

УДК 656.61

БЕЗПЕКА ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ РУХОМОГО ОБ'ЄКТА ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ПРИ НАКЛАДАННІ ПРИЧИН ВІДМОВ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ВІД РІЗНИХ НЕЗАЛЕЖНИХ ДЖЕРЕЛ

Габрук Р. А., к.т.н., керівник проєктів ТОВ «Оверсіз Лоджистік», e-mail: grostyslav@yahoo.com, ORCID: 0000-0002-5639-2475

У роботі розглянуто питання впливу на безпеку складної технічної системи рухомого об'єкта водного транспорту, суперпозиції незалежних причин відмов. Процес управління динамічним позиціонуванням рухомого об'єкта водного транспорту досліджено як взаємодію компонентів полієргатичної системи, а оператор системи динамічного позиціонування розглядається як її функціональний компонент, який формує суть людського чинника у безпеці мореплавства. Визначено, що саме властивість гетерогенності локально обмеженого простору техноприродного комплексу відіграє вирішальну роль, що впливає на безпеку на всьому просторово-часовому проміжку реалізації процесів високоточної навігації при виконанні технологічної роботи. Ймовірність, як міра у імовірнісному просторі Колмогорова, відображує показники функціональної стійкості в умовах раптових відмов, які виникають у результаті несприятливого поєднання випадкових зовнішніх факторів, що перевищують можливості до адаптації складної динамічної системи в їх оточенні. За сформульованими алгебраїчними виразами для двох типових незалежних причин відмов компонентів системи динамічного позиціонування складено алгоритм та проведено моделювання у програмному середовищі MATLAB з використанням пакету Simulink. Розроблене програмне забезпечення дозволяє при практичному застосуванні на борту або на березі під час стратегічного планування знаходити рішення цілого класу задач, які спрямовані на гарантування безпеки технічної складової полієргатичного управління. Визначено перспективні напрями подальших наукових досліджень.

Ключові слова: система динамічного позиціонування, безпека мореплавства, технічна система, рухомий об'єкт водного транспорту, відмова.

DOI: 10.33815/2313-4763.2020.1.22.004-010

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Системи динамічного позиціонування (СДП) з'явилися у середині минулого століття для гарантування реалізації процесу навігації рухомих об'єктів водного транспорту (РОВТ) при виконанні технологічної роботи буріння у акваторіях з великими глибинами. СДП швидко поширилися в усіх сферах світового морського флоту та стали невід'ємною його частиною.

Світова статистика аварійності РОВТ всіх типів свідчить про підвищення імовірності виникнення аварійних подій як від відомих джерел загроз, так і загроз від нових джерел, що сформувалися під впливом суперпозиції оточуючих гетерогенних факторів. Основна причина полягає у властивості гетерогенності акваторії техноприродного комплексу при реалізації динамічного позиціонування (ДП) РОВТ для цільового виконання конкретної технологічної роботи.

Україна є невід'ємною і важливою частиною світової морської спільноти, яка інтегрована у процес дослідження та пошуку нових методів підвищення ефективності та якості гарантовано безпечної ДП. Зокрема, повним ходом проводиться виконання науково-дослідної роботи «Розробка програмних засобів для підвищення якості функціонування систем динамічного позиціонування морських суден», номер державної реєстрації 0119U100948. Саме створення нових програмно-апаратних комплексів є перспективним напрямом, який забезпечить отримання практичного результату після впровадження науково обґрунтованих рішень на борту РОВТ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми. Процес управління ДП РОВТ розглядається як взаємодія компонентів полієргатичної системи, а оператор СДП є її функціональним компонентом, який формує суть людського чинника у безпеці. У безпеці мореплавства при ДП під людським чинником слід розуміти сукупність можливості та здатності оператора СДП по прийому, обробці

інформації і ухваленню рішень у різних динамічних ситуаційних умовах. Проте гарантовано безпечне управління оператором неможливе без надійного функціонування всіх технічних систем.

А.С. Мальцевим розглядається проблема ДП за відхилень параметра управління, величина якого порівняна з похибками його визначення у [1], проблематика навігаційної безпеки та ергономічні аспекти безпеки при реалізації управління РОВТ розглядаються у [2].

Досліджуваний у даній роботі напрям полягає в оцінці надійності функціонування технічних компонентів СДП. Надійність функціонування полягає у відсутності відмов компонентів з технічних причин (водночас людський чинник не розглядається). Що викликає необхідність моделювання складних систем. Моделюванню складних динамічних систем присвячено [3].

Проте залишається невизначеним питання імовірності надійного функціонування технічної системи при накладанні незалежних причин відмов під час здійснення ДП РОВТ в гетерогенній акваторії техноприродного комплексу.

Постановка задачі. Метою є гарантування безпечного функціонування складних технічних систем рухомого об'єкта водного транспорту при накладанні причин відмов від різних незалежних джерел для реалізації безпечної навігації при динамічному позиціонуванні.

Викладення основного матеріалу дослідження. СДП складається з активних і статичних компонентів [4]. До активних компонентів відносять генератори, рушії, автоматично керовані клапани і так далі. До статичних компонентів відносять кабельні траси, дроти, трубопроводи і так далі. При забезпеченні належного захисту, схваленого Адміністрацією держави, і дотримання норм технічної експлуатації вважається, що статичні компоненти не можуть вийти з ладу. Одиначною відмовою вважається відмова одного з активних компонентів або одного зі статичних компонентів, якщо статичний компонент не задокументований належним чином відносно захисту і надійності.

Проводячи дослідження простору Колмогорова з міркувань надійності технічних систем, встановлено, що час безвідмовної роботи є випадковою величиною, яка підпорядковується відповідному розподілу, де елементарні події – це результати моделювання випадкового експерименту. Отже, поняття імовірності відмови залежить від щільності її розподілу, що надає можливість перейти до розглядання декількох незалежних причин відмов.

Для науково-практичного дослідження за об'єкт моделювання визначимо кілька незалежних причин відмов, які є найпоширенішою парою в СДП РОВТ. Перший фактор є суттю раптової відмови, а другий фактор описується основним законом розподілу – нормальним законом розподілу часу безвідмовної роботи.

Раптові відмови виникають у результаті несприятливого поєднання випадкових зовнішніх факторів, що перевищують можливості до адаптації в їх оточенні. З такими відмовами надзвичайно важко боротися, оскільки їх важко передбачити. Для боротьби з наслідками таких відмов відбувається відповідне резервування апаратури для СДП першого, другого і третього класів. Водночас характерною ознакою навігаційного обладнання, яке використовується для визначення вектора стану та координат РОВТ, є необхідність роботи каналу вимірювань за різними фізичними принципами.

Функція розподілу в теорії імовірності – це функція, яка характеризує розподіл випадкової величини відображає імовірність того, що випадкова величина τ прийме значення, яке менше або дорівнює T [5]. Функція розподілу часу безвідмовної роботи τ $F(T)$:

$$F(T) = \tilde{P}(\tau \leq T), \quad (1)$$

де T – детермінований досліджуваний час, год; \tilde{P} – імовірність або ймовірнісна міра у імовірнісному просторі Колмогорова; τ – час безвідмовної роботи, год.

При суперпозиції двох незалежних причин відмов:

$$F(T) = 1 - (1 - F_1(T))(1 - F_2(T)). \quad (2)$$

З урахуванням зазначеного вище, результувальний досліджуваний розподіл матиме наступний вигляд:

$$F(T) = 1 - \left(1 - (1 - e^{-\lambda T})\right) \left(1 - \Phi\left(\frac{T-c}{\sigma}\right)\right) = 1 - e^{-\lambda T} \left(1 - \Phi\left(\frac{T-c}{\sigma}\right)\right), \quad (3)$$

де λ – інтенсивність потоку відмов, 1/год; Φ – функція Лапласа; c – оцінка математичного очікування, год; σ – середнє квадратичне відхилення, год.

Відповідно щільність досліджуваного розподілу матиме вигляд:

$$f(T) = e^{-\lambda T} \left[\frac{e^{-\frac{(T-c)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}} + \lambda \left(1 - \Phi\left(\frac{T-c}{\sigma}\right)\right) \right], \quad (4)$$

Для моделювання оберемо середовище програмування MATLAB. MATLAB – одна з найстаріших, ретельно опрацьованих і перевірених часом систем автоматизації математичних розрахунків [6]. Принципи та функціональні можливості програми творці мови висловили в гаслі «думай векторно». Мова MATLAB є високорівневою інтерпретованою мовою програмування, яка містить засновані на матрицях структури даних, широкий спектр функцій, інтегроване середовище розробки, об'єктно орієнтовані можливості та інтерфейси до програм, які написано іншими мовами програмування.

До складу MATLAB входить бібліотека візуального програмування Simulink, що дозволяє побудувати логічну схему системи управління, використовуючи тільки стандартні блоки. Після конструювання схеми можна детально проаналізувати її роботу. Сигнали, значення параметрів і атрибути схеми вказуються або безпосередньо на самій схемі, або можуть бути введені з текстової консолі. Використання готових моделей дозволяє управляти набором даних і швидко перепрофілювати моделі. MATLAB працює з різними типами даних: цілими, речовими, з фіксованою комою, матрицями, векторами, та іншими типами даних.

MATLAB – інженерний пакет високого рівня, ретельно налагоджений, широко використовуваний у багатьох сферах наукових досліджень, інженерних розрахунках і моделюванні складних динамічних систем та систем автоматичного управління. Як недолік можна зазначити, що часто при використанні цієї програми доводиться працювати з великою кількістю вікон, з якими зручніше працювати на двох моніторах. Програма має хорошу довідкову систему – меню help. Обсяг фірмової документації досягає майже 5 тисяч сторінок, однак, це робить її важкодоступною для огляду, проте вона покриває майже всі питання, які можуть виникнути в процесі роботи. Середовище охоплює величезні можливості візуалізації даних. Воно має достатню кількість функцій для побудови графіків, зокрема й тривимірних, візуального аналізу даних. Середовище MATLAB є найширшим середовищем програмного забезпечення комп'ютерної математики, що

використовує досвід, методи та правила математичних обчислень, які було накопичено за тисячі років розвитку математики.

Саме тому для наукових досліджень та розробки програмних засобів використання середовища MATLAB з пакетом Simulink є найбільш перспективним.

За вищенаписаною формулою проведемо імітаційне моделювання для дослідження впливу значень лямбда на характер щільності розподілу. Алгоритм для розрахунку щільності досліджуваного розподілу в середовищі програмування MATLAB за допомогою пакету Simulink матиме вигляд, представлений на рис. 1.

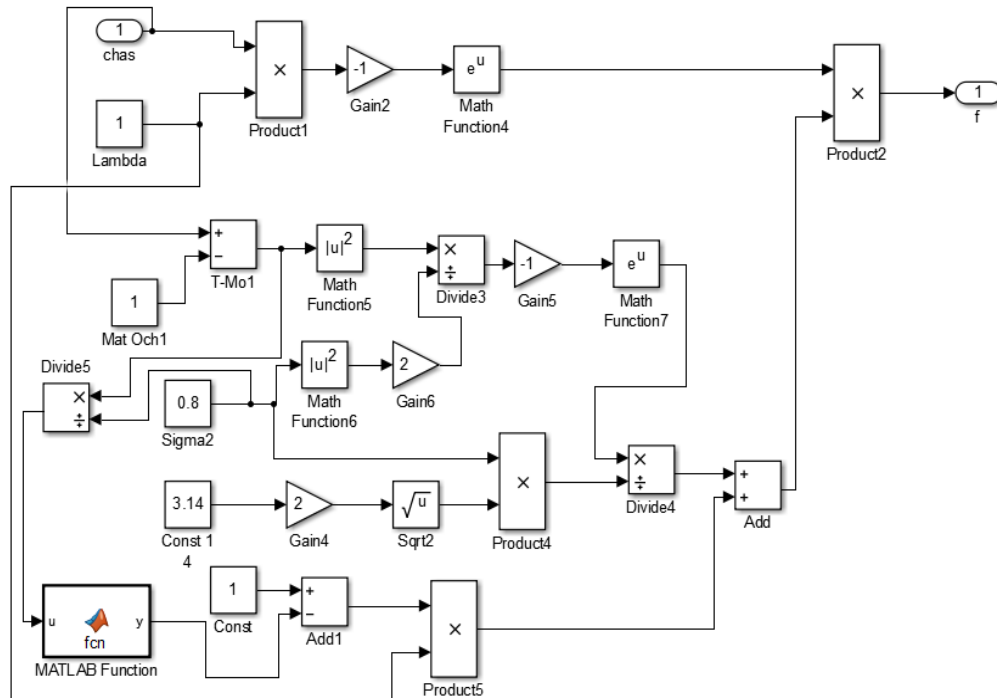


Рисунок 1 – Алгоритм розрахунку щільності впливу незалежних факторів відмов у середовищі програмування MATLAB з використанням пакету Simulink

При практичному розрахунку за пропонованими формулами необхідно вказати на використання блоку MATLAB Function для розрахунку функції Лапласа. За допомогою поточного визначення функції Лапласа ми отримаємо графік, який виражає щільність розподілу залежно від часу T (цей час ми позначаємо при моделюванні на детермінованих проміжках). На графіку ми позначаємо час загальним позначенням t (рис. 2).

З графіка (рис. 2) видно, що значення λ впливає на характер щільності розподілу, адже інші члени формули є константами, які задаються перед початком моделювання. І при збільшенні λ нагадує більш експоненціальну функцію, при зменшенні – нормальний розподіл.

Для практичних розрахунків ми маємо скористатися методом розбиття на досліджувані проміжки. За такої умови обираємо межу розбиття Θ_τ . Тоді можна записати наступне:

$$e^{-\lambda\Theta_\tau} \left(1 - \Phi \left(\frac{\Theta_\tau - c}{\sigma} \right) \right) = 1 - \nu(\Theta_\tau), \quad (5)$$

де $\nu(\Theta_\tau)$ – частота значень τ_i , що лежать ліворуч від межі Θ_τ , 1/год.

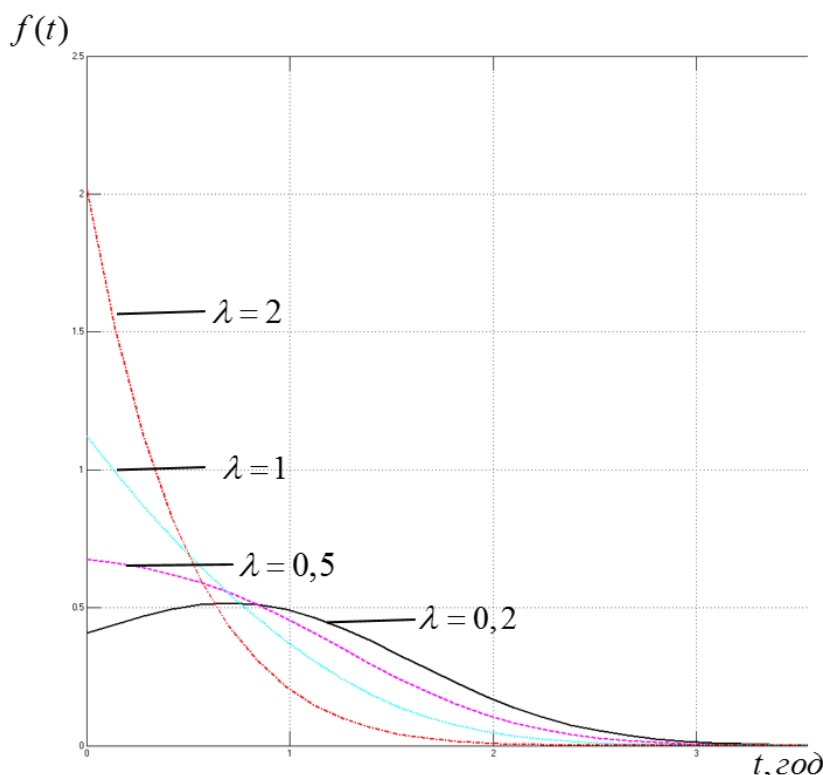


Рисунок 2 – Результати моделювання досліджуваної щільності одночасного впливу незалежних факторів відмов на складну технічну систему

$$\lambda = \frac{\ln\left(1 - \Phi\left(\frac{\theta_\tau - c}{\sigma}\right)\right) - \ln(1 - v(\theta_\tau))}{\theta_\tau} \quad (6)$$

Отже, ми можемо практично знайти значення λ , які необхідні для оцінки імовірності безпечного функціонування за наявності значень величин c та σ .

Час має бути узгодженою величиною з кроком моделювання, що залежить від середовища програмної реалізації алгебраїчних моделей та стратегії методології динамічного програмування.

При накладанні більшої кількості незалежних причин відмов може бути використана наступна алгебраїчна залежність:

$$F(T) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i(T)), \quad (7)$$

де n – кількість незалежних причин відмов.

Кількісним показником рівня безпеки буде імовірність $\tilde{P}(\tau \geq T)$, що являє собою суть того, що за обраний час T система буде функціонувати надійно.

При обранні критерію імовірності безпечного функціонування РОВТ при здійсненні ДП в локально обмеженому просторі виконання технологічної роботи, необхідно брати до уваги, що РОВТ знаходиться, з одного боку, в потоці подій, які збурюють та загрожують безпеці і на них реагує група кваліфікованих ОСДП, а з іншого боку, РОВТ як складна технічна система має імовірність безпечного функціонування всіх складових. Імовірність функціонування технічних систем РОВТ різного рівня ієрархії описується відповідними законами розподілу.

Висновки і перспектива подальших наукових досліджень. Визначені аналітичні залежності, а також результати імітаційного моделювання, розроблене програмне забезпечення в середовищі програмування MATLAB з використанням пакету Simulink дозволяють при практичному застосуванні знайти вирішення цілого класу

задач, які спрямовані на гарантування безпеки технічної складової поліергатичного управління РОВТ при ДП.

Складна проблема комплексного питання безпеки на всьому часово-просторовому проміжку поліергатичного управління ДП РОВТ в локально обмеженому просторі техноприродного комплексу потребує подальших досліджень у наступних напрямках: створення нових інтелектуальних ПАК підтримки прийняття рішень (ППР); науково обґрунтованому удосконаленні міжнародних та вітчизняних вимог, стандартів і правил; удосконаленні роботи систем управління рухом РОВТ в гетерогенно збудованих акваторіях; моделювання роботи операторів СДП в потоці загрозливих подій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мальцев А. С. Динамічне позиціонування судна при відхиленнях параметру управління, величина якого порівняна з похибками його визначення. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал*. Херсон : Херсонська державна морська академія, 2020. № 1 (20). С. 44–54.
2. Мальцев А. С. Управління рухом судна. Одеса : Вість, 1995. 235 с.
3. Баранов Г. Л., Браїловський М. М., Засядько А. А. Р-моделювання складних динамічних систем. К. : ДУІКТ, 2008. 131 с.
4. ММО КБМ Циркуляр 645. Вказівки щодо суден з динамічними системами позиціонування. Лондон : ММО, 1994. 22 с.
5. Хінчин А. Я. Обрані праці з теорії імовірності. М. : Транспорт, 1995. 552 с.
6. Гультьяєв А. Візуальне моделювання в середовищі MATLAB : навчальний курс - СПб. : Пітер, 2000. 432 с.

REFERENCES

1. Maltsev A. S. (2020). Dynamic positioning of the vessel at deviations of the control parameter, the value of which is compared with the errors of its determination. *Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy : scientific journal*. № 1 (20). Kherson : Kherson State Maritime Academy. P. 44–54.
2. Maltsev A. S. (1995). *Ship traffic control*. Odessa : Vist. 235 p.
3. Baranov, G. L., Brailovsky, M. M. & Zasyadko, A. A. (2008). *P-modeling of complex dynamic systems*. Kyiv : SUIKT. 131 p..
4. *IMO MSC Circular 645. Guidelines for vessels with dynamic positioning systems*. (1994). London : IMO. 22 p.
5. Hinchin A. Ya. (1995). *Selected works on probability theory*. Moskva : Transport. 552 p.
6. Gulyaev A. (2000). *Visual modeling in the MATLAB environment: training course*. Sankt Peterburg : Piter. 432 p.

Габрук Р. А. БЕЗОПАСНОСТЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ НАЛОЖЕНИИ ПРИЧИН ОТКАЗА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОТ РАЗНЫХ НЕЗАВИСИМЫХ ИСТОЧНИКОВ

В работе рассмотрены вопросы влияния на безопасность сложной технической системы подвижного объекта водного транспорта суперпозиции независимых причин отказов. Процесс управления динамическим позиционированием подвижного объекта водного транспорта исследован как взаимодействие компонентов полиэргатической системы, а оператор системы динамического позиционирования рассматривается как ее функциональный компонент, который формирует суть человеческого фактора в безопасности мореплавания. Определено, что именно свойство гетерогенности локально ограниченного пространства техноприродного комплекса играет решающую роль, которая влияет на безопасность на всем пространственно-временном промежутке реализации процессов высокоточной навигации при выполнении технологической работы. Вероятность, как мера в вероятностном пространстве Колмогорова, отображает показатели функциональной устойчивости в условиях внезапных отказов, возникающих в результате неблагоприятного сочетания случайных внешних факторов, превышающих

возможности к адаптации сложной динамической системы. По сформулированным алгебраическими выражениям для двух типичных независимых причин отказов компонентов системы динамического позиционирования составлен алгоритм и проведено моделирование в программной среде MATLAB с использованием пакета Simulink. Разработанное программное обеспечение позволяет при практическом применении на борту или на берегу во время стратегического планирования находить решение целого класса задач, направленных на обеспечение безопасности технической составляющей полиэргатического управления. Определены перспективные направления дальнейших научных исследований.

Ключевые слова: система динамического позиционирования, безопасность мореплавания, техническая система, подвижный объект водного транспорта, отказ.

Gabruk R. A. SAFETY OF DYNAMIC POSITIONING OF WATER TRANSPORT MOBILE OBJECTS IN THE SUPERIOR OF REASONS FOR TECHNICAL SYSTEMS FAILURE FROM DIFFERENT INDEPENDENT SOURCES

In the paper it was considered the influence of independent failure causes superposition on the complex technical system safety of mobile water transport object. The process of dynamic positioning control of mobile water transport object is studied as the interaction of components of the polyergatic system. The dynamic positioning operator is considered as a functional component, which forms the sense of the human factor in safety of marine navigation. It is determined that the property of heterogeneity of the locally confined space of the techno-natural complex plays a major role, which influences safety during all space-time interval of high-precision navigation realization during conducting the complex technological work.

Probability, which in the paper is considered as a measure in well-known Kolmogorov's probability space, reflects the functional stability criteria under conditions sudden failures. Failures arise as a result of an unfavorable combination of random external factors that exceed possibilities of complex dynamic system adaptation. The value of the heterogeneous flow of perturbing events affects the distribution density nature, because other members represent constants factors in research time frame. The corresponding adequate laws of distribution describe the probability of the reliable function of complex technical systems with different hierarchy levels.

Based on the formulated algebraic expressions for common in marine practice two independent failure causes of the dynamic positioning system components, an algorithm was drawn up and simulated in the MATLAB software environment with additional usage of Simulink package. Developed software package allows during practical conditions on board and on shore find solutions to a whole problem class in order to ensure safe and reliable function of the technical component, which is a part of the polyergatic system that aimed to control dynamic positioning and technological work under flow of perturbing events. The perspective directions of further scientific researches have been determined. The main direction of further researches is a creation of new intelligent decision support systems, which are based on mathematical modelling and reliability prediction. One of proposed directions form scientific ground for improvement of international and local requirements, standards and rules for technical systems and equipment redundancy.

Keywords: dynamic positioning system, safety of navigation, technical system, mobile water transport object, failure.

© Габрук Р. А.

Статтю прийнято
до редакції 26.06. 20