

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ТОПАЛОВ АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 681.518.52:69.034.4

**СПЕЦІАЛІЗОВАНА КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА
ПАРАМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА КЕРОВАНОЇ
СТАБІЛІЗАЦІЇ ПЛАВУЧИХ СПОРУД**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник

Заслужений винахідник України,
доктор технічних наук, професор
Кондратенко Юрій Пантелійович,
Чорноморський національний університет
імені Петра Могили, м. Миколаїв,
завідувач кафедри інтелектуальних
інформаційних систем

Офіційні опоненти:

Лауреат Державної премії України,
доктор технічних наук, професор
Опанасенко Володимир Миколайович,
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
НАН України, м. Київ,
провідний науковий співробітник відділу
мікропроцесорної техніки № 205

доктор технічних наук, професор
Дрозд Олександр Валентинович,
Одеський національний політехнічний
університет, м. Одеса,
професор кафедри комп'ютерних
інтелектуальних систем та мереж

Захист відбудеться «31» жовтня 2019 р. о 13³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.052.01 в Одеському національному політехнічному університеті за адресою: 65044, м. Одеса, просп. Шевченка, 1.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеського національного політехнічного університету за адресою: 65044, м. Одеса, просп. Шевченка, 1.

Автореферат розісланий «27» вересня 2019 р.

Т. в. о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради



О.Л. Становський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Швидкий розвиток комп'ютерної техніки сприяє її широкому застосуванню в багатьох галузях народного господарства, в тому числі в суднобудуванні. Для обслуговування і ремонту суден з великими габаритами все частіше (порівняно з сухими доками) застосовують плавучі доки великої вантажопід'ємності, що обладнані спеціалізованими комп'ютерними системами (СКС). При цьому плавучі доки, незважаючи на конструктивну складність і високу експлуатаційну вартість, все частіше стають основним засобом підйому суден різного призначення та водотоннажності для виконання різнотипних видів ремонту.

Проведення докових операцій є складним технічним завданням, оскільки такі операції потребують (а) поточного контролю всіх робочих параметрів з високою точністю та (б) своєчасного керування виконавчими механізмами в режимі реального часу. Сучасний рівень автоматизації плавучих доків з наявністю постійного операторського контролю їх параметрів є причиною підвищеної часової тривалості процесів підняття або спуску судна, недостатньої економічної ефективності використання плавучого доку, а в деяких випадках призводить до аварійних ситуацій комплексу "плавучий док - судно".

Підвищення продуктивності та надійності докових операцій можливе за рахунок створення нових та модифікації існуючих СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучих доків з ієрархічною структурою та комп'ютерними компонентами, синтезованими на основі сучасних методів та засобів дослідження вбудованих систем реального часу, контрольної-діагностичного забезпечення, інтелектуальних методів ідентифікації, технологій хмарних обчислень та ін. Особливу перспективу мають ієрархічні СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучих доків з розподіленими програмно-апаратними компонентами, в яких здійснюється децентралізована обробка інформації на кожному з ієрархічних рівнів.

Саме тому актуальною науково-прикладною задачею сьогодні є розробка та удосконалення методів і моделей синтезу інформаційно-вимірювальних компонентів та розгалужених структур спеціалізованих комп'ютерних систем плавучих доків з використанням сучасних технологій інтелектуального контролю, технічної діагностики та технології Інтернету речей, що забезпечить високу ефективність експлуатації плавучих доків в режимі реального часу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота проводилась відповідно до пріоритетних напрямків науково-дослідних робіт Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова згідно з: (а) міжнародною науково-дослідною роботою з КНР "Розробка судової багатофункціональної системи віддаленого контролю і вимірювання рівня рідини з підсистемою оповіщення" (2013–2014 рр.); (б) координаційними планами Міністерства освіти і науки України, зокрема в рамках наукових досліджень за держбюджетними темами "Розробка комп'ютеризованої системи моніторингу та автоматичного керування мобільним роботом багатоцільового призначення на основі інтелектуальних технологій", номер державної реєстрації 0117U007282

(2017-2020 рр.) та "Дослідження та розробка модулю термоакустичного перетворювача теплових викидів енергетичних установок транспорту та промисловості", номер державної реєстрації 0115U000301 (2015-2017 рр.), в яких автор брав участь як виконавець. Крім того, дисертаційні дослідження проводились в рамках міжнародної наукової університетської кооперації при виконанні міжнародних проектів за програмами Європейського Союзу: TEMPUS (Cabriolet), Erasmus+ (Aliot) та DAAD-Ostpartnerschaftsprogramm (проект з Саарландським університетом, ФРН).

Метою дисертаційних досліджень є розробка та удосконалення методів і моделей синтезу розгалужених структур та компонентів спеціалізованих комп'ютерних систем параметричного контролю та керованої стабілізації плавучих доків за рахунок використання методів технічної діагностики, інтелектуальних методів контролю та технології Інтернету речей для підвищення достовірності обробки даних та ефективності процесів контролю в режимі реального часу.

Виконання поставленої мети забезпечується в дисертаційній роботі шляхом розв'язання наступних **завдань дослідження**:

- критичний аналіз існуючих комп'ютерних систем та компонентів контролю докових операцій плавучого доку;
- розробка функціональної моделі і інформаційно-вимірювальних компонентів СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку з розгалуженою структурою і децентралізованою обробкою даних;
- удосконалення механізмів розподіленого комплексного контролю експлуатаційних параметрів плавучого доку для підвищення точності вимірювань крену, диференту, осадки, прогину/перегину, рівня рідини в баластних танках;
- удосконалення методу технічної діагностики сенсорних компонентів плавучого доку в реальному часі на основі періодичного тестування датчиків гідростатичного вимірювання рівня рідини;
- розробка просторової математичної моделі плавучого доку з врахуванням взаємовпливу корпусів доку та судна і синтез на її основі нечіткого комп'ютерного компоненту (контролера) для контролю осадки плавучого доку з оптимізацією його структури шляхом раціональної редукції бази правил;
- розробка інформаційної підсистеми планування розподілу рідкого баласту в танках плавучого доку для стабілізації крену та диференту;
- розробка моделі взаємодії оператора з СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку шляхом (а) використання веб-серверів та (б) розробки веб-орієнтованих людино-машинних інтерфейсів;
- програмна та апаратна реалізація СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку на базі цифрових розгалужених систем обробки інформації та технології Інтернету речей.

Об'єкт досліджень – процес моніторингу та контролю експлуатаційних параметрів плавучого доку при виконанні операцій занурення та спливання.

Предмет досліджень – методи і засоби розширення функціональних властивостей та підвищення швидкодії і точності комп'ютерних компонентів для

обробки і перетворення в режимі реального часу інформації стосовно поточних експлуатаційних параметрів плавучого доку.

Методи дослідження. Проведені в дисертаційній роботі дослідження з розробки СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку базуються на комплексному використанні наступних методів: теорії технічної діагностики – для створення пристроїв діагностики датчиків; передавання сигналів та інструментарію технології Інтернету речей – для моніторингу експлуатаційних параметрів плавучого доку; теорії автоматичного керування – для синтезу алгоритмів контролю докових операцій; теорії нечітких множин та нечіткої логіки – для синтезу та оптимізації нечітких контролерів осадки; теорії проектування та програмування мікропроцесорних пристроїв – для практичної реалізації нових схемних та апаратних рішень комп'ютерних компонентів СКС.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробці моделей і методів синтезу інформаційно-вимірювальних компонентів та розгалужених структур СКС для здійснення параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку. Новими науковими результатами дисертаційної роботи є:

- вперше розроблено функціональну модель СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку, яка характеризується використанням в її компонентах засобів технічної діагностики, інтелектуальних методів контролю та технології Інтернету речей, що дозволяє підвищити достовірність обробки даних і показники якості процесів контролю та підвищити рівень диверсифікації пристроїв для моніторингу робочих параметрів;

- удосконалено метод технічної діагностики сенсорних компонентів плавучого доку, який базується на періодичному тестуванні датчиків гідростатичного вимірювання рівня рідини за допомогою розробленої VHDL-моделі, що дозволяє підвищити достовірність вимірювань та зменшити тривалість профілактичного обслуговування інформаційно-вимірювального обладнання;

- удосконалено метод оптимізації структури нечіткого контролера осадки за рахунок інтелектуальної редукації бази правил та просторову математичну модель плавучого доку шляхом врахування взаємовпливу корпусів доку та судна, що дозволяє підвищити рівень математичної формалізації при синтезі комп'ютерних компонентів контролю осадки та стабілізації крену і диференту та спрощує їх програмно-апаратну реалізацію;

- вперше запропоновано модель взаємодії оператора з СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку на основі використання веб-серверів та розробки веб-орієнтованих людино-машинних інтерфейсів, що дозволяє розширити можливості контролю робочих параметрів плавучого доку в режимі реального часу з мобільних пристроїв та комп'ютерів, які під'єднані до глобальної мережі Інтернет.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані методи і моделі СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку можуть бути широко впроваджені при проектуванні та розробці ефективних систем контролю робочих параметрів плавучих доків та їх окремих комп'ютерних компонентів.

Розроблені в дисертаційній роботі методи і моделі впроваджено на підприємствах ТОВ “Респект Бізнес” (методи організації розгалужених цифрових систем управління в режимі реального часу та програмно-алгоритмічні засоби побудови спеціалізованих комп’ютерних систем), ТОВ “Аміко Сервіс” (алгоритмічне забезпечення функціонування мультисенсорної системи моніторингу робочих параметрів плавучого доку на основі гідростатичного методу вимірювання рівня рідини та ін.), а також у Національному університеті кораблебудування (НУК) ім. адмірала Макарова, зокрема при проведенні досліджень: (а) згідно з координаційними планами Міністерства освіти і науки України на 2015-2020 роки в рамках двох держбюджетних тем (ДР № 0117U007282, ДР № 0115U000301); (б) в рамках міжнародної науково-дослідної роботи з КНР; (в) в рамках міжнародних європейських проектів за програмами TEMPUS (Cabriolet), Erasmus+ (Aliot) та DAAD-Ostpartnerschaftsprogramm. Крім того, основні положення, висновки та рекомендації, що викладені в дисертаційній роботі, використовуються у навчальному процесі НУК ім. адм. Макарова (кафедра комп’ютеризованих систем управління) при підготовці студентів за спеціальністю “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”, зокрема при викладанні дисциплін “Теорія проектування цифрових систем управління”, “Програмні засоби систем управління”, “Автоматизоване проектування цифрових пристроїв”.

Особистий внесок здобувача. Основні результати, які виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. При цьому роботи [5, 21, 23, 26] опубліковано здобувачем самостійно; в роботах [5, 17, 23, 26, 41] здобувачем проведено аналіз сучасних комп’ютерних систем управління плавучих доків та запропоновані підходи до підвищення їх ефективності; в [15, 27, 30] розглянуто структуру та основні програмно-апаратні компоненти комп’ютеризованої системи параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку; в [9, 11, 18, 20, 25, 35, 39, 42] наведено синтез математичних моделей для дослідження робочих режимів плавучого доку; в [1, 3, 8, 12, 31 - 33] описано процедури оптимізації контролера осадки системи керування плавучого доку; в [7, 22, 24, 28] запропоновано підхід для визначення експлуатаційних параметрів плавучого доку на основі непрямих методів, що ґрунтуються на геометричних залежностях плавучого доку та гідростатичному способі вимірювання рівня рідин; в [10, 13, 14, 16, 36 - 38, 40, 43] розроблено спосіб технічної діагностики датчиків рівня рідини; в [2, 4, 34] наведено функціональну структуру спеціалізованої комп’ютерної системи плавучого доку на основі Інтернету речей; в [6, 19, 29] розроблено програмні засоби та людино-машинний інтерфейс для параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку.

Апробація результатів дисертації. Основні результати і положення роботи доповідалися автором особисто, обговорювалися і були схвалені на 23 всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях.

Отримані теоретичні результати доповідалися та обговорювалися на конференціях: The Intern. Conf. on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET’2014), 25.02–01.03.2014, Lviv-Slavske, Ukraine; Міжн. наук.-тех. конф. “Проблеми електрообладнання і автоматики транспортних засобів”, 2014, Миколаїв; Всеукр. наук.-прак. конф. „Могилянські

читання. Досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти”, 2014, 2015, 2016, Миколаїв; The XIII Intern. Conf. The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM’2015), 24–27.02.2015, Polyana-Svalyava, Ukraine; The Intern. Conf. Perspective technologies and methods in MEMS design (MEMSTECH-2016), 20–24.04.2016, Lviv-Poljana, Ukraine; III і IV міжн. наук.-прак. Українсько-Німецька конф. „Інформатика. Культура. Техніка”, 23–24.04.2015, 30.06.–02.07.2016, Одеса; The 2015 IEEE 8th Intern. Conf. on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), 24–26.09.2015, Warsaw, Poland; XXII та XXIII міжн. конф. з автоматичного управління “Автоматика 2015”, 10–11.09.2015, Одеса; 22–23.09.2016, Суми; IV Міжн. наук.-прак. конф. “Інформаційні управляючі системи та технології” (ІУСТ-ОДЕСА’2015), 22–24.09.2015, Одеса; III Міжн. конф. з автоматичного управління та інформаційних технологій ICACIT-2015, 11–13.12.2015, Київ; The 13th and 14th Intern. Conf. on Information and Communication Technology in Education, Research and Industrial Applications. 15–18.05.2017, 14–17.05.2018, Kyiv; 3rd Intern. Workshop on Theory of Reliability and Markov Modeling for Information Technologies 15–18.05.2017, Kyiv; 9th Intern. Conf. on Dependable Systems, Services and Technologies, (DESSERT 2018), 24–27.05.2018, Kyiv.

Публікації. За результатами виконаних досліджень отримано 4 патенти України на корисні моделі, опубліковано 39 наукових праць, з яких 10 статей – у фахових журналах, 17 наукових праць – в міжнародних виданнях, що включені до Scopus, Web of Science, 4 наукові праці опубліковано самостійно.

Структура дисертації. Дисертація складається з вступу, 4 розділів, 7 додатків та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації складає 239 сторінку, обсяг основного тексту – 149 сторінок, додатків – 51 сторінок. Дисертація містить 67 рисунків, 7 таблиць та посилання на 150 літературних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність напряму досліджень, наведено зв’язок роботи з науковими програмами, сформульовано мету і завдання дослідження, відображено наукову новизну, практичну цінність роботи та особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію, публікації та використання результатів дослідження.

У першому розділі проаналізовані сучасні комп’ютерні інформаційно-вимірні та керуючі системи для виконання операцій занурення та спливання плавучого доку. Визначено, що дослідження в даній сфері не завершені, а відомості стосовно розробки функціональних структур, алгоритмів функціонування та схемотехнічних рішень реалізації комп’ютерних систем контролю робочих параметрів плавучого доку носять у вітчизняній науково-технічній літературі обмежений характер.

У розділі розглянуто компоненти і підсистеми плавучих доків, наявні програмно-апаратні засоби з мікропроцесорною реалізацією, що об’єднуються в

СКС вимірювання і контролю плавучими доками. Аналіз літературних джерел показав, що для підвищення рівня автоматизації плавучого доку доцільно застосовувати комп'ютерні системи контролю, які мають ієрархічну розгалужену структуру і працюють в режимі реального часу. Проаналізовано особливості побудови СКС на основі пристроїв збору вимірювальних даних (ПЗВД) та програмованих логічних контролерів (ПЛК).

На основі аналізу недостатнього рівня комп'ютеризації плавучих доків обґрунтовано доцільність розробки методів і моделей шляхом розвитку програмного забезпечення, пристроїв контролю, засобів діагностики і розгалужених цифрових структур СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучих доків. Запропонована узагальнена структура процесу синтезу СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку представлена на рис. 1.

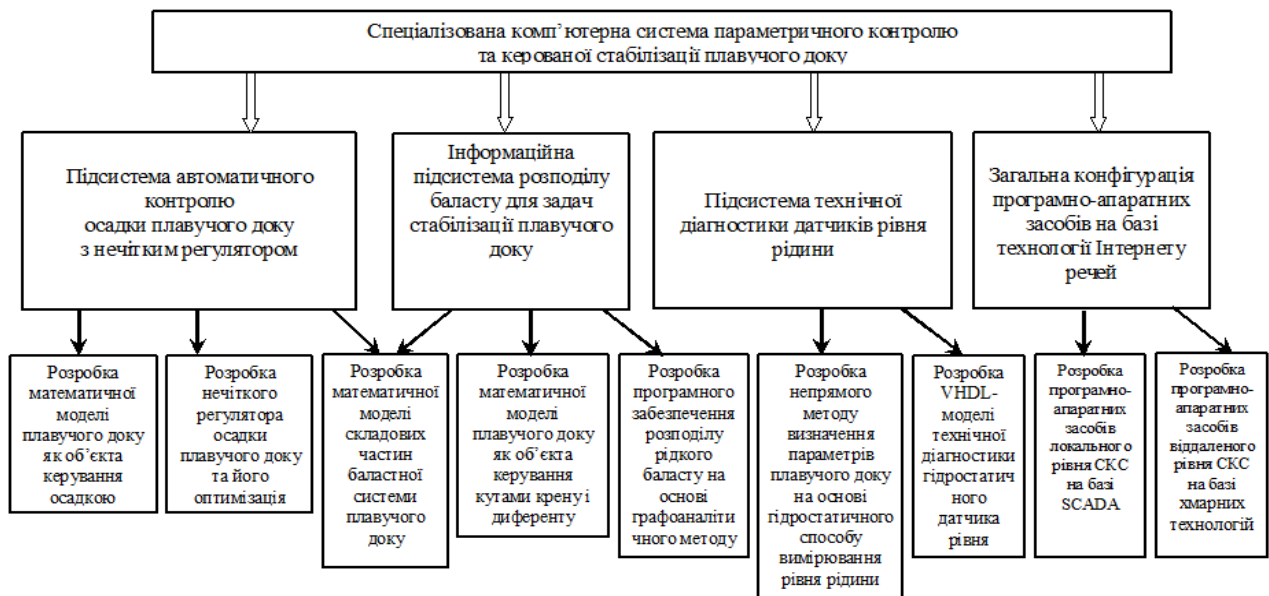


Рисунок 1 - Основні етапи синтезу СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку

У другому розділі розглянуто сенсорне забезпечення СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку та розроблено метод технічної діагностики гідростатичних датчиків на основі VHDL-моделі.

Схематичне розташування датчиків СКС наведено на рис. 2, де позначено: ДТ, ДНТ – датчики температури і надлишкового тиску, відповідно; ДРР – гідростатичний датчик рівня рідини; ДФРР – датчик фіксованого рівня рідини; ДЗРР – датчик забортного рівня рідини; В – витратомір, S_{13} – відстань між ДЗРР_{1,1} і ДЗРР_{1,2}; S_{35} – відстань між ДЗРР_{1,2} і ДЗРР_{1,3}; S_{15} – відстань між ДЗРР_{1,1} і ДЗРР_{1,3}; S_{12} – ДЗРР_{1,1} і ДЗРР_{2,1}; при цьому $S_{12} = S_{34} = S_{56}$; $S_{13} = S_{35} = S_{24} = S_{46}$; $S_{15} = S_{26}$.

Сенсорні компоненти (ДРР, ДФРР, ДТ, В, ДНТ) використовуються в баластному комплексі для вимірювання поточного значення рівня, фіксованих значень рівня, температури рідкого баласту, витрат рідини та надлишкового тиску в баластних танках. Зовнішні борти веж плавучого доку оснащені ДЗРР, які використовуються для непрямих вимірів прогину/перегину та кутів нахилу

плавучого доку. ДЗРР розташовані рівномірно в області днища (три датчики – вздовж правого борту, та три датчики – вздовж лівого борту).

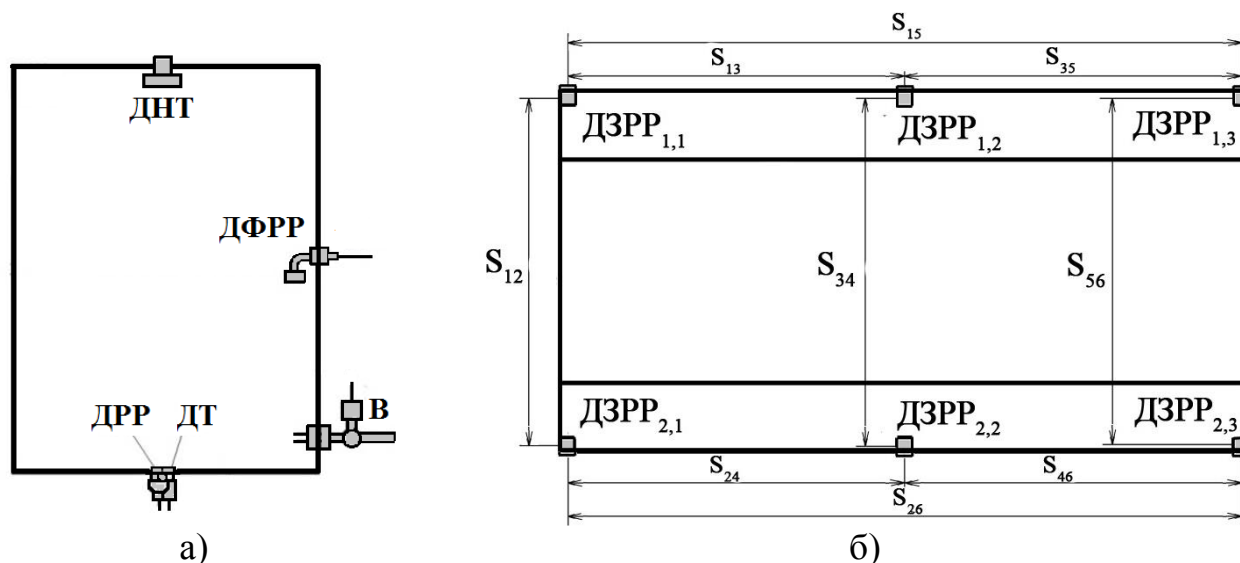


Рисунок 2 - Схематичне розташування датчиків СКС: а) у баластному танку; б) на корпусі плавучого доку (вид зверху)

Датчики рівня ДЗРР та ДРР є датчиками тиску, ДФРР представляє собою бі-дискретний датчик поплавкового типу, при цьому поточні значення рівня рідини визначаються гідростатичним методом.

Розрахунок робочих параметрів (осадки, крену, диференту та величини прогину/перегину) плавучого доку здійснюється на основі гідростатичного способу вимірювання рівня рідини та геометричних параметрів корпусу плавучого доку. Відповідно до гідростатичного способу вимірювання значення рівня рідини h визначається за формулою:

$$h = \frac{P_p}{\rho_p g}, \quad (1)$$

де P_p – значення гідростатичного тиску рідини, що вимірюється за допомогою ДРР; ρ_p – густина робочої рідини; g – прискорення вільного падіння.

Для визначення синусу кута диференту на ніс плавучого доку для датчиків ДЗРР₆ і ДЗРР₂ застосовується наступний вираз:

$$\sin \psi_{62} = \frac{\Delta h_{62}}{S_{26}} = \frac{h_6 - h_2}{S_{26}} = \frac{\left(\frac{P_6}{\rho_p g}\right) - \left(\frac{P_2}{\rho_p g}\right)}{S_{26}} = \frac{P_6 - P_2}{\rho_p g S_{26}}, \quad (2)$$

де Δh_{62} – різниця значень рівнів води, що вимірюються за допомогою датчиків ДЗРР₆ і ДЗРР₂, відповідно; S_{26} – відстань між датчиками ДЗРР₂ і ДЗРР₆.

Аналогічно кут диференту ψ_{51} для плавучого доку визначається на основі датчиків ДЗРР₁ і ДЗРР₅. Середній кут диференту плавучого доку можна знайти як середнє арифметичне значення на підставі показань гідростатичних датчиків тиску ДЗРР₁, ДЗРР₂, ДЗРР₅ і ДЗРР₆.

Для визначення синусу кута крену γ_{21} правої вежі плавучого доку застосовуються рівняння

$$\sin\gamma_{21} = \frac{\Delta h_{21}}{S_{12}} = \frac{h_2 - h_1}{S_{12}} = \frac{\left(\frac{P_2}{\rho_P g}\right) - \left(\frac{P_1}{\rho_P g}\right)}{S_{12}} = \frac{P_2 - P_1}{\rho_P g S_{12}}, \quad (3)$$

де Δh_{21} – різниця значень рівнів води, що вимірюють за допомогою датчиків ДЗРР₁ і ДЗРР₂, відповідно; S_{12} – відстань між датчиками ДЗРР₁ і ДЗРР₂.

Аналогічно кути крену γ_{43} і γ_{65} для плавучого доку визначають на основі вимірів датчиків ДЗРР₃ і ДЗРР₄, ДЗРР₅ і ДЗРР₆. Середній кут крену визначають як середнє арифметичне значення на підставі вимірів гідростатичних датчиків тиску ДЗРР₁ – ДЗРР₆.

Значення стрілки прогину/перегину $H(U)S$ корпусу плавучого доку можна знайти використовуючи залежність

$$H(U)S = \frac{H_{LB}(U)S_{LB} + H_{SB}(U)S_{SB}}{2} = \frac{\left[\frac{P_3}{\rho_P g} - \left(\frac{P_1}{\rho_P g} + S_{13}\sin\psi_{51}\right)\right] + \left[\frac{P_4}{\rho_P g} - \left(\frac{P_2}{\rho_P g} + S_{24}\sin\psi_{62}\right)\right]}{2}, \quad (4)$$

де S_{13} – відстань між датчиками ДЗРР₁ і ДЗРР₃.

Метод технічної діагностики контролю стану ДРР баластного комплексу плавучого доку базується на VHDL-моделі. Для отримання інформації про поточний рівень L і температуру води T в кожному баластному танку використовуються ДРР, що представляє собою прилад для вимірювання тиску, і ДТ (термоперетворювач). Для контролю діагностичного значення рівня L_d використовується ДФРР, що може бути виконаний у вигляді поплавкового датчика.

Розроблена VHDL-модель у вигляді FSM-діаграми для вирішення задач технічної діагностики ДРР та часова діаграма роботи технічної діагностики представлені на рис. 3,а і рис. 3,б, відповідно.

Розроблений метод технічної діагностики на основі VHDL-моделі включає наступні стани:

- ініціалізація першого стану S1, в якому очищуються значення несправної роботи ДФРР ($ErDLS \leq '0'$) та датчика ДРР ($ErHPS \leq '0'$);

- у стані S2 вимірюваний сигнал з датчика ДРР (який попередньо оцифрований і відповідає відносним одиницям гідростатичного тиску) розраховується для отримання значення рівня рідини LPS в баластному танку;

- у стані S3 різниця DL обчислюється між значенням фіксованого рівня LF (висота установки ДФРР) та значенням рівня LPS, отриманим з попереднього стану;

- у стані S4 визначається абсолютне значення L, отримане різницею DL, яке відповідає похибці вимірювання гідростатичного датчика рівня;

- у стані S5 виконується розгалуження роботи діаграми FSM для двох сценаріїв. Перший спрацьовує за умови ($F4 = 1$), що вказує на відсутність спрацювання ДФРР ($F1 = 0, F2 = 0$), в цьому випадку робота FSM діаграми входить в цикл станів $S1 \rightarrow S2 \rightarrow S3 \rightarrow S4 \rightarrow S5 \rightarrow S1$. Другий сценарій можливий, якщо під час першого

сценарію (циклу) ДФРР спрацює по передньому фронту ($F = 1$) або по задньому фронту ($F = 0$) і через стани S9 та S10 вводяться відповідні значення $F1 = 1$ або $F2 = 1$, що активує умову ($F3 = 1$) для переходу до стану S6;

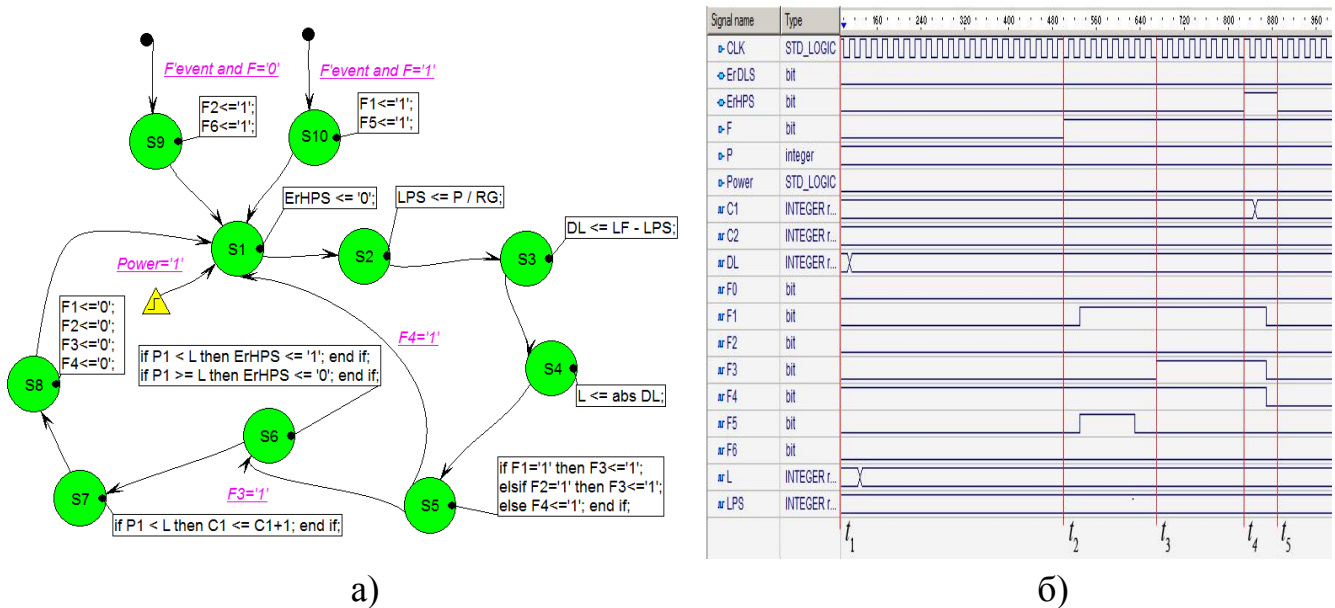


Рисунок 3 - VHDL-модель технічної діагностики датчика рівня:
а) FSM-діаграма; б) часова діаграма

– у стані S6 виконується перевірка вимірювання рівня похибки L для досягнення максимально допустимих значень гідростатичного датчика. Якщо рівень похибки вимірювання L дорівнює або менше максимально допустимого порогу $P1$ ($P1 \geq L$), то ДРР знаходиться в робочому стані ($ErHPS \leq '0'$), однак, якщо значення похибки вимірювання рівня L більше ніж максимальне значення допустимого порогу $P1$ ($P1 < L$), то ДРР знаходиться в стані несправності ($ErHPS \leq '1'$);

– у стані S7 кількість помилок гідростатичного датчику тиску підраховується, і при кожній похибці ($ErHPS = 1$) його значення C1 збільшується на 1;

– завершення діагностики гідростатичного датчика відбуваються в стані S8, де скидаються в нуль умови переходів (F1, F2, F3, F4), після чого робота FSM діаграми знову починається зі стану S1, поки не спрацює Reset ($Power = 1$).

У третьому розділі здійснено синтез та оптимізацію інтелектуальних комп'ютерних компонентів контролю СКС, зокрема нечітких ПД-контролерів осадки плавучого доку та інформаційної підсистеми планування розподілу баласту для задач стабілізації плавучого доку під час виконання докових операцій занурення та спливання.

Для синтезу інтелектуальних комп'ютерних компонентів контролю розроблена узагальнена математична модель плавучого доку з використанням комп'ютерного моделювання взаємовпливу корпусів доку та судна. На основі математичної формалізації плавучого доку, як об'єкта з нелінійними, нестационарними та невизначеними параметрами доцільно для контролю осадки застосовувати нечіткий ПД-контролер типу Мамдані.

В синтезованому нечіткому контролері (НК) використовується 5 лінгвістичних термів (ЛТ) для кожної з 3-х (2 вхідних та 1 вихідна) змінних. Для всіх лінгвістичних термів LT_i^k , ($i \in \{1...5\}$, $k \in \{1...3\}$) НК обрана трикутна форма функцій належності. База правил (БП) НК осадки містить 25 правил.

Метод оптимізації структури бази правил НК осадки складається з (а) визначення ступеня впливу правил БП на вихідний сигнал НК осадки $u_{НК}$, (б) побудови відповідного ранжируваного ряду правил \mathbf{R} за зменшенням ступеня впливу та (в) виключення з бази правил тих правил, вплив яких на формування сигналу $u_{НК}$ є несуттєвим.

Визначення ступеня впливу правил на вихідний сигнал $u_{НК}$ доцільно здійснювати на основі розрахунку зміни ступеня істинності правил в процесі керування $\mu^R(t)$ та оціночного функціоналу $G[\mu^R(t)]$, аргументом якого є параметр $\mu^R(t)$. Зміна ступеня істинності $\mu^R(t)$ r -го правила в процесі керування виражається функцією (9) від часу t

$$\mu_r^R(t) = \prod_{k=1}^{n-1} \mu_k^r(X_k(t)) = \inf_{k=1}^{n-1} \mu_k^r(X_k(t)), \quad (9)$$

де μ_k^r – результат фаззифікації k -го вхідного сигналу НК X_i ($i = 1, \dots, n - 1$) відповідним лінгвістичним термом r -го правила, n – загальна кількість вхідних і вихідної змінних НК.

Оціночний функціонал $G_r[\mu_r^R(t)]$ впливу r -го правила, в свою чергу, розраховується за виразом

$$G_r[\mu_r^R(t)] = \frac{1}{t_{\max}} \int_0^{t_{\max}} \inf_{k=1}^{n-1} \mu_k^r(X_k(t)) dt. \quad (10)$$

Розрахунок зміни ступенів істинності $\mu^R(t)$ та оціночних функціоналів $G[\mu^R(t)]$ правил доцільно проводити для всіх можливих режимів функціонування підсистеми керування СКС (при різномісних ступінчатих, плавно наростаючих вхідних і збурювальних впливах).

Функціональна структура та моделювання перехідних процесів підсистеми СКС контролю осадки плавучого доку при виконанні операції занурення представлені на рис. 4,а та 4,б, відповідно. На рис. 4,а прийнято наступні позначення: ЕКРК(РТ₁), ... ЕКРК(РТ₄) – елементи керування розподільних коробок з розгалуженими трубопроводами; БКК – блок керування клінкетами; КД – корпус плавучого доку; $P_{НПД}$ – сила навантаження плавучого доку від судна; КРТ_{1,1}, ..., КРТ_{4,5} – клінкети складових розгалуженого трубопроводу РТ_{1,1}, ..., РТ_{4,5}; u_P – сигнал керування осадкою; $u_{КРТ1,1}$, ..., $u_{КРТ4,5}$ – сигнали керування КРТ_{1,1}, ..., КРТ_{4,5}; $Q_{НБТ1}$, ..., $Q_{НБТ20}$ – витрати баластної рідини при наповненні на входах БТ₁, ..., БТ₂₀; $Q_{СБТ1}$, ..., $Q_{СБТ20}$ – витрати баластної рідини при спустошенні на виходах БТ₁, ..., БТ₂₀; $S_{ЗРТ1,1}$, ..., $S_{ЗРТ4,1}$ – площі задіяних поверхонь затворів в трубопроводах РТ_{1,1}, ... РТ_{4,5}; $m_{БТ1}$, ..., $m_{БТ20}$ – маса баластної рідини кожного БТ₁, ..., БТ₂₀; БІ – блок інверсії; БО1, БО2 – блоки обмеження; ВРК – верхній рівень контролю; ЗП – задавальний

пристрій; БФ – блок фазифікації; БНВ – блок нечіткого виведення; БД – блок дефазифікації; ϵ_x – помилка керування; k_{Π} , k_D , k_U – коефіцієнти пропорційності. ДО – датчик осадки; x_3 , x_0 – задавальне і реальне контрольоване значення осадки; $u_{3П}$, $u_{НК}$, $u_{Б1}$, $u_{Б01}$, $u_{Б02}$, $u_{ДО}$ – вихідні сигнали ЗП, НК, Б1, БО₁, БО₂ та ДО, відповідно.

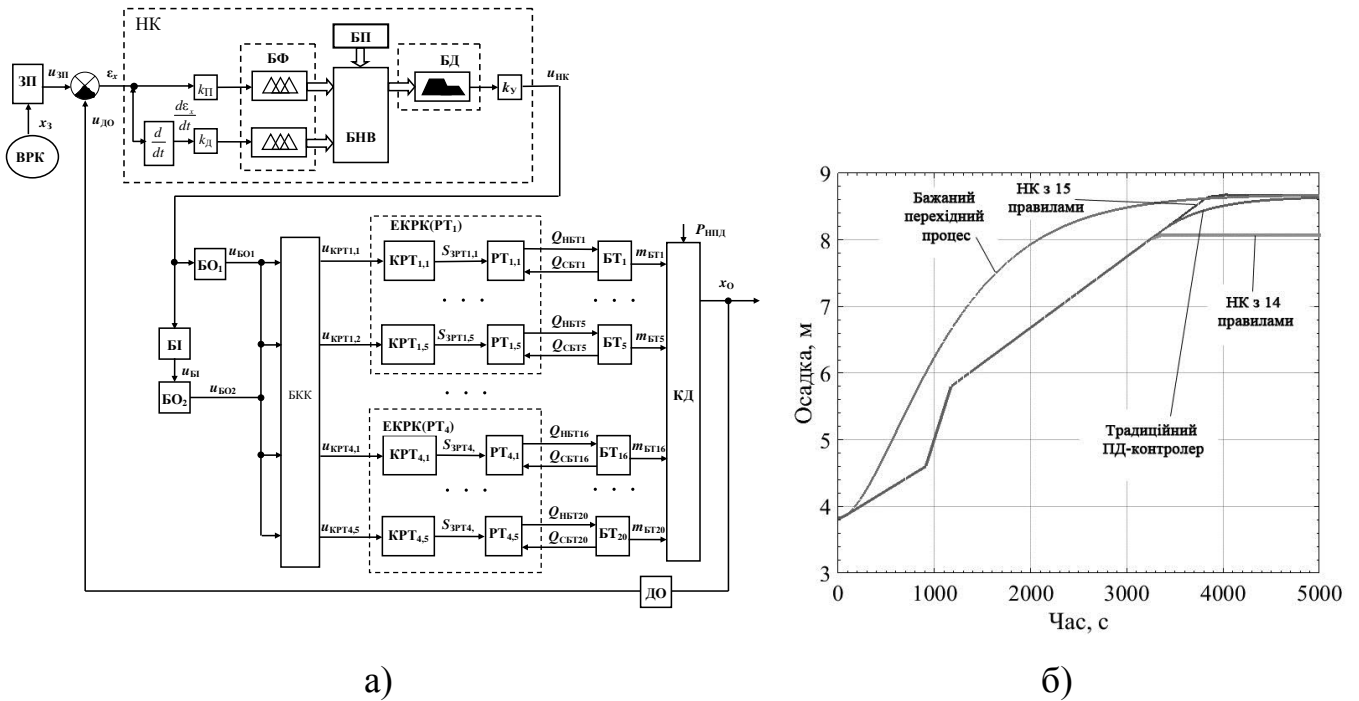


Рисунок 4 - Підсистема контролю осадки плавучого доку:
а) функціональна структура; б) перехідні процеси занурення

Для задач стабілізації плавучого доку під час виконання докових операцій (занурення та спливання) розроблена інформаційна підсистема планування розподілу рідкого баласту. Стабілізація кутів крену і диференту плавучого доку безпосередньо оцінюється шляхом співвідношення збурювальних і стабілізуючих моментів. Допускаються критичні значення максимального крену – 2° , максимального диференту – 1° . Якщо при цьому момент крену або диференту виявиться менше допустимого, то остійність плавучого доку вважається достатньою. В іншому випадку остійність вважається недостатньою і необхідно перерозподілити (перепланувати) кількість рідкого баласту у відповідних танках.

Перерозподіл рідкого баласту потребує складних розрахунків протікання рідини в трубопроводах, а тому в даному розділ розроблено інформаційну підсистему для автоматизованого планування розподілу баласту на основі графоаналітичного методу, загальний вигляд якої представлений на рис. 5.

Розроблена інформаційна підсистема (рис. 5) дозволяє вирішувати задачі баластування плавучого доку шляхом визначення необхідного положення клінкетів, часової тривалості наповнення кожного з баластних танків, витрат при рівномірному наповненні чи спустошенні БТ.

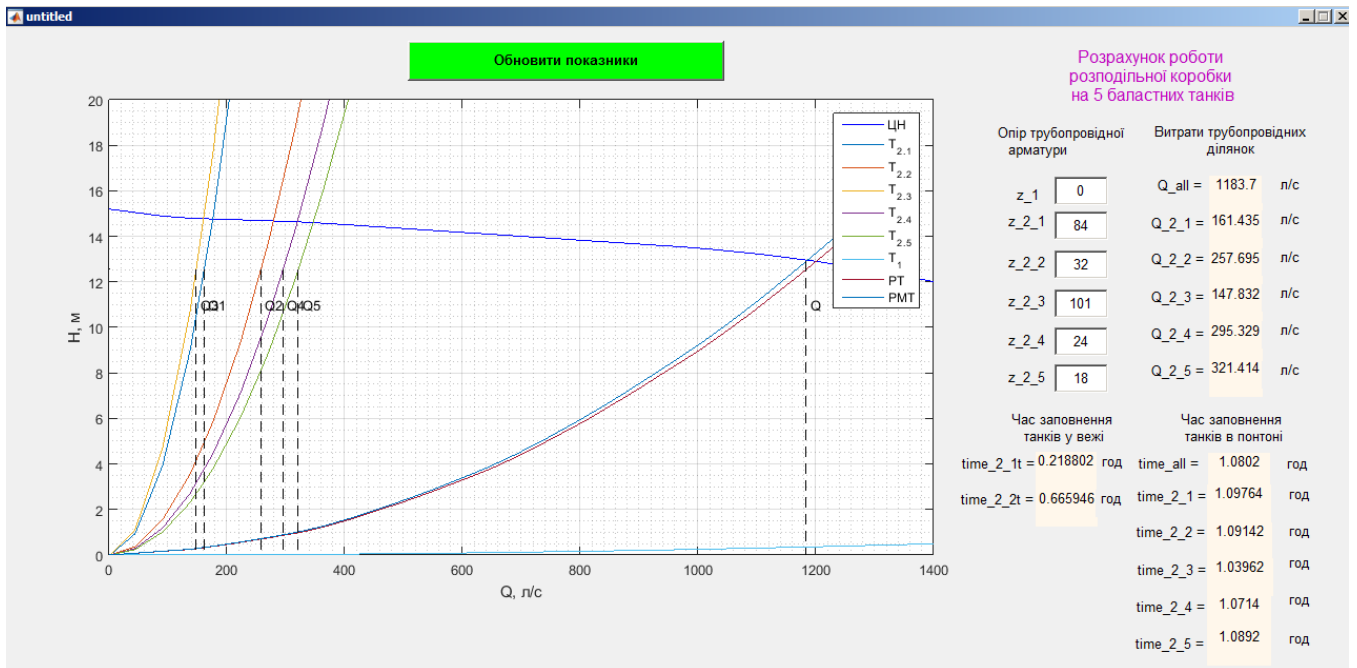


Рисунок 5 - Інтерфейс інформаційної підсистеми автоматизованого планування розподілу баласту у випадку спустошення 5 баластних танків

У четвертому розділі розглянуто розробку програмно-алгоритмічної реалізації функціональної моделі СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку, яка характеризується використанням в її компонентах засобів технічної діагностики, інтелектуальних підходів контролю та технології Інтернету речей, а також моделі взаємодії оператора з СКС шляхом використання веб-серверів та розробки веб-орієнтованих людино-машинних інтерфейсів.

Запропонована СКС (рис. 6) плавучого доку апробована на розробленому в НУК ім. адм. Макарова за участю автора експериментальному стенді плавучого доку з деталізацією SCADA-системи (на основі TRACE MODE 6) моніторингу та операторського контролю (рис 6,а) і підсистеми віддаленого сповіщення діагностичної інформації датчиків рівня баластного комплексу (рис 6,б). Дана система має два ієрархічні рівні: місцевий (локальний) рівень і віддалений рівень. Місцевий рівень поділяється на три ієрархічні рівні моніторингу та контролю: 1) рівень датчиків і виконавчих механізмів; 2) контролерний рівень периферійних пристроїв (включає модулі для збору даних і аналогового виводу, а також ПЛК); 3) рівень оператора – рівень людино-машинного інтерфейсу (включає промисловий комп'ютер). Для успішного запуску SCADA-системи промисловий комп'ютер оснащений монітором реального часу TRACE MODE 6. Обмін даними між промисловим комп'ютером і ПЛК здійснюється за допомогою інтерфейсу RS232 фірмовим механізмом обміну даними SCADA TRACE MODE. Зв'язок між модулями вводу/виводу та ПЛК здійснюється за допомогою інтерфейсу RS485 з використанням протоколу DCON.

Веб-сервер TRACE MODE Data Center обслуговує локальну SCADA-систему контролю експлуатаційних параметрів плавучого доку при зануренні та спливанні. TRACE MODE Data Center отримує дані в режимі реального часу з локальної

системи на базі TRACE MODE 6 через TCP/ IP мережі Інтернет і забезпечує доступ до даних для окремих комп'ютерів і мобільних пристроїв (смартфонів). Щоб контролювати параметри плавучого доку з веб-орієнтованого людино-машинного інтерфейсу, оператор входить на сторінку веб-браузера, що підтримує віртуальну Java-машину і вводить адрес <http://192.168.86.131:82/> Для апаратної реалізації експериментальної СКС (рис. 6,а) використано апаратні засоби ICP DAS, зокрема, модулі ICP DAS I-7018P, ICP DAS I7520, ICP DAS I-7051, ICP DAS I-7061, ICP DAS I7017C та ін. ПЛК ICP DAS WP-8131 використовується в поточній системі контролю та вимірювання в якості основного виконавчого модуля.

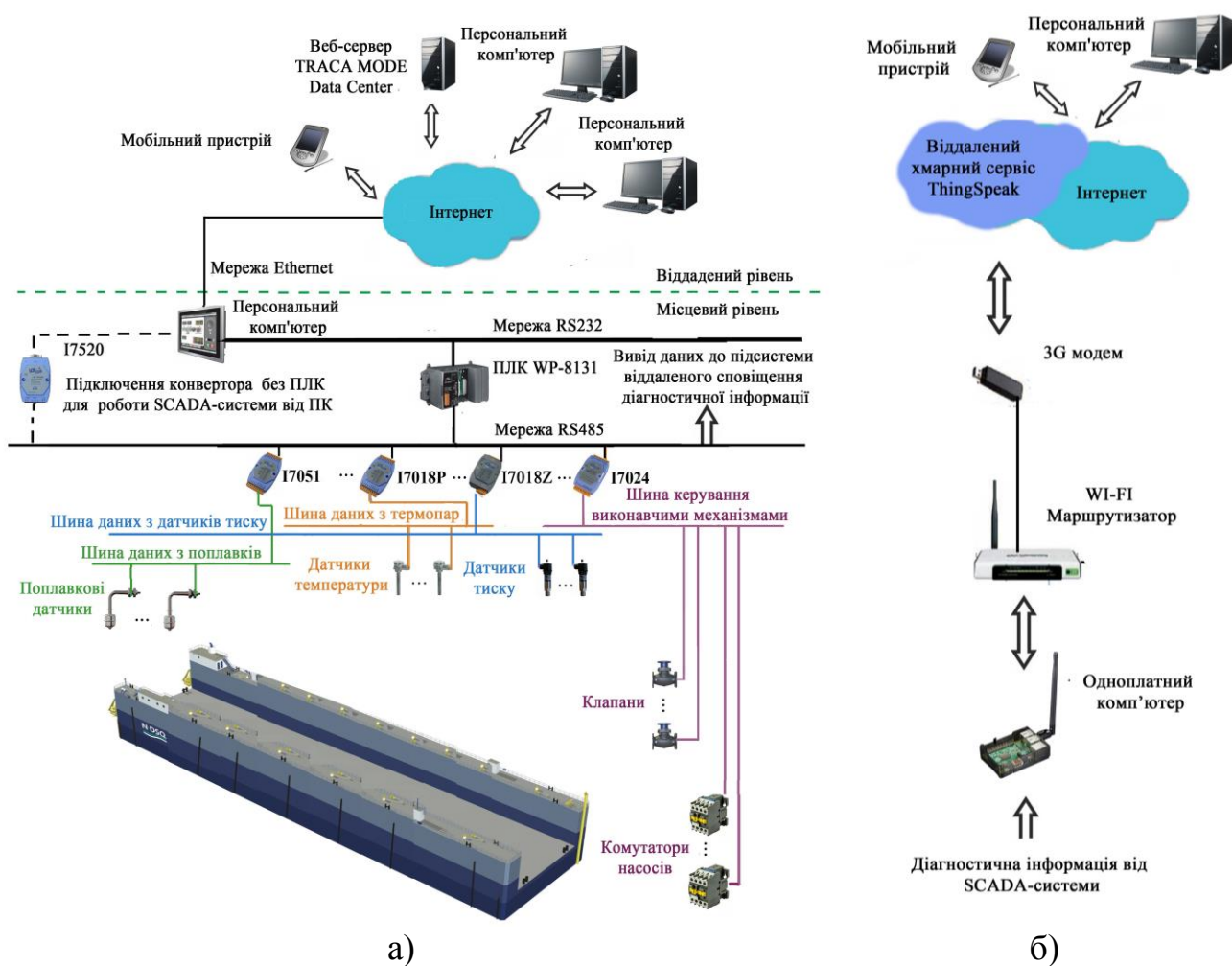
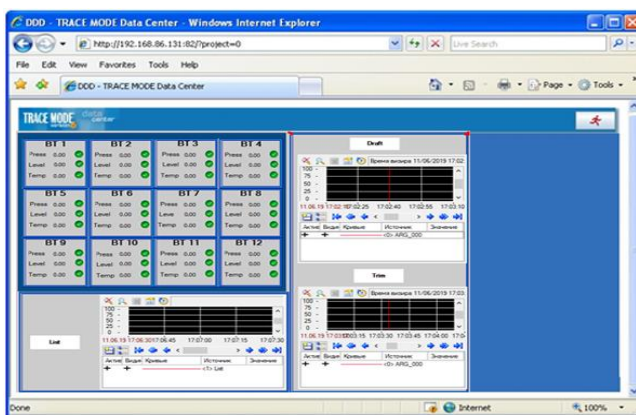


