

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

*Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису*

Топалов Андрій Миколайович

УДК 681.518.52:69.034.4

ДИСЕРТАЦІЯ

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

Спеціальність 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

А.М. Топалов

Науковий керівник

Заслужений винахідник України,
доктор технічних наук, професор,
Кондратенко Юрій Пантелійович

Миколаїв – 2019

АНОТАЦІЯ

Топалов А.М. Спеціалізована комп'ютерна система параметричного контролю та керованої стабілізації плавучих споруд. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

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 розробці 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 підходів контролю та технології Інтернету речей для підвищення достовірності обробки даних та ефективності процесів контролю в режимі реального часу.

Докові операції плавучого доку потребують неперервного контролю в режимі реального часу всіх робочих параметрів з високою точністю та своєчасного керування виконавчими механізмами. Все ширшого застосування набувають сучасні спеціалізовані комп'ютерні системи моніторингу та керування плавучих доків з використанням хмарних технологій, вбудованих систем реального часу, Інтернету речей. Крім того питання морського сертифікування посилює вимоги до безпеки комп'ютерних систем параметричного контролю та керованої стабілізації плавучих доків.

Поставлена в дисертаційній роботі проблема розробки моделей, програмного забезпечення, керуючих пристроїв, засобів діагностики і розгалужених цифрових структур забезпечить підвищення ефективності спеціалізованої комп'ютерної системи керування доковими операціями та високоекономічні режими експлуатації плавучих доків.

В роботі проведено аналіз особливостей комп'ютерних систем параметричного контролю та керованої стабілізації плавучих доків, які

засновані на застосуванні пристроїв збору вимірювальних даних і програмованих логічних контролерів. Встановлено, що дані комп'ютерні системи з відповідними комп'ютерними компонентами вимагають подальшого удосконалення в області процесів моніторингу та контролю для підвищення точності вимірювань і показників ефективності процесів контролю в режимі реального часу.

Запропоновано схему розміщення датчиків плавучого доку, а також вдосконалені комп'ютерні компоненти визначення робочих параметрів на основі гідростатичного методу вимірювання, що дають високі результати при мінімальній вартості датчиків рівня рідини. Запропоновані підходи дають можливість на основі даних про рівні рідини визначати: кількість рідини в баластних танках, осадку, крен, диферент плавучого доку. Крім того, інформація щодо осадки плавучого доку в певних точках дає можливість судити про значення прогину/перегину плавучого доку.

Запропоновано спосіб дистанційного оцінювання технічного стану датчиків рівня баластних комплексів плавучого доку на основі розробленої VHDL-моделі. Запропонована VHDL-модель технічної діагностики може бути легко адаптована до більш складних систем і успішно впроваджена в існуючі та модифіковані системи контролю та моніторингу плавучих споруд. Інформація про поточний технічний стан гідростатичних датчиків рівня відображається графічно на моніторі комп'ютера за допомогою хмарного сервісу. Результати оцінки станів датчиків використовуються для прийняття рішення про подальше використання того чи іншого датчика.

Розроблено просторову математичну модель плавучого доку шляхом врахування взаємовпливу корпусів доку та судна та здійснено синтез інтелектуальних комп'ютерних компонентів контролю спеціалізованої комп'ютерної системи, зокрема нечітких ПД-контролерів осадки для задач стабілізації плавучого доку під час виконання докових операцій занурення і спливання. Особливу увагу приділено оптимізації структури нечіткого контролера осадки за рахунок редукції бази правил.

Розроблено інформаційну підсистему планування розподілу рідкого баласту для стабілізації плавучого доку, що заснована на графоаналітичному методі розрахунку витрат для визначення необхідних положень клінкетів в баластній системі при рівномірному наповненні баластних танків в задані часові терміни. Підсистема планування розподілу рідкого баласту визначає необхідний розподіл рідини серед баластних танків для усунення небажаних кутів нахилу плавучого доку.

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.

Розроблено модель взаємодії оператора з спеціалізованою комп'ютерною системою параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку шляхом використання веб-серверів і розробки веб-орієнтованих людино-машинних інтерфейсів, яка дозволяє розширити можливості контролю робочих параметрів плавучого дока в режимі реального часу. Дана модель може підключити 2-5 клієнтів з різних пристроїв до 1 серверу, що розширює можливості для операторів, які виконують моніторинг параметрів плавучого доку.

Розглянуто структуру програмно-алгоритмічної реалізації та принципи функціонування інформаційно-вимірювальних та контрольно-діагностичних засобів спеціалізованої комп'ютерної системи плавучого доку. Описано механізми обміну даними між складовими інформаційно-вимірювальної підсистеми по мережам RS-232, RS-485 та шині USB. Розглянуто особливості побудови механізму обміну даними між програмованим логічним контролером та промисловим комп'ютером з використанням моделі “клієнт-сервер” та організацію людино-машинних інтерфейсів.

Реалізація спеціалізованої комп'ютерної системи 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 управління з підсистемою віддаленого сповіщення діагностичної інформації датчиків рівня баластного комплексу. Дана система має два 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 контролю і керування (включає модулі для збору даних і аналогового виходу, а також ПЛК); 3) рівень оператора – рівень людино-машинного інтерфейсу (включає промисловий ПК). Для реалізації підсистеми віддаленого сповіщення діагностичної інформації датчиків рівня спеціалістам на береговому контрольному посту застосовується окрема підсистема з використанням хмарного сервісу ThingSpeak. Застосування запропонованої комп'ютерної системи з розподіленою структурою та відповідними високоефективними програмно-апаратними компонентами дає змогу здійснювати контроль та керування основними параметрами плавучого доку в режимі реального часу з достатньо високою точністю. Причому, розроблена функціональна структура забезпечує гнучкість і масштабованість даної системи контролю та управління і надає їй властивості, що забезпечують легку вбудованість до великих систем і можливість впровадження в існуючі системи моніторингу плавучих доків, кранів та інших плаваючих споруд.

Результати дисертаційних досліджень стосовно розробки моделей, структур та програмно-технічних засобів побудови спеціалізованих комп'ютерних систем впроваджено: у Національному університеті кораблебудування ім. адмірала Макарова при виконанні двох держбюджетних тем (ДР № 0117U007282, ДР № 0115U000301) та при виконанні міжнародних проектів НУК з 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, зокрема, при викладанні курсів “Теорія проектування цифрових систем управління”, “Програмні засоби систем управління”, “Автоматизоване проектування цифрових пристроїв”. За результатами дисертаційної роботи отримано 4 патенти України та опубліковано 39 наукових праць.

Ключові слова: плавучий док, спеціалізована комп’ютерна система, крен, диферент, хмарний сервіс, програмно-апаратні засоби, технічна діагностика, датчик рівня рідини, програмне забезпечення.

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 research is devoted to topical issues of development of models and methods of 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 the Internet of things technology to improve the reliability of data processing and control processes efficiency in the real time mode.

The implementation of docking operations is a complicated task since such operations require (a) ongoing monitoring of all operating parameters with high accuracy and (b) timely control of the actuators in the real time mode. Modern specialized computer systems for monitoring and control of floating docks with the use of cloud technologies, embedded real-time systems, the Internet of Things are becoming more widely used. In addition, the issue of maritime certification increases

the security requirements of specialized computer systems of parametric control and controlled stabilization of the floating docks.

The assigned in the dissertation task of designing models, software, controlling devices, diagnostic tools and branched digital structures will provide to increase the efficiency of the specialized computer control system for docking operations and the highly economical modes of operation of floating docks.

The work analyzes the features of computer systems of parametric control and controlled stabilization of floating docks, which are based on the use of measurement data acquisition devices and programmable logic controllers. It is established that these computer systems with corresponding computer components require further improvement in the field of processes of monitoring and control to improve the measurement accuracy and performance of control processes in real time.

The scheme of arrangement of floating dock sensors is offered, as well as advanced computer components of determination of operating parameters on the basis of hydrostatic measurement method, which give high results at the minimum cost of liquid level sensors. The proposed approaches make it possible to determine the amount of liquid in ballast tanks, draft, list and trim of the floating dock on the basis of liquid level data. In addition, information about the draft of a floating dock at certain points makes it possible to evaluate the value of the deflection/inflexion of the floating dock.

The method of remote estimation of the technical state of the level sensors of ballast complexes of floating dock complexes on the basis of the developed VHDL-model is offered. The proposed VHDL model of technical diagnostics can be easily adapted to more complex systems and successfully implemented into existing and modified systems of control and monitoring of the floating structures. Information about the current technical state of hydrostatic level sensors is displayed graphically on a computer monitor using a cloud service. The results of the state assessment of the sensors are used for decision making about further usage of a particular sensor.

A spatial mathematical model of the floating dock is developed by taking into account the interrelation of the dock and ship hulls, and the synthesis of intelligent

computer components of control for the specialized computer system is carried out, in particular draft fuzzy PD-controllers for floating dock stabilization during docking operations of immersion and emersion. Structural optimization of the fuzzy controller was performed by reducing the rule base while assessing the impact of each rule on the formation of a consolidated controller output without deteriorating the performance of the docking operations. The proposed approach makes it possible to significantly simplify the software and hardware implementation of the synthesized fuzzy controller in the system of automatic control of floating dock draft.

The information subsystem for liquid ballast distribution planning for floating dock stabilization has been developed, which is based on a graphoanalytic method of the flow calculation for determining the necessary positions of the gate valves in the ballast system with uniform filling of ballast tanks in a given time frame. The liquid ballast distribution scheduling subsystem determines the required liquid distribution among the ballast tanks to eliminate unwanted floating dock inclination angles.

The functional model of specialized computer system of parametric control and controlled stabilization of the floating dock is developed, that is characterized by the use of technical diagnostics means, intelligent control methods and technology of the Internet of Things in its components, which allows to increase the reliability of data processing and indicators of quality of control processes and to increase the level of device diversification for monitoring of operating parameters.

The structure of software-algorithmic implementation and principles of functioning of information-measuring and control-diagnostic means of specialized floating dock computer system are considered. The mechanisms of data exchange between components of information-measuring subsystem on RS-232, RS-485 networks and USB bus are described. The features of construction of the mechanism of data exchange between the programmable logic controller and the industrial computer using the client-server model and the organization of human-machine interfaces are considered.

Implementation of a specialized floating dock computer system is tested at the Admiral Makarov National University of Shipbuilding with the participation of the

author on the experimental stand of the floating dock with detailing of the SCADA-system (based on TRACE MODE 6) of monitoring and operator control with subsystem of remote notification of diagnostic information of level sensors of the ballast complex. This system has two levels: local level and remote level. The local level is divided into three hierarchical levels of monitoring and control: 1) the level of sensors and actuators; 2) controller – the level of peripheral control and control devices (includes modules for data acquisition and analog output, as well as PLC); 3) operator level – the level of human-machine interface (includes industrial PC). To implement the remote alert diagnostic information subsystem of the level sensors, a separate subsystem is used by specialists at the coastal control post using the ThingSpeak cloud service. The application of the proposed distributed-structure computer system and appropriate high-performance software components enables the monitoring and control of the basic floating dock parameters in real time with sufficiently high accuracy. Moreover, the developed functional structure provides flexibility and scalability of this system of monitoring and control and gives it the properties that provide easy integration into large systems and the possibility of introduction into the existing monitoring systems of the floating docks, cranes and other floating structures.

The results of dissertation research on the development of models, structures and software and hardware of the designing of specialized computer systems implemented: in the Admiral Makarov National University of Shipbuilding at the execution of two state budget projects (No. 0117U007282, No. 0115U000301) and at the implementation of international projects from the People's Republic of China; in enterprises of Respect Business and Amiko Service Ltd.; at the implementation of international projects "Cabriolet" and "Aliot" according to the European Union's scientific programs "TEMPUS" and "Erasmus +"; in the educational process of the Institute of Automation and Electrical Engineering of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, in particular, in the courses "The theory of designing of digital control systems", "Software tools of control systems", "Automated design of

digital devices." As a result of the dissertation, 4 patents of Ukraine are obtained and 39 scientific works are published.

Key words: floating dock, specialized computer system, roll, trimmer, cloud service, software, hardware, technical diagnostics, fluid level sensor, software.

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 науко-метричної 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 науко-метричної 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 науко-метричної 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-вимірювальна 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-Poljana, 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 IV 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.

Могілянські 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 XXIII 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 XXIV 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**).

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	20
ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ І КЕРУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПЛАВУЧИХ ДОКІВ	29
1.1. Програмно-апаратні засоби на базі мікропроцесорів для упаління складними технічними об'єктами	29
1.2. Особливості систем плавучого доку та визначення необхідних сигналів керування	39
1.3. Аналіз сучасних комп'ютерних систем параметричного контролю та керованої стабілізації плавучих доків.....	53
1.4. Висновки за розділом 1 та постановка завдань дослідження	62
РОЗДІЛ 2. СЕНСОРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СКС ПАРАМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА КЕРОВАНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПЛАВУЧОГО ДОКУ З ТЕХНІЧНОЮ ДІАГНОСТИКОЮ.....	65
2.1. Схематичне розташування датчиків вимірювання експлуатаційних параметрів плавучого доку.....	65
2.2. Непрямі методи визначення параметрів плавучого доку на основі гідростатичного способу вимірювання рівня рідини.....	68
2.3. Технічна діагностика датчиків рівня баластного комплексу плавучого доку.....	76
Висновки за розділом 2.....	83
РОЗДІЛ 3. СИНТЕЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ КОМПОНЕНТІВ СКС ПЛАВУЧОГО ДОКУ	85
3.1. Математичні моделі складових компонентів плавучого доку	85

3.2. Моделювання основних режимів роботи плавучого доку.....	108
3.3. Синтез та оптимізація нечіткого контролера осадки плавучого доку.....	115
3.4. Інформаційна підсистема автоматизованого планування розподілу баласту для задач стабілізації плавучого доку	135
Висновки за розділом 3.....	145
РОЗДІЛ 4. КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ЗАНУРЕНІ ТА СПЛИВАННІ ПЛАВУЧОГО ДОКУ	
4.1. Функціональна структура комп'ютерної системи контролю експлуатаційних параметрів при занурені та спливанні плавучого доку на основі технології Інтернету речей	147
4.2. Алгоритмічне забезпечення комп'ютерної системи контролю експлуатаційних параметрів при занурені та спливанні плавучого доку на основі технології Інтернету речей	151
4.3. Програмно-апаратна реалізація комп'ютерної системи контролю експлуатаційних параметрів при занурені та спливанні плавучого доку на основі технології Інтернету речей.....	156
Висновки за розділом 4.....	168
ВИСНОВКИ	170
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	173
ДОДАТОК А. Список опублікованих праць за темою дисертації	189
ДОДАТОК Б. Акти впровадження та патенти, що підтверджують науково-практичне значення одержаних наукових результатів	196
ДОДАТОК В. Лістинг програми технічної діагностики датчика рівня рідини на мові VHDL.....	211
ДОДАТОК Г. Розрахунки остійності плавучого доку в програмному комплексі Freeship plus.....	216

ДОДАТОК Д. Реалізація контролерів на мові FBD в програмному середовищі TRACE MODE	217
ДОДАТОК Е. Лістинг програми на m мові для інформаційної підсистеми автоматизованого планування розподілу баласту.....	219
ДОДАТОК Ж. Лістинги програм контролю параметрів плавучого доку на мовах ST і FBD.....	224
ДОДАТОК З. Лістинги програм на C мові для взаємодії одноплатного комп'ютера Raspberry Pi з хмарним сервісом ThingSpeak.....	227

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

СКС	Спеціалізована комп'ютерна система
ПЛК	Програмований логічний контролер
ПЗВД	Пристрій збору та вимірювання даних
НК	Нечіткий контролер
БП	База правил
ЛТ	Лінгвістичний терм
ПК	Персональний комп'ютер
ДРР	Датчик рівня рідини
ДФРР	Датчик фіксованого рівня рідини
ДЗРР	Датчик забортного рівня рідини
БТ	Баластний танк
ХС	Хмарний сервіс
МБЗ	Модем безпроводного зв'язку
ОК	Однопалатний комп'ютер
РОУ	Роутер
БТ	Баластний танк
РТ	Розгалужений трубопровід
МТ	Магістральний трубопровід
ЛМІ	Людино-машинний інтерфейс
БД	База даних
ЦП	Центральний процесор

ВСТУП

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, контрольно-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 СКС 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 суднової 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 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 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 впровадженні 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 СКС 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 сторінок, обсяг основного тексту – 149 сторінок, додатків – 51 сторінки. Дисертація містить 67 рисунків, 7 таблиць та посилання на 150 літературних джерел.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ І КЕРУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПЛАВУЧИХ ДОКІВ

1.1. Програмно-апаратні засоби на базі мікропроцесорів для управління складними технічними об'єктами

Сучасний розвиток науки і техніки призвів до поширення обчислювальної апаратури, котра знаходить дедалі більшого застосування для автоматизації технологічних процесів, в тому числі автоматизації докових операцій плавучого доку. Вже в кінці XX століття автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП) створювалися на основі мікропроцесорної техніки [44, 45]. Подібні системи були придатні для автоматизації процесів відносно простої візуалізації. Дані системи не забезпечували значного накопичення бази даних та повноцінну взаємодію з оператором. Також промисловці відзначаються наступні недоліки [46, 47]: неповороткість програмних комплексів, низька швидкість обміну даними, недостатній обсяг пам'яті.

Швидкий розвиток комп'ютерної техніки останніми роками сприяв її застосуванню в вимірювальній та керуючій техніці. Поява промислових комп'ютерів дозволила впровадити концепцію потужних СКС, в яких поєднання вимірювального та керуючого обладнання з комп'ютером дозволило організувати ефективні програмно-керовані системи збору даних і керування технічними об'єктами і технологічними процесами [48, 114].

Для проектування СКС використовуються різноманітні програмно-апаратні засоби, до яких можна віднести: промислові комп'ютери, модулі вводу/виводу, програмовані логічні контролери, карти розширення, погоджуючі пристрої, та інше. Сучасні СКС основані в наступних роботах на картах розширення, модулях вводу/виводу [49–59], або варіацій перерахованих

пристроїв. Набір програмно-апаратних засобів підбирається в залежності від поставленого технічного завдання.

Наприклад карти розширення Центр АЦП "Руднєв-Шиляєв" ЦАП (ЛА-2ЦАП5, ЛА-2ЦАП70, ЛА-2ЦАПн5 і ЛА-ЦАПн10) дозволяють перетворити ПК в функціональний генератор і генератор монохроматичного гармонійного сигналу одночасно. Частотний і динамічний діапазони визначаються обраним пристроєм.

Карти розширення ЗАТ "Л-Кард" дозволяють проводити автоматизацію виробничих процесів і наукових експериментів. Також фірмою випускається широкий спектр систем збору і обробки інформації: плати АЦП/ЦАП на шини ISA і PCI, зовнішні модулі АЦП/ЦАП, модульні системи, що забезпечують введення даних з різних індустриальних датчиків.

ЗАТ "Інструментальні системи" розробляє і виробляє апаратно-програмні засоби цифрової обробки сигналів для радіолокації, радіозв'язку, гідроакустики, телекомунікації. Апаратні засоби будуються на основі двох сімейств цифрових сигнальних процесорів: Analog Devices ADSP-21160 / TS101 і Texas Instruments TMS320C6000, а також на програмованих логічних схемах високої ємності Altera FLEX 1K і Xilinx Virtex2.

Компанія "National Instruments" є розробником і лідером технології віртуальних приладів – революційної концепції, яка змінила підходи і методику проведення вимірювань та розробки систем автоматизації. Максимально використовуючи можливості комп'ютерів і сучасних інформаційних технологій, віртуальні прилади дозволили підвищити продуктивність і знизити вартість рішень. Замовниками компанії є інженери, вчені та технічні фахівці, що працюють в найширшому спектрі галузей і технологій.

Фірма "ADDI-DATA" спеціалізується на розробці і виробництві пристроїв збору і обробки даних, спеціально призначених для використання у важких промислових умовах. Вироби компанії виробляються відповідно до міжнародних стандартів якості ISO 9001 і проходять індивідуальне тестування перед поставкою замовникам. Продукція ADDI-DATA: плати цифрового і

аналогового вводу/виводу для шини CompactPCI; комунікаційні плати, плати лічильників/таймерів для шини CompactPCI; Плати цифрового і релейного введення/виведення; Багатофункціональні плати введення/виведення; комунікаційні плати, плати лічильників і таймерів; Плати управління рухом; Релейні і термінальні плати.

Фірма "Мікрол" – відомий вітчизняний виробник обладнання та комплектуючих для автоматизації виробничих процесів і наукових експериментів. Дана фірма випускає мікропроцесорні пристрої різного роду від ПЛК до різноманітних модулів вводу/виводу. Особливу увагу представляють мікропроцесорні контролери ПІД структури, що виконані в окремих корпусах і використовуються для широкого спектру різноманітних завдань.

Фірма "ICP DAS" – В компанії існує близько 14 рядів віддалених модулів вводу/виводу в тому числі популярна лінійка I-7000, що працюють на різних інтерфейсах і протоколах, 9 основних лінійок промислових контролерів, 2 ряди панелей управління, комунікаційні пристрої, а також інші продукти для автоматизації та моніторингу. Номенклатура компанії активно поширюється і останнім часом випускається дедалі більше програмно апаратних засобів для Інтернету речей.

Сучасні СКС будуються за різними структурами розподілення децентралізованих програмно-апаратних засобів. Вимірювання робочих параметрів в даних системах зазвичай здійснюється через датчики універсальними картами та модулями вводу/виводу даних, а керування за допомогою промислового комп'ютера чи ПЛК.

Кarti чи модулі вводу/виводу (рис. 1.1) загалом можуть мати три типи різних входів/виходів: багатоканальні аналогові входи/виходи, часові/частотні та цифрові входи/виходи. Робота таких карт детально розглянута у роботі [49, 55, 56] і пояснюється наступним чином. Аналогові сигнали вимірювання параметрів технологічного процесу подаються почергово через вхідний мультиплексор чи комутатор на вхід вимірювального підсилювача, після чого підсилюються до заданого рівня і за допомогою аналогового пристрою вибірки

і зберігання (ПВЗ) запам'ятовуються на час аналогового-цифрового перетворення (АЦП).

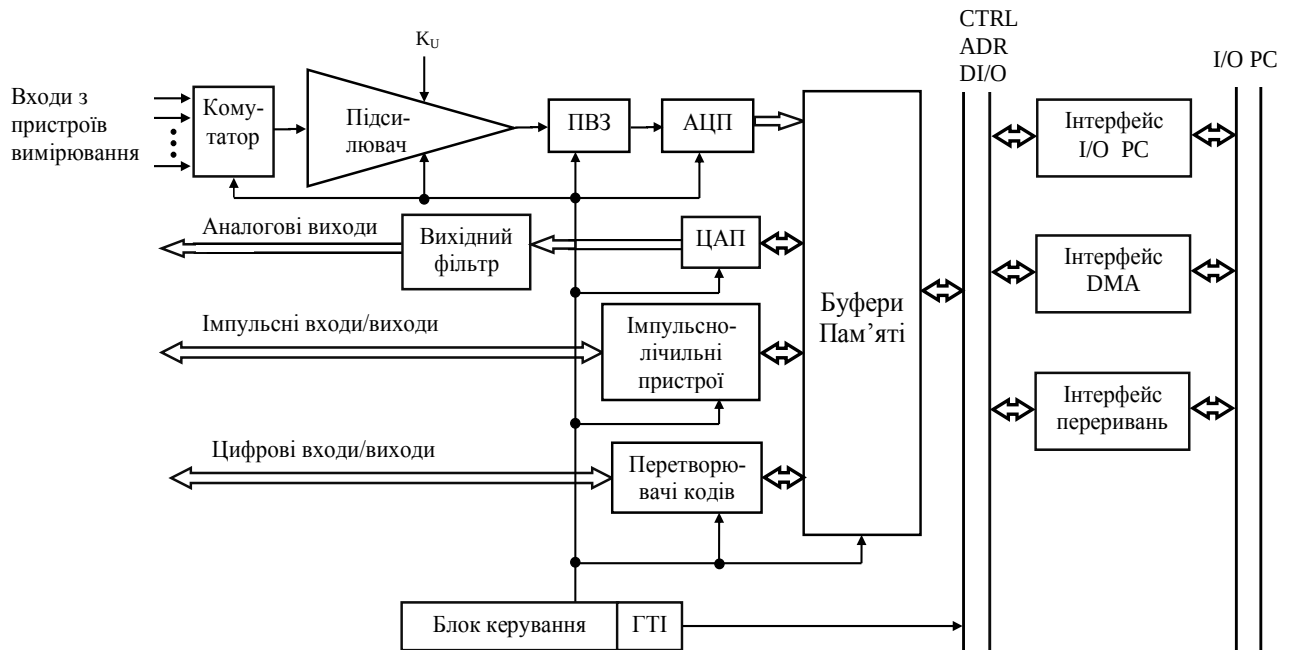


Рис. 1.1. Структурна схема універсальної карти вводу/виводу

Отриманий на виході АЦП цифровий результат передається до буферної пам'яті карти чи модуля вводу/виводу і далі на внутрішню магістраль CTRL (керування), DI/O (Data Input/Output – данні вхід/вихід) ADR (адреси). Через інтерфейсні засоби ці дані можуть передаватися до магістралі промислового комп'ютера чи ПЛК. Для швидкого накопичення вимірювальних даних можливий також прямий доступ до пам'яті комп'ютера (DMA – Direct Memory Access).

