

УДК. 004.43: 004.896+62-50

Ю.П. КОНДРАТЕНКО¹, І.В. ЯВШЕВА², І.В. ТИМЧЕНКО²

¹*Миколаївський державний гуманітарний університет ім. П. Могили, Україна*

²*Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна*

ПОВЕДІНКОВІ VHDL-МОДЕЛІ ПРИСТРОЇВ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ МОРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

В статті обґрунтована задача підвищення гарантоздатності суден на основі поточного контролю та забезпечення своєчасного виявлення пожеж на морському транспорті. Крім того досліджується вплив пожеж на показники ефективності морських транспортних перевезень. Проведено аналіз взаємозв'язку гарантоздатності суден та надійності елементів систем пожежної сигналізації. Наведено результати дослідження алгоритмів функціонування суднових систем пожежної сигналізації з використанням VHDL-моделей, сформованих на основі вбудованого редактору Finite State Machine Editor в середовищі Active-HDL.

судно, гарантоздатність, пожежна сигналізація, відсік, комп'ютеризована система, VHDL-модель

На морському транспорті однією з найважливіших і разом з тим однією з найбільш складних проблем є забезпечення захищеності суден від пожеж і вибухів, які наносять значні збитки як людині, так і навколишньому середовищу [1]. Пошкодження суден та їх загибель в результаті пожежі займає друге місце серед інших видів аварій, зокрема після катастроф, що відбуваються через навігаційні причини і дію стихійних сил природи [2]. Зокрема, подія, що сталася на початку лютого 2006 року, коли в результаті виникнення пожежі затонув в Червоному морі єгипетський пасажирський паром «Салям-2», призвела до людських втрат у кількості близько 1000 чоловік. В зв'язку з цим проблема конструктивного і організаційного забезпечення пожежобезпеки і протипожежного захисту суден є вельми актуальним керунком наукових досліджень. Пожежі на морському транспорті є суттєвою перешкодою для транспортних перевезень. Одним з негативних наслідків пожеж є зниження ефективності транспортного обслуговування, в тому числі, надійності, своєчасності та якості збереження вантажів і т.п. [3]. Разом з тим вантажоодержувачі зможуть планувати поставки в оптимальних обсягах тільки при забезпеченні необхідного рівня вищезазначених показників функціо-

нування системи транспортної доставки.

Навіть і при дотриманні правил технічної експлуатації суднових машин і механізмів та правил пожежної безпеки на судах завжди залишається небезпека виникнення пожежі. Отже, гарантоздатність судна, як морської транспортної одиниці, нерозривно зв'язана з рівнем їх пожежозахищеності [4]. Тому на більшості сучасних морських суден встановлюються системи автоматичної пожежної сигналізації, призначенням яких є виявлення джерела пожежі на найранішій стадії її виникнення і розвитку.

Все вищесказане свідчить про те, що наукові розробки і дослідження проблем гарантоздатності суден, що пов'язані з підвищенням ефективності суднових комп'ютеризованих систем пожежної сигналізації [5] (СПС), є актуальними в сучасному суднобудуванні та морській індустрії. Підвищення ефективності таких розробок пов'язано з підвищенням безпеки та надійності суден в цілому.

Метою даної статті є аналіз впливу рівня гарантоздатності суден на показники ефективності морських транспортних перевезень [6], розробка та дослідження спеціалізованих суднових систем пожежної сигналізації на прикладі окремих відсіків малотоннажного судна. При цьому захист відсіків орга-

нізовано на основі комп'ютеризованої системи обробки інформації, що поступає від комплексу датчиків температури з різними уставками, датчиків диму та датчиків пошкоджень електричних та комп'ютерних мереж.

Суттєво, що пожежі в тому чи іншому пункті дислокації (термінал, морський порт, склад і т.п.) істотно впливають на показник рівня перервності перевізного транспортного процесу C_{TP} [7]:

$$C_{TP} = \frac{\sum_i (T_i^R - T_i^N)}{n_{\Sigma}}, \quad (1)$$

де T_i^R – часова тривалість фактичного знаходження у конкретному вузлі i -ої відправки вантажу, що попередньо прибула до вузла; i – порядковий номер відправки, $i \in M$ (M – множина всіх i -х відправок, для яких фактичний час знаходження у вузлі перевищує нормативне значення); T_i^N – встановлена часова норма на термін знаходження i -ої відправки вантажу у вузлі при очікуванні свого відправлення; n_{Σ} – загальна кількість відправок.

Загальна кількість відправок n_{Σ} [7] визначається наступним чином

$$n_{\Sigma} = n_1 + n_2, \quad (2)$$

де n_1 – кількість вантажних відправок, що залишилися у вузлі від попереднього часового періоду; n_2 – кількість відправлених відправок з числа прибулих протягом поточної доби.

Безумовно, що виникнення пожежі на судах буде суттєво впливати на параметри T_i^R , T_i^N , n_{Σ} , а відповідно і на показник перервності C_{TP} в цілому:

$$I_F \Rightarrow C_{TP}, \quad (3)$$

де I_F – показник можливого виникнення пожежі.

Аналіз імплікації (3) показує, що чим більше показник можливого виникнення пожежі I_F в будь-якому пункті дислокації морських транспортних одиниць, тим вищий показник рівня перервності

C_{TP} перевізного процесу. Це, в свою чергу, ускладнює роботу суміжних видів транспорту і всіх служб, що забезпечують процес перевезення вантажів.

Створення ефективних комп'ютеризованих систем контролю, сигналізації та управління для різних типів суден дозволить суттєво знизити показник можливого виникнення пожежі I_F , а відповідно і показник C_{TP} . Ця задача розглядається в даній статті на етапах проектування, дослідження і моделювання системи пожежної сигналізації, а також при формалізації та дослідженні запропонованого авторами алгоритму функціонування СПС на прикладі підвищення гарантоздатності (безпеки, надійності) малотоннажних суден.

В результаті аналізу сучасного стану систем пожежної сигналізації для досягнення поставленої мети в даній роботі розв'язано комплекс першочергових завдань, що полягають в: а) розробці алгоритму функціонування комп'ютеризованої системи контролю та сигналізації пожежоутворень на малотоннажних судах; б) моделюванні комплексної системи пожежної сигналізації в середовищі Active-HDL.

Важливими елементами системи пожежної сигналізації є датчики виявлення загорання (джерела пожежі), від яких суттєво залежать технічні характеристики СПС та гарантоздатність судна в цілому.

Основне призначення комп'ютеризованих систем пожежної сигналізації полягає [8]:

- у зборі інформації про стан контрольованих судових приміщень на основі обробки вихідних сигналів відповідних датчиків;
- в передачі даної інформації до центрального мікропроцесорного пристрою комп'ютеризованої системи контролю і сигналізації;
- в остаточній обробці отриманої інформації і її узагальненій оцінці;
- у формуванні сигналів (місцевих або загальносуднових), які сповіщають екіпаж судна про виникнення пожежі, та сигналів індикації джерела пожежі;

– в автоматичному керуванні (вмиканні) засобами пожежегасіння.

Розглянемо більш детально принцип організації комп'ютеризованої системи пожежної сигналізації на прикладі малотоннажного судна з 9-ма спеціалізованими відсіками. Для підвищення гарантоздатності комп'ютеризованої СПС кожне приміщення обладнано декількома різнотипними датчиками, що спрацьовують при виникненні пожежі. Саме при цьому надмірна кількість датчиків суттєво підвищує надійність та ймовірність виявлення джерела пожежі.

Контрольованими параметрами такої СПС є температура повітря в суднових приміщеннях, наявність диму та пошкодження у ланцюгах підключення датчиків (обрив, коротке замикання). У зв'язку з цим у суднових приміщеннях в залежності від їх площі та видів контрольованих параметрів доцільно встановити два типи датчиків: теплові та димові. Зокрема, раціонально у всіх відсіках судна встановити датчики температури [9] з уставками 70°C та 90°C і димові датчики, що реагують при зміні густини повітря на 50% і більш.

В комп'ютеризованих СПС розглянутого типу сигналізація може здійснюватись шляхом формування відповідних звукових та світлових сигналів. Розподіленими об'єктами управління при цьому є виконавчі механізми засобів пожежегасіння, а комплексним керуючим пристроєм – центральний мікропроцесорний пристрій комп'ютеризованої системи. При спрацьовуванні датчика будь-якого типу формується аварійний сигнал, що поступає до центрального мікропроцесорного пристрою, який в свою чергу формує світлові та звукові сигнали.

Підвищення надійності та гарантоздатності суднових комп'ютеризованих СПС вимагає попереднього дослідження алгоритмів СПС в широкому класі режимів їх функціонування:

– при спрацьовуванні відповідного теплового датчика, якщо температура повітря перевищує 70 або

90°C ;

– при короткому замиканні або при обриві у ланцюзі теплового датчика;

– при спрацьовуванні димового датчика;

– при короткому замиканні або при обриві у ланцюзі димового датчика.

В подальшому наводяться результати досліджень, розроблених авторами структурно-алгоритмічних моделей систем контролю та сигналізації, синтезованих з застосуванням множини датчиків, що контролюють поточний стан об'єктів управління, та відповідних VHDL-моделей [10 – 12].

VHDL-моделі комп'ютеризованої системи пожежної сигналізації розроблені у обчислювальному середовищі Active-HDL (компанія Aldec Inc, США) за допомогою вбудованого редактору Finite State Machine Editor [10 – 12]. Важливо, що результатом поведінкового моделювання СПС є часові діаграми, які відображають і дозволяють аналізувати залежність виходів комп'ютеризованої системи від стану входів для різних режимів її роботи.

При функціонуванні комп'ютеризованої системи контролю, сигналізації та управління можна виділити, аналізуючи поведінкову VHDL-модель, чотири основні стани:

а) *OK* – початковий (первинний) стан системи (H_1);

б) *ALARM* – аварійний стан системи (H_2);

в) *CHECK* – стан очікування аварійних сигналів (H_3);

г) *CONFIRM* – стан квітування системи (H_4), що характеризується участю людини-оператора при реалізації автоматизованих режимів людино-машинної взаємодії [13].

Узагальнений алгоритм функціонування комп'ютеризованої системи пожежної сигналізації (рис. 1) полягає в наступному:

– система знаходиться в стані *OK* за умови, якщо відсутні аварійні сигнали на виходах датчиків при натиснутій кнопці квітування або при зміні си-

гналу 'power' з '1' на '0'. Флаг стану (*OK_Flag*) набуває значення '1' (*Ok_Flag* = '1'), саме коли система знаходиться в стані *OK*. При появі аварійного сигналу на виході хоча б одного з датчиків система переходить до стану *ALARM* (W_{12});

– система знаходиться в стані *ALARM* при виникненні будь-якої з вищезазначених аварійних ситуацій. В стані *ALARM* встановлюються логічні '1' на виходах системи, до яких підключені світлові сигналізаційні лампи відповідних датчиків, звукова сигналізація та керовані виконавчі пристрої пожежогасіння. Після встановлення на відповідних виходах логічної '1' комп'ютеризована система переходить до стану *CHECK* (W_{23});

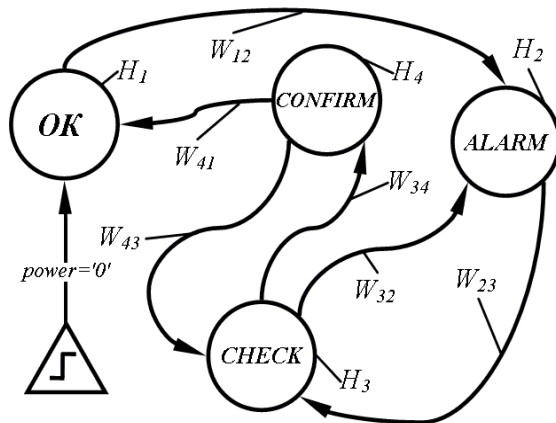


Рис. 1. Узагальнена VHDL-модель СПС

– призначенням стану *CHECK* є сканування входів VHDL-моделей та очікування зміни її вхідних сигналів (відповідно вихідним сигналам датчиків). При перебуванні системи в стані *CHECK* флаг стану набуває значення логічної '1' (*Check_Flag* = '1'). Комп'ютеризована система повертається до стану *ALARM* (W_{32}), якщо до одного з її входів надходить додатковий аварійний сигнал з датчика, який ще попередньо не сигналізував про появу відповідного аварійного стану. Якщо кнопка квітання знаходиться в натиснутому стані (*kwit_butt* = '1'), то комп'ютеризована система переходить до стану *CONFIRM* (W_{34});

– звуковий сигнал (*bell* = '0') вимикається при

натисненні людиною-оператором кнопки квітання (*kwit_butt* = '1'). Якщо відсутні аварійні сигнали на виходах всіх датчиків, то система повертається до стану *CHECK* (W_{43}) та продовжує здійснювати сканування своїх входів. При ліквідації відповідної аварійної ситуації вимикається також світлова сигналізація, що сповіщала про конкретну аварію;

– перехід системи до початкового (первинного) стану *OK* здійснюється при низькому рівні сигналу 'power', що адекватно вимиканню живлення в ланцюгах управління СПС.

Розглянемо більш детально VHDL-модель СПС командирського відсіку малотоннажного судна. До командирського відсіку (Commander's Room – CR) входять наступні приміщення: камбуз – Caboose (C); тамбур – Lobby (L); каюта – Cabin.

В табл. 1 згідно розробленої VHDL-моделі для СПС вищезгаданого командирського відсіку наведено вихідні сигнали датчиків, що підключені до входів комп'ютеризованої системи, а також вихідні сигнали самої системи, що формуються для керування пристроями сигналізації, та допоміжні внутрішні сигнали, які забезпечують ефективне функціонування системи пожежної сигналізації в різних режимах. В таблиці 1 використовуються наступні позначення:

а) *t90_C_CR* – датчик температури (*t* – temperature) в камбузі (C) з порогом спрацьовування 90°C та *t70_L_CR* – з порогом спрацьовування 70°C в тамбурі (L);

б) *SC_t90_C_CR*, *SC_t70_L_CR* – короткі замикання (SC – Short Circuit) в ланцюгах відповідних датчиків температури;

в) *CF_t90_C_CR*, *CF_t70_L_CR* – обриви (CF – Circuit Failure) в ланцюгах відповідних датчиків температури;

г) *Sm* – позначення датчика диму (*Sm* – Smoke), *l* – позначення світлової сигналізації (*l* – lamp);

д) *bell* – електричний дзвоник, за допомогою якого реалізується звукова сигналізація; *power* –

сигнал джерела живлення, низький рівень сигналу переводить систему в початковий стан *OK*; *Check_Flag* – внутрішній сигнал (флаг стану *CHECK*); *Ok_Flag* – внутрішній сигнал (флаг стану *OK*); *kwit_but* – кнопка (*butt* – *button*) квіттування;

Таблиця 1

Сигнали VHDL-моделі комп'ютеризованої СПС

N з/п	Аварійна ситуація або назва сигналу	Представлення в VHDL-моделі
1	Сигнал живлення у ланцюгах СПС	power
2	Температура перевищує порогові значення 70°C и 90°C	t90_C_CR t70_L_CR
		l_t90_C_CR l_t70_L_CR
3	Коротке замикання або обрив у ланцюзі теплового датчика	SC_t90_C_CR CF_t90_C_CR SC_t70_L_CR CF_t70_L_CR
		l_SC_t90_C_CR l_CF_t90_C_CR l_SC_t70_L_CR l_CF_t70_L_CR
4	Спрацьовування димового датчику	Sm_L_CR Sm_Cabin_CR
		l_Sm_L_CR l_Sm_Cabin_CR
5	Коротке замикання або обрив у ланцюзі димового датчика	SC_Sm_L_CR CF_Sm_L_CR SC_Sm_Cabin_CR CF_Sm_Cabin_CR
		l_SC_Sm_L_CR l_CF_Sm_L_CR l_SC_Sm_Cabin_CR l_CF_Sm_Cabin_CR
6	Звукова сигналізація	bell
7	Кнопка квіттування	kwit_but
8	Флаг стану <i>CHECK</i>	Check_Flag
9	Флаг стану <i>OK</i>	OK_Flag

На рис. 2 наведено VHDL-модель суднової комп'ютеризованої системи контролю, сигналізації та управління для командирського відсіку, що забезпечує гарантоздатність малотоннажного судна при виникненні пожеж та інших аварійних ситуацій.

Результати моделювання розробленої у обчислювальному середовищі Active-HDL [10 – 12] поведінкової VHDL-моделі комп'ютеризованої СПС представлено на рис. 3. Моделювання комп'ютеризованої системи пожежної сигналізації командирського відсіку здійснено для наступної послідовності сигналів:

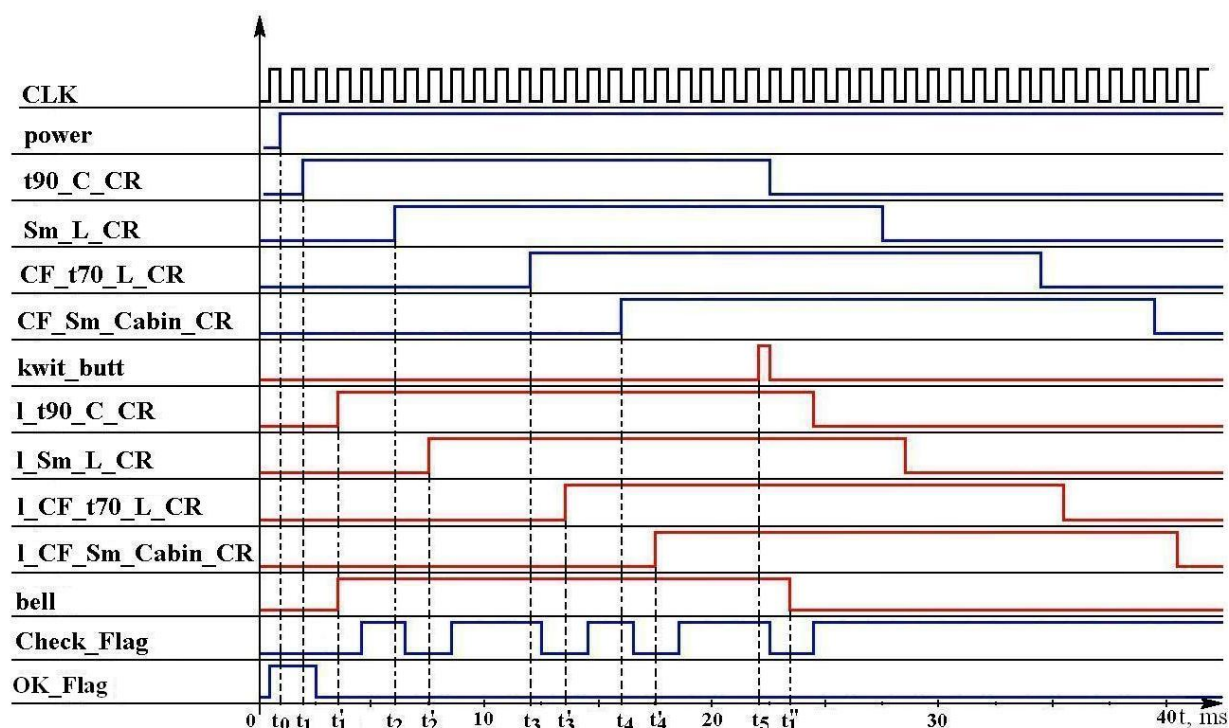


Рис. 3. Часова діаграма при поведінковому моделюванні СПС командирського відсіку

- до початку моделювання ($t < t_0$) система знаходиться у стані *OK* ($\text{power} = '0'$), $\text{OK_Flag} = '1'$;
- в момент часу $t_1 = 2\text{ ms}$ на один з входів мікропроцесорного пристрою поступає аварійний сигнал з датчика температури $t90_C_CR$ ($t90_C_CR = '1'$);
- на наступному такті CLK в момент часу t_1' спрацьовує світлова сигналізація ($I_t90_C_CR = '1'$) та звукова сигналізація ($\text{bell} = '1'$), а також керуючий сигнал надходить до відповідного виконавчого пристрою СПС (на рис. 3 керуючі сигнали не показано);
- в момент часу t_2 ($t_2 - t_1 = 4\text{ ms}$) на мікропроцесорний пристрій поступає аварійний сигнал з датчика диму Sm_L_CR ($\text{Sm_L_CR} = '1'$);
- на наступному такті CLK в момент часу t_2' спрацьовує світлова сигналізація ($I_Sm_L_CR = '1'$) та відповідний сигнал надходить до відповідного виконавчого пристрою СПС;
- в момент часу t_3 ($t_3 - t_2 = 6\text{ ms}$) виникає коротке замикання у ланцюзі датчика температури CF_t70_L_CR і аварійний сигнал ($\text{CF_t70_L_CR} = '1'$) поступає до мікропроцесорного пристрою;
- на наступному такті CLK в момент часу t_3' спрацьовує світлова сигналізація ($I_CF_t70_L_CR = '1'$), а керуючий сигнал надходить до відповідного виконавчого пристрою СПС;
- в момент часу t_4 ($t_4 - t_3 = 4\text{ ms}$) виникає обрив у ланцюзі датчика диму CF_Sm_Cabin_CR і аварійний сигнал ($\text{CF_Sm_Cabin_CR} = '1'$) поступає до мікропроцесорного пристрою;
- на наступному такті CLK в момент часу t_4' спрацьовує світлова сигналізація ($I_CF_Sm_Cabin_CR = '1'$), а керуючий сигнал надходить до відповідного виконавчого пристрою СПС;
- вихід та повернення системи до стану *CHECK* ($\text{Check_Flag} = '1'$ або $\text{Check_Flag} = '0'$) здійснюється у відповідні моменти часу згідно позиції часової діаграми Check_Flag на рис. 3;
- в момент часу моделювання СПС t_5 ($t_5 - t_0 = 30\text{ ms}$) людиною-оператором натиснуто кнопку квітвання ($\text{kwit_butt} = '1'$), на наступному такті CLK вимикається звукова сигналізація ($\text{bell} = '0'$);
- в подальшому при ліквідації всіх аварійних ситуацій та усуненні пошкоджень в ланцюгах вище-

згаданих датчиків в відповідні моменти часу вхідні сигнали мікропроцесорного пристрою набувають значень логічного '0' ($t90_C_CR = '0'$; $Sm_L_CR = '0'$; $CF_t70_L_CR = '0'$; $CF_Sm_Cabin_CR = '0'$) з вимкненням відповідної світлової сигналізації ($l_t90_C_CR = '0'$; $l_Sm_L_CR = '0'$; $l_CF_t70_L_CR = '0'$; $l_CF_Sm_Cabin_CR = '0'$).

Висновки: авторами розроблено комплекс VHDL-моделей для комп'ютеризованої СПС кожного з дев'яти відсіків та для всієї комплексної СПС малотоннажного судна в цілому. Розроблені VHDL-моделі дозволяють здійснювати перевірку алгоритмів функціонування, досліджувати широкий спектр режимів при різних параметрах моделювання та здійснювати корекцію комп'ютеризованої системи судової пожежної сигналізації з метою підвищення її гарантоздатності. Перспективним в подальшому є продовження досліджень в напрямку узагальнення підходів до оптимізації кількості датчиків, використанні нечіткого підходу при діагностуванні датчиків [14] та підвищення надійності [4, 15] алгоритмічно-програмної реалізації гарантоздатних комп'ютеризованих СПС багатотоннажних танкерів, ймовірність виникнення пожежі на яких є найбільш високою на морському транспорті.

Література

1. Ходаков В.Е., Граб М.В. Моделирование распространения лесных пожаров. // Вестник ХГТУ. – 2003. – № 2 (18) – С. 33-41.
2. Ходаков В.Е., Граб М.В. Концепция интеллектуальной системы поддержки принятия решений в приложении к задачам предупреждения и ликвидации лесных пожаров. // Вестник ХГТУ. – 2005. – № 1 (21). – С. 224-226.
3. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Нечеткая надежность алгоритмических процессов. – В.: Континент-Прим., 1997. – 412 с.
4. Основы цифровых систем / І.П. Барабаш, М.П. Благодарний та інш.; за ред. М.П. Благодарного, В.С. Харченка. – Х.: Нац. Аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2002. – 562 с.
5. Романчук Н.П., Мартыненко В.И., Ражковский А.Ф. Обеспечение пожарной безопасности при постройке, ремонте и эксплуатации судов огнезащитой материалов // Збірник наукових праць УДМУТ. – М.: УДМУТ, 2001. – № 5 (377). – С.30-36.
6. Абчук В.А. Теория риска в морской практике. – Л.: Судостроение, 1983.
7. Миротин Л.Б. Транспортная логистика. – М.: Экзамен, 2003. – 322 с.
8. Явішева І.В. VHDL-моделі комп'ютеризованої системи пожежної сигналізації для малотоннажних суден // Інформаційно-керуючі системи і комплекси. – М.: НУК, 2005. – С.203-209.
9. Штумпф Э.П. Пожарная сигнализация на судах. – Л.: Судостроение, 1982. – 308 с.
10. Active-HDL User's Guide edition. – Copyright ALDEC, Inc. 1999.
11. Кондратенко Ю.П., Сидоренко С.А., Підпригора Д.М. Поведінковий синтез цифрових пристроїв у середовищі Active-HDL. – М.: МФ НаУК-МА, 2002.
12. Семенець В.В., Хаханова У.В., Хаханов В.І. Проектирование цифровых систем с использованием мови VHDL. – Х.: ХНУРЕ, 2003. – 288 с.
13. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский Г.Г., Рюмшин Н.А. Человеко-машинные системы автоматизации: управление качеством, безопасностью, надежностью. – К.: НБК «КИА», 2000. – 242 с.
14. Филаретов В.Ф., Лебедев А.В., Юхимец Д.А. Устройства и системы управления подводных роботов. – М.: Наука, 2005. – 184 с.
15. Ротштейн А.П., Кузнецов Б.Д. Проектирование бездефектных человеко-машинных технологий. – К.: Техника, 1992. – 420 с.
16. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Прогнозирование надежности алгоритмических процессов при нечетких исходных данных // Кибернетика и системный анализ. – 1998. – № 4. – С. 85-93.

Надійшла до редакції 21.02.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Павлов, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Миколаїв.