Рисунок 6 - Реалізація функціональної моделі СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку: а) SCADA-система моніторингу та операторського контролю параметрів плавучого доку, б) підсистема віддаленого сповіщення діагностичної інформації в хмарний сервіс ThingSpeak

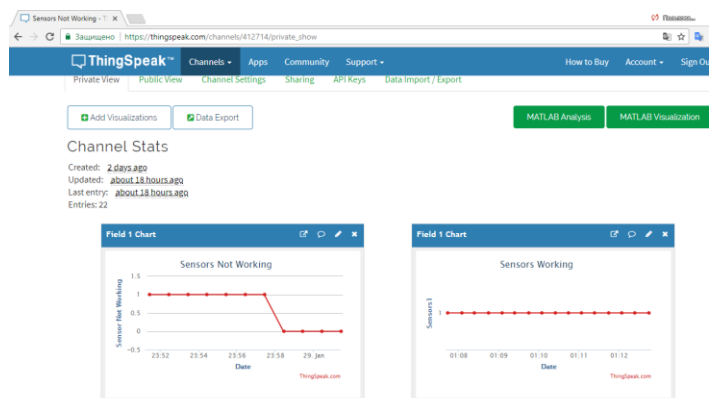
Для реалізації підсистеми віддаленого сповіщення діагностичної інформації ДРР спеціалістам на береговому контрольному посту застосовується окрема підсистема з використанням хмарного сервісу ThingSpeak (рис. 6,б). ThingSpeak є відкритою платформою для проектів Інтернет-речей з прикладним програмним інтерфейсом API. Робота з даними технічної діагностики в каналах ThingSpeak

здійснюється за допомогою періодичних запитів POST і GET із зазначенням ключа API та значення для відповідного поля каналу. Для апаратної реалізації підсистеми технічної діагностики використано одноплатний комп'ютер, WiFi маршрутизатор та модем 3G. Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi (модель «B+») застосовується для збору діагностичної інформації та передачі її в хмарний сервіс ThingSpeak. Маршрутизатор TP-LINK TL-MR3220 використовується для забезпечення Wi-Fi покриття на плавучому доці. 3G модем Huawei EC315 використовується для забезпечення наявності Інтернету на плавучому доці.

Розроблені веб-орієнтовані людино-машинні інтерфейси для багатофункціональної системи віддаленого контролю й управління параметрами плавучого доку представлені на рис. 7,а та 7,б, відповідно.



а)



б)

Рисунок 7 - Веб-орієнтовані людино-машинні інтерфейси: а) SCADA-підсистеми моніторингу та операторського контролю параметрів плавучого доку б) підсистеми віддаленого сповіщення діагностичної інформації в хмарний сервіс ThingSpeak

Дані людино-машинні інтерфейси дозволяють відображати всю необхідну інформацію на екрані оператора та проводити відповідне керування виконавчими механізмами. Інформація про поточні показники системи і динаміку їх зміни відображається на графічних екранах, де кожний з контрольованих параметрів доступний для оператора.

ВИСНОВКИ

Основним результатом дисертаційної роботи є розв'язання науково-прикладної задачі розробки і удосконалення методів і моделей синтезу інформаційно-вимірювальних компонентів та розгалужених структур СКС плавучого доку за рахунок використання технічної діагностики, інтелектуальних методів контролю та технології Інтернету речей для здійснення параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку.

Основні результати роботи полягають у наступному:

1. На основі аналізу особливостей комп'ютерних систем параметричного контролю та керованої стабілізації плавучих доків, які базуються на застосуванні ПЗВД та ПЛК, встановлено, що існуючі комп'ютерні системи з відповідними

комп'ютерними компонентами потребують подальшого удосконалення в області моніторингу та контролю для підвищення точності вимірювань та показників ефективності виконання докових операцій в режимах реального часу;

2. Запропоновано схему розміщення комплексу датчиків плавучого доку, а також вдосконалено комп'ютерні компоненти визначення робочих параметрів (кількість рідини в баластних танках, осадка, крен, диферент, прогин/перегин) на основі гідростатичного способу вимірювання, що дають високу точність при мінімальній вартості датчиків рівня рідини. Експериментальні дослідження вимірювань робочих параметрів при даному розташуванні датчиків показали, що помилка визначення параметрів не перевищує 0,8 %.

3. Удосконалений метод технічної діагностики сенсорних компонентів плавучого доку, який базується на оцінюванні технічного стану датчиків гідростатичного вимірювання рівня рідини за допомогою розробленої VHDL-моделі, що дозволяє підвищити достовірність вимірювальних даних та зменшити тривалість профілактичного обслуговування інформаційно-вимірювального обладнання. Причому застосування запропонованого способу технічної діагностики зменшує на 54 % витрати, що пов'язані з профілактичним обслуговуванням датчиків рівня рідини баластного комплексу.

4. Здійснено синтез комп'ютерних компонентів контролю осадки та удосконалено метод оптимізації структури нечіткого контролера за рахунок редукації бази правил, що дозволяє підвищити показники якості контролю при виконанні операцій плавучого доку, а саме: швидкодія занурення та спливання, при використанні НК осадки ($m_i = w = 5$) в порівнянні з НК осадки ($m_i = w = 3$), оскільки час регулювання зменшився на 800 с для процесу занурення і на 1500 с для процесу спливання. Крім того, витрати електроенергії насосів зменшуються на 3,2 кВт за годину при кожному спливанні плавучого доку в порівнянні з існуючими системами;

5. Розроблено інформаційну підсистему планування розподілу рідкого баласту для стабілізації плавучого доку, яка базується на графоаналітичному методі розрахунку витрат для визначення необхідних положень клінкетів в баластній системі при рівномірному наповненні баластних танків в задані часові терміни. Підсистема розподілення рідкого баласту визначає необхідний розподіл рідини серед 20 баластних танків для усунення небажаних кутів нахилу плавучого доку (2° для крену і 1° для диференту).

6. Розроблено функціональну модель СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку з використанням технології Інтернету речей, що дає змогу здійснювати контроль основними параметрами плавучого доку в режимі реального часу з мобільних пристроїв та комп'ютерів, які під'єднані до глобальної мережі Інтернет.

7. Розроблено модель взаємодії оператора з СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку шляхом використання веб-серверів та розробки веб-орієнтованих людино-машинних інтерфейсів, що дозволяє розширити можливості контролю робочих параметрів плавучого доку в режимі реального часу. Дана модель дозволяє підключити 2-5 клієнтів з різних пристроїв до 1 серверу, що

розширює можливості для операторів, які виконують моніторинг параметрів плавучого доку;

8. Результати дисертаційних досліджень стосовно розробки методів і моделей інформаційно-вимірювальних компонентів та розгалужених структур СКС впроваджено: в НУК ім. адмірала Макарова при виконанні двох держбюджетних тем (ДР № 0117U007282, ДР № 0115U000301) та при виконанні міжнародних проектів КНР; на підприємствах ТОВ “Респект Бізнес” та ТОВ “Аміко Сервіс”; при виконанні міжнародних проектів «Cabriolet» та «Aliot» за науковими програмами Європейського Союзу TEMPUS і Erasmus+; в навчальний процес Інституту автоматики та електротехніки НУК ім. адмірала Макарова, зокрема, при викладанні курсів “Теорія проектування цифрових систем управління”, “Програмні засоби систем управління”, “Автоматизоване проектування цифрових пристроїв”. За результатами дисертаційної роботи отримано 4 патентів України та опубліковано 39 наукових праць.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці, в яких опубліковані основні наукові результати

1. Kondratenko Y.P., Kozlov O.V., Korobko O.V., Topalov A.M. Synthesis and Optimization of Fuzzy Control Systems for Floating Dock’s Docking Operations. *Fuzzy Control Systems*, Nova Science Publishers, 2017. P. 141–213.
2. Kondratenko Y., Kozlov O., Korobko O., Topalov A. Complex Industrial Systems Automation Based on the Internet of Things Implementation. *Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications*. In: Bassiliades N. et al. (eds). Springer, 2018. vol. 826. P. 164–187. (включена до наукометричної бази *Scopus*).
3. Kondratenko Y.P., Kozlov O.V., Topalov A.M. Fuzzy Controllers for Increasing Efficiency of the Floating Dock’s Operations: Design and Optimization. *CONTROL SYSTEMS: Theory and Applications*. In: Kuntsevich V.M., Gubarev V.F. Kondratenko Y.P. et al. (eds). River Publisher, 2018. P. 197–232. (включена до наукометричної бази *Web of Science*).
4. Kondratenko Y.P., Kozlov O.V., Topalov A.M., Korobko O.V., Gerasin O.S. Automation of Control Processes in Specialized Pyrolysis Complexes Based on Industrial Internet of Things. *Dependable IoT for Human and Industry. Modeling, Architecting, Implementation. Series in Information Science and Technology*. In: V. Kharchenko, A.L. Kor, A. Rucinski (eds). River Publishers, 2018. P. 367–387. (включена до наукометричної бази *Web of Science*).
5. Топалов А.М. Аналіз комп’ютеризованих інформаційно-вимірювальних та керуючих систем для виконання плавучим доком операцій спуску та підйому судна. *Науково-методичний журнал ЧДУ ім. П. Могили. Серія: комп’ютерні технології*. 2014. № 238, т. 250. С. 115–121.
6. Кондратенко Ю.П., Козлов О.В., Коробко О.В., Топалов А.М., Атаманюк І.П. Комп’ютеризована система контролю та управління параметрами плавучого доку. *Збірник наукових праць ЖВІ. Проблеми створення, випробування,*

застосування та експлуатації складних інформаційних систем. 2015. № 12. С. 118–129.

7. Кондратенко Ю.П., Коробко О.В., Козлов О.В., Топалов А.М., Герасін О.С. Комп'ютеризована інформаційно-вимірвальна система для контролю рівня і об'єму рідини в резервуарах зі складною геометрією. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2015. № 18 (94). С. 114–121.

8. Кондратенко Ю.П., Козлов О.В., Коробко О.В., Топалов А.М. Синтез та оптимізація нечіткого контролера системи керування осадкою плавучого доку *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2016. № 23 (99). С. 113–120.

9. Кондратенко Ю.П., Козлов О.В., Топалов А.М. Математичне моделювання докових операцій плавучого доку для малотоннажних суден *Проблеми інформаційних технологій*. 2016. № 01 (019). С. 117–130.

10. Топалов А.М., Кондратенко Ю.П., Козлов О.В. Комп'ютеризована система для дистанційної діагностики датчиків рівня баластного комплексу плавучого доку. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, Інформатика, обчислювальна техніка та автоматизація*. 2018. № 4, Ч. 2, т. 29 (68). С. 19–25.

11. Топалов А.М., Кондратенко Ю.П., Козлов О.В. Синтез і дослідження математичної моделі плавучого доку для задач автоматичного керування. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, Інформатика, обчислювальна техніка та автоматизація*. 2019. № 1, Ч. 1. т. 30 (69) – С. 134–142.

12. Кондратенко Ю.П., Козлов О.В., Топалов А.М. Оптимізація бази правил нечіткого контролера системи автоматичного керування осадкою плавучого доку *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2019. № 30 (106). С. 169–177.

13. Спосіб автоматичного контролю рівня рідини в резервуарах з дискретним самотестуванням: пат. 102167 Україна. МПК G01F 23/00; заявл. 23.02.2015; опубл. 26.10.2015.

14. Спосіб автоматичного контролю рівня рідини з розподіленням по висоті резервуара дискретним самотестуванням: пат. 113880 Україна. МПК G21C 17/035 (2006.01), G01F 23/22 (2006.01); заявл. 08.04.2016; опубл. 27.02.2017.

15. Спосіб автоматичного контролю осадки, крену, диференту та стрілки прогину/перегину плавспоруди з бездротовою передачею даних: пат. 117729 Україна. МПК G21C 17/035 (2006.01), G01F 23/22(2006.01); заявл. 26.12.2016; опубл. 10.07.2017.

16. Спосіб автоматичного контролю рівня рідини з розподіленням по висоті резервуара дискретним самотестуванням та компенсацією похибки вимірювання: пат. 122417 Україна. МПК G21C 17/035 (2006.01), G01F 23/22 (2006.01); заявл. 19.06.2017; опубл. 10.01.2018.

Наукові праці апробаційного характеру та праці, в яких опубліковані додаткові наукові результати

17. Козлов О.В., Кондратенко Г.В., Топалов А.М. Ідентифікація технологічних об'єктів. Методичні вказівки до лабораторних робіт. Миколаїв, НУК ім. адм. Макарова, 2017. 75 с.

18. Черно А.А., Гуров А.П., Грань А.Н., Топалов А.Н. Расчет трехмерного магнитного поля электромагнитного вибратора с шихтованным магнитопроводом.

Щоквартальний науково-виробничий журнал КрНУ. Серія: Електромеханічні і енергозберігаючі системи. № 2/2013 (22). Ч.2. С. 25–28.

19. Коробко О.В., Кочанов В.Ю., Герасін О.С., Топалов А.М. Експериментальні випробування вогнестійкого покриття інтумісцентного типу з використанням комп'ютеризованого вимірювального комплексу. *Науковий вісник Чернівецького університету. Серія: комп'ютерні системи та компоненти. 2014. № 1. Т. 5. С. 40-47.*

20. Kondratenko Y., Gerasin O., Topalov A. A simulation model for robot's slip displacement sensors. *International Journal of Computing. 2016. № 15 (4). P. 224–236. (включена до науко-метричної бази Scopus).*

21. Топалов А.М. Сучасні комп'ютерні інформаційно-вимірювальні та керуючі системи стабілізації плавучого доку. *Могилянські читання – 2014. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції. Миколаїв, 2014. – С. 37–39.*

22. Kondratenko Y.P., Korobko O.V., Kozlov O.V., Gerasin O.S., Topalov A.M. Measurement of Liquid Level in Tanks under Non-Stationary Conditions Based on Radar Sensor System. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science. Proceedings of the International Conference Dedicated to the 170th anniversary of Lviv Polytechnic National University. Lviv-Slavske, Ukraine, 2014. P. 797–799. (включена до науко-метричної бази Scopus).*

23. Топалов А.М. Комп'ютеризована система контролю та управління параметрами плавучого доку. *Автоматика – 2015. Матеріали XXII міжнародної конференції з автоматичного управління. Одеса, 2015. – С. 144–145.*

24. Kondratenko Y., Korobko A., Kozlov A., Gerasin O., Topalov A. PLC Based System for Remote Liquids Level Control with Radar Sensor. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). Proceedings of the 2015 IEEE 8th International Conference. Warsaw, Poland, 2015. Vol. 1. P. 47–52. (включена до науко-метричної бази Scopus).*

25. Топалов, А.М. Комп'ютеризована с Kondratenko Y., Topalov A., Gerasin O. Analysis and Modeling of the Slip Signals' Registration Processes Based on Sensors with Multicomponent Sensing Elements. *The experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics CADSM 2015. Proceedings of XIIIth International Conference. Lviv-Poljana, Ukraine, 2015. P. 109–112. (включена до науко-метричної бази Scopus).*

26. Топалов А.М. Комп'ютеризована система управління плавучим доком. *Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-ОДЕСА-2015). Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. Одеса, 2015. С. 93–95.*

27. Kondratenko Y., Gerasin O., Topalov A. Modern Sensing Systems of Intelligent Robots Based on Multi-Component Slip Displacement Sensors. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). Proceedings of the 2015 IEEE 8th International Conference. Warsaw, Poland, 2015. Vol. 2. P. 902–907. (включена до науко-метричної бази Scopus).*

28. Кондратенко Ю.П., Козлов О.В., Топалов А.М. Підвищення точності вимірювання рівня та об'єму рідини в баластних танках плавучого доку. *Могилянські читання – 2015. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції. Миколаїв, 2015. т. 1. С. 54–57.*

29. Кондратенко Ю.П., Козлов О.В., Коробко О.В., Топалов А.М. Удосконалення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи для контролю рівня і об'єму рідини в суднових резервуарах. *Міжнародна конференція з автоматичного управління та інформаційних технологій ICACIT-2015*. Матеріали 3-ї Міжнародної конференції з автоматичного управління та інформаційних технологій. Київ, 2015. С. 112–115.

30. Topalov A., Kozlov O., Kondratenko Y. Control Processes of Floating Docks Based on SCADA Systems with Wireless Data Transmission. *Perspective Technologies and Methods in MEMS Design*. Proceedings of the International Conference. Lviv-Poljана, Ukraine, 2016. P. 57–61. (включена до науко-метричної бази **Scopus**).

31. Топалов А.М., Козлов О. В., Коробко О. В., Кондратенко Г.В., Герасін О.С., Кондратенко Ю. П. Нечітка система автоматичного керування процесами занурення плавучого доку з судном. *Інформатика. Культура. Техніка*. Матеріали ІV українсько-німецької конференції. Одеса, 2016. С. 97–98.

32. Топалов А.М., Козлов О.В., Кондратенко Г.В. Нечіткий контролер системи автоматичного керування операціями спливання плавучого доку. *Могиллянські читання – 2016*. Матеріали всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Миколаїв, 2016. т 5. С. 40–42.

33. Топалов А.М., Козлов О.В., Коробко О.В., Кондратенко Ю.П. Система автоматичного керування осадкою плавучого доку з нечіткими контролерами. *Автоматика – 2016*. Матеріали ХХІІІ міжнародної конференції з автоматичного управління. м. Суми, 2016. С. 80–81.

34. Kondratenko Y.P., Kozlov O.V., Korobko O.V., Topalov A.M. Internet of Things Approach for Automation of the Complex Industrial Systems. *ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer*. Proceedings of the 13th International Conference. Kyiv, Ukraine, 2017. P. 3–18. (включена до науко-метричної бази **Scopus**).

35. Топалов А.М., Козлов О.В., Кондратенко Ю.П. Математичне моделювання баластної системи плавучого доку для задач автоматичного керування. *Автоматика – 2017*. Матеріали ХХІV міжнародної конференції з автоматичного управління, м. Київ, 2017. С. 119–120.

36. Kondratenko Y.P., Kozlov O.V., Topalov A.M., Gerasin O.S. Computerized System for Remote Level Control with Discrete Self-Testing. *ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer*. Proceedings of the 13th International Conference on. Kyiv, Ukraine, 2017. P. 608–619. (включена до науко-метричної бази **Scopus**).

37. Kondratenko Y., Kozlov O., Gerasin O., Topalov A., Korobko O. Automation of Control Processes in Specialized Pyrolysis Complexes Based on Web SCADA Systems. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*. Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference. – Bucharest, Romania, 2017. Vol. 1. P. 107–112. (включена до науко-метричної бази **Scopus**)

38. Kondratenko Y., Zaporozhets Y., Rudolph J., Gerasin O., Topalov A., Kozlov O. Features of Clamping Electromagnets Using in Wheel Mobile Robots and Modeling of

their Interaction with Ferromagnetic Plate. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*. Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference. Bucharest, Romania, 2017. Vol. 1, P. 453–458. (включена до науко-метричної бази *Scopus*).

39. Topalov A., Kozlov O., Gerasin O., Kondratenko G., Kondratenko Y. Stabilization and Control of the Floating Dock's List and Trim: Algorithmic Solution. *Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*. Proceedings of 14th International Conference. Lviv-Slavske, Ukraine, 2018. P. 1217–1222. (включена до науко-метричної бази *Scopus* та *Web of Science*).

40. Topalov A.M., Kondratenko Y.P., Kozlov O.V. Computerized intelligent system for remote diagnostics of level sensors in the floating dock ballast complexes. *ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer*. Proceedings of the 14th International Conference. Kyiv, Ukraine, 2018. P. 94–108. (включена до науко-метричної бази *Scopus*).

41. Топалов А.М., Ярошенко А.В. Комп'ютеризована система контролю експлуатаційних параметрів при зануренні та спливанні плавучого доку. *Автоматика та електротехніка*. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. Миколаїв, 2018. С. 17 – 18.

42. Kondratenko Y., Zaporozhets Y., Rudolph J., Gerasin O., Topalov A., Kozlov O. Modeling of clamping magnets interaction with ferromagnetic surface for wheel mobile robots. *International Journal of Computing*. 2018. № 17 (1). P. 33–46. (включена до науко-метричної бази *Scopus*).

43. Gerasin O., Kondratenko Y., Topalov A. Dependable robot's slip displacement sensors based on capacitive registration elements. *Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*. Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference. Kiev, Ukraine, 2018, P. 358–364. (включена до науко-метричної бази *Scopus*).

АНОТАЦІЯ

Топалов А. М. Спеціалізована комп'ютерна система параметричного контролю та керованої стабілізації плавучих споруд. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти. – Одеський національний політехнічний університет МОН України, Одеса, 2019.

Дисертаційне дослідження присвячене актуальним питанням розробки моделей і методів синтезу розгалужених структур та компонентів спеціалізованих комп'ютерних систем параметричного контролю та керованої стабілізації плавучих доків за рахунок використання методів технічної діагностики, інтелектуальних методів контролю та технології Інтернету речей для підвищення достовірності обробки даних та ефективності процесів контролю в режимі реального часу.

Вперше розроблено функціональну модель спеціалізованої комп'ютерної системи параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку, яка характеризується використанням в її компонентах засобів технічної діагностики, інтелектуальних методів контролю та технології Інтернету речей, що дозволяє

підвищити достовірність обробки даних і показники якості процесів контролю та підвищити рівень диверсифікації пристроїв для моніторингу робочих параметрів. Удосконалено метод технічної діагностики сенсорних компонентів плавучого доку, який базується на періодичному тестуванні датчиків гідростатичного вимірювання рівня рідини за допомогою розробленої VHDL-моделі, що дозволяє підвищити достовірність вимірювань та зменшити тривалість профілактичного обслуговування інформаційно-вимірювального обладнання. Удосконалено метод оптимізації структури нечіткого контролера осадки за рахунок інтелектуальної редукції бази правил та просторову математичну модель плавучого доку шляхом врахування взаємовпливу корпусів доку та судна, що дозволяє підвищити рівень математичної формалізації при синтезі комп'ютерних компонентів контролю осадки та стабілізації крену і диференту та спрощує їх програмно-апаратну реалізацію. Вперше запропоновано модель взаємодії оператора з спеціалізованою комп'ютерною системою параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку на основі використання веб-серверів та розробки веб-орієнтованих людино-машинних інтерфейсів, що дозволяє розширити можливості контролю робочих параметрів плавучого доку в режимі реального часу з мобільних пристроїв та комп'ютерів, які під'єднані до глобальної мережі Інтернет.

Ключеві слова: плавучий док, комп'ютерна система, технічна діагностика, контролер, програмне забезпечення.

АННОТАЦІЯ

Топалов А. Н. Специализированная компьютерная система параметрического контроля и управляемой стабилизации плавучих сооружений. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 - Компьютерные системы и компоненты. - Одесский национальный политехнический университет МОН Украины, Одесса, 2019.

Диссертационное исследование посвящено актуальным вопросам разработки моделей и методов синтеза разветвленных структур и компонентов специализированных компьютерных систем параметрического контроля и управляемой стабилизации плавучих доков за счет использования методов технической диагностики, интеллектуальных методов подходов контроля и технологии Интернета вещей для повышения достоверности обработки данных и эффективности процессов контроля в режиме реального времени.

Доковые операции плавучего дока требуют непрерывного контроля в режиме реального времени всех рабочих параметров с высокой точностью и своевременного управления исполнительными механизмами. Все более широкое применение приобретают современные специализированные компьютерные системы мониторинга и управления плавучих доков с использованием облачных технологий, встроенных систем реального времени, Интернета вещей. Кроме того, процесс морского сертифицирования ужесточает требования к безопасности компьютерных систем параметрического контроля и управляемой стабилизации плавучих доков.

Решение поставленной в диссертационной работе проблемы разработки методов и моделей обеспечит повышение достоверности обработки данных и

показатели качества процессов контроля, а также расширить универсальные свойства удаленного мониторинга рабочих параметров, что в целом повысит эффективность специализированной компьютерной системы контроля доковыми операциями.

В работе проведен анализ особенностей компьютерных систем параметрического контроля и управляемой стабилизации плавучих доков, которые основаны на применении устройств сбора измерительных данных и программируемых логических контроллеров. Установлено, что данные компьютерные системы с соответствующими компьютерными компонентами требуют дальнейшего усовершенствования в области процессов мониторинга и контроля для повышения точности измерений и показателей эффективности процессов контроля в режимах реального времени.

Предложена схема размещения датчиков на корпусе плавучего дока, а также усовершенствованы компьютерные компоненты определения рабочих параметров (количество жидкости в балластных танках, осадка, крен, дифферент, прогиб/перегиб) на основе гидростатического метода измерения, что позволило получить высокие результаты при минимальной стоимости датчиков уровня жидкости. Усовершенствован метод технической диагностики состояния датчиков гидростатического измерения уровня жидкости с помощью разработанной VHDL-модели. Осуществлен синтез интеллектуальных компьютерных компонентов специализированной компьютерной системы, в частности нечетких ПД-контроллеров осадки плавучего дока для задач стабилизации плавучего дока во время выполнения доковых операций погружения и всплытия. Особое внимание уделено разработке метода оптимизации структуры нечеткого контроллера осадки за счет интеллектуальной редукции базы правил. Разработана информационная подсистема планирования распределения жидкого балласта для стабилизации плавучего дока, основанная на графоаналитическом методе расчета затрат для определения необходимых положений клинкетов в балластной системе при равномерном наполнении балластных танков в заданные временные сроки. Подсистема планирования распределения жидкого балласта определяет необходимое количество жидкости среди 20 балластных танков для устранения нежелательных углов наклона плавучего дока (2° для крена и 1° для дифферента).

Разработана функциональная модель специализированной компьютерной системы параметрического контроля и управляемой стабилизации плавучего дока с использованием технологии Интернета вещей, что позволяет осуществлять контроль основных параметров плавучего дока в режиме реального времени с мобильных устройств и компьютеров, которые подключены к глобальной сети Интернет.

Разработана модель взаимодействия оператора со специализированной СКС параметрического контроля и управляемой стабилизации плавучего дока путем использования веб-серверов и разработки веб-ориентированных человеко-машинных интерфейсов, позволяющая расширить возможности контроля рабочих параметров плавучего дока в режиме реального времени. Данная модель позволяет подключить 2-5 клиентов с различных устройств к 1 серверу, что расширяет возможности для операторов, которые выполняют мониторинг параметров

плавучего дока. Применение предложенной специализированной компьютерной системы с распределенной структурой и соответствующими высокоэффективными программно-аппаратными компонентами позволяет осуществлять контроль и управление основными параметрами плавучего дока в режиме реального времени с достаточно высокой точностью. Использование облачных технологий расширяет возможности принятия эффективных решений в дистанционных режимах.

Ключевые слова: плавучий док, компьютерная система, техническая диагностика, контроллер, программное обеспечение.

ABSTRACT

Topalov A.M. Specialized computer system of parametric control and controlled stabilization of floating structures. - Manuscript.

Paper for a candidate degree in technical sciences, specialty 05.13.05 - Computer systems and components. - Odesa National Polytechnic University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2019.

Dissertation's research is devoted to topical issues of development of models and methods for synthesis of branched structures and components of specialized computer systems of parametric control and controlled stabilization of floating docks through the use of methods of technical diagnostics, intellectual control approaches and technology of the Internet of things. The aim is to improve the reliability of data processing and to increase the efficiency of control processes in real time.

For the first time a functional model of a specialized computer system of parametric control and controlled stabilization of floating dock has been developed. It is characterized by the use in its components of technical diagnostics, intelligent control methods and technology of the Internet of Things, which allows to increase the reliability of data processing and quality indicators of the control processes and to increase the level of diversification of the devices for monitoring operating parameters. The method of technical diagnostics of sensory components of floating dock is improved based on the periodic testing of hydrostatic fluid level sensors with the help of the developed VHDL-model, which allows to increase the accuracy of measurements and to reduce the duration of preventive maintenance of information and measuring equipment. The method for optimization of the structure of fuzzy controller is developed based on the intellectual reduction of the rule base and the spatial mathematical model of floating dock is improved by taking into account the mutual influence of the dock's and vessel's hulls. It allows to increase the level of mathematical formalization in the synthesis of the computer components of draft control, as well as list and trim stabilization for their hardware implementation. For the first time, a model of operator interaction with a specialized computer system of parametric control and controlled stabilization of floating dock based on the use of web servers and development of web-oriented human-machine interfaces is offered, that allows to expand the possibilities for distance control of floating dock operating parameters.

Keywords: floating dock, computer system, technical diagnostics, controller, software.