как известно, сами по себе шумы могут иметь различную спектральную и, что сейчас важнее, временную характеристику. Так называемый «медленный шумовой процесс», при его наличии, может серьезно исказить решение, даже при наличии фильтров сигнала классической частоты. На основании полученных результатов можно однозначно сделать следующий вывод относительно цели исследования, поставленной в статье: некачественная идентификация вектора состояния судна, в частности параметра движения судна или воздействующей силы, может привести к большим ошибкам определения местоположения, что в свою очередь критически влияет на безопасность судовождения. Необходимо отметить, что созданная система легко адаптируема под различные задачи и может быть построена различными блоками при решении сложных задач.

Литература

1. Антонов, В.А. Теоретические вопросы управления судном: учебное пособие / В.А. Антонов, М.Н. Письменный. – 2-е изд., перераб. и доп. – Владивосток: МГУ им. адм. Г. И. Невельского, 2007. – 78 с.
2. Лукомский, Ю.А. Навигация и управление движением судов: учебник / Ю.А. Лукомский, В.Г. Пепехонов, Д.А. Схороходов. – СПб.: Элмор, 2002. – 360 с.
3. Руководство по определению маневренных характеристик судов: утв. Российским морским регистром судоходства 31.01.05. – М.: Морской-Регистр, 2005. – 16 с.
4. Чертков А. А. Информационные технологии и автоматизация на транспорте / А.А. Чертков, Д.А. Загрединов, Ю.Б. Михайлов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 6 (40). — С. 221-227.
5. Дворецкий, С.И. Понятие «модели» Классификация математических моделей [Электронный ресурс] / С.И. Дворецкий. – Режим доступа: <http://tstu-isman.tstu.ru/pdf/lecture4.pdf>, свободный.
6. Юдин Ю.И. Использование идентифицированных математических моделей судна для обеспечения безопасности судовождения / Ю.И. Юдин, А.Г. Степахно, А.Н. Гололобов // Вестник Мурманского гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 12. – №1. – С.10-12.
7. Студеникин, Д.Е. Прогнозирование параметров движения судна на основе нечеткой логики [Текст]: диссертация канд. техн. наук: 05.22.19: защищена 30.03.12 / Студеникин Дмитрий Евгеньевич. – Новороссийск, 2012. – 150 с.
8. Справочник по теории корабля: в 3 т. – Т. 3. Управляемость водоизмещающих судов / под ред. Я.И. Войткунского – Л.: Судостроение, 1985.
9. Крылов А.Н. Избранные труды. Общая теория качки корабля на волнении. – М.: АН СССР: Классики науки, 1958.
10. Дерябин В.В. Модель счисления пути судна в условиях воздействия внешних факторов // Эксплуатация морского транспорта. – 2011.– № 1 (63).– С. 33-39.
11. СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (Волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04. – 82*

12. Кондратьев С.И. Математическая модель движения судна с пятью степенями свободы, идентифицирующая гидродинамические силы на его корпусе [Текст] / С.И. Кондратьев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2003. – № 5. – С. 34-38.

References

1. Antonov, V.A. Teoreticheskie voprosy upravleniya sudnom: uchebnoe posobie / V. A. Antonov, M. N. Pis'mennyu. – 2-e izd., pererab. i dop. – Vladivostok: MGU im. adm. G. I. Nevel'skogo, 2007. – 78 s
2. Lukomskiy, Yu.A. Navigatsiya i upravlenie dvizheniem sudov: uchebnyk / Yu.A. Lukomskiy, V.G. Peshekhonov, D.A. Skhorokhodov. – SPb.: Elmor, 2002. – 360 s.
3. Rukovodstvo po opredeleniyu manevrennykhk karakteristik sudov: utv. Rossiyskim morskim registrom sudokhodstva 31.01.05. – M.: Morskoy Registr, 2005. – 16 s.
4. Chertkov A. A. Informatsionnye tekhnologii i avtomatizatsiya na transporte / A. A. Chertkov, D. A. Zagredinov, Yu. B. Mikhaylov // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. — 2016. — № 6 (40). — S. 221–227
5. Dvoret'skiy, S.I. Ponyatie «modeli» Klassifikatsiya matematicheskikh modeley [Elektronnyy resurs] / S.I. Dvoret'skiy. – Rezhim dostupa: <http://tstu-isman.tstu.ru/pdf/lecture4.pdf>, svobodnyy.
6. Yudin, Yu.I. Ispol'zovanie identifikatsionnykh matematicheskikh modeley sudna dlya obespecheniya bezopasnosti sudovozhdeniya / Yu.I. Yudin, A.G. Stepakho, A.N. Gololobov // Vestnik Murmanskogo gos. tekhn. un-ta. – 2009. – T. 12. – №1. – S.10–12.
7. Studenikin, D.E. Prognozirovaniye parametrov dvizheniya sudna na osnove nechetkoy logiki [Tekst]: dissertatsiya kand. tekhn. nauk: 05.22.19: zashchishchena 30.03.12: utv. 15.07.12 / Studenikin Dmitriy Evgen'evich. – Novorossiysk, 2012. – 150 s.
8. Spravochnik po teorii korablya: v 3 t. – T. 3. Upravlyayemost' vodoizmeshchayushchikh sudov / pod red. Ya.I. Voytkunskogo – L.: Sudostroenie, 1985.
9. Krylov A.N. Izbrannye trudy. Obshchaya teoriya kachki korablya na volnenii. – M.: ANSSSR: Klassiki nauki, 1958.
10. Deryabin V.V. Model' schisleniya puti sudna v usloviyakh vozdeystviya vneshnikh faktorov // Ekspluatatsiya morskogo transporta. – 2011. № 1 (63). S. 33-39.
11. SP 38.13330.2012 Nagruzki i vozdeystviya na gidrotekhnicheskie sooruzheniya (Volnovye, ledovye i ot sudov). Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 2.06.04. – 82*
12. Kondrat'ev S.I. Matematicheskaya model' dvizheniya sudna s pyat'yu stepenyami svo-body, identifikatsionnykh gidrodinamicheskikh sil na ego korpusе [Tekst] / S.I. Kondrat'ev // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Estestvennyye nauki. 2003. № 5. S. 34-38.

УДК 656.61

DOI: 10.34046/aumsuomt95/9

РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА С СИСТЕМОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ СУДОВОДИТЕЛЯ

*Е.В. Хекерт, доктор технических наук, профессор
А.Н. Попов, кандидат технических наук, доцент
Л.Н. Юсупов, кандидат технических наук, доцент*

В статье представлен анализ результатов эксперимента по использованию системы дополненной реальности в судовождении на примере оценки частоты обновления кадра при задержке сигнала в 50 мс. В программном продукте Statistica проведён анализ накопленных данных, составляющих генеральную совокупность статистической базы по исследованному параметру. Построены гистограмма и квантиль-зависимость теоретического и наблюдаемого распределений. Расчётным путём по критерию согласия Пирсона получено подтверждение гипотезы о нормальном распределении экспериментальных данных и их репрезентативности. Проведён расчёт математического ожидания оценок экспертов. Сделан вывод о том, что показатель Херста может быть использован судоводителем для оценки качества восприятия информации.

Ключевые слова: генеральная совокупность, статистические гипотезы, гистограмма, квантиль-зависимость, критерий Пирсона, математическое ожидание, показатель Херста.

The article presents an analysis of the results of an experiment on using the augmented reality system in navigation using the example of estimating the frame refresh rate with a signal delay of 50 ms. In the Statistica software product, the analysis of the accumulated data constituting the general population of the statistical base for the studied parameter is carried out. A histogram and a quantile dependence of the theoretical and observed distributions are constructed. By calculation using the Pearson agreement criterion, the hypothesis of the normal distribution of experimental data and their representativeness is confirmed. The calculation of the mathematical expectation of expert estimates is carried out. It is concluded that the Hurst indicator can be used by the navigator to assess the quality of perception of information.

Key words: population, statistical hypotheses, histogram, quantile dependence, Pearson's criterion, mathematical expectation, Hurst exponent.