Для здійснення керування технологічним процесом аналоговими сигналами на модулі чи карті вводу/виводу може бути встановлений цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), причому входи якого з'єднані з магістраллю промислового комп'ютера чи ПЛК. Відповідно можна на виході ЦАП сформувати сигнали із заданими властивостями, наприклад заданої форми та величини. При необхідності для згладжування вихідних сигналів ЦАП та їхнього підсилення можуть бути застосовані відповідно фільтри та підсилювачі.

Проте кількість саме вихідних аналогових каналів переважно невелика, і зазвичай складає 2 чи 4.

До складу карт чи модулів вводу/виводу входять також імпульсно-лічильні пристрої, які можуть використовуватися для опрацювання вхідних імпульсних сигналів (вимірювання інтервалів часу, частоти, періоду, тривалості, тощо), а також для формування вихідних імпульсних сигналів із заданими властивостями (заданої тривалості, частоти тощо). Зазвичай кількість таких каналів не значна в картах чи модулях вводу/виводу.

Для зчитування цифрових сигналів, або для передавання їх на вихід, наприклад з метою керування об'єктом дослідження передбачено канали цифрових входів/виходів. Наявність у цих каналах перетворювачів кодів дає змогу, за необхідності, здійснювати їхнє перетворення.

Усі вищезгадані функціональні частини карт чи модулів вводу/виводу керуються сигналами внутрішньої шини керування (CTRL), які формуються блоком керування карти чи модуля вводу/виводу. Причому останній синхронізується генератором тактових імпульсів (ГТІ).

Спосіб співпраці карт чи модулів вводу/виводу із комп'ютером чи ПЛК може бути різним. Карти розширення зазвичай приєднані до магістралі PCI комп'ютера, а деякі можуть бути приєднані до платформ для створення автоматизованих контрольно-вимірювальних систем з ПЛК. Деякі Карти можуть бути конструктивно виконані у вигляді невеликих за розмірами карт і працювати по магістралі PCMCIA комп'ютера. Модулі вводу/виводу мають окремий корпус і тому зазвичай застосовують разом з послідовними інтерфейсами серії RS. Проте останнім часом для пересилання даних використовуються засоби мобільної телефонії, а також інші бездротові інтерфейси.

Дані отримані з карт чи модулів вводу/виводу заносяться до промислового комп'ютера чи ПЛК де обробляються відповідними алгоритмами. Інколи ПЛК мають вбудовані АЦП, ЦАП та інші блоки, що дозволяє їм безпосередньо отримувати дані з датчиків та надсилати дані для

виконавчих механізмів минаючи відповідні карти чи модулі вводу виводу. Також ПЛК не рідко мають власні графічні панелі та операційні системи, що дає змогу їм не поступатися промисловим комп'ютерам [60] при вирішенні задач автоматичного керування.

ПЛК представляє собою складний мікропроцесорний пристрій. Спрощена структурна схема (рис. 1.2) якого наведена на прикладі ПЛК серій MINICONTROL і MIDICONTROL фірми B&R [60]. Модуль центрального процесора ПЛК складається з самого центрального процесора (ЦП), системного постійного запам'ятовуючого пристрою ПЗП та системного оперативного запам'ятовуючого пристрою ОЗП. ЦП побудовано на базі мікропроцесора Hitachi 6303 з відповідним ГТІ (на рис. 1.2 не показано). Системне ПЗП містить програму тестування ПЛК, що активується при поданні електропостачання, однозадачну операційну систему і відладчик. Саме системне ПЗП виконано таким чином, що унеможливорює доступ користувача до своїх даних. Системне ОЗП в основному призначене для тимчасового зберігання системних змін в процесі роботи ПЛК та має обмежений доступ користувача. Причому системне ОЗП використовує технологію PROSYS для передачі даних функціональним блокам. Запам'ятовуючий пристрій (ЗП) потрібен для зберігання прикладної програми, що необхідна для керування виконавчими механізмами та моніторингу робочих параметрів технологічного процесу. Даний ЗП вставляється у відповідне місце на лицьовій панелі модуля ЦП. Модуль пам'яті ЗП включає в себе наступні блоки: запам'ятовуючий пристрій з довільним доступом (ЗПДД) та прогамований постійний запам'ятовуючий пристрій (ППЗП). ЗПДД – енергозалежне ЗП, що живиться від резервної батареї, тому відмова батареї чи від'єднання ЗП від модуля ЦП приведе до втрати прикладної програми. Блок ЗПДД використовується при розробці програми, причому деякі функції відладчика можуть використовуватися тільки при роботі з блоком ЗПДД. ППЗП – енергонезалежне ЗП, що зберігає прикладну програму навіть у разі відмови батареї, або зняття ЗП з модуля ЦП. ППЗП програмується

відповідно до вмісту ЗПДД. ЗП містить ППЗП типу EEPROM, що не потребує стирання, нова програма записується поверх старої.

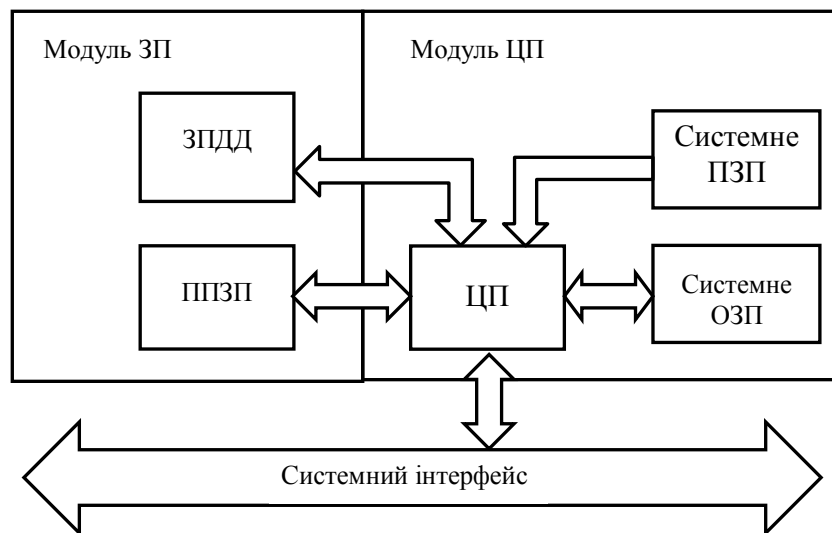


Рис. 1.2. Структурна схема ПЛК

Магістраль системного інтерфейсу служить для під'єднання карт та модулів вводу/виводу.

Будь-який ПЛК працює за циклічним принципом, причому цикл складається з чотирьох фаз: читання станів входів; виконання програми користувача; запис станів виходів; інші додаткові фази. На самому початку циклу ПЛК сканує стан входів, на які надходять сигнали від датчиків і карт та модулів вводу/виводу. Потім відповідно до алгоритму програми відбувається обчислення стану виходів. В кінці робочого циклу контролер встановлює кожен вихід в стан, який було визначено та проводить деякі допоміжні операції (діагностика, підготовка даних для відладчика, візуалізації і т. ін.).

Зазначені етапи циклу виконуються послідовно – це означає, що зміни станів входів не будуть «помічені» контролером під час виконання програми. З цієї причини, одним з найважливіших параметрів ПЛК є час реакції (час з моменту зміни стану системи до моменту вироблення відповідної реакції). Якщо він виявиться більше, ніж мінімальний період зміни станів входів, деякі події, що відбуваються в системі, будуть «пропущені» контролером.

Також варто врахувати, що і датчики та виконавчі механізми реагують на зміни в системі не миттєво. Тому повний час реакції системи управління складається з часу реакції ПЛК, часу реакції датчиків та виконавчих механізмів [45].

Програмно-апаратні засоби автоматизації (карти та модулі вводу/виводу, ПЛК, тощо), як правило, поставляються з власним набором драйверів та програмними пакетами, що надають користувачеві можливість взаємодіяти з ними через комп'ютер [61]. В деяких випадках програмно-апаратні засоби можуть застосовуватися разом з інтегрованими середовищами розробки і різними програмними пакетами сторонніх компаній. Серед програмних засобів для СКС широкого розповсюдження набули SCADA-системи (Supervisory Control And Data Acquisition). Застосування SCADA-систем дозволяє збирати інформацію стосовно технологічного процесу, забезпечувати інтерфейс з оператором, накопичувати базу даних і здійснювати автоматичне управління процесом. До SCADA-системам пред'являються наступні основні вимоги: робота в режимі реального часу, надійність системи (технологічна і функціональна); безпеку управління; точність обробки і представлення даних; простота розширення системи. На ринку програмних продуктів існує багато версій SCADA-систем в основному зарубіжних виробників, наприклад InTouch («Wonderware», USA) Genesis («Iconics», USA), Cimplicity HMI («GE Fanuc Automation», Японія), WinCC («Siemens AG», Німеччина), TRACE MODE («AdAstra», Росія), Контур II («SCADA-системи України», Україна). В 2014 році українська компанія «HiK» представила свою інноваційну розробку – PowerSys SCADA.

Більшість SCADA-систем реалізовано на MS Windows платформах. Такі системи пропонують найбільш повні і легко нарощувані HMI-засоби [58]. В деяких SCADA-системах працюючих під керівництвом ОС Windows реалізовані власні достатньо гнучкі і надійні механізми забезпечення режиму реального часу, як, наприклад в системах InTouch і TraceMode. Все більш очевидним стає застосування операційних систем реального часу (ОСРВ), в

основному, у вбудованих системах. В SCADA-системах спроектованих для роботи під управлінням саме операційних систем реального часу функції забезпечення реального часу лягають на операційну систему. Наприклад під OCPB QNX працюють наступні SCADA: Genesis, RealFlex, Focus та ін. [59].

Людино-машинний інтерфейс в SCADA-системах може створюватися в спеціальному редакторі, як наприклад в системах InTouch і Genesis 32. В деяких SCADA-системах редактор може бути вбудований в систему, призначену для розробки АСУ ТП (TRACE MODE, Genie). Людино-машинний інтерфейс SCADA-систем дозволяє спостерігати динаміку зміни технологічного процесу в часі за допомогою числових значень або графічного відображення у вигляді графіків перехідних процесів – трендів. В SCADA-системах InTouch і Citect тренди відображають в реальному часі зміну того, чи іншого параметра, проте TRACE MODE і Genie дозволяє будувати тренди залежностей параметра Y від параметра X [53].

Сучасні SCADA-системи містять певні мови програмування, що надають можливість програмувати ті чи інші програмно-апаратні засоби. Ці мови зазвичай у більшій чи меншій мірі відповідають рекомендаціям норм IEC 61131-3.

В міжнародний стандарт IEC 61131-3 включені 5 мов програмування FBD (Function Block Diagram); LD (Ladder Diagram); SFC (Sequential Function Chart); ST (Structured Text); IL (Instruction List).

Окрім мов програмування стандарту IEC 61131-3 часто зустрічаються в SCADA-системах і інші мови. Для системи Citect характерною мовою програмування є Cicode. Дана мова за своєю структурою схожа на VisualBasic і C. В SCADA-системі BridgeVIEW написання програми здійснюється засобами мови G. Сам код програми на мові G представляє собою блок-діаграми, з'єднані лініями передачі даних.

Важливою характеристикою SCADA-систем є питання контролю надійності виконання технологічного процесу, попередження аварійних ситуацій. SCADA-системи дозволяють працювати з подіями та аналоговими і

дискретними тривогами. Зазвичай тривоги генеруються, коли контрольований параметр технологічного процесу виходить за встановлені межі. В свою чергу подія – це повідомлення про певний стан системи та не вимагає терміново вирішення оператором. Повідомлення про тривоги і події можуть зберегтися в файлі архіву тривог. Деякі SCADA-системи проводять діагностичні процедури для перевірки стану власного і периферійного обладнання, наприклад Citect.

Порівняльний аналіз SCADA-систем виділяє основні відмінності та особливості між ними, хоча список відмінностей можна продовжити розглядаючи роботу SCADA-систем з базами даних, різного роду документацією та ін. Загалом всі SCADA-системи досить подібні але є певні переваги та недоліки окремих систем. Серед усього різноманіття можна виділити SCADA-систему TRACE MODE [62] за її універсальність та компактність (всі редактори розробки системи викликаються з однієї програми). Прикладом її застосування можуть служити різного роду технічні об'єкти виробничих комплексів: АЕС “Богуніце”, біля поселення Ясловске Богуніце, Словаччина; ПАТ “Хмельницькобленерго”, м. Хмельницьк, Україна; Кобержицький елеватор, м. Елблаг, Польща; ЗАТ "Краснодареконефть", м. Краснодар, Росія. Стосовно застосування SCADA-систем TRACE MODE на морських технологічних спорудах та судах можна навести приклад де суднобудівельна компанія «Еврояхтинг» (Москва) і ЗАО «Рибінська верф» (Рибінськ, Ярославська область) забезпечили серійно вироблені судна проектів Лідер-12М, Лідер-17, УМК і Петропавловськ високотехнологічними системами індикації та реєстрації (CIP), розробленими в SCADA-системі TRACE MODE 6.

Поеднання ПЗВД чи ПЛК з програмним забезпеченням персонального комп'ютера, забезпечує набагато більш широку сферу застосування, ніж може мати аналоговий чи окремий мікропроцесорний вимірювальний та керуючий прилад. Крім того сучасний комп'ютер може мати дискові накопичувачі, що дає можливість зберігати великі архіви даних, та модем підключеного до Internet, що дозволяє створювати інформаційно-вимірювальні та керуючі системи з використанням хмарних сервісів.

1.2. Особливості систем плавучого доку та визначення необхідних сигналів керування

Плавучий док представляє собою складну інженерно-технічну споруду, що головним чином призначена для виконання докових операцій занурення та спливання. Плавучий док використовується для підйому судна із води, спуску судна на воду, а також в деяких випадках в якості плавучої платформи для транспортування судна по мілководним шляхам. Загальний вигляд плавучого доку з встановленим на стапель-палубі судном представлений на рис. 1.3. Крім того за допомогою плавучого доку проводять профілактичний огляд, ремонт підводної частини корпусу судна та зовнішніх елементів гвинто-рульового комплексу [63 – 69]. Загальний вигляд плавучого доку з встановленим на стапель-палубі судном представлений на рис. 1.3.



Рис. 1.3. Загальний вигляд плавучого доку з судном

В історії використання плавучих доків зустрічаються серйозні аварії та аварійні ситуації: затоплення доку, перелом веж, поява гофр на вежах та ін., наприклад, в 2018 році на 82-м судноремонтному заводі в селищі Рослево Мурманської області (Російська Федерація) під час реконструкції авіаносця «Адмірал Кузнецов» затонув плавучий док ПД-50. Інший випадок стався біля

Сан-Франциско США в 2016 році, 160-метровий плаваючий док затонув під час переправи буксиром Ocean ranger. Також відомий випадок у селищі Слов'янка Приморського краю Російська Федерація в 2018 році під час виконання докової операції плавучий док ПД-169 розламався на частини і затонув.

Деякі типи аварій показані на рис. 1.4., а загальний вигляд переломленого плавучого доку з судном на рис. 1.5.



Рис. 1.4. Диформації корпусу плавучого доку: а) значний вигин вежі і понтону;
б) деформація металу під стапель-палубою



Рис. 1.5. Загальний вигляд переломленого плавучого доку з судном

Підняття судна плавучим доком здійснюється в наступній послідовності: док, приймаючи воду через клінкети в баластні відсіки понтона і веж,

занурюється на глибину, достатню для установки судна (рис. 1.6, а), потім судно заводиться над опорними пристроями стапель-палуби і з баластних відсіків насосами відкачується вода та проводиться посадка судна на докові опори; процес підняття судна завершується остаточним спливанням дока (рис. 1.6, б). Спуск судна на воду виконується за допомогою операції занурення плавучого доку та виводу судна за межі стапель-палуби.

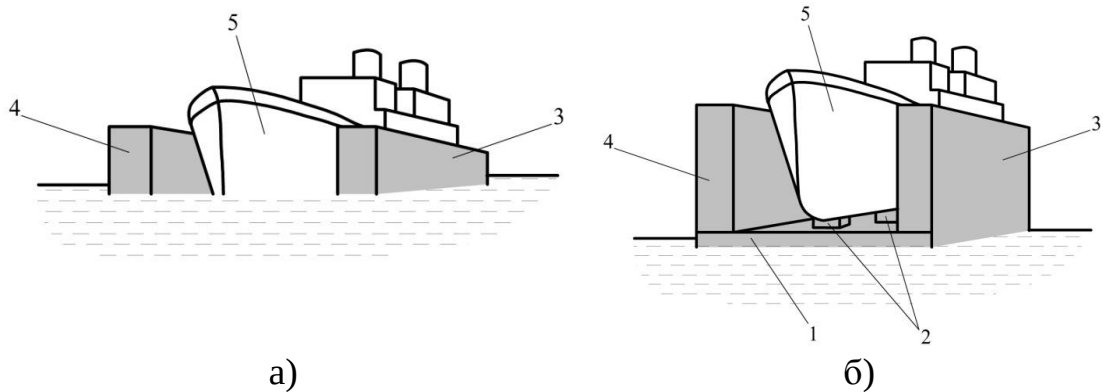


Рис. 1.6. Двухвежовий плавучий док з судном: а) в зануреному стані б) після спливання; 1 – понтон; 2 – докові опори; 3 – права вежа; 4 – ліва вежа; 5 – судно.

Для гідравлічних розрахунків, встановлення необхідної кількості баластної води для затоплення плавучого доку до необхідної осадки та визначення необхідної продуктивності насосів і потужності енергетичного устаткування використовується “діаграма затоплення”

Діаграма затоплення представляє собою сукупність кривих, побудованих в певній системі координат (рис. 1.7) і будується наступним чином: по осі абсцис у певному масштабі відкладають водотоннажність, а по осі ординат - осадка дока. Крива 1 є вантажним розміром дока і показує залежність водотоннажності від осадки. Відкладаючи на осі абсцис від початку координат водотоннажність дока з повними запасами, але без судна, будуюмо з точки V_0 криву 2, що представляє собою сумарний вантажний розмір баластних відсіків дока. Сукупність кривих 1 і 2 є діаграмою затоплення дока з повними запасами, але без судна. Для більш зручної роботи з діаграмою проводять паралельно осі

абсцис дві прямі, перша з яких (8) відповідає верхній кромці понтонів, друга (5) - граничній глибині занурення дока.

На кривій 1 відзначають точку d , що відстоїть від лінії верхньої кромки понтонів на відстані, рівній висоті кільблокової доріжці. З цієї точки, як з початку координат, будують вантажний розмір докуемого судна (крива 3). На осі абсцис відкладають сумарну водотоннажність спливаючого доку з стоячим в ньому судном (цю точку назвемо V_1). З точки V_1 будують паралельно кривій 2 криву 4 – вантажний розмір баластних відсіків з судном.

Розглянемо властивості діаграми затоплення:

1. Якщо док, який має в початковий момент осадку T_0 , потрібно затопити до осадки T то кількість необхідного для цього баласту визначається як різниця абсцис, відповідних водотоннажності дока при осадці T і T_0 .

2. Якщо потрібно знати напір, при якому відбувається в кожен даний момент природне затоплення дока (самопливом), то з точки на осі абсцис, що відповідає водотоннажності дока в даний момент, потрібно відновити перпендикуляр до осі абсцис. Різниця ординат точок перетину перпендикуляра з кривими 1-2 або 3-4 відповідає шуканому напіру (в метрах вод. Ст.).

3. Площа, укладена між кривими 1 і 2 або між кривими 1-3 і 4 і обмежена відповідними штриховими лініями, пропорційна корисної праці насосів при відкачуванні баласту порожнього дока або дока з судном. Ці площі можуть бути знайдені за допомогою планіметрування.

Для ефективного функціонування та проведення докових операцій занурення та спливання плавучий док використовує наступні системи: баластна, вакуумна, зачисна, пневмеркаторна, та ін., що забезпечують роботу виконавчих механізмів і доку в цілому [70, 71].

Баластна система плавучого доку головним чином призначена для заповнення водою баластних відсіків при зануренні і для відкачування води з них при спливанні плавучого доку. Головними елементами баластної системи слугують спеціалізовані насоси, трубопроводи (приймальний, відливний і розводящий), різного роду запірні арматури.

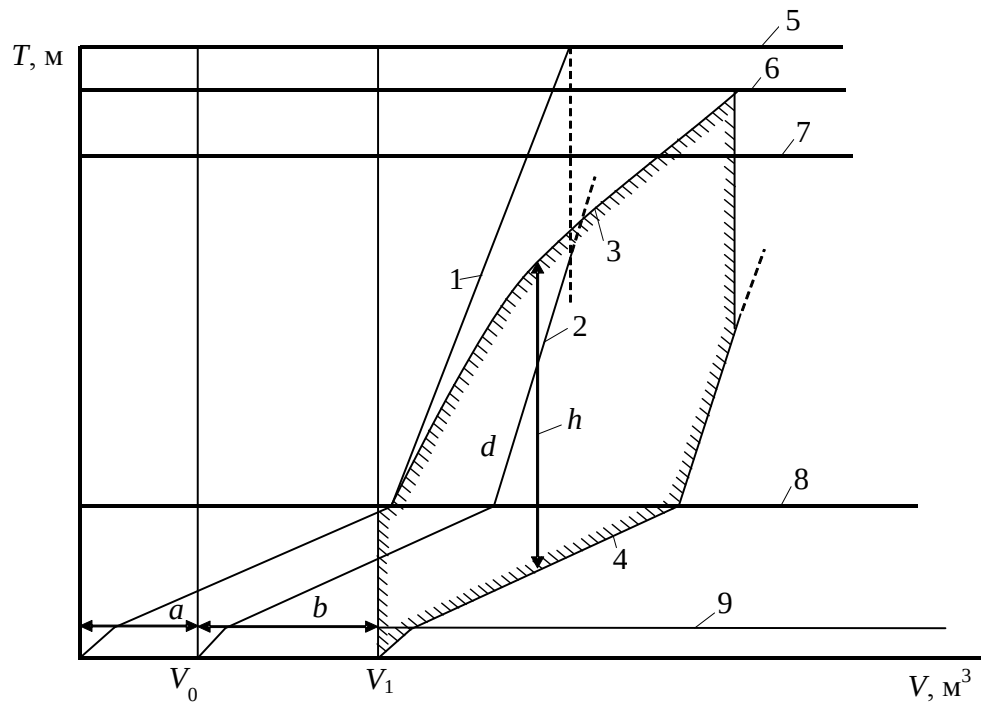


Рис. 1.7. Діаграма затоплення двовежевого доку:

1 – вантажний розмір доку; 2 – вантажний розмір баласту доку без судна; 3 – вантажний розмір судна; 4 – вантажний розмір баласту доку з піднятим судном; 5 – гранична лінія занурення; 6 – ватерлінія спливання судна; 7 – палуба безпеки; 8 – стапель-палуба; 9 – верхня кромка кілеватості; a – водотоннажність доку; b – водотоннажність судна; H – напір. Заштрихована повна робота насосної станції.

В баластній системі плавучого доку діаметр труб і арматури обертається з розрахунку занурення дока до лінії граничного занурення і подальшого спливання в заданий час. Причому діаметри трубопроводів в різних частинах баластної системи підбираються таким чином, щоб забезпечити рівномірне заповнення або відкачування баластної води. Труби і арматура баластної системи, як правило, сталеві, рідко-оцинковані (на малих доках). Приймальний і відливний трубопроводи, що йдуть за борт доку, зазвичай мають два запірних органи (два клінкети, або заслінка і клінкет), що виключає не бажане мимовільне надходження води в баластні танки доку і дозволяє почергово ремонтувати запірні пристрої. На прийомних отворах баластної системи встановлюють захисні решітки для запобігання пошкоджень насосів.

Приймальні патрубки в відсіках виводять в найнижче місце понтона, або в спеціальні колодязі, що забезпечує повне відкачування води з відсіку. При черговому докуванні понтона, колодязі відсіків очищають від мулу і замінюють кріплення трубопроводів.

На практиці застосовують дві схеми баластної системи [71 - 74]: лінійну і кільцеву. При лінійній схемі (рис. 1.8) кожен баластний насос розташовується по одному борту понтону плавучого доку і з'єднаний з розподільною коробкою, що розподіляє відростки з відповідними клінкетами до баластних відсіків. Самі розподільні коробки з'єднані між собою лінійними трубопроводами з клінкетами. Лінійна схема передбачає відкачування води насосом сусідньої розподільної коробки при аварійному виході із строю якого-небудь з насосів.

На сучасних доках великих розмірів зазвичай застосовують кільцеву схему (рис. 1.9) баластного трубопроводу. Кільцева схема складається з двох бортових магістралей, з'єднаних між собою як мінімум двома перемичками. Магістраль сполучує відростками з запірною арматурою баластні насоси та баластні відсіки. Така система дозволяє у разі виходу з строю частини насосів по кільцевій системі відкачати воду з будь-якого відсіку іншими насосами.

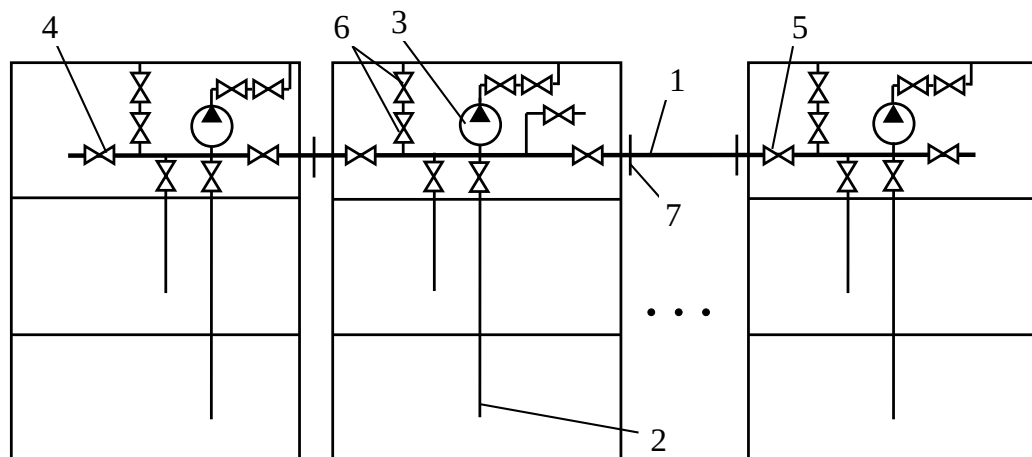


Рис. 1.8. Лінійна схема баластної системи:

- 1 – магістраль; 2 – відсічний відросток; 3 – насос; 4 – відсічний клінкет; 5 – відсічний клінкет на магістралі; 6 – подвійні затвори на зовнішніх отворах;
7 – роз'єднувальні фланці між понтонами.

Основною експлуатаційною вимогою до баластних систем різного типу, є забезпечення відкачування води усіма наявними баластними насосами або частиною їх в разі виходу зі строю одного, або декількох насосів. Можливість простого і швидкого включення або відключення окремих насосів і, як слідство, можливість відкачування при цьому води з будь-якого відсіку дока дозволяє здійснювати занурення або спливання дока при мінімальній стрілці прогину, що забезпечує безпечну постановку або вивід судна з дока. Діаметри трубопроводів системи повинні забезпечувати спливання дока з судном за 50-80 хв.

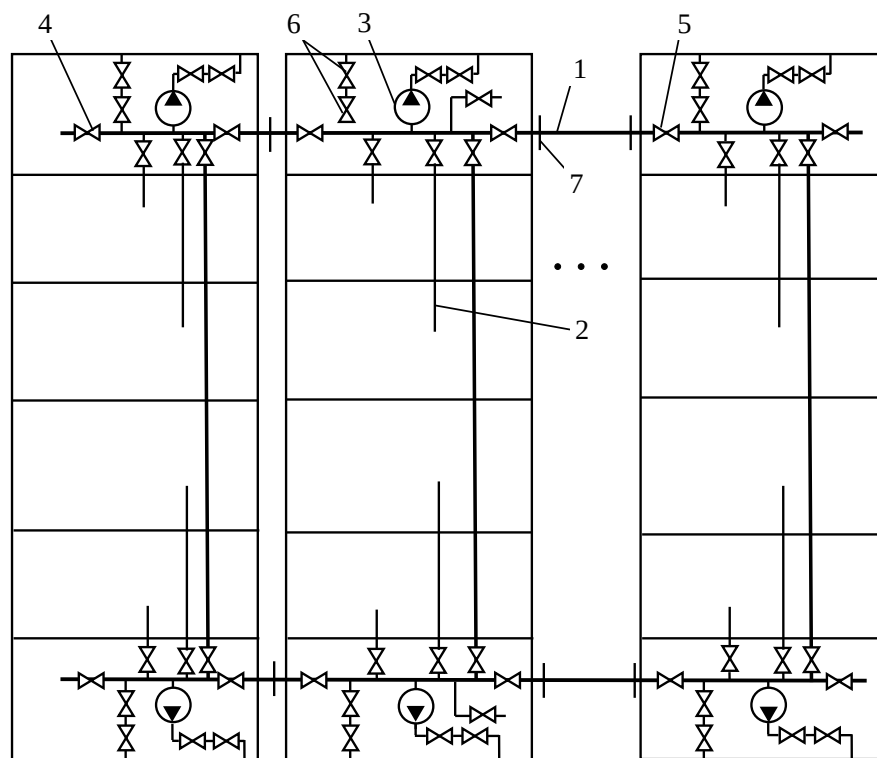


Рис. 1.9. Кільцева схема баластної системи:

1 – магістраль; 2 – відсічний відросток; 3 – насос; 4 – відсічний клінкет; 5 – відсічний клінкет на магістралі; 6 – подвійні запори на зовнішніх отворах; 7 – роз'єднувальні фланці між понтонами.

В незалежності від схеми трубопроводу, баластну систему плавучого дока обслуговують декілька насосів. Серед типів застосовуваних насосів виділяють відцентрові та пропелерні насоси. Продуктивність та кількість

насосів обираються з міркувань заданого часу відкачування баластної води та забезпечення швидкості руху води в баластному трубопроводі 2-2,5 м/сек. Також насоси бажано підбирати так, щоб при падінні напіру збільшувалася продуктивність («витрата») при сталих значеннях оборотів і споживаної потужності. У цих умовах відкачування води з баластних відсіків відбувається найшвидше.

При підйомі дока з судном з максимальної глибини корисна робота насосів в тона-метрах при відкачуванні баласту буде дорівнювати

$$Q = \gamma \int_{V_1}^{V_{\max}} [\varphi(V) - \psi(V)] \cdot dV = \gamma \cdot V \cdot h, \quad (1.1)$$

де γ – питома вага води; $\varphi(V)$ і $\psi(V)$ – функціональний вираз вантажних розмірів 1–3 (1 – вантажний розмір доку порожнем, 3 – вантажний розмір доку з судном) і 4 (4 – вантажний розмір баласту доку з судном) відповідно; V – кількість відкачуємого баласту; h – середній напір.

Тоді необхідна потужність насосної станції в кінських силах

$$N = \frac{\gamma V h}{75 \eta_E \eta_H t}, \quad (1.2)$$

де η_E – коефіцієнт корисної дії електродвигуна насоса; η_H – коефіцієнт корисної дії насосу; t – час відкачування в сек.

Окрім баластної системи в деяких випадках на плавучому доку застосовується зачисна система, котра використовується для більш повного осушення (зачистки) баластних відсіків дока від залишків води. Особливо така система зустрічається на металевих плавучих доках невідмінно від залізобетонних.

При розміщенні зачисної системи на плавучих доках прокладають труби меншого діаметру ніж у основній баластній системі, причому приймачі труб зачисної системи розташовуються на малій відстані від днища понтона.

Зачистка баластних відсіків може бути здійснена за рахунок гідравлічних ежекторів або невеликих насосів. У випадку з ежекторами, живлення їх робочою водою здійснюється від пожежної водяної системи плавучого доку.

Гідравлічний розрахунок зачисного трубопроводу аналогічний розрахунку баластного трубопроводу і залежить від часу закачування та відкачування води.

Інша, важлива система є вакуумна, оскільки наприкінці відкачки води з баластових відсіків дока в його трубопроводі з'являються нерівномірність потоку внаслідок повітряних бульбашок. Повітряні бульбашки порушують стабільну роботу баластних насосів, подовжується загальний час спливання плавучого дока. А тому для усунення нерівномірності потоку рідини застосовують вакуумну систему, що забезпечує видалення повітряних бульбашок в приймальному трубопроводі. Також вакуумна система служить для першочергової заливки насосу і підтримки в процесі роботи неперервності потоку в насосі. вакуумні насоси як правило розміщують в машинному відділенні плавучого доку.

Вакуумні насоси підбирають з таким розрахунком, щоб їх продуктивність становила 2-5% продуктивності баластних насосів даної розподільної коробки, а величина всмоктування таких насосів становить близько 7 м. вод. ст.

Всі баластні відсіки також мають повітряні труби або систему вентиляції, що слугує для виводу повітря при затопленні баластних відсіків і вводу повітря при відкачки води з відсіків. Повітряні труби хоча і не мають трубопровідної арматури по своїй довжині, але вимагають контролю свого вмісту під час виконання плавучим доком операції занурення чи спливання. Проектування системи вентиляції вимагає виконувати конструктивне розташування повітряних труб таким чином, щоб уникнути утворення водяних мішків і пробок. Крім того для того щоб вентиляційна система не затримувала процес відкачки чи заповнення баластних відсіків, необхідно визначене співвідношення перерізу баластного трубопроводу та повітряних труб.

В деяких конструктивних рішеннях через конкретні повітряні труби викидається вода при зануренні плавучого доку на певну глибину. Інколи на великих доках, що мають достатній надводний борт при граничному зануренні, верхні кінці повітряних труб заводяться всередину дока під топ-палубу. В таких випадках отвори повітряних труб забезпечені сітками і розташовані не нижче 0,8 м. над граничною лінією занурення.

Для визначення рівня (кількості) баласту у відсіках плавучого доку служить пневмеркаторна система, яка складається з мідних труб малого діаметра (5...8 мм), датчиків, які встановлені у баластних відсіках, і гідрометрів, розташованих у ЦПУ.

Під час докової операції необхідно систематично стежити за виходом повітря з повітряних труб, не допускати різкої зміни прогину доку, перевіряти по гідрометрах надходження води у баластні відсіки.

З перерахованих докових систем як, вже зазначалось раніше, головною для виконання докових операцій є саме баластна система плавучого доку. Оскільки заповнення та спорожнення баластних відсіків призводить до зміни осадки плавучого доку.

Для розглядання задач автоматизації докових операцій була сформована функціональна структура фрагменту баластної системи плавучого доку. Функціональна структура фрагменту баластної системи для i -ї розподільної коробки наведена на рис. 1.10, де $i = 1 \dots n$. Число розподільних коробок лінійної або кільцевої схем визначається в залежності від заданого часу занурення і спливання плавучого доку. Кожна розподільна коробка обслуговує певну кількість баластних танків та включає один прийомний трубопровід для технологічного процесу наповнення рідкого баласту та один відливний трубопровід з насосом для технологічного процесу спустошення рідкого баласту. Від розподільної коробки в кожний баластний танк понтону виведені трубопровідні відведення складових розгалуженого трубопроводу. Трубопровідна арматура зазвичай представлена у вигляді автоматизованих клінкетів, що розміщуються на прийомному і відливному трубопроводах та на

кожному відведені розгалуженого трубопроводу. Самі розподільні коробки з'єднані між собою трубопроводами за кільцевою або лінійною схемами з проміжними трубопроводами з клінкетами.

На рис. 1.10 прийнято наступні позначення: $PK(PT_i)$ – розподільна коробка з розгалуженим трубопроводом; $BT_{i,1}, BT_{i,2}, \dots, BT_{i,m}$ – баластні танки; H_1 – насос; $ПТН_1$ – прийомний трубопровід наповнення; $ВТС_1$ – відливний трубопровід спустошення; MT_1 – магістральний трубопровід; PT_i – розгалужений трубопровід; $PT_{i,1}, PT_{i,2}, \dots, PT_{i,m}$ – відведення (гілки) PT_i ; $КТН_1$ – клінкет $ПТН_1$; $КТС_1$ – клінкет $ВТС_1$; $ЗКТН_1$ – запірний клінкет $ПТН_1$; $КРТ_{1,1}, КРТ_{1,2}, \dots, КРТ_{1,m}$ – клінкети складових PT_1 ; $ПП, Д, Р, З$ – перетворювач потужності, привідний двигун, редуктор та затвор, що входять до складу кожного з клінкетів $КТН_1, КТС_1, ЗКТН_1, ЗКТС_1, КРТ_{i,1}, КРТ_{i,2}, \dots, КРТ_{i,m}$; $АД_1, ВК_1$ – асинхронний двигун та відцентрове колесо; $u_{КТН_1}, u_{КТС_1}, u_{ЗКТН_1}, u_{ЗКТС_1}, u_{КРТ_{i,1}}, u_{КРТ_{i,2}}, \dots, u_{КРТ_{i,m}}$ – сигнали керування $КТН_1, КТС_1, ЗКТН_1, ЗКТС_1, КРТ_{i,1}, КРТ_{i,2}, \dots, КРТ_{i,m}$; $u_{Д_1}, u_{Д_2}, u_{Д_3}, u_{Д_4}, u_{Д_{i,1}}, u_{Д_{i,2}}, \dots, u_{Д_{i,m}}$ – значення напруги керування $Д_1, Д_2, Д_3, Д_4, Д_{i,1}, Д_{i,2}, \dots, Д_{i,m}$; $\alpha_{Д_1}, \alpha_{Д_2}, \alpha_{Д_3}, \alpha_{Д_4}, \alpha_{Д_{i,1}}, \alpha_{Д_{i,2}}, \dots, \alpha_{Д_{i,m}}$ – значення кутів повороту валів $Д_1, Д_2, Д_3, Д_4, Д_{i,1}, Д_{i,2}, \dots, Д_{i,m}$; $\alpha_{Р_1}, \alpha_{Р_2}, \alpha_{Р_3}, \alpha_{Р_4}, \alpha_{Р_{i,1}}, \alpha_{Р_{i,2}}, \dots, \alpha_{Р_{i,m}}$ – значення кутів повороту вихідних валів $Р_1, Р_2, Р_3, Р_4, Р_{i,1}, Р_{i,2}, \dots, Р_{i,m}$; $S_{ЗТН_1}, S_{ЗТС_1}, S_{ЗТН_2}, S_{ЗТС_2}, S_{ЗРТ_{i,1}}, S_{ЗРТ_{i,2}}, \dots, S_{ЗРТ_{i,m}}$ – площини задіяних поверхонь затворів $З_1, З_2, З_3, З_4, З_{i,1}, З_{i,2}, \dots, З_{i,m}$; $M_{Д_1}, M_{Д_2}, M_{Д_3}, M_{Д_4}, M_{Д_{i,1}}, M_{Д_{i,2}}, \dots, M_{Д_{i,m}}$ – значення моментів навантаження $Д_1, Д_2, Д_3, Д_4, Д_{1,1}, Д_{1,2}, \dots, Д_{1,m}$; $M_{З_1}, M_{З_2}, M_{З_3}, M_{З_4}, M_{З_{i,1}}, M_{З_{i,2}}, \dots, M_{З_{i,m}}$ – значення моментів навантаження від $З_1, З_2, З_3, З_4, З_{1,1}, З_{1,2}, \dots, З_{1,m}$; $u_{АД_1}, f_{АД_1}$ – значення напруги та частоти керування H_1 , відповідно; $\omega_{АД_1}$ – значення кутової швидкості обертання $АД_1$; $M_{АД_1}$ – значення моменту навантаження $АД_1$; Q_{H_1} – витрата баластної рідини при наповненні на вході $PK(PT_i)$; Q_{C_1} – витрата баластної рідини при спустошенні на виході розподільної коробки; Q_{HMT_1} – витрата баластної рідини при наповненні на вході MT_1 ; Q_{CMT_1} – витрата баластної рідини при спустошенні на виході MT_1 ; Q_{BK_1} – витрата баластної рідини при спустошенні на виході BK_1 ;

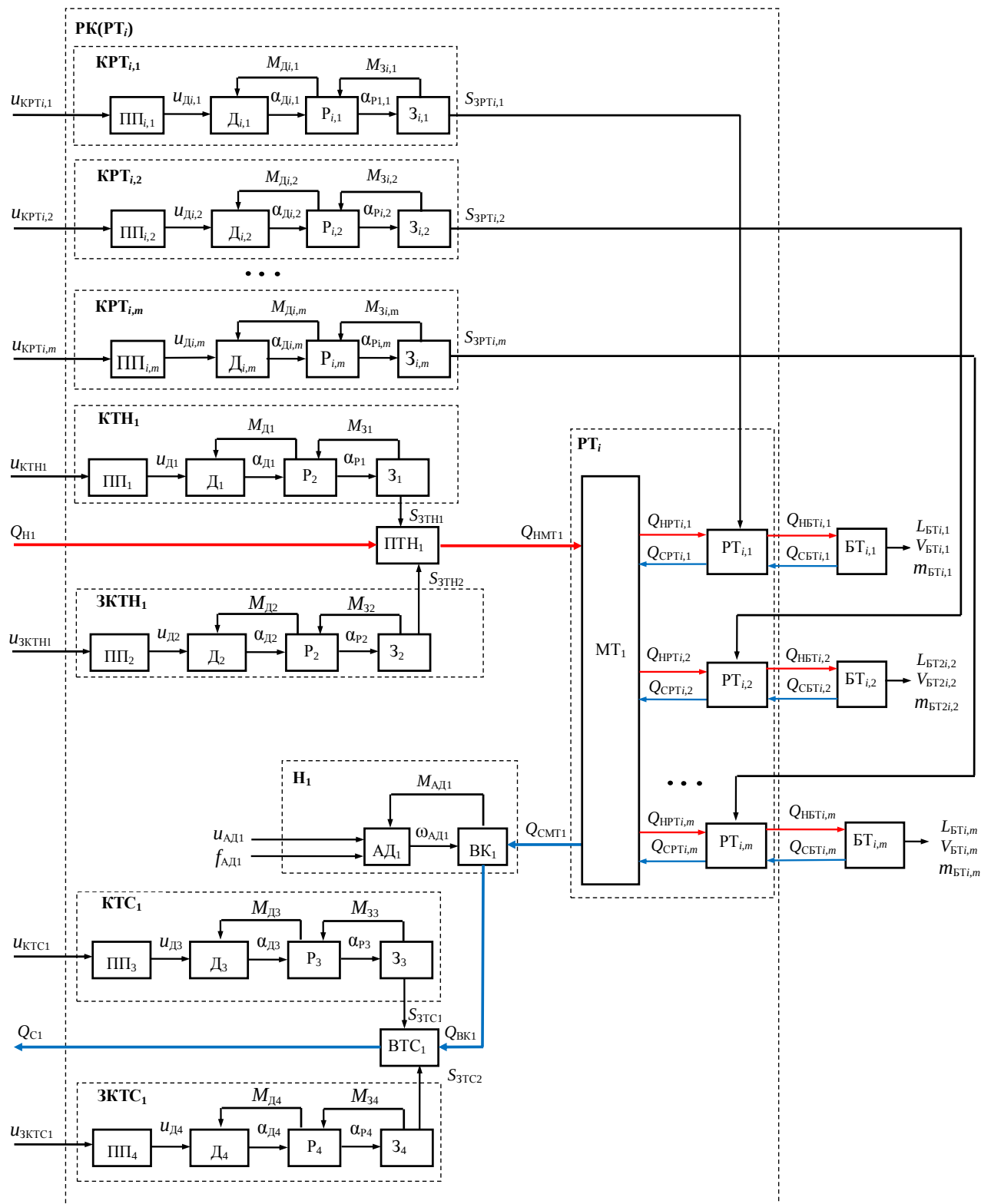


Рис. 1.10. Функціональна структура фрагменту баластної системи в рамках i -ї розподільної коробки (червона лінія – напрямок руху рідини при наповненні баластних танків, синя лінія – напрямок руху рідини при спустошенні баластних танків)

$Q_{НРТi,1}, Q_{НРТi,2}, \dots, Q_{НРТi,m}$ – витрата баластної рідини при наповненні на вході $РТ_{i,1}, РТ_{i,2}, \dots, РТ_{i,m}$; $Q_{СРТi,1}, Q_{СРТi,2}, \dots, Q_{СРТi,m}$ – витрата баластної рідини при спустошенні на виході $РТ_{i,1}, РТ_{i,2}, \dots, РТ_{i,m}$; $Q_{НБТi,1}, Q_{НБТi,2}, \dots, Q_{НБТi,m}$ – витрата баластної рідини при наповненні на вході $БТ_{i,1}, БТ_{i,2}, \dots, БТ_{i,m}$; $Q_{СБТi,1}, Q_{СБТi,2}, \dots, Q_{СБТi,m}$ – витрата баластної рідини при спустошенні на виході $БТ_{i,1}, БТ_{i,2}, \dots, БТ_{i,m}$; $L_{БТ}, V_{БТ}, m_{БТ}$ – рівень, об'єм і маса баластної рідини кожного $БТ_{i,1}, БТ_{i,2}, \dots, БТ_{i,m}$.

Наповнення $БТ_{i,1}, БТ_{i,2}, \dots, БТ_{i,m}$ відбувається природнім шляхом (внаслідок дії сили тяжіння на ПД та відкритих забортних отворів для прийому рідини), спустошення $БТ_{i,1}, БТ_{i,2}, \dots, БТ_{i,m}$ здійснюється за допомогою відцентрового насоса $Н_1$ (видалення рідини за межі ПД через отвори для відливу). Обидва технологічні процеси наповнення та спустошення виконуються окремо і слугують головним чином для операцій занурення і спливання плавучого доку, а також для стабілізації кутів крену і диференту.

В незалежності від наповнення чи спустошення баластних танків плавучого доку, регулювання витрат виконується за допомогою дроселювання клінкетами $КРТ_i$. Клінкети $КРТ_i$ реалізують плавне автоматичне керування витратою баластної води $Q_{НБТi,1}, Q_{НБТi,2}, \dots, Q_{НБТi,m}, Q_{СБТi,1}, Q_{СБТi,2}, \dots, Q_{СБТi,m}$ в залежності від сигналу керування $u_{КРТi}$ (0...10 В). Таким чином, для наповнення $БТ_{i,1}, БТ_{i,2}, \dots, БТ_{i,m}$ на вхід $КТН_1$ подається додатний сигнал $u_{КТН1}$ (10 В) для відкритого положення $З_2$, на вхід $КТС_1$ – нульовий сигнал $u_{КТС1}$ (0 В) для закритого положення $З_1$, а для регулювання витратами наповнення на вхід $КРТ_i$ подається $u_{КРТi}$ (від 0 до 10 В). В свою чергу, для спустошення на вхід $КТС_i$ подається додатний сигнал $u_{КТН1}$ (10 В) для відкритого положення $З_1$, на вхід $КТН1$ – нульовий сигнал $u_{КТС1}$ (0 В) для закритого положення $З_2$, вмикається насос $Н_1$ на номінальний режим ($u_{АД1} = u_n, f_{АД1} = f_n$), а для регулювання витратами на вхід кожного $КРТ_i$ подається $u_{КРТi}$ (від 0 до 10 В).

Узагальнена функціональна структура баластної системи плавучого доку представлена на рис. 1.11.

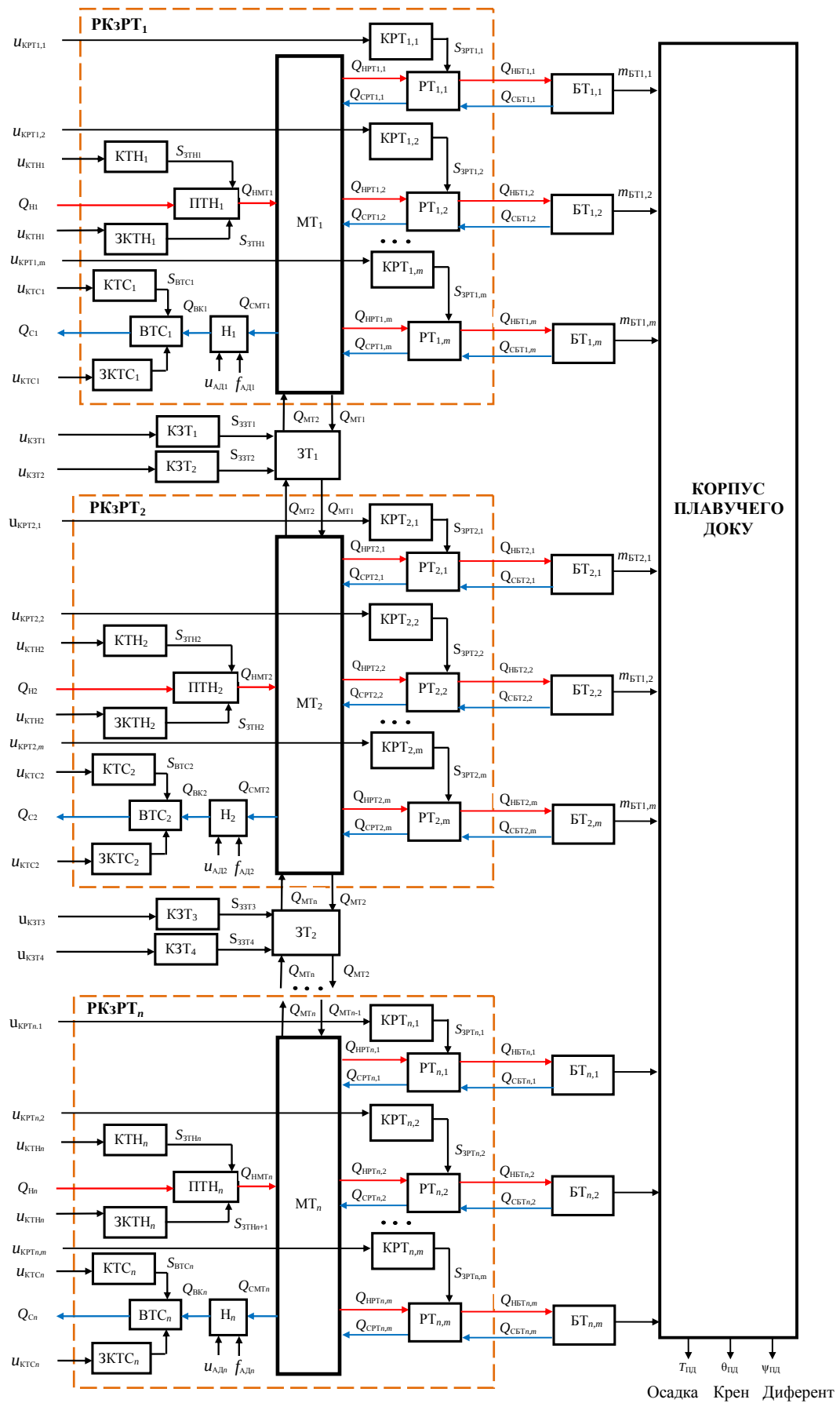


Рис. 1.11. Узагальнена функціональна структура баластної системи
плавучого доку як об'єкта керування

Узагальнена функціональна структура баластної системи плавучого доку може укомплектовуватися додатковими проміжними трубами з клінкетами між розподільними коробками в залежності від схеми баластного трубопроводу (кільцевої або лінійної). Дана структура складається з розподільних коробок $РКЗРТ_1, РКЗРТ_2, РКЗРТ_n$ з'єднаних між собою трубопроводами (приклад однієї розподільної коробки представлений на рис. 1.10.).

В даному випадку для з'єднання розподільних коробок застосовуються загальні трубопроводи $ЗТ1$ і $ЗТ2$ з запірними клінкетами $КЗТ_1, КЗТ_2, КЗТ_3, КЗТ_4$ для регулювання витрат $Q_{MT1}, Q_{MT2}, Q_{MTn}, \dots, Q_{MTn-1}$. Причому клінкети $КЗТ_1, КЗТ_2, КЗТ_3, КЗТ_4$ керуються сигналами $u_{КЗТ1}, u_{КЗТ2}, u_{КЗТ3}, u_{КЗТ4}$ (від 0 до 10 В). Розподільні коробки працюють окремо одна від одної, але у випадку недієздатності однієї з розподільних коробок її функції через суміжний трубопровід може виконувати інша розподільна коробка.

1.3. Аналіз сучасних комп'ютерних систем параметричного контролю та керованої стабілізації плавучих доків

Для контролю і керування плавучого доку, під час виконання операцій занурення чи спливання, використовуються сучасні СКС, які мають ієрархічну структуру з вертикальною формою керування елементами, що входять до них. Фактично такі системи можна представити як піраміди, кожний рівень яких підпорядковано більш високому рівню. Верхній рівень визначає завдання (план) для нижнього рівня, у свою чергу, залежно від стану нижнього рівня план може коригуватися [5, 21, 23, 24, 26, 75, 76].

Загальна функціональна схема СКС керованої SCADA-пакетом, що застосовується для різного роду технологічних комплексів, в тому числі і для різних плавучих об'єктів, може бути представлена в наступному вигляді на рис. 1.12.

Дана комп'ютерна SCADA-система має трирівневу ієрархічну структуру, що складається з нижнього, середнього та верхнього рівнів.

Нижній рівень містить пристрої, відповідні даному технологічному процесу спеціалізовані датчики та виконавчі механізми (двигуни). Завдання датчиків формувати і передавати інформацію про стан технологічного процесу. Завдання виконавчих механізмів керувати параметрами технологічного процесу. Для різних технологічних процесів види вимірювання та управління нижнього рівня можуть істотно відрізнятися. Вони можуть бути цифровими або аналоговими, доступ може бути динамічним (короткі проміжки часу) або статичним з певним циклом (певні проміжки часу).

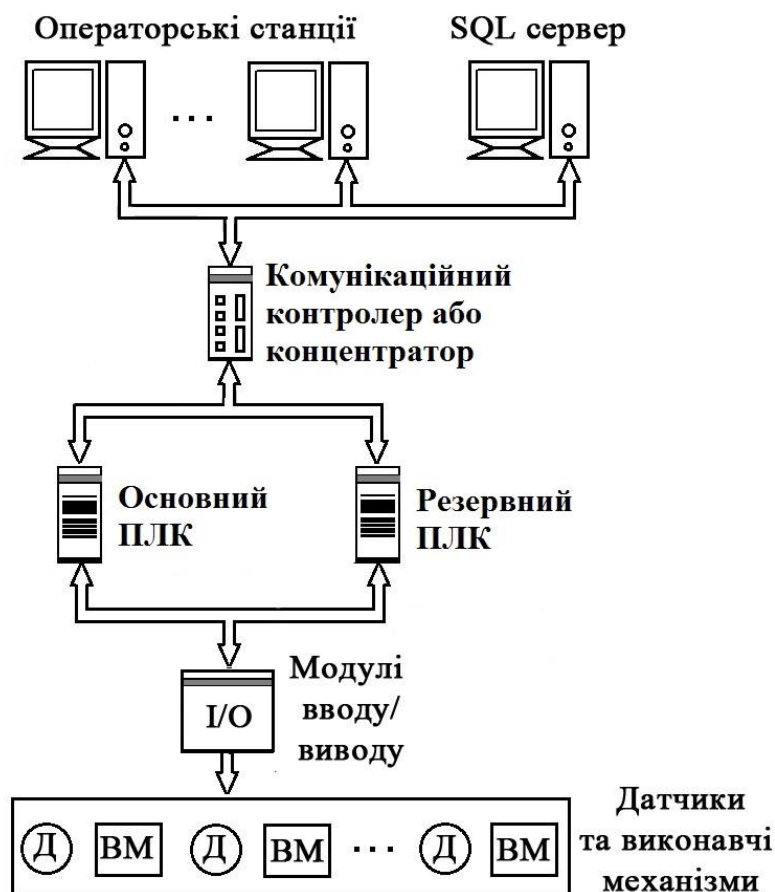


Рис. 1.12. Мережева взаємодія SCADA-системи

Середній рівень складається з мікропроцесорних програмно-апаратних засобів типу ПЛК, карт та модулів вводу/виводу, концентраторів. Даний рівень приймає дані з датчиків і видає команди управління на нижній рівень виконавчим механізмам. Управління в ПЛК здійснюється по заздалегідь

розробленому алгоритму, який виконується циклічно. Загальним для даного рівня є: робота в реальному масштабі часу з допустимим часом реакції, часта реконфігурація мікропроцесорних пристроїв, можливість роботи з великою кількістю датчиків та виконавчих механізмів, робота в умовах промислових перешкод з забезпеченням підвищеної достовірності інформації, що передається на верхній рівень. Для узгодження роботи ПЛК з верхнім рівнем також може встановлюватися додатково комунікаційний контролер чи концентратор.

Верхній рівень - це рівень візуалізації, диспетчеризації (моніторингу) і збору даних. На цьому рівні задіяна людина, тобто оператор (диспетчер). Верхній рівень забезпечує збір, а також архівацію найважливіших даних від ПЛК, карт та модулів вводу/виводу, їх візуалізацію робочих параметрів технологічного процесу, що відбувається.

Слід зазначити, що комп'ютерна система плавучого доку повинна бути надійна і обов'язково мати автоматичне переключення на резервовані компоненти і мережі загальної системи ("гарячий резерв"). Резервованими можуть бути окремі елементи системи, їх групи і вся система в цілому. Поелементне резервування дозволяє підвищити відмовостійкість в першу чергу найбільш важливих або найменш надійних елементів, вибрати різну кратність резервування для різних елементів системи і тим самим досягти максимального співвідношення надійності до ціни. В даному випадку на рис. 1.12 для підвищення надійності системи при управлінні критичними процесами передбачено апаратне резервування ПЛК. Один ПЛК знаходиться в активному стані, а інший, будучи резервом, - в режимі "гарячого резерву". У разі відмови активного ПЛК, система автоматично перемикається на резервованій ПЛК. В інших схемах резервування також можуть бути використані концентратори, комутатори та інше обладнання.

У відповідності з перерахованими завданнями на різних рівнях використовуються відповідні мережеві технології. Для верхнього рівня найбільш широко застосовується Ethernet і сімейство протоколів TCP/IP. На

середньому і нижньому рівнях використовуються промислові мережі (Fieldbus), до числа яких відносяться Profibus, CANbus, Modbus і багато інших [61].

Принципи взаємодії елементів комп'ютерної системи в мережі описуються семирівневою моделлю взаємодії відкритих систем (OSI, або модель ISO/OSI), розробленої Міжнародною організацією по стандартам (International Standards Organization, ISO). Дана модель чітко визначає різні рівні взаємодії системи, дає їм стандартні імена і вказує, яку роботу повинен виконувати кожен рівень. При цьому рівні підтримують інтерфейси з вище-і нижчого рівня. Фізична взаємодія між рівнями комп'ютерної системи може здійснюватися за допомогою інформаційних мереж різного типу, наприклад Ethernet, RS-485 або комутованих ліній зв'язку.

В якості прикладу комп'ютерної системи збирання та опрацювання вимірювальних даних для дистанційного проведення докових операцій, щодо підйому чи спуску судна, можна навести представлену у роботах [76] систему автоматизованого дистанційного контролю (АДК). Ця система складається з комплексу апаратних та програмних засобів, призначених для автоматизованого виміру рівня рідини в відсіках, та контролю посадки плавучого доку. Вимірювання здійснюється за допомогою певних датчиків, інформація з яких обробляється на персональному комп'ютері і виводиться на екран в зручному для оператора виді.

При розробці АДК вирішені дві основні задачі – побудова структури взаємодії програмно-апаратних засобів та розроблення програмного забезпечення системи. Структура системи АДК представлена на рис. 1.13.

Програмно апаратні засоби здійснюють реєстрацію, передачу інформації і включають в себе: складні датчики рівня води в баластних відсіках та датчики осадки, прогину та деформації корпусу, що основані на методі імпульсної рефлектометрії; базовий блок, що служить для перетворення, комутації сигналів датчиків і передачі їх на комп'ютер; комп'ютер оператора з вбудованою картою розширення L-264 для вводу-виводу і обробки аналогово-цифрової інформації.

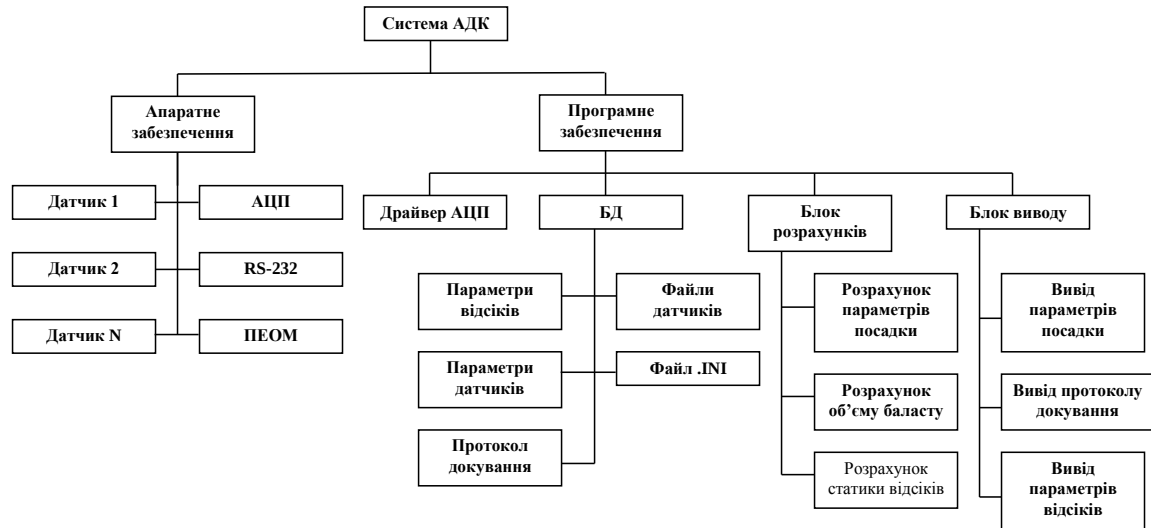


Рис. 1.13. Структура системи АДК

Програмне забезпечення системи відповідає за збір, накопичення, обробку, відображення результатів розрахунку і включає в себе: драйвер і програму зчитування датчиків, забезпечуючи первинну обробку сигналів і перетворення значень рівнів у метри; базу даних (БД), складеної з таблиць параметрів відсіків доку і датчиків, протоколу докування і файлу ініціалізації з окремими характеристиками плавучого доку та системи; блок розрахунку параметрів посадки по даним датчиків осадки, статичних і динамічних параметрів відсіків, допоміжні розрахунки; блок виводу, здійснюючий візуалізацію результатів розрахунків в зручному для сприйняття виді.

В системі використовуються алгоритми пріоритетної обробки сигналів датчиків, що дозволяє зменшити час вимірювальних всіх контролюючих параметрів. Особливо це важливо в умовах хвилювання, при спуску/підйомі судна плавучим доком. Паралельне опитування датчиків дозволяє оперативно вимірювати багато параметрів. При цьому не використовуються додаткові апаратно програмні засоби і додаткові обчислювальні пристрої.

Програмне забезпечення системи було розроблене в середовищі візуального програмування DELPHI на мові програмування Object Pascal. Система апробована на експлуатаційних плавучих доках. Причому система передбачає для подальшого аналізу ведення протоколу в хронологічній

послідовності, та включає звукову і візуальну сигналізацію для попередження критичних ситуацій.

Для побудови комп'ютерної системи вимірювання параметрів та керування операціями плавучого доку, щодо підняття чи спуску судна також можуть застосовуватися сучасні системи контролю і керування на базі ПЛК. Комп'ютерна система керування доковими операціями підняття чи спуску судна з застосуванням ПЛК зустрічаються в різних роботах, так вітчизняною компанією "AMICO" розроблена автоматизована система з застосуванням ПЛК Quantum від Schneider Electric, компанією "NEVSEA" із США розроблена система з застосуванням ПЛК фірми OPTO 22. В якості прикладу систем такого типу можна розглянути розроблену російською компанією "IA SYSTEM" ПЛК з застосуванням ПЛК Simatic S7-300 фірми SIMENS, що дозволяє автоматизувати вимірювання всіх необхідних параметрів плавучого доку і здійснювати автоматичне та дистанційне керування підняття чи спуску судна [5]. Комп'ютерна система представляє собою комплексну систему керування баластної системи плавучого доку, і реалізована як апаратно-програмний комплекс з розподіленими засобами, структурна схема цієї системи представлена на рис. 1.14.

Панель оператора розміщує два промислових комп'ютери призначених для централізованого відображення всіх параметрів стану плавучого доку (рівень води в баластних відсіках, осадку, кути крену і диференту, величини прогину та ін.), виконавчих механізмів (заслінки, клінкети і баластні насоси) та ручний і автоматичний режими керування ними.

У ручному режимі оператор на основі наданої інформації самостійно приймає рішення і самостійно виконує операцію спуску чи підйому судна плавучим доком. Проте система автоматизує деякі його дії і захищає від можливих помилок.

В автоматичному режимі система сама виконує керування процесом занурення та спливання плавучого доку з відповідним судном, без участі оператора, по заданому алгоритму, причому такий режим при виконанні

докових операцій забезпечує відповідне точне положення плавучого доку з мінімальними енерговитратами і втратами часу.

В комп'ютерній системі також передбачено контроль і керування доковими операціями безпосередньо в ручному режимі з місцевих постів обладнаними панельними комп'ютерами, що дає змогу підвищити надійність запропонованої системи в цілому.

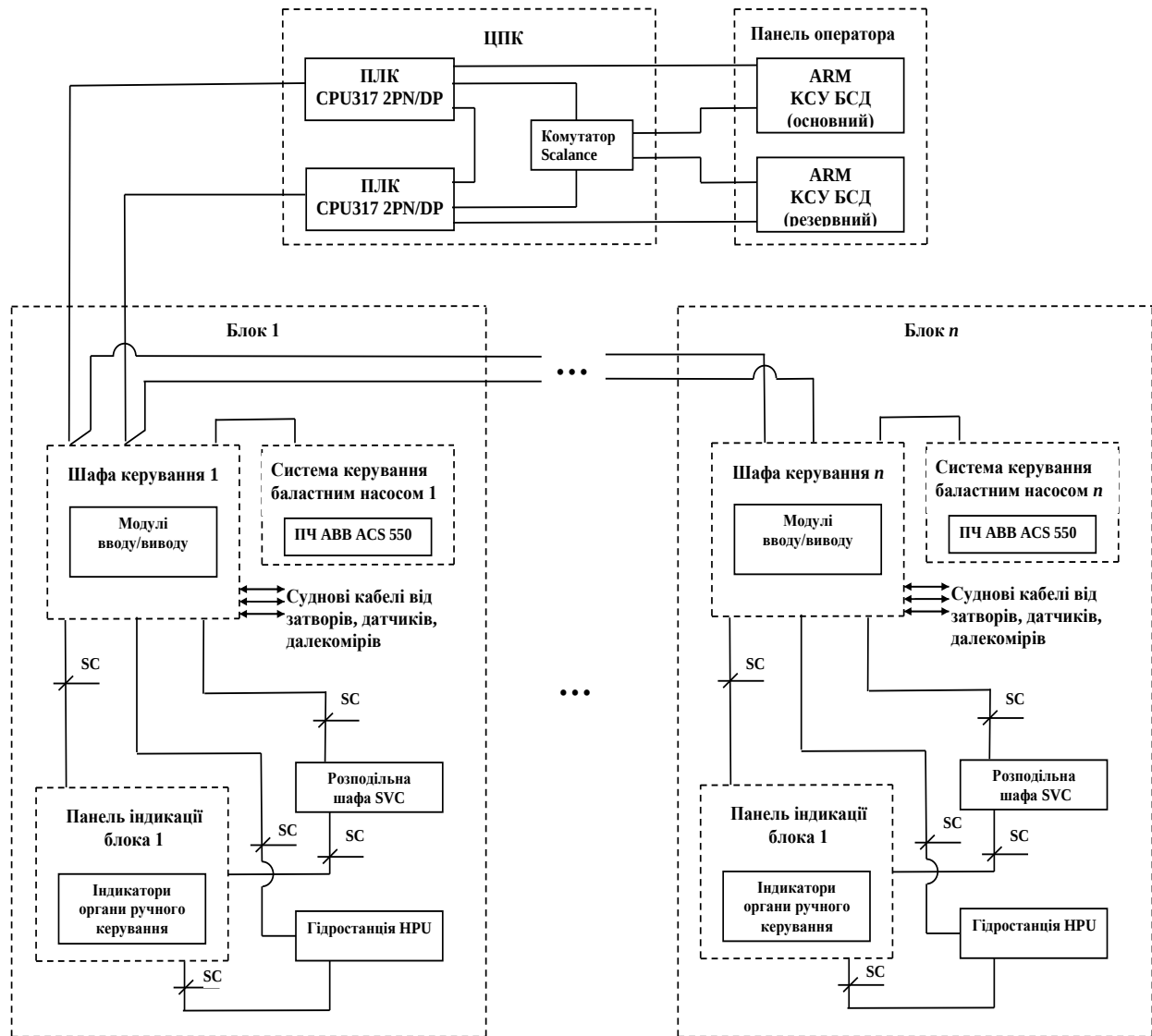


Рис. 1.14. Структурна схема системи керування і контролю баластної системи плавучого доку

В незалежності від режиму керування у разі можливого досягання основними параметрами плавучого доку граничних допустимих або аварійних

значень (крену і диференту, прогину, глибини занурення плавучого доку) видається звукова і світлова (на мнемосхемі) сигналізація.

В центральному пульті керування ЦПК розташовуються два ПЛК Simatic S7-300 фірми SIMENS та комутатор серії scalance. ПЛК Simatic S7-300 призначені для побудови систем автоматизації технологічними процесами. Головною перевагою ПЛК Simatic S7-300 порівняно з іншими, це наявність цілого ряду морських сертифікатів, що дозволяє застосовувати ПЛК на плавучих спорудах.

Кожний ПЛК в даній системі призначений для збору інформації, опрацювання і пересилання її до промислового комп'ютера та безпосереднього керування виконавчими механізмами. Причому ПЛК зв'язують промисловий комп'ютер з відповідними блоками керування баластних відсіків. Один такий блок керування містить шафу керування, в якій знаходяться модулі вводу/виводу, система керування баластним насосом у вигляді перетворювача частоти (ПЧ), панель індикації блоку (індикатори та органи ручного керування), гідростанцію, запірну арматуру, розподільну шафу SVC, та ряд перемикачів SC. Крім того до шафи керування можуть приєднуватися в залежності від конфігурації датчики постановки судна на кільблоки, рівня рідини, крену, диференту, вимірювання відстані та інші.

Для операцій занурення та спливання плавучого доку застосовують зазначені в блоках виконавчі механізми (баластні насоси та запірну арматуру). Баластні насоси з відповідними електродвигунами керуються ПЧ і служать для регулювання рівня рідини в баластних відсіках (ємностях), а для керування напрямком закачування і відкачування рідини використовується запірна арматура, що керується гідростанцією через розподільну шафу SVC.

Створена система отримала підвищену надійність завдяки “гарячому” резервуванню основних модулів системи, (промислового комп'ютера та ПЛК Simatic S7-300).

Розглянуті комп'ютерні системи управління та моніторингу потребують суттєвого розширення функцій за рахунок бездротових технологій та Інтернету,

що особливо важливо для плавучих конструкцій, і плавучий док не є виключенням. Причому майже всі провідні компанії-розробники систем автоматизації переходять на концепцію Industry 4.0. та активно розвивають продукцію в галузі промислового Інтернету речей [2, 15, 30, 34, 77–79].

Безпроводні технології все більш і більш активно застосовуються в системах вимірювання та керування на різних технічних об'єктах, таких як індустриальний контроль, структурний медичний контроль, доглядання сільського господарства, довілля та освіта. Бездротові датчики об'єднані в системи виявлення пошкодження різних об'єктів, і плавучий док не є виключенням.

Залежно від використання технології для передачі інформації в бездротових мережах можуть використовуватися інфрачервоне випромінювання, радіохвилі, оптичне або лазерне випромінювання. Проте активного розповсюдження набули саме бездротові мережі, що побудовані з застосуванням радіохвиль, такі мережі можна розділити на локальні та мобільні або глобальні. Існує безліч бездротових локальних мереж з застосуванням технологій, відомих користувачам по їхніх маркетингових назвах, таким як Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth та інші [80]. Кожна технологія має певні характеристики, які визначають її область застосування. На перевагу бездротовим локальним мережам все частіше впроваджуються мобільні мережі (GSM/GPRS, 3G, 4G), що активно розвиваються.

Так в представленій в роботі [81] в комп'ютерній системі плавучого доку для передавання і приймання оброблювальної інформації з датчиків був використаний високо інтегрований однокристальний ISM радіо приймач/передавач Si4432, що має низьку чутливість (-121 дБм) разом з потужністю +20 дБм. Програмне забезпечення Si4432 гарантує розширений діапазон і поліпшену роботу зв'язку. Причому наявна різноманітність антен і підтримка частоти можуть далі розширити діапазон і збільшити роботу.

Кожний Si4432 пов'язаний з датчиком, що дозволяє передавати вимірювану інформацію в приймач через бездротову мережу. Приймач відповідальний за те,

щоб отримати результати з всіх датчиків і транспортувати дані до контролюючого сервера через лінію зв'язку RS485.

В іншій роботі [30] в комп'ютерній системі плавучого доку розраховані ПЛК параметри передають промисловим 3G модулем I-8212W-3GWA неперервно в режимі реального часу до спеціалізованого веб-серверу TRACE MODE Data Center, що знаходиться на окремому комп'ютері берегового посту контролю плавучого доку. Веб-сервер, в свою чергу, отримує дані параметрів з плавучого доку за допомогою бездротового зв'язку і надає до них веб-доступ на веб-сторінці. Причому за допомогою веб-сервера можна отримати доступ до даних з будь-якого персонального комп'ютера судноремонтного підприємства, що працює під управлінням будь-якої операційної системи (Windows, Linux, Mac OS і т.д.), а при бажанні і з будь-якого персонального комп'ютера в світі, підключеного до мережі Internet.

1.4. Висновки за розділом та постановка завдань дослідження

Проведення докових операцій плавучим доком є складним технічним завданням, оскільки вони потребують контролю в режимі реального часу всіх робочих параметрів з високою точністю та своєчасним керуванням виконавчими механізмами. Будь-які “людські” помилки можуть призвести до збільшення часу підняття або спуску судна і, відповідно, до зменшення економічної ефективності використання плавучого доку, а також, можливо, і до аварійних ситуацій як для доку, так і для самого судна.

Аналіз літературних джерел показав, що для автоматизації плавучого доку, застосовуються комп'ютерні системи керування, що мають ієрархічну розгалужену структуру і працюють в режимі реального часу. Визначено, що дослідження в даній сфері незначні, а відомості стосовно розробки функціональних структур, алгоритмів функціонування та схемотехнічних рішень реалізації спеціалізованих ієрархічних розгалужених систем

автоматичного керування плавучим доком носять у вітчизняній науково-технічній літературі обмежений характер.

Проаналізовані особливості побудови СКС на основі пристроїв збору вимірювальних даних (ПЗВД), та програмованих логічних контролерів (ПЛК). Дані комп'ютерні системи характеризується певними вимогами: режимом реального часу, відповідною точністю вимірювання та керування, надійністю, наявністю морського сертифікування, та ін.

На базі аналізу низького рівня автоматизації плавучих доків обґрунтовано доцільність розробки методів і засобів підвищення ефективності докових операцій шляхом розвитку моделей, програмного забезпечення, керуючих пристроїв, засобів діагностики і розгалужених цифрових структур СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучих доків. Загальна структура проектування СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку представлена на рис. 1.15.

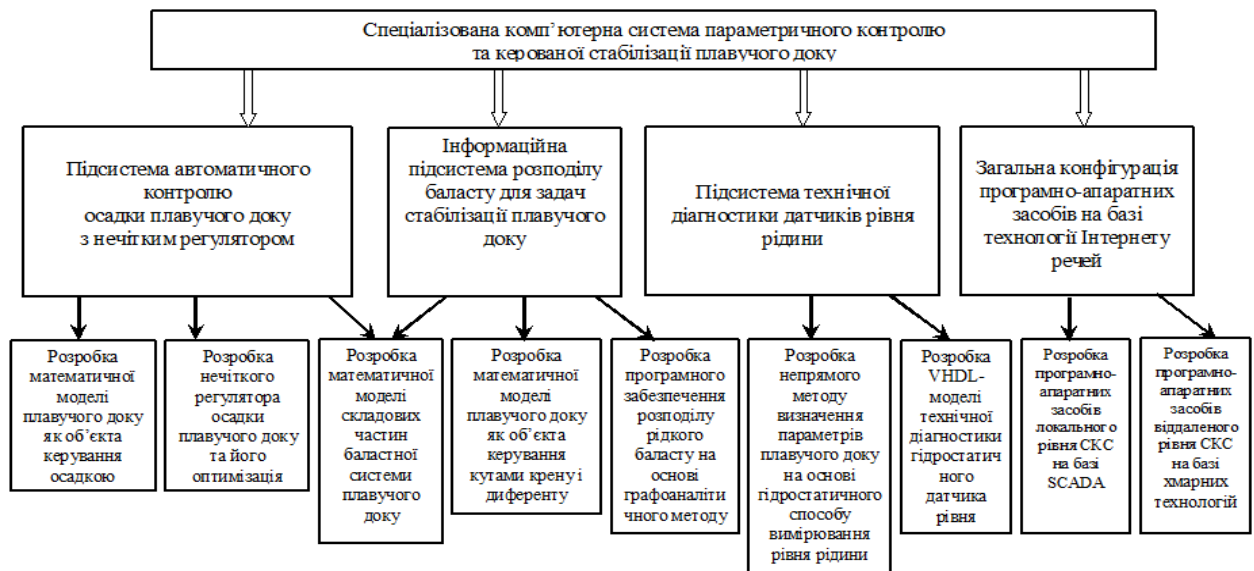


Рис. 1.15. Основні етапи синтезу СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку

Серед першочергових завдань дослідження слід виділити наступні:

- 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.

РОЗДІЛ 2

СЕНСОРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СКС ПАРАМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА КЕРОВАНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПЛАВУЧОГО ДОКУ З ТЕХНІЧНОЮ ДІАГНОСТИКОЮ

Питання вимірювання фізичних величин датчиками в тій чи іншій мірі розглянуто в низці наукових праць [7, 25, 71, 130 - 133]. Причому системи контролю параметрів плавучих доків розробляють з використанням датчиків, що ґрунтуються на різних принципах дії. Зокрема, у роботах [130, 133] для визначення параметрів рівня рідини плавучого доку застосовують датчики, що використовують метод імпульсної рефлектметрії. Недоліком подібного рішення є значні масо-габаритні показники. Крім того, для вимірювання рівня рідини в баластних танках знайшли своє застосування датчики рівня радарного типу [7]. Використання таких датчиків дозволяє проводити вимірювання рівня з високою точністю (до 1 мм). Проте даний спосіб має високу вартість обслуговування систем автоматичного контролю рівня. Також застосовують датчики мембранного типу [131, 133], в яких прогин мембран під тиском стовпа води перетворюється в опір електричного ланцюга. Такі датчики мають недоліки, пов'язані з чутливістю до низьких температур, що може спричинити порушення точності вимірювання.

Використання нових типів датчиків та сучасних принципів побудови розподілених СКС контролю дозволить вирішити низку проблем і створити універсальну високоефективну комп'ютерну систему контролю робочих параметрів плавучого доку з наявною технічною діагностикою датчиків.

2.1. Схематичне розташування датчиків вимірювання експлуатаційних параметрів плавучого доку

Під час виконання плавучим доком операцій занурення та спливання необхідно контролювати рівень, об'єм рідини в баластному комплексі, а також

параметри посадки і міцності плавучого доку. Відповідно корпус і баластний комплекс плавучого доку оснащуються сенсорним забезпеченням.

Для контролю параметрів посадки (осадки, крену, диференту) та стрілки прогину/перегину корпус плавучого доку обладнують гідростатичними датчиками рівня та здійснюють одночасно неперервну реєстрацію їх електричних сигналів, при цьому датчики встановлюють уздовж бортів, а поточні значення експлуатаційних параметрів розраховують на основі реєстрованих електричних сигналів.

Схематичне розташування датчиків СКС для корпусу плавучого доку наведено на рис. 2.1, де позначено: ДФРР – датчик фіксованого рівня рідини; ДЗРР – датчик забортного рівня рідини; 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}; причому $S_{12} = S_{34} = S_{56}$; $S_{13} = S_{35} = S_{24} = S_{46}$; $S_{15} = S_{26}$.

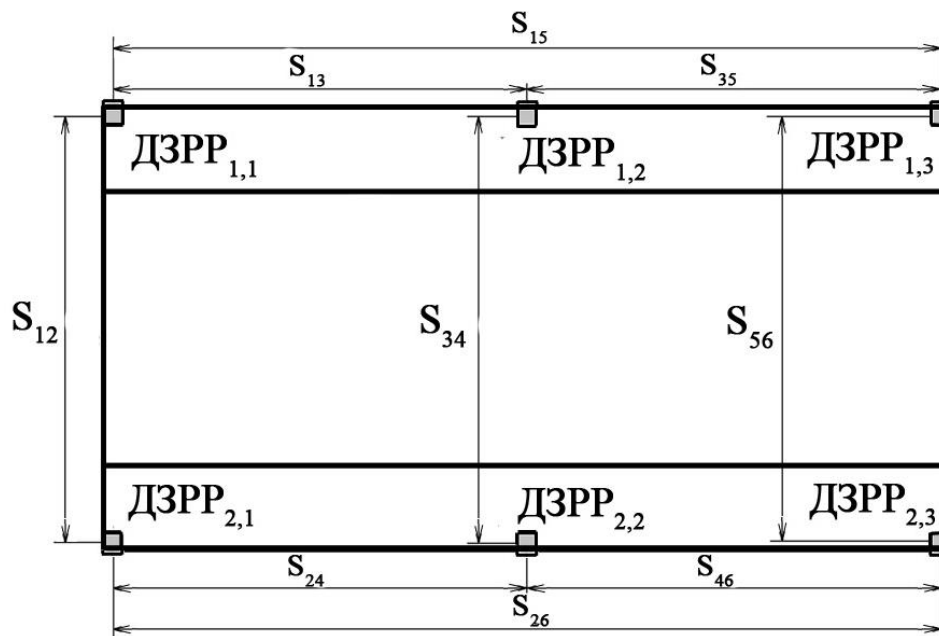


Рис. 2.1. Схематичне розташування датчиків СКС на корпусі плавучого доку (вид зверху)

Гідростатичні датчики ДЗРР_{1,1}, ДЗРР_{1,2}, ДЗРР_{1,3}, ДЗРР_{2,1}, ДЗРР_{2,2}, ДЗРР_{2,3} встановлюють рівномірно по три датчики вздовж лівого і правого бортів зовні плавучого доку, якомога ближче до його днища, причому ДЗРР_{1,1} і ДЗРР_{1,3}

встановлюють в крайніх точках правого борту, ДЗРР_{2,1} і ДЗРР_{2,3} – в крайніх точках лівого борту, ДЗРР_{1,2} – посередині між ДЗРР_{1,1} та ДЗРР_{1,3} датчиками на правому борті, а ДЗРР_{2,2} – посередині між ДЗРР_{2,1} та ДЗРР_{2,3} датчиками на лівому борті, при цьому поточні значення осадки, крену, диференту та стрілки прогину/перегину плавучого доку розраховують на основі реєстрованих електричних сигналів гідростатичних датчиків за допомогою гідростатичного методу та геометричних залежностей між положенням датчиків відносно поверхні води та значеннями осадки, кутів крену та диференту, стрілки прогину/перегину плавучого доку.

Для точного контролю рівня і об'єму рідини в баластному комплексі кожен баластний танк укомплектовують певним сенсорним забезпеченням. Розглянемо більш детально один баластний танк (БТ) плавучого доку (рис. 2.2). Один баластний танк оснащений: гідростатичним датчиком рівня (ДРР), поєднаним з датчиком температури (ДТ), які розташовуються в центрі дна баластного танку, датчиком надлишкового тиску (ДНТ), дискретним датчиком фіксованого рівня (ДФРР), витратоміром (В).

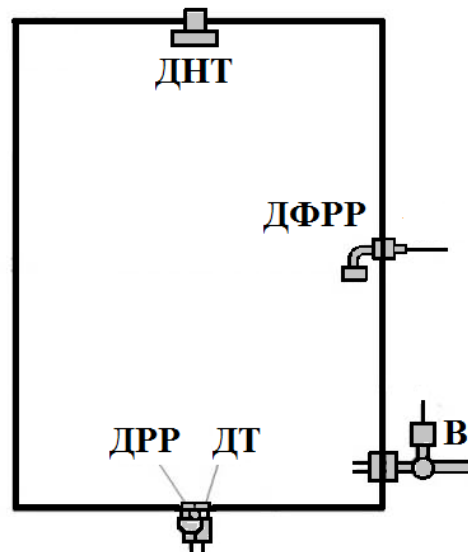


Рис 2.2. Схематичне розташування датчиків СКС у баластному танку

Сенсорні компоненти (ДРР, ДФРР, ДТ, В, ДНТ) використовують в баластному комплексі для отримання інформації щодо поточного значення

рівня, фіксованого значення рівня, а також температури рідкого баласту, витрати рідини та надлишкового тиску в баластних танках.

Для реалізації технічної діагностики у наведеному БТ (рис. 2.2), ДФРР встановлюється на боковій стінці баластного танку і знаходиться вище ДРР на певній фіксованій висоті. Застосовується підхід, в якому стан ДРР перевіряється в дискретні проміжки часу шляхом порівняння поточного рівня рідини з діагностичним рівнем.

Даний спосіб автоматичного контролю експлуатаційних параметрів дозволяє визначати поточне значення рівня рідини в баластному комплексі, а також параметри посадки і стрілки прогину/перегину плавучого доку на основі реєстрованих електричних сигналів гідростатичних датчиків за допомогою гідростатичного методу та геометричних залежностей між положенням датчиків відносно поверхні води та значеннями осадки, кутів крену та диференту, стрілки прогину/перегину плавучого доку. При цьому суттєво розширюється діапазон вимірювання та знижуються масо-габаритні показники обладнання, що застосовується для реалізації. Крім того можливість технічної діагностики підвищує надійність отриманих результатів вимірювань.

2.2. Непрямі методи визначення параметрів плавучого доку на основі гідростатичного способу вимірювання рівня рідини

Непрямі методи визначення параметрів плавучого доку ґрунтуються на математичних викладках за допомогою гідростатичного способу вимірювання рівня рідини [7, 22, 27, 28, 130-133].

Гідростатичний спосіб вимірювання рівня застосовують для вимірювання рівня однорідних рідин в ємностях без істотних коливань робочого середовища. Даний спосіб дозволяє проводити вимірювання рівня в широкому діапазоні з досить високою точністю (до 0,1%) при високих показниках надлишкового тиску і температури робочого середовища. Його важливою цінністю є висока точність при відносній дешевизні і простоті вимірювальних елементів.

Розрахунок рівня і об'єму рідини баластного танку. Для визначення поточного рівня і об'єму рідини в баластному танку, застосовується гідростатичний спосіб вимірювання рівня рідкого баласту.

Відповідно до гідростатичного способу вимірювання, при нульовому значенні кутів крену та диференту плавучого доку, реальне значення рівня рідини h в кожному баластному танку визначається за формулою [132]:

$$h = \frac{P_p}{\rho_p g}, \quad (2.1)$$

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

Значення густини рідини ρ_p залежить від різних факторів, таких як: температура, тиск, склад, фізичні та хімічні характеристики. Найбільше на величину густини рідини ρ_p впливає значення температури рідини $t_p, ^\circ\text{C}$, а тому датчик T відіграє важливу роль у визначенні поточного значення густини рідини ρ_p (згідно відповідних довідкових таблиць).

Наявність певного ненульового значення кута крену θ чи диференту ψ впливає на точність вимірювання рівня рідини в резервуарах.

Значення рівня рідини h , що вимірюється за допомогою ДРР при певному значенні кута диференту ψ дещо відрізняється від значення отриманого при нульовому значенні кута диференту ψ . В такому випадку реальне значення рівня рідини в резервуарі визначається за формулою

$$h = \frac{h_\psi}{\cos \psi} = \frac{P_\psi}{\rho_p g \cdot \cos \psi}, \quad (2.2)$$

де h_ψ – висота гідростатичного стовпа води до похилої поверхні під кутом диференту ψ ; P_ψ – значення гідростатичного тиску рідини, виміряного за допомогою ДРР при куті диференту ψ .

Відповідно розрахунок рівня рідини в кожному з баластних резервуарів при крені θ плавучого доку визначається за формулою

$$h = \frac{h_\theta}{\cos \theta} = \frac{P_\theta}{\rho_p g \cdot \cos \theta}, \quad (2.3)$$

де h_θ – висота гідростатичного стовпа води до похилої поверхні під кутом крену θ ; P_θ – значення гідростатичного тиску рідини, виміряного за допомогою ДРР при куті крену θ .

Рівень рідини в баластному танку при одночасному врахуванні крену і диференту (1, 2 градуси) плавучого доку обчислюється за формулою (2.4) для ДРР.

$$h = \frac{P_{\theta\psi}}{\rho_p g} \cdot \frac{1}{\cos \theta \cdot \cos \psi}, \quad (2.4)$$

де $P_{\theta\psi}$ – значення гідростатичного тиску рідини, виміряного за допомогою ДРР при куті крену θ і диференту ψ плавучого доку.

Об'єм рідини в танках обчислюється на основі поліноміальної формули

$$V_r = a_4 h^4 + a_3 h^3 + a_2 h^2 + a_1 h + a_0, \quad (2.5)$$

де a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – експериментально отримані поліноміальні коефіцієнти.

Такий підхід (2.5) дає можливість уніфікувати розрахунки об'єму рідини для танків правильних форм (коробка, циліндр) і складних геометричних форм, які дуже поширені в морських технологіях. Значення коефіцієнтів полінома четвертого ступеня розраховуються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, яке апроксимує надану таблицю об'ємів наповнення танка (задається для кожного танка) з реалізацією методу найменших квадратів.

Похибка вимірювання рівня рідини в баластному танку при певному диференті ψ плавучого доку визначається за наступним виразом [29]

$$\Delta h = \frac{h - h_s}{h_{\max}} = \frac{h_s}{h_{\max} \cos \psi} - \frac{h_s}{h_{\max}}, \quad (2.6)$$

де $h_{\max}$ – максимальне значення висоти заповнення резервуару; h_s – значення заповнення резервуару від максимальної величини.

Відповідно вимірювання рівня рідини в баластному танку при певному крені θ плавучого доку визначається за наступним виразом

$$\Delta h = \frac{h_s}{h_{\max} \cos \theta} - \frac{h_s}{h_{\max}}. \quad (2.7)$$

Отже результати похибок вимірювання рівня рідини при різних кутах крену і диференту зображені на рис. 2.3.

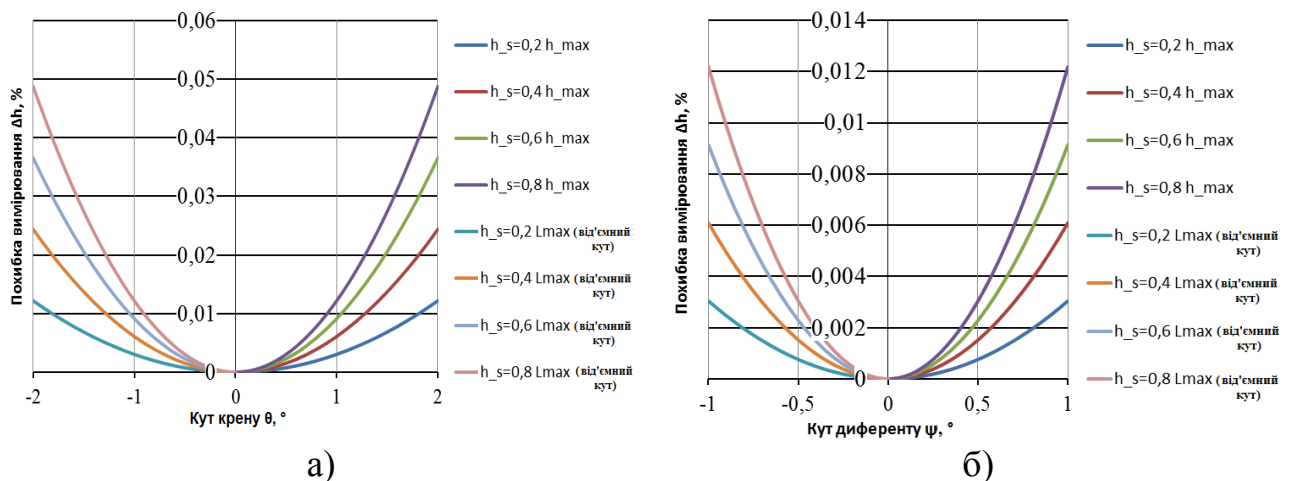


Рис. 2.3. Значення похибок вимірювання рівня рідини в баластному танку при:

а) диференті плавучого доку до 2°; б) крені плавучого доку до 1°

Для вимірювання стрілки прогину/перегину, осадки T , кутів крену θ і диференту ψ плавучого доку використовуються гідростатичні датчики тиску, що розташовуються рівномірно по три датчики вздовж лівого і правого борту зовні плавучого доку якомога ближче до його днища.

Розрахунок осадки плавучого доку. На рис. 2.4. представлений плавучий док без крену і диференту. Осадку плавучого доку T визначають на основі показників датчиків ДЗРР₁ – ДЗРР₆, відповідно до залежності

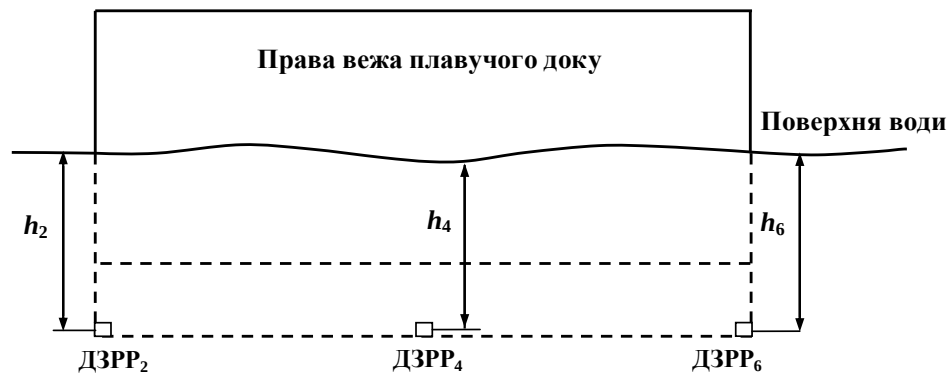


Рис. 2.4. Схема плавучого доку зануреного у воду на певну осадку:
вид з правого борту

$$T = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6}{6} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6}{6\rho_P g}, \quad (2.8)$$

де $P_1 - P_6$ – значення гідростатичного тиску стовпа води, виміряного за допомогою датчиків ДЗРР₁ – ДЗРР₆; $h_1 - h_6$ – значення рівня води, що вимірюють за допомогою датчиків ДЗРР₁ – ДЗРР₆ відповідно.

Розрахунок крену плавучого доку. Геометричну модель плавучого доку з креном на праву вежу показано на рис. 2.5.

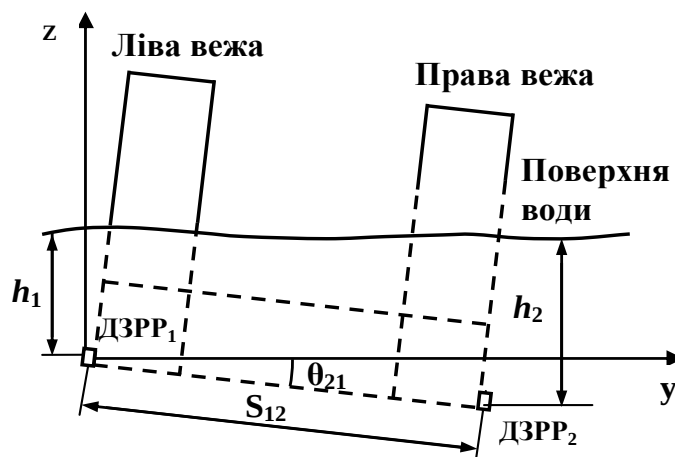


Рис. 2.5. Схема плавучого доку з креном θ_{21} на праву вежу

Для визначення синусу кута крену θ_{21} правої вежі плавучого доку застосовують наступну формулу

$$\sin\theta_{21} = \frac{\Delta h_{21}}{S_{12}} = \frac{h_2 - h_1}{S_{12}} = \frac{\left(\frac{P_2}{\rho_P g}\right) - \left(\frac{P_1}{\rho_P g}\right)}{S_{12}} = \frac{P_2 - P_1}{\rho_P g S_{12}}, \quad (2.9)$$

де Δh_{21} – різниця значень рівня води, що вимірюють за допомогою датчиків ДЗРР₁ і ДЗРР₂ відповідно, $\Delta L_{21} = L_2 - L_1$; θ_{21} – кут крену плавучого доку, який визначають за допомогою різниці показань датчиків ДЗРР₁ і ДЗРР₂; S_{12} – відстань між датчиками ДЗРР₁ і ДЗРР₂.

Таким чином, кут крену θ_{21} плавучого доку, можна обчислювати за допомогою різниці показань датчиків ДЗРР₁ і ДЗРР₂:

$$\theta_{21} = \arcsin\left(\frac{\Delta h_{21}}{S_{12}}\right) = \arcsin\left(\frac{h_2 - h_1}{S_{12}}\right) = \arcsin\left(\frac{P_2 - P_1}{\rho_P g S_{12}}\right). \quad (2.10)$$

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

Розрахунок диференту плавучого доку. Зовнішній вигляд геометричної моделі плавучого доку з диферентом на ніс показано на рис. 2.6.

Для визначення синусу кута диференту на ніс плавучого доку застосовують таку формулу:

$$\sin\psi_{62} = \frac{\Delta h_{62}}{S_{26}} = \frac{h_6 - h_2}{S_{26}} = \frac{\left(\frac{P_6}{\rho_P g}\right) - \left(\frac{P_2}{\rho_P g}\right)}{S_{26}} = \frac{P_6 - P_2}{\rho_P g S_{26}}, \quad (2.11)$$

де Δh_{62} – різниця значень рівня води, що вимірюють за допомогою датчиків ДЗРР₆ і ДЗРР₂ відповідно, $\Delta L_{62} = L_6 - L_2$; ψ_{62} – кут диференту плавучого доку, який визначають за допомогою різниці показань датчиків ДЗРР₆ і ДЗРР₂; S_{26} – відстань між датчиками ДЗРР₂ і ДЗРР₆.

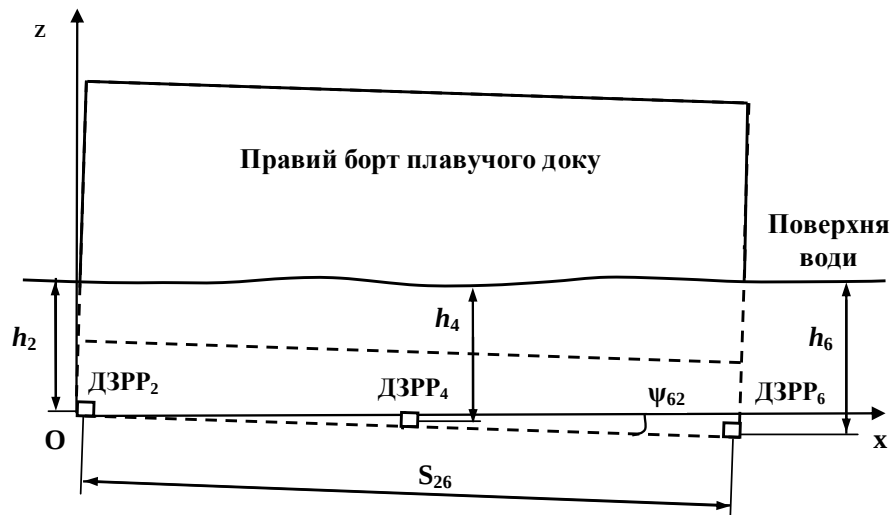


Рис. 2.6. Зовнішній вигляд плавучого доку з диферентом на ніс ψ_{62}

Таким чином, кут диференту плавучого доку, можна обчислювати за допомогою різниці показань датчиків ДЗРР₆ і ДЗРР₂:

$$\psi_{62} = \arcsin\left(\frac{\Delta h_{62}}{S_{26}}\right) = \arcsin\left(\frac{h_6 - h_2}{S_{26}}\right) = \arcsin\left(\frac{P_6 - P_2}{\rho_P g S_{26}}\right). \quad (2.12)$$

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

Розрахунок стрілки прогину і перегину плавучого доку. Зовнішній вигляд геометричної моделі плавучого доку з диферентом на ніс і корпусним прогином показано на рис. 2.7.

Значення прогину H_{SB} правої вежі плавучого доку визначають у такий спосіб:

$$H_{SB} = h_4 - h_{4T}, \quad (2.13)$$

де h_{4T} – теоретичне значення рівня до прогину плавучого доку; h_4 – реальне значення рівня після прогину плавучого доку.

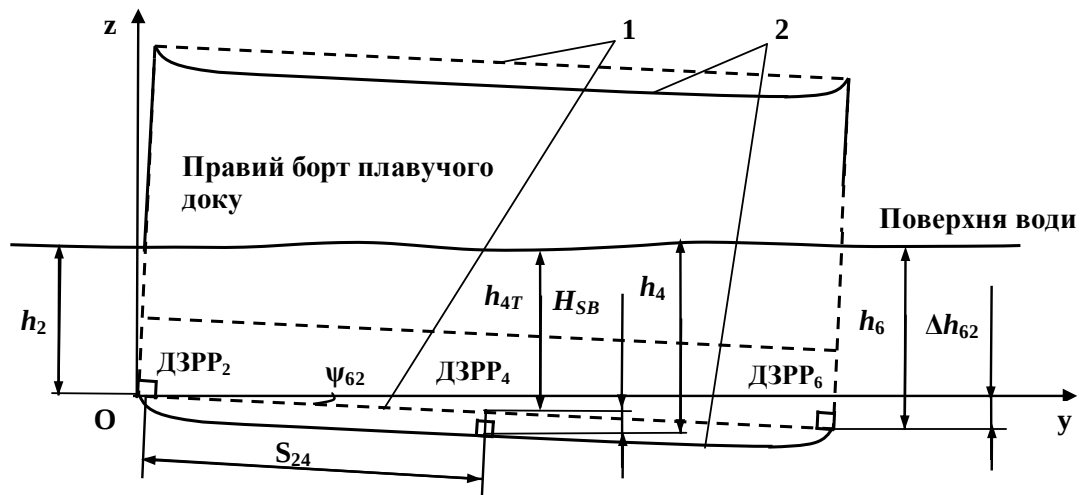


Рис. 2.7. Зовнішній вигляд плавучого доку з диферентом на ніс і корпусним прогином: 1 – початкове положення; 2 – прогин

У свою чергу, теоретичне значення рівня h_{4T} розраховують за формулою

$$h_{4T} = h_2 + S_{24} \sin \psi_{62} = \frac{P_2}{\rho_P g} + S_{24} \sin \psi_{62}, \quad (2.14)$$

де S_{24} – відстань між датчиками PS_2 і PS_4 .

Отже,

$$H_{SB} = h_4 - (h_2 + S_{24} \sin \psi_{62}) = \frac{P_4}{\rho_P g} - \left(\frac{P_2}{\rho_P g} + S_{24} \sin \psi_{62} \right) \quad (2.15)$$

Позитивне значення різниці теоретичного значення рівня h_{4T} і реального значення h_4 , виміряного за допомогою датчика ДЗРР₄, свідчить про наявність прогину правої вежі плавучого доку H_{SB} . Негативне значення даної різниці, у свою чергу, вказує на наявність перегину правої вежі плавучого доку S_{SB} .

Таким чином враховуючи $\begin{cases} h_4 - h_{4T} = H_{SB} & \text{при } h_4 - h_{4T} > 0 \\ h_4 - h_{4T} = S_{SB} & \text{при } h_4 - h_{4T} < 0 \end{cases}$ отримаємо:

$$H_{SB} (U) S_{SB} = \frac{P_4}{\rho_P g} - \left(\frac{P_2}{\rho_P g} + S_{24} \sin \psi_{62} \right). \quad (2.16)$$

Аналогічно визначають значення стрілки прогину/перегину лівої вежі плавучого доку. Значення стрілки прогину/перегину $H(U)S$ корпусу плавучого доку знаходять відповідно до наступної залежності:

$$H(U)S = \frac{H_{LB}(U)S_{LB} + H_{SB}(U)S_{SB}}{2} = \frac{\left[\frac{P_3}{\rho_P g} - \left(\frac{P_1}{\rho_P g} + S_{13} \sin \psi_{51} \right) \right] + \left[\frac{P_4}{\rho_P g} - \left(\frac{P_2}{\rho_P g} + S_{24} \sin \psi_{62} \right) \right]}{2} \quad (2.17)$$

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

Дана залежність (2.17) дає змогу оцінити прогин при розміщенні центру ваги вантажу (судна або декількох суден) в середні стапель палуби плавучого доку і перегин у випадку розміщення центру ваги вантажу (судна або декількох суден) в носовій і кормовій частинах стапель палуби плавучого доку.

2.3. Технічна діагностика датчиків рівня баластного комплексу плавучого доку

Технічна діагностика датчиків плавучого доку відіграє важливу роль під час його експлуатації. Особливо діагностику потребують датчики прогину/перегину, визначення рівня рідини, надлишкового тиску та ін. Однією з найголовніших систем, що потребує діагностування датчиків є баластна система плавучого доку, яка відіграє найголовнішу роль в процесі докування суден.

Діагностика полягає в контролі стану ДРР кожного баластного танку з метою виявлення і попередження його відмов. Технічний стан ДРР характеризується факторами, до яких можна віднести вплив кліматичних умов, старіння з часом, операції регулювання механічних та електронних компонентів, налаштування в ході обслуговування або ремонту, заміну несправних елементів тощо.

Здійснюється діагностика за допомогою діагностичних засобів контролю, які можуть бути вбудованими і зовнішніми. Вбудовані засоби дозволяють здійснювати безперервний контроль відповідних параметрів. За допомогою зовнішніх засобів здійснюється періодичний контроль [10, 13, 14, 16, 36 – 38, 40, 43, 134-139]. Для реалізації запропонованого способу технічного діагностування у кожному баластному танку окрім ДРР та ДТ, які розташовуються в центрі дна баластного танку, також застосований ДФРР, що розташовується в центрі з'єднання під прямим кутом бокових стінок баластного танку. Причому ДФРР встановлюється вище ДРР на певну фіксовану висоту і застосовується підхід, в котрому стан ДРР перевіряється в дискретні проміжки часу шляхом порівняння поточного рівня рідини h з діагностичним рівнем h_d .

В свою чергу діагностичний рівень h_d рідини, що залежить від сигналу ДФРР, в баластному танку при врахуванні незначного крену (1-2 градуси) плавучого доку необхідно обчислювати за наступною формулою:

$$h_d = h_{ДФРР} - t g\theta \cdot \frac{S_{БТ}}{2}, \quad (2.18)$$

де $h_{ДФРР}$ – відстань (висота), на якій встановлено ДФРР, θ – кут крену, $S_{БТ}$ – ширина баластного танку.

Отже, ДРР, що представляє собою прилад для вимірювання тиску, і ДТ використовуються для отримання інформації про поточний рівень h і температуру води T в баластному танку. Для контролю діагностичного значення рівня h_d необхідний ДФРР у вигляді поплавкового датчика.

Оскільки діагностичний рівень h_d можна вимірювати лише при відсутності крену θ і диференту ψ , або у випадку наявності незначного крену θ плавучого доку, то діагностику ДРР слід виконувати в таких же умовах.

Розглянемо функціональну схему системи автоматичного контролю рівня рідини в одному з баластних танків з діагностикою ДРР (рис. 2.8). Діагностика ДРР в інших баластних танках виконується аналогічним чином.

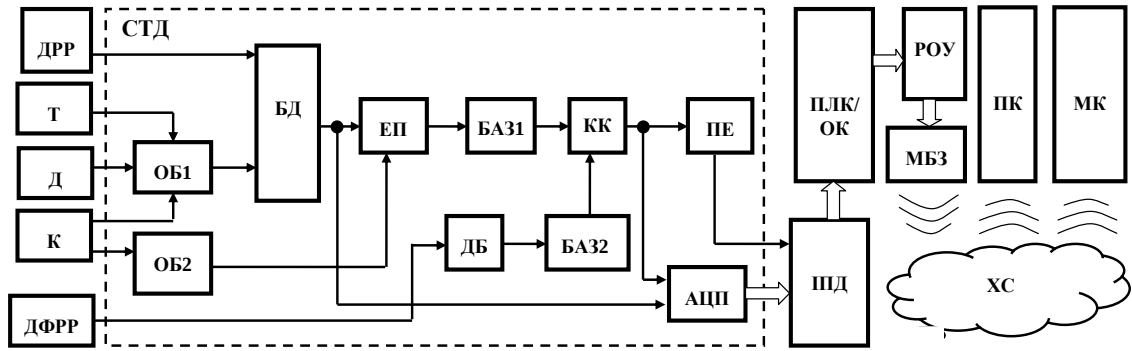


Рис. 2.8. Функціональна схема комп'ютерної системи автоматичного контролю рівня рідини в баластному танку з діагностикою ДРР

На рис 2.8 прийнято наступні позначення: СТД – система технічної діагностики; ДРР – датчик рівня рідини; К – кренометр; Д – диферентометр; ДТ – датчик температури; ОБ1 – обчислювальний блок, що служить для визначення добутку величин, відповідних крену θ , диференту ψ , густини рідини ρ_r та гравітаційного прискорення g ; ОБ2 – обчислювальний блок, що визначає діагностичний рівень рідини h_d в залежності кута крену θ ; БД – блок ділення; ЕП – елемент порівняння; БАЗ1, БАЗ2 – блоки обчислення абсолютного значення; ДФРР – датчик фіксованого рівня рідини; ДБ – диференційний блок; КК – керований ключ; ПЕ – пороговий елемент; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ПІД – інтерфейс передачі даних; ПЛК/ОК – програмований логічний контролер або однопалатний комп'ютер; РОУ – роутер; МБЗ – модем безпроводного зв'язку; ПК – персональний комп'ютер; МК – мобільний комп'ютер; ХС – хмарний сервіс.

Суть запропонованого методу контролю рівня рідини в баластному танку з технічною діагностикою ДРР полягає в наступному. К і Д вимірюють поточні значення крену і диференту плавучого доку відповідно. ДРР, вимірює поточне значення гідростатичного тиску рідини (Па), а ДТ вимірює поточне значення температури рідини ($^{\circ}\text{C}$). Після цього згідно рівняння (2.4), використовуючи ОБ1 та БД, визначається рівень рідини h (м). В свою чергу згідно рівняння (2.16), використовуючи ОБ2 та К, визначається діагностичний рівень h_d (м).

Завдяки блоку ЕП розраховується різниця Δh між діагностичним значенням рівня h_d та значенням рівня h . На виході блоку БА31 визначається абсолютна величина Δh_A отриманої різниці Δh , яка відповідає похибці вимірювання ДРР відносно значенню діагностичного рівня h_d .

Основна стадія діагностування ДРР настає при спрацюванні ДФРР під час наповнення чи спустошення баластного танку. При заповненні баластного танку рівень рідини збільшується і досягає певного значення (на рівні, де встановлено ДФРР), електричні контакти ДФРР замикаються і ДБ формує додатній імпульсний електричний сигнал. У свою чергу, якщо поточне значення рівня рідини h в баластному танку знижується і перетинає ДФРР то його контакти розмикаються і ДБ формує від'ємний імпульсний електричний сигнал. В обох випадках (при заповненні чи спустошенні баластного танку) після диференціації сигнал проходить БА32 і приймає абсолютне значення, яке спричиняє короткочасне замикання КК для виведення (відображення) цифрового сигналу помилки вимірювання E , оцифрованого сигналу поточного рівня рідини h та похибки вимірювання Δh_A через ІПД до ПЛК чи ОК. Причому сигнал помилки вимірювання E може приймати декілька значень (логічний нуль або логічна одиниця), що залежить від максимально допустимого значення похибки вимірювання рівня рідини $\Delta h_{\max}$, згідно наступної умови:

$$E = \begin{cases} 0, & \text{для } \Delta h_A > \Delta h_{\max} \\ 1, & \text{для } \Delta h_A \leq \Delta h_{\max} \end{cases} \quad (2.19)$$

Отже, $E = 0$ вказує на несправність ДРР при спрацюванні ДФРР, а ситуація, коли $E = 1$ при спрацюванні ДФРР, відповідає справності ДРР та його функціонуванню з заданою точністю ($\Delta h_A \leq \Delta h_{\max}$).

Моделювання процесів технічної діагностики для наповнення і спустошення баластного танку представлено на рис. 2.9 для випадку несправного ДРР. Рівень рідини h в баластному танку знаходиться в трьох

станах, відокремлених за часом: процес підвищення рівня; постійний рівень рідини ($h = 3$ м); процес зниження рівня.

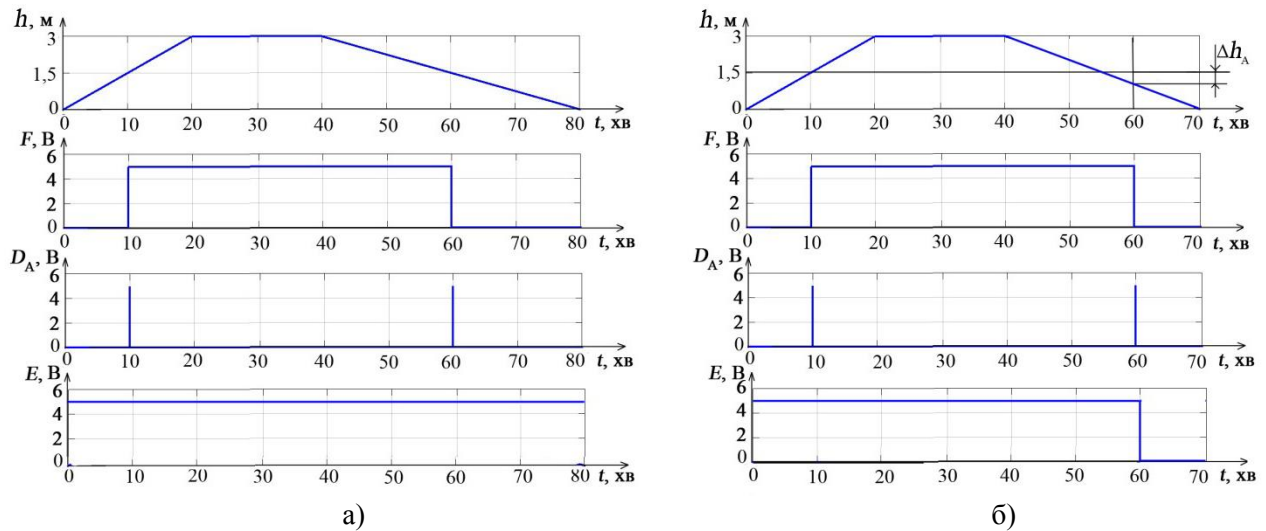


Рис. 2.9. Результати моделювання процесів діагностування ДРР:

а) у випадку справного датчика; б) у випадку несправного датчика

Процес діагностики відбувається при спрацюванні ДФРР (10 хв та 60 хв на рис. 2.9.). Зміна сигналу F від 0 В до 5 В та падіння сигналу F від 5 В до 0 В утворюють певні додатні та від'ємні значення диференційних сигналів, які в подальшому приймають абсолютне значення D_A . Коли D_A більше нуля, похибка вимірювання Δh_A порівнюється з максимальним значенням $\Delta h_{\max}$. У випадку $\Delta h_A \leq \Delta h_{\max}$ (рис. 2.9, а) сигнал помилки E залишається одиницею ($E = 1$), а якщо $\Delta h_A > \Delta h_{\max}$ (рис. 2.9, б), то сигнал помилки E на 60 хвилині набуває нульового рівня ($E = 0$).

Загальна діагностична інформація обробляється ПЛК чи ОК, поточне значення h і Δh_A записується в базу даних вимірювань, яка потім може бути використана для визначення діагностичних параметрів та корекції значень рівня рідини в баластному танку, а сигнал помилки вимірювання E передається через Інтернет-мережу до хмарного сервісу, до якої є спеціальний доступ з ПК та МК для операторів. Крім того, Інтернет на плавучому доці забезпечується модемом М за допомогою глобальної бездротової мобільної технології 4G і поширюється за допомогою роутера РОУ.

Описані операції з фізичними величинами реалізуються на практиці в алгоритмі з цифровими сигналами у ПЛК. Також можливий інший підхід до запропонованого способу тестування за допомогою окремих електронних блоків, систем на базі ПЛІС з FPGA архітектурою за допомогою VHDL-моделі, що реалізована у вигляді FSM діаграми [140 - 147]. Запропоноване рішення технічної діагностики ДРР для одного баластного резервуару за допомогою VHDL-моделі наведено на рис. 2.10. Також програмний код на мові VHDL представлений в додатку В.

Технічна діагностика за схемою FSM здійснюється наступним чином:

- 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 спрацює 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;
- 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 DPP знаходиться в робочому стані ($ErHPS \leq '0'$), однак, якщо значення похибки вимірювання рівня L більше ніж максимальне значення допустимого порогу $P1$ ($P1 < L$), то DPP знаходиться в стані несправності ($ErHPS \leq '1'$);

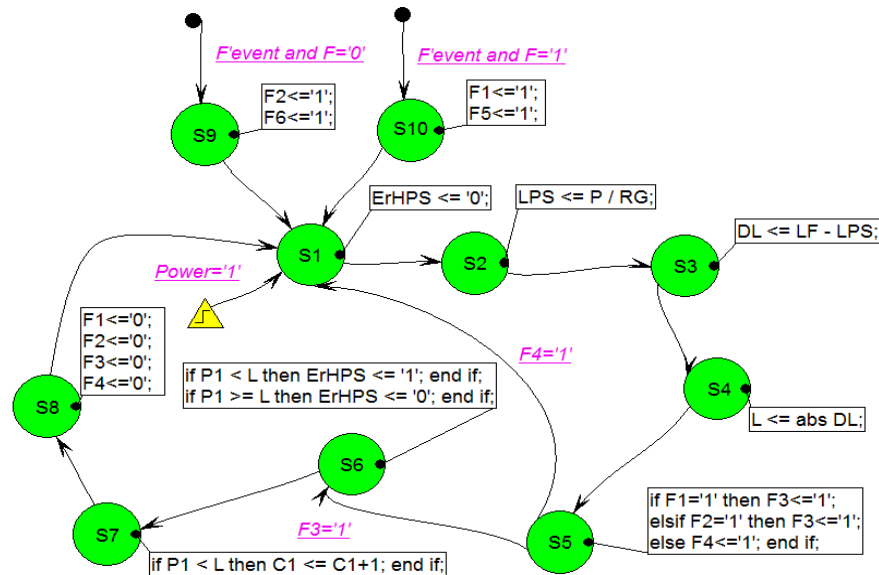


Рис. 2.10. VHDL Модель для технічної діагностики датчиків рівня

– 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 ($Power = 1$).

Результати комп'ютерного моделювання запропонованої технічної діагностики датчиків рівня представлені на часових діаграмах (рис. 2.11.).

Моделювання технічної діагностики проводиться у випадку несправної роботи DPP. Всі сигнали діаграми FSM моделюються цифровим способом і пов'язані з генератором синхроімпульсів CLK.

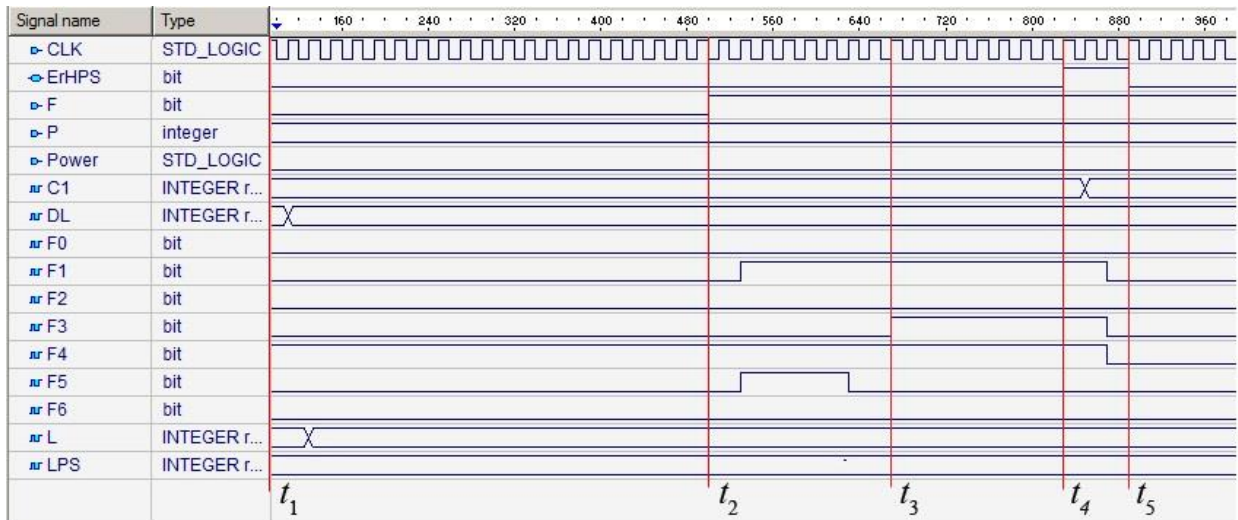


Рис. 2.11. Моделювання цифрових сигналів технічної діагностики ДРР

У час $t_1 - t_2$ існує постійна робота датчиків при тривалому наповненні або спорожненні баластного резервуара, а саме вимірюється значення датчику гідростатичного тиску, а датчик дискретного рівня залишається незмінним. У час $t_2 - t_3$ виконуються попередні дії внаслідок циклу за умови $F4 = 1$. У час $t_3 - t_4$ встановлюється умова $F3 = 1$, і починається порівняння зареєстрованого електричного сигналу з датчика гідростатичного тиску і відповідному до нього поточного значення рівня рідини LF в баластному резервуарі. У даному випадку встановлюється несправність датчика гідростатичного тиску ($ErHPS \leq '1'$), оскільки $P1 < L$, помилка зазначається у лічильнику помилок датчику, збільшуючи $C1$ на одиницю. Кінець моделювання технічної діагностики супроводжується в часі $t_4 - t_5$ шляхом скидання умов $F1 \leq '0'$, $F3 \leq '0'$ та скидання рівня помилок $ErHPS \leq '0'$.

Висновки за розділом 2

За результатами проведених в розділі 2 досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Запропоновано схему розміщення комплексу датчиків плавучого доку. Корпус обладнують гідростатичними датчиками, які встановлюють рівномірно по три датчики вздовж лівого і правого бортів зовні плавучого доку, якомога ближче до його днища. Кожен баластний танк укомплектовують

гідростатичним датчиком рівня, поєднаним з датчиком температури, які розташовуються в центрі дна баластного танку, датчиком надлишкового тиску, дискретним датчиком фіксованого рівня та витратоміром. Це дозволяє знизити масо-габаритні показники обладнання, розширити діапазон вимірювання та підвищити ефективність та надійність експлуатації плавучих доків при виконанні докових операцій.

2. Вдосконалено непрямі методи визначення параметрів плавучого доку на основі гідростатичного способу вимірювання, що дають високі результати при мінімальній вартості датчиків рівня рідини. Запропоновані підходи дають можливість на основі даних про рівні рідини визначати: кількість рідини в баластних танках, осадку, крен, диферент плавучого доку. Крім того інформація щодо осадки плавучого доку в певних точках дає можливість судити про значення прогину/перегину плавучого доку.

3. Удосконалено 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. Запропоновано підхід до розробки комп'ютеризованої підсистеми для дистанційної технічної діагностики датчиків рівня баластних комплексів плавучого доку. Особлива увага приділена підвищенню безпеки та надійності системи. Запропонована функціональна схема може бути легко адаптована до більш складних систем і успішно впроваджена в існуючі та модифіковані системи контролю та моніторингу плавучих доків.

РОЗДІЛ 3

СИНТЕЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ КОМПОНЕНТІВ СКС ПЛАВУЧОГО ДОКУ

Аналіз нелінійних властивостей плавучого доку показує доцільність використання принципів інтелектуального контролю доковими операціями, що спираються на теорію нечітких множин та нечітку логіку. Системи керування, що базуються на нечіткій логіці, розроблені в багатьох сферах [98 - 106] й суднобудування не є виключенням. Так, в роботі [100] для стабілізації судна на курсі застосовується нечіткий регулятор. Відомі також системи з використанням нечіткої логіки для керування продуктивністю насосів [103] та рівнем рідини [104]. Іншим перспективним напрямком застосування інтелектуальних підходів для суден та плавучих доків є розвиток інформаційних систем планування в яких здійснюється обробка інформації для подальшого прийняття рішень оператором [71, 107-113, 115]. Так в роботах [110, 111] розглядаються програмні забезпечення, що призначені для проведення розрахунків загрузки та баластування суден. В роботі [71] описана система, що автоматизує розрахункові процеси оцінювання стану плавучого доку при різних варіантах баластування. Загалом розвиток інтелектуальних підходів контролю в суднобудівній галузі зростає і є питанням дослідження вчених України.

3.1. Математичні моделі складових компонентів плавучого доку

Математична модель баластної системи плавучого доку. Для моделювання трубопровідної ділянки наповнення чи спустошення рідкого баласту необхідні геометричні характеристики трубопроводу і регулюючих клінкетів. Стосовно трубопроводу, то необхідно наступні дані: діаметри проміжних труб, довжина прямих труб, число і характер місцевих опорів (звуження, розширення, поворот) для підрахунку сумарного значення

коефіцієнтів втрат у ділянках наповнення і спустошення. Для клінкетів необхідні наступні дані: прохідне січення в заданому режимі, умовна пропускна здатність [88, 89].

Трубопровідні ділянки баластної системи пропускають велику кількість заборотної води за короткий проміжок часу, відповідно приділяється значна увага на зменшення втрат від опору при русі води в трубах і арматурі. Розрахунок ділянок трубопроводів необхідно вести на заданий час затоплення плавучого доку. Отримати однаковий опір в кожному розгалуженні трубопроводу без надмірного ускладнення арматури неможливо. Тому гідродинамічний розрахунок ведеться на заповнення в заданий час баластного танку, найбільш віддаленого від прийомного отвору.

Процеси наповнення чи спустошення баластних танків відбуваються через складний баластний трубопровід, що має перемінний по довжині діаметр і розгалуження. Причому місця трубопроводу, де з'єднується кілька відведень труб, називають вузлами. Даний трубопровід містить як послідовні так і паралельні з'єднання.

Наповнення баластних танків відбувається природнім шляхом під постійним напіром H , що дорівнює приблизно першочергової осадці плавучого доку. Спустошення баластних танків проводиться за допомогою відцентрових насосів з відповідними напірно-витратними характеристиками, які працюють постійно при незмінній частоті обертів. Значення витрати рідини при наповненні чи спустошенні баластних танків змінюються за допомогою клінкетів, відповідно, від 0 до $Q_{\max}$.

Фізичні процеси в трубопроводі в незалежності від призначення наповнення чи спустошення, в даному випадку, описуються рівнянням збереження кількості руху (баланс сил).

Розіб'ємо складний трубопровід баластної системи на ділянки. Введемо допущення, що трубопровідна ділянка представляє собою об'єкт з зосередженими параметрами. Відповідно баланс сил буде наступним

$$m \frac{d\omega}{dt} = F_{\text{ТЖ}} + F_{\text{PE}} - F_{\text{PA}} - F_{\text{T}}, \quad (3.1)$$

де m – маса рідини в зосередженому об’ємі; ω – швидкість рідини; $F_{\text{PE}}, F_{\text{PA}}$ – сила тиску на вході і виході; $F_{\text{ТЖ}} = mgs\sin\alpha$ – сила тяжіння; α – кут нахилу трубопроводу до горизонту; F_{T} – сила тертя.

Далі будемо описувати загальний випадок ділянки трубопроводу в котрому сила тиску на вході створюється тиском в середовищі і тиском від насосу. Даний випадок є загальним для трубопровідних мереж і характеризує трубопровідну ділянку спустошення рідкого баласту. Описання ділянки наповнення аналогічне при умові, що зовнішній перепад тисків в середовищі постійний і тиск від насосу відсутній.

Якщо знехтувати силою тяжіння в рівнянні (3.1) і перейти від балансу сил до балансу тисків, то отримаємо:

$$\frac{L_{\text{ТР}}}{S_{\text{ТР}}} \frac{dM}{dt} = P_{\text{E}} + \Delta P_{\text{H}} - P_{\text{A}} - \Delta P_{\text{T}}, \quad (3.2)$$

де $\Delta P_{\text{H}}, \Delta P_{\text{T}}$ – перепад тисків на насосі і втрати на тертя, $L_{\text{ТР}}$ – сумарна довжина прямих частин трубопроводу на ділянці, $P_{\text{E}}, P_{\text{A}}$ – тиск на вході і виході; $S_{\text{ТР}}$ – перетин трубопроводу. В прирощенні:

$$\frac{L}{S_{\text{ТР}}} \frac{d\Delta M}{dt} = \Delta P_{\text{E}} - \Delta\Delta P_{\text{H}} - \Delta P_{\text{A}} - \Delta\Delta P_{\text{T}}. \quad (3.3)$$

Розглядаючи рівняння (3.3), припустимо, що зовнішній перепад $P_{\text{E}} - P_{\text{A}}$ постійний і не залежить від витрати, а всі інші перепади залежать від витрати. Втрати тиску на тертя $\Delta\Delta P_{\text{T}}$ можна розділити на дві складові: втрати в трубопроводі $\Delta\Delta P_{\text{ТР}}$, втрати в трубопровідній арматурі, серед яких розглянемо втрати на регулюючому клінкеті $\Delta\Delta P_{\text{РК}}$ і на запірному $\Delta\Delta P_{\text{БК}}$. Дані втрати визначають роботу насосу на відповідну ділянку трубопроводу.

Загальна математична модель ділянки трубопроводу має наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{S_{\text{ТР}}} \frac{d\Delta M}{dt} = \Delta P_{\text{Е}} + \Delta\Delta P_{\text{Н}} - \Delta P_{\text{А}} - \Delta\Delta P_{\text{РК}} - \Delta\Delta P_{\text{ВК}} - \Delta\Delta P_{\text{ТР}}; \\ \Delta P_{\text{Н}} = a_{\text{Н}}\Delta M + b_{\text{Н}}\Delta n; \\ \Delta P_{\text{РК}} = a_{\text{РК}}\Delta M - b_{\text{РК}}\Delta S_{\text{РК}}; \\ \Delta P_{\text{ВК}} = a_{\text{ВК}}\Delta M - b_{\text{ВК}}\Delta S_{\text{ВК}}; \\ \Delta P_{\text{ТР}} = a_{\text{ТР}}\Delta M, \end{array} \right. \quad (3.4)$$

де $\Delta P_{\text{Н}}$ – перепад тиску на насосі; L – сумарна довжина прямих частин трубопроводу на ділянці; $P_{\text{Е}}$, $P_{\text{А}}$ – тиск на вході і виході; $S_{\text{ТР}}$ – перетин трубопроводу; $S_{\text{РК}}$ – перетин трубопроводу в регулюючому клінкети; $\Delta P_{\text{РК}}$ – перепад тиску на регулюючому клінкети; $\Delta P_{\text{ТР}}$ – втрати тиску в трубопроводі; ΔM – відхилення масової витрати рідини; Δn – частота обертів відцентрового колеса насосу; $a_{\text{Н}}$ – коефіцієнт насосу що залежить від витрати; $b_{\text{Н}}$ – коефіцієнт насосу що залежить від частоти обертів відцентрового колеса насосу; $a_{\text{РК}}$ – коефіцієнт регулюючого клінкету, що залежить від витрати; $b_{\text{РК}}$ – коефіцієнт регулюючого клінкету, що залежить від перетину в регулюючому клінкети; $a_{\text{ВК}}$ – коефіцієнт запірного клінкету, що залежить від витрати; $b_{\text{ВК}}$ – коефіцієнт запірного клінкету, що залежить від перетину в регулюючому клінкети; $a_{\text{ТР}}$ – коефіцієнт трубопроводу, що залежить від витрати.

Якщо підставити знайдені рівняння в перше рівняння то отримаємо

$$\frac{L_{\text{ТР}}}{S_{\text{ТР}}} \Delta M' + (a_{\text{Н}} + a_{\text{ТР}} + a_{\text{РК}} + a_{\text{ВК}})\Delta M = \Delta P_{\text{Е}} - \Delta P_{\text{А}} + b_{\text{Н}}\Delta n + b_{\text{ВК}}\Delta S_{\text{ВК}} + b_{\text{РК}}\Delta S_{\text{РК}}. \quad (3.5)$$

Це диференціальне рівняння першого порядку характеризує в загальному виді динамічні властивості системи по витраті рідини. В окремих випадках деякі члени цього рівняння можуть бути відсутніми. Насос може працювати при постійному числі обертів $b_{\text{Н}}\Delta n = 0$ або зовсім бути відсутнім (технологічний процес наповнення баластних цистерн) $a_{\text{Н}} = 0$, $b_{\text{Н}}\Delta n = 0$.

Для використання рівняння треба конкретизувати структуру ділянки з урахуванням регулювання витрати шляхом дроселювання.

Якщо в якості керуючої дії прийняти ΔS_{PK} (зміна січення клінкету – регулюючий гідравлічний опір) і в якості вихідного параметру ΔM то диференціальне рівняння ділянки приймає вид

$$\frac{L_{TP}}{S_{TP}} \Delta M' + (a_H + a_{TP} + a_{BK} + a_{PK}) \Delta M = b_{PK} \Delta S_{PK}. \quad (3.6)$$

Якщо прийняти, що збурення впливу ΔP_A , n та ΔS_{BK} дорівнюють нулю. Розділив всі члени рівняння на вираз у дужках, приведемо його до виду

$$T_1 \Delta M' + \Delta M = K_1 \Delta S_{PK}, \quad (3.7)$$

де

$$T_1 = \frac{L}{S_{TP}} \frac{a_H + a_{TP} + a_{BK} + a_{PK}}{1}. \quad (3.8)$$

$$K_1 = \frac{b_{PK}}{a_H + a_{TP} + a_{BK} + a_{PK}}. \quad (3.9)$$

Як слідує з отриманого виразу, перехідна функція представляє собою експоненту з постійною часу T_1 .

З рівняння (3.9) можна безпосередньо отримати передаточну функцію

$$W_{TP} = \frac{K_1}{T_1 p + 1}. \quad (3.10)$$

Зазвичай в системах автоматичного керування керуюча дія вимірюється не величиною площі прохідного січення клінкету ΔS_{PK} , а його ступенем відкриття ΔA (зазвичай у відсотках).

Математична модель баластного танку. При регулюванні рівня в баластному танку задача зводиться до підтримки заданого рівня в незалежності

від змін стоку та притоку [88]. Визначальним буде процес накопичення рідкого баласту в резервуарі (згідно з законом збереження маси).

Витрати на притоку і на стоку (M_E , M_A) і зміна кількості рідини в танку зв'язані наступною залежністю:

$$\frac{dm}{dt} = \Delta M_E - \Delta M_A. \quad (3.11)$$

Перерахунок зміни маси в зміну об'єму ΔV приводиться за допомогою густини

$$\frac{dm}{dt} = \rho_P \frac{dV}{dt}. \quad (3.12)$$

Об'єм речовини, що заповнює танк можна визначити за геометричними розмірами останнього, якщо резервуар не має форми призми то площа дзеркала S є функцією висоти. Так що в загальному випадку

$$V = \int_0^H S dH. \quad (3.13)$$

І при постійній S

$$V = S \cdot H. \quad (3.14)$$

Для малих змін рівня ΔH відповідна зміна наповнення складає:

$$dm = \rho_P dV \approx \rho_P S \Delta H. \quad (3.15)$$

Враховуючи, отримаємо

$$\rho_P S \Delta H' = \Delta M_E - \Delta M_A. \quad (3.16)$$

Звідси

$$\Delta H' = \frac{1}{\rho_P S} \Delta M_E - \frac{1}{\rho_P S} \Delta M_A. \quad (3.17)$$

Отже передаточні функції для наповнення і спустошення можна представити в наступному вигляді при $k = \frac{1}{\rho_P S}$:

$$W_{\Delta M_E \rightarrow \Delta H}(s) = \frac{k}{s}; \quad (3.18)$$

$$W_{\Delta M_A \rightarrow \Delta H}(s) = -\frac{k}{s}. \quad (3.19)$$

З рівняння (3.18) та (3.19) видно, що це передаточні функції інтегральної ланки. По аналогії з ланкою 1-го порядку можна привести її до вигляду, виділив умовну постійну часу T_T і коефіцієнт передачі, так як ця ланка астатична.

Обрав базові величини $\bar{H}$ і $\bar{M}$, перетворимо ліву частину

$$\rho_P S \Delta H' = \left(\frac{\rho_P S H_0}{M_0} \right) \frac{M_0}{H_0} \Delta H' = \frac{M_0}{H_0} T_T \Delta H'. \quad (3.20)$$

Дріб у скобках виражається в одиницях часу, тоді

$$\frac{M_0}{H_0} T_T \Delta H' = \Delta M_E - \Delta M_A. \quad (3.21)$$

З останнього рівняння можна отримати передаточні функції у вигляді:

$$W_{\Delta M_E \rightarrow \Delta H}(s) = \frac{k_1}{T_T s}; \quad (3.22)$$

$$W_{\Delta M_A \rightarrow \Delta H}(s) = -\frac{k_1}{T_T s}, \quad (3.23)$$

де $k_1 = H_0/M_0$ – умовний коефіцієнт передачі в одиницях мскг⁻¹.

Часто буває доцільно в якості M_0 і H_0 використовувати значення витрати і рівня, відповідно до встановленого стану $M_E = M_A = \bar{M}$ і $\bar{H}$. Для призматичного резервуара постійна часу T_T набуває значення часу наповнення до номінального рівня.

Математична модель приводу клінкету. В промислових приводах трубопровідної арматури доцільно використовувати вентильні електродвигуни, які також називають безколекторними двигунами постійного струму (ДПС). У порівнянні з асинхронним двигуном вони мають значно менший час розгону та гальмування, більший питомий момент, більш широкий діапазон регулювання швидкості обертання при постійній потужності [90].

При виборі електродвигуна для приводу заслінки клінкету орієнтуються на максимальний момент навантаження та швидкість переміщення заслінки. Крутний момент заслінки більший ніж номінальний момент двигуна тому необхідно обрати редуктор, що дорівнюватиме, або буде більшим за вище зазначені моменти $M_n \leq M_{кр.p} \geq M_{кр}$.

Вихідні диференціальні рівняння ДПС складаються на підставі законів фізики. Для електричного кола використовується другий закон Кірхгофа, згідно з яким можна записати рівняння

$$U_{\text{я}} - E = R_{\text{я}\Sigma} I_{\text{я}} + L_{\text{я}\Sigma} \frac{dI_{\text{я}}}{dt}, \quad (3.24)$$

де t – поточний час; $R_{\text{я}\Sigma} I_{\text{я}}$ характеризує падіння напруги на активному опорі якірного ланцюга відповідно до закону Ома; $L_{\text{я}\Sigma} (dI_{\text{я}}/dt)$ відображає наявність ЕРС самоіндукції, що виникає в обмотці при зміні струму якоря. У представленому рівнянні (3.24) не враховується падіння напруги на щітках, яке залежить нелінійно від струму якоря, але має, як правило, відносно невелике значення в порівнянні з напругою $U_{\text{я}}$.

Для дослідження процесів за допомогою ЕОМ зручно використовувати структурне представлення математичної моделі ДПС. Система лінійних

диференціальних рівнянь по Лапласу при нульових початкових умовах матиме наступний вигляд:

$$\begin{cases} pI_{\text{я}}(p) = \frac{U_{\text{я}}(p) - R_{\text{я}\Sigma}I_{\text{я}}(p) - k_{\text{Е}}\omega_{\text{Д}}(p)}{L_{\text{я}\Sigma}} \\ p\omega_{\text{Д}}(p) = \frac{k_{\text{М}}I_{\text{я}}(p) - M_{\text{Н}}(p)}{J_{\text{я}}} \end{cases}, \quad (3.25)$$

де p – оператор Лапласа; $k_{\text{М}}$ – постійна моменту двигуна; $k_{\text{Е}}$ – постійна ЕРС двигуна; $J_{\text{я}}$ – сумарний момент інерції приведений до валу двигуна; $I_{\text{я}}(p)$, $\omega_{\text{Д}}(p)$, $U_{\text{я}}(p)$, $M_{\text{Н}}(p)$ – зображення по Лапласу змінних $I_{\text{я}}$, $\omega_{\text{Д}}$, $U_{\text{я}}$, $M_{\text{Н}}$, відповідно. Після еквівалентних перетворень ці рівняння можуть бути представлені у формі:

$$I_{\text{я}}(p) = \frac{U_{\text{я}}(p) - k_{\text{Е}}\omega_{\text{Д}}(p)}{R_{\text{я}\Sigma}(T_{\text{Е}}p + 1)}; \quad (3.26)$$

$$\omega_{\text{Д}}(p) = \frac{k_{\text{М}}I_{\text{я}}(p) - M_{\text{Н}}(p)}{J_{\text{я}}p}, \quad (3.27)$$

де $T_{\text{Е}} = \frac{L_{\text{я}\Sigma}}{R_{\text{я}\Sigma}}$ – електромагнітна стала часу якірного ланцюга двигуна.

Математична модель корпусу плавучого доку. Плавучий док під час виконання операцій занурення та спливання зміщується у вертикальному положенні відносно поверхні води, а відповідно повинен володіти на різних відстанях необхідною плавучістю [9, 11, 82-87].

Плавучість обумовлена дією на плавучий док сил власної ваги разом з вагою судна та тиску води (рис. 3.1.). Рівнодійна сили тяжіння дорівнює вазі плавучого доку або сумарній вазі плавучого доку і докуємого судна P та проходить через центр тяжіння G , а також спрямована вертикально вниз. Рівнодійна вертикальних складових сил тиску води називається силою підтримки D . Згідно закону Архімеда, вона спрямована вертикально верх, проходить через центр тяжіння занурених частин плавучого доку і судна та

називається центром величини. Сила підтримки дорівнює вазі води в об'ємі занурених частин плавучого доку і судна.

Розглянемо випадок плавучості плавучого доку з розміщеним судном на стапель палубі плавучого доку (рис. 3.1) рівняння сил, що діють на корпус плавучого доку в статичному режимі, буде мати вигляд:

$$D_{ВПД} = P_{ТПД} + P_{НПД}, \quad (3.28)$$

де $P_{НПД}$ – сила навантаження плавучого доку від судна, для якого здійснюється процес докування; $P_{ТПД}$ – сила тяжіння плавучого доку.

В свою чергу, сила навантаження $P_{НПД}$ визначається наступним чином

$$P_{НПД} = m_C g - D_{ВС}, \quad (3.29)$$

де m_C – маса судна, що перебуває в плавучому доку; $D_{ВС}$ – сила виштовхування, що діє на занурене у воду судно.

Силу виштовхування $D_{ВС}$ можна розрахувати за наступним рівнянням

$$D_{ВС} = \rho_P g V_C(T_C) = k_C T_C, \quad (3.30)$$

де V_C – об'єм витісненої води від зануреного у воду корпусу судна; T_C – осадка судна; k_C – нелінійний коефіцієнт, який виражає залежність між осадкою судна T_C і об'ємом зануреного корпусу судна V_C , що залежить від геометрії судна.

Значення осадки T_C судна, що встановлене на плавучому доку, може бути розраховане на основі значення осадки плавучого доку $T_{ПД}$, при $T_{ПД} > H_{ПД}$ наступним чином

$$T_C = T_{ПД} - H_{ПД}, \quad (3.31)$$

де $H_{ПД}$ – висота понтону плавучого доку.

Отже, сила виштовхування $D_{\text{ВС}}$ судна залежить від осадки плавучого доку $T_{\text{ПД}}$ при $T_{\text{ПД}} > H_{\text{ПД}}$ і може мати такий вигляд

$$D_{\text{ВС}} = \rho_P g k_C (T_{\text{ПД}} - H_{\text{ПД}}) = k'_C (T_{\text{ПД}} - H_{\text{ПД}}), \quad (3.32)$$

де k'_C – універсальний нелінійний коефіцієнт, що виражає залежність між осадкою плавучого доку $T_{\text{ПД}}$ і силою виштовхування судна $D_{\text{ВС}}$.

У свою чергу,

$$k'_C = \begin{cases} 0, & \text{при } T_{\text{ПД}} \leq H_{\text{ПД}}; \\ \rho_P g k_C, & \text{при } T_{\text{ПД}} > H_{\text{ПД}}. \end{cases} \quad (3.33)$$

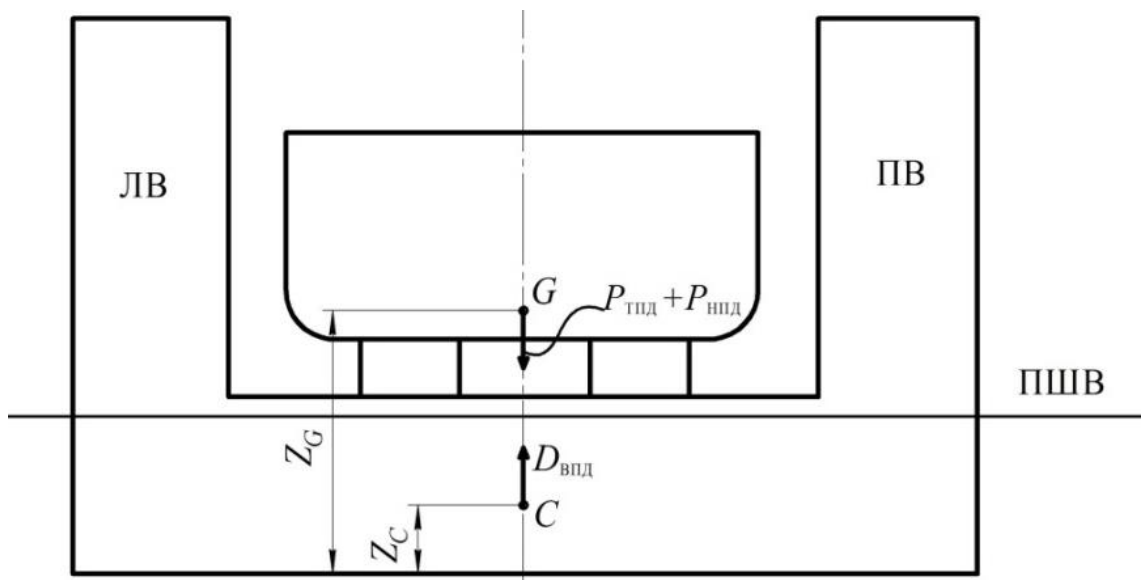


Рис. 3.1. Схематичне зображення корпусу плавучого доку разом з судном у воді

Розглянемо випадок занурення та спливання плавучого доку в динаміці. При зануренні чи спливанні плавучий док стикається з тією чи іншою взаємодією з водним середовищем. Рівняння нерівномірного вертикального руху плавучого доку можна описати наступним чином

$$M_{\Sigma} \frac{d^2 T}{dt^2} = (P_{\text{ГПД}} + P_{\text{НПД}}) - R_{\text{ГПД}} - D_{\text{ВПД}}, \quad (3.34)$$

де $R_{\text{ГПД}}$ – гідродинамічний опір води; M_{Σ} – загальна маса плавучого дока, яка складається з λ – приєднаної маси плавучого доку, маси корпусу $m_{\text{ПД}}$ плавучого доку, маси баластної води $m_{\text{ВБТ}}$ всіх баластних танків; T – осадка плавучого доку.

Сила виштовхування $D_{\text{ВПД}}$ корпусу плавучого доку залежить від об'ємної водотоннажності. Для визначення об'ємної водотоннажності плавучого доку можна скористатися сумою занурених у воду об'ємів прямокутних паралелепіпедів, які можуть представляти собою понтон та вежі плавучого доку або їх частини. Отже Сила виштовхування $D_{\text{ВПД}}$ складається з сили виштовхування $D_{\text{ВП}}$ понтону плавучого доку і сили виштовхування $D_{\text{ВВ}}$ обох веж плавучого доку, що занурені у воду

$$D_{\text{ВПД}} = D_{\text{ВП}} + D_{\text{ВВ}} = \rho_{\text{Р}} g V_{\text{ППД}} + \rho_{\text{Р}} g 2V_{\text{ВПД}}, \quad (3.35)$$

де $V_{\text{ППД}}$ і $V_{\text{ВПД}}$ – об'єми занурених у воду понтону та веж плавучого доку, відповідно.

У свою чергу, сили виштовхування понтону $D_{\text{ВП}}$ і веж $D_{\text{ВВ}}$ мають наступні нелінійні залежності при зміні осадки $T_{\text{ПД}}$ плавучого доку і визначаються наступними формулами:

$$D_{\text{ВП}} = \begin{cases} \rho_{\text{Р}} g S_{\text{ОП}} T_{\text{ПД}}, & \text{при } T_{\text{ПД}} \leq H_{\text{ППД}} \\ \rho_{\text{Р}} g S_{\text{ОП}} H_{\text{ППД}}, & \text{при } T_{\text{ПД}} > H_{\text{ППД}} \end{cases}; \quad (3.36)$$

$$D_{\text{ВВ}} = \begin{cases} 0, & \text{при } T_{\text{ПД}} \leq H_{\text{ППД}}; \\ \rho_{\text{Р}} g 2S_{\text{ОВ}} (T_{\text{ПД}} - H_{\text{ППД}}), & \text{при } T_{\text{ПД}} > H_{\text{ППД}}, \end{cases} \quad (3.37)$$

де $S_{\text{ОП}}$ – площа основи понтону плавучого доку; $S_{\text{ОВ}}$ – площа основи однієї вежі плавучого доку, $S_{\text{ОВ}} = c \cdot b$. Площі $S_{\text{ОП}}$, $S_{\text{ОВ}}$ і висота $H_{\text{ППД}}$ є сталими параметрами корпусу плавучого доку.

Залежність сили виштовхування $D_{ВПД}$ корпусу плавучого доку від його осадки $T_{ПД}$ може бути сформульована на основі наведених вище рівнянь (3.35)-(3.37) наступним чином

$$D_{ВПД} = \begin{cases} \rho_B g S_{ОП} T_{ПД}, & \text{при } T_{ПД} \leq H_{ППД}; \\ \rho_B g S_{ОП} H_{ППД} + \rho_B g 2S_{ОВ} (T_{ПД} - H_{ППД}), & \text{при } T_{ПД} > H_{ППД}. \end{cases} \quad (3.38)$$

Крім того, залежність сили виштовхування $D_{ВПД}$ корпусу плавучого доку від його осадки $T_{ПД}$ може приймати наступний вигляд:

$$D_{ВПД} = k_{ВПД} T_{ПД}, \quad (3.39)$$

де $k_{ВПД}$ – нелінійний коефіцієнт, який показує кореляцію між силою виштовхування $D_{ВПД}$ і осадкою $T_{ПД}$ плавучого доку.

У свою чергу, коефіцієнт $k_{ВПД}$ можна виразити з рівняння (3.39) у такий спосіб:

$$k_{ВПД} = \begin{cases} \rho_P g S_{ОП}, & \text{при } T_{ПД} \leq H_{ППД}; \\ \rho_P g 2S_{ОВ} + \frac{\rho_B g H_{ППД} (S_{ОП} - 2S_{ОВ})}{T_{ПД}}, & \text{при } T_{ПД} > H_{ППД}. \end{cases} \quad (3.40)$$

З рівняння (3.34) приєднана маса λ залежить від форми тіла і його орієнтації відносно руху, положення відносно вільної поверхні рідини, характеру самого руху і інерційних властивостей рідини [93].

Приєднана маса рідини має розмірність маси та може бути розрахована за наступною формулою.

$$\lambda_x = \rho \int_V \left(\frac{v}{v_0} \right)^2 dV, \quad (3.41)$$

де v – швидкість рідини; v_0 – швидкість плавучого доку.

Приєднана маса представляє собою фіктивну масу рідини, кінетична енергія котрої при русі з швидкістю тіла дорівнює кінетичній енергії рідини, що оточує тіло. Добуток приєднаної маси з прискоренням тіла утворюють інерційну гідродинамічну силу $R_{\text{ГС}}$. Причому при русі тіла з змінним об'ємом, що характерно для плавучого доку при занурені чи спливанні, приєднані маси можуть залежати від часу, тоді інерційна гідродинамічна сила $R_{\text{ГС}}$ буде дорівнювати

$$R_{\text{ГС}} = -\lambda \frac{dv_0}{dt} - \frac{v_0}{2} \frac{d\lambda}{dt}. \quad (3.42)$$

Знак інерційної сили визначається знаком прискорення. При додатному прискоренні $R_{\text{ГС}}$ від'ємна, тобто грає роль сили опору. У випадку прямолінійного руху плавучого доку з постійною швидкістю інерційна гідродинамічна сила $R_{\text{ГС}}$ дорівнює нулю.

Приєднана маса може бути визначена за допомогою графіків приєднаних мас, розрахунку за допомогою гіпотизи плоских січень, експериментально за допомогою методів електрогідродинамічної або магнітогідродинамічної аналогії, за допомогою вібростендів.

Гідродинамічна сила опору рідини $R_{\text{ГПД}}$ виникає при занурені та спливанні плавучого доку, оскільки в кожній точці змоченої поверхні виникає гідродинамічна реакція у вигляді поверхневих сил, напруженість яких дорівнює $\bar{p}_n$ і залежить наряду з іншими факторами від густини та в'язкості води. Остання характеризується динамічним μ або кінематичним $\nu = \mu/\rho$ коефіцієнтом в'язкості [92, 94].

Складова вектора напруженості $\bar{p}_n$ в напрямленні зовнішньої нормалі $\bar{n}_0$ поверхні представляє гідродинамічний тиск $\bar{p}$, а його складова в напрямленні дотичної $\bar{\tau}_0$ до цієї поверхні – дотичну напруженість або напруженість сил в'язкості $\bar{\tau}_0$, тому $\bar{p}_n = \bar{p} + \bar{\tau}_0$.

Головний вектор $\bar{R}_{\text{ГПД}}$ гідродинамічних сил, що діють на змочену поверхню при вертикальному русі плавучого доку з певною швидкістю, визначається за формулою

$$\bar{R}_{\text{ГПД}} = \int_{\Omega} \bar{p}_n d\Omega = \bar{R}_{\Phi} + \bar{R}_T = \int_{\Omega} \bar{p} d\Omega + \int_{\Omega} \bar{\tau} d\Omega, \quad (3.43)$$

де $\bar{R}_{\Phi}$ – головний вектор сил тиску (опір форми); $\bar{R}_T$ – головний вектор сил тертя (опір тертя); Ω – площа змоченої поверхні.

Отже, опір тертя R_T – представляє собою рівнодійну сил тертя, що направлена проти руху плавучого доку. Даний опір виникає внаслідок в'язкості води між корпусом, що рухається і ближніми до корпусу шарами води. Опір форми R_{Φ} – представляє собою рівнодійну розподілення гідродинамічних тисків і направлена проти руху плавучого доку, причому розподілення гідродинамічного тиску залежить від в'язкості води. Оскільки причиною утворення опору тертя і опору форми є в'язкість води то гідродинамічна сила опору зводиться до в'язкісного опору рідини.

Сила в'язкого тертя води R_T , що діє на змочену поверхню під час занурення чи спливання плавучого доку, визначається наступним чином [91]. Опір тертя складає суму опорів: опору, що обумовлений кривизною і шорсткістю змоченої поверхні та опору тертя технічно гладкої еквівалентної пластини, тобто пластини довжина і площа якої дорівнюють відповідно довжині зануреного корпусу та змоченій його поверхні.

$$R_T = (k_{\Pi} + k_{\text{Ш}}) \frac{\rho_P}{2} v_{\text{ПД}}^2 \Omega = 0,5 k_T \rho_P \Omega \left(\frac{dT_{\text{ПД}}}{dt} \right)^2 = k_{\text{ТШ}} \left(\frac{dT_{\text{ПД}}}{dt} \right)^2, \quad (3.44)$$

де $k_T = k_{\Pi} + k_{\text{Ш}}$ – нелінійний коефіцієнт опору тертя води об змочену поверхню; k_{Π} – безрозмірний коефіцієнт опору тертя технічно гладкої пластини; $k_{\text{Ш}}$ – надбавка на шорсткість змоченої поверхні, $v_{\text{ПД}}$ – швидкість плавучого доку при

зануренні та спливанні; $k_{\text{ТШ}}$ – нелінійний коефіцієнт, який показує кореляцію між силою тертя R_{T} і швидкістю занурення чи спливання $\frac{dT_{\text{ПД}}}{dt}$ плавучого доку.

Коефіцієнт $k_{\text{П}}$ опору тертя технічно гладкої пластини залежить від числа Рейнольдса Re , та визначається експериментально [91, 95]. Надбавка $\zeta_{\text{Ш}}$ на шорсткість поверхні металевго корпусу може складати $\Delta\zeta_{\text{Ш}} = (0,3 \div 0,6) \cdot 10^{-3}$.

Опір форми $R_{\text{Ф}}$ зануреного корпусу визначається згідно [91]

$$R_{\text{Ф}} = k_{\text{Ф}} \frac{\rho_{\text{Р}}}{2} v_{\text{ПД}}^2 \Omega = 0,5 k_{\text{Ф}} \rho_{\text{Р}} \Omega \left(\frac{dT_{\text{ПД}}}{dt} \right)^2 = k_{\text{ФШ}} \left(\frac{dT_{\text{ПД}}}{dt} \right)^2, \quad (3.45)$$

де $k_{\text{Ф}}$ – нелінійний коефіцієнт опору зануреного корпусу, який залежить від форми і може бути визначений експериментально; $v_{\text{ПД}}$ – швидкість плавучого доку при зануренні та спливанні; нелінійний коефіцієнт, який показує співвідношення між силою опору форми $R_{\text{Ф}}$ і доковою операцією з відповідною швидкістю занурення або спливання плавучого доку $\frac{dT_{\text{ПД}}}{dt}$.

Після підстановки рівнянь (3.29), (3.35), (3.43), (3.44) і (3.45) в рівняння (3.34) отримаємо новий вираз наступного вигляду

$$m_{\Sigma} \frac{d^2 H}{dt^2} = \pm m_{\text{ПД}\Sigma} g + (m_{\text{С}} g - k'_{\text{С}} (T_{\text{ПД}} - H_{\text{ПД}})) - k_{\text{ФШ}} \left(\frac{dT_{\text{ПД}}}{dt} \right)^2 - k_{\text{ТШ}} \left(\frac{dT_{\text{ПД}}}{dt} \right)^2 - k_{\text{ВПД}} T_{\text{ПД}}. \quad (3.46)$$

Таким чином, рівняння (3.29), (3.35), (3.43), (3.44) і (3.45) утворюють динамічну математичну модель корпусу плавучого доку як об'єкта керування осадкою.

При відсутності судна в плавучому доці сила навантаження $F_{\text{НПД}} = 0$ і рівняння (3.34) приймає вигляд

$$m_{\Sigma} \frac{d^2 T_{\Pi Д}}{dt^2} = \pm m_{\Pi Д \Sigma} g - k_{\Phi \Pi \Pi} \left(\frac{dT_{\Pi Д}}{dt} \right)^2 - k_{\Pi \Pi \Pi} \left(\frac{dT_{\Pi Д}}{dt} \right)^2 - k_{В \Pi Д} T_{\Pi Д}. \quad (3.47)$$

В окремому випадку деякими членами рівнянь (3.43, 3.47) можна знехтувати. Якщо розглядати процес занурення та спливання як квазістатичний, то рух плавучого доку можна вважати рівномірним, і, відповідно, приєднана маса λ має несуттєвий вплив. Крім того швидкість занурення та спливання плавучого доку надзвичайно низька, а отже сила опору форми R_{Φ} і сила в'язкого тертя R_T будуть також несуттєвими.

При докуванні судна, також необхідно враховувати проблеми рівноваги. Як правило, власна вага судна передається через кіль-блоки палубі понтона, в результаті можуть відбутися нахили та порушення міцності плавучого доку. Тому прогин, перегин і кути нахилу (крен і диферент) плавучого доку повинні бути обмеженими в межах допустимого діапазону, щоб забезпечити безпеку експлуатації суднопідйомної споруди. Для усунення критичної деформації плавучого доку та небажаних нахилів, перед докуванням судна проводять розрахунки баластування доку. Ці розрахунки насамперед визначають підбір баласту в понтонах плавучого доку, причому ціль розрахунків – отримання такого розподілення баласту, при якому крен і диферент доку рівний нулю, а момент, вигинаючий систему док–судно, менший допустимого для даного плавучого доку. Необхідно мати на увазі, що при великому запасі вантажопідйомності доку вигинаючі моменти, які діють на систему док–судно, можливо повністю усунути шляхом вирівнювання навантаження на кожний понтон за рахунок рідкого баласту [35, 39].

Практикою експлуатації плавучих доків встановлено, що крен плавучого доку в будь-який момент занурення або спливання не повинен перевищувати 2° , а диферент – 1° . Оскільки значні нахили можуть спричинити зсув судна, встановленого в доку, що призведе до аварії системи док–судно. Зісковзування судна з кільблокової доріжки не може відбутися раніше, ніж крен досягне $6,5^\circ$. При докуванні по-мальтійські, при нахилі плавучого доку в $2,5-3^\circ$ ослаблі

розпори можуть почати випадати і подальше зростання крену створить небезпеку падіння судна на стапель-палубу [71].

При докуванні невеликий крену судна, поставленого в док, не страшний і, якщо він становить $0,5^\circ$, передоковувати судно не варто. Але якщо під час відкачування води з доку судно незабаром після посадки на кільблокову доріжку почне кренитися і крен перевищить $0,5^\circ$, то слід вжити наступних заходів, а саме відкачування доку негайно припиняють і док знову протоплюють до спливання судна.

Основними зовнішніми силами, що здатні визвати крен або диферент плавучого доку є: сили, що виникають при постановці судна в док, коли їх діаметральні площини не співпадають; не правильна загрузка судна при його постановці в док; сили тиску вітру. Дія сил перших трьох груп можливо уникнути при правильному докуванні судна.

Оскільки аварійними кутами нахилу для плавучого доку вважаються незначні кути ($1-2^\circ$) то розглянемо початкову остійність плавучого доку. На рис. 3.2. продемонстровано випадки положення системи док–судно з креном та диферентом. При незначному крені (спричиненому моментом крену) положення центра ваги G не змінюється, а центр величини в наслідок зміни форми об'єму підводної частини переміщується з точки C в точку C_1 . Вага системи док–судно та сила підтримки створюють певний момент, що спрямований проти моменту крену. Цей момент називається відновлювальним моментом M_θ . Аналогічним чином при диференті плавучого доку (спричиненому моментом диференту) створюється відновлювальний момент M_ψ .

Під дією моменту M_K (або диференту M_D) плавучий док нахиляється до тих пір, поки разом з кутом нахилу збільшиться відновлювальний момент M_θ (M_ψ) і урівноважить цей момент M_K (або диференту M_D). Під дією двох різних і протилежно направлених моментів плавучий док буде мати деякий кут нахилу. Як тільки дія моменту крену або диференту припиняється, відновлювальний момент поверне судно в першочергове становище рівноваги. Відповідно

остійність судна визначається дією відновлювального моменту. В залежності від того в якій площині діє момент, що нахилиє та момент що відновлює розрізняють поперечну і повздовжню остійність.

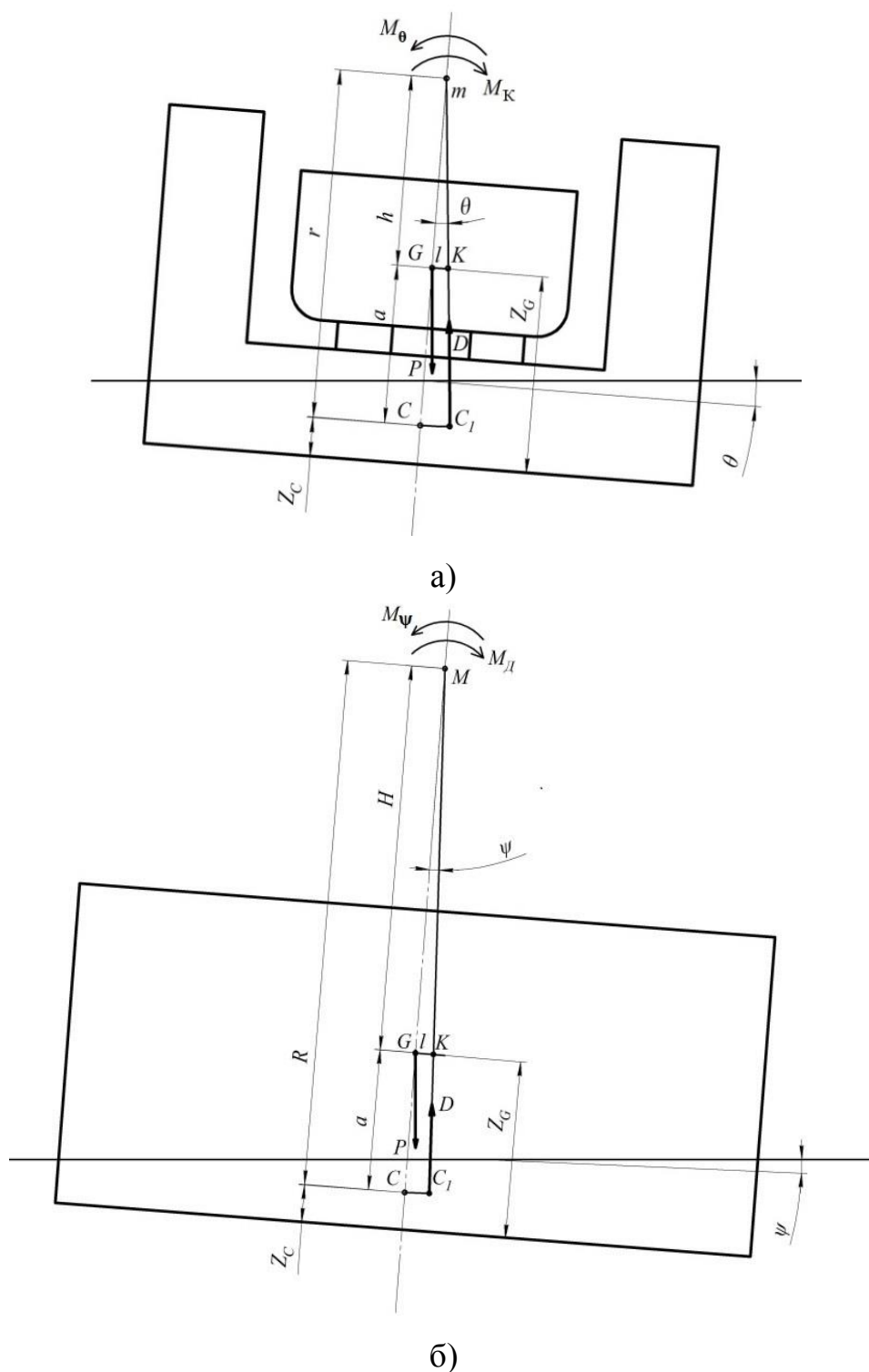


Рис. 3.2. Початкова остійність системи док–судно:

а) у випадку крену; б) у випадку диференту

Розрізняють малі та великі кути нахилу, тому для простоти розуміння вводиться поняття початкової остійності та остійності на великих кутах. Моменти крену або диференту можуть діяти як статично так і динамічно. В першому випадку остійність характеризується відновлювальним моментом, а в другому його роботою (потенційною енергією). В залежності від цього розрізняють статичну і динамічну остійність плавучого доку [11, 42, 91, 92].

При нахилах плавучого доку, центр величини зміщується в сторону нахилу, описуючи криву CC_1 , яка називається кривою центрів величини. Центр кривизни кривої центрів величини CC_1 , називається метацентром. (метацентр також може бути представлений як точка перетину двох ліній дій сил підтримки при малих кутах крену чи диференту). Розрізняють поперечний метацентр m – при крені і повздовжній метацентр M – при диференті. Оскільки крива центрів величини при диференті більш полого, ніж при крені, повздовжній метацентр M лежить набагато вище поперечного метацентру m .

Відстань від центру величини до поперечного і повздовжнього метацентрів називається відповідно поперечним r і повздовжнім R метацентричними радіусами. Відстань від центра тяжіння плавучого доку до поперечного чи повздовжнього метацентра називаються відповідно поперечною h , і повздовжньою H метацентричними висотами. Плече відновлювального моменту GK називається плечем статичної остійності l .

З рис. 3.2,а видно, що відновлювальний момент визначається співвідношенням

$$M_{\theta} = D \cdot GK = Dl, \quad (3.48)$$

де D – водотоннажність плавучого доку.

З трикутника GmK видно, що $l = h \sin \theta$. Відповідно

$$M_{\theta} = Dh \cdot \sin \theta. \quad (3.49)$$

Метацентрична висота плавучого доку при певній водотоннажності залежить від положення центра тяжіння G по висоті, котрий в свою чергу залежить від докуємого судна і баласту. З підвищенням по висоті центру тяжіння G плавучого доку, його остійність зменшується. Причому плавучий док може втратити остійність у випадку, якщо центр величини буде знаходитись вище метacentру.

Метацентрична висота визначається, як

$$h = r + z_C - z_G, \quad (3.50)$$

де r – поперечний метацентричний радіус; z_C і z_G – аплікати відповідно центра величини C і центра тяжіння G . При цьому

$$r = \frac{I_k}{V}, \quad (3.51)$$

де I_k – момент інерції площини ватерлінії відносно повздовжньої вісі, що проходить через ц. т. G ; V – об’ємна водотоннажність плавучого доку.

З того ж рис. 3.2,а випливає, що $h=r-a$, де a – відстань від центру величини C до центру тяжіння G . Тоді

$$M_\theta = Dh \cdot \sin \theta = D(r-a) \sin \theta. \quad (3.52)$$

В даному випадку припускається, що метacentр при крені не переміщується. Це можливо при умові, якщо крива центру величини – частина окружності. Для надводних плавучих споруд ця умова виконується тільки в межах малих кутів крену або диференту, тому метацентричну формулу остійності можна використовувати тільки при малих кутах крену або диференту. Таким чином, відновлювальний момент при малих кутах крену лінійно залежить від їх значень.

Аналогічним чином з рис. 3.2,б випливає, що при поздовжніх нахилах плавучого доку

$$M_{\psi} = DH \sin \psi = D(R - a) \sin \psi. \quad (3.53)$$

Повздовжня метацентрична висота визначається як

$$H = R + z_C - z_G, \quad (3.54)$$

де R – повздовжній метацентричний радіус. При цьому

$$R = \frac{I_d}{V} \quad (3.55)$$

де I_d – момент інерції площини ватерлінії відносно поперечної вісі, що проходить через центр тяжіння; V – об’ємна водотоннажність плавучого доку.

Оскільки повздовжній метацентричний радіус R в багато разів більше поперечного метацентричного радіусу r , повздовжня метацентрична висота H в багато разів більша поперечної h .

Крім того, для визначення метацентричних висот необхідно враховувати поправки в результаті прийому або розходу баласту і вплив вільної поверхні води в баластних відсіках плавучого доку.

Поправка при прийомі або розході баласту визначається як

$$\Delta F_1 = \frac{p}{D + p} \left(T + \frac{\Delta T}{2} - E - z_p \right), \quad (3.56)$$

де p – маса рідкого вантажу; D – водотоннажність; T – початкова осадка; ΔT – зміна осадки при прийомі або розході рідкого вантажу; E – початкова метацентрична висота (якщо поперечна то h , якщо повздовжня – H); z_p – центр тяжіння рідкого вантажу.

Поправка для врахування вільної поверхні рідини визначається як

$$\Delta F_2 = -\frac{i_E}{V}, \quad (3.57)$$

де V – об’ємна водотоннажність; i_E – момент інерції вільної поверхні рідини, що проходить через центр тяжіння відносно повздовжньої осі (для поправки h) або відносно поперечної осі (для поправки H).

Значення метацентричних висот з урахуванням поправок визначаються як

$$\begin{cases} h_n = h + \Delta F_1 + \Delta F_2; \\ H_n = H + \Delta F_1 + \Delta F_2. \end{cases} \quad (3.58)$$

Відповідно моменти крену і диференту для плавучого доку мають вигляд:

$$\begin{cases} M_\theta = Dh_n \sin \theta; \\ M_\psi = DH_n \sin \psi. \end{cases} \quad (3.59)$$

Оскільки повздовжній метацентричний радіус R в багато разів більше поперечного метацентричного радіусу r , то повздовжня метацентрична висота H в багато разів більша поперечної h .

Аналіз відновлювальних моментів показує, що мірою остійності можна вважати метацентричні висоти h і H , котрі характеризують опір плавучого доку моментам крену і диференту.

Розрахунок метацентричних висот вважається достатньо складним процесом для багатокорпусних плавучих споруд. Достатньо надійні результати дають лише експериментальні модельні випробування, хоча і в цьому випадку бажано використовувати моделі з розмірами, близькими до натуральних [17, 18, 20, 96, 97]. Комп’ютерне моделювання за допомогою FREE!ship Plus дає можливість використовувати моделі розмірів реальних об’єктів. FREE!ship Plus програмний комплекс, що призначений для моделювання обводів корпусу по технології NURBS для моделювання статички, ходкості і інших розрахунків гідродинаміки як суден так і плавучих споруд і підводних апаратів.

3.2. Моделювання основних режимів роботи плавучого доку

Згідно математичних моделей, плавучий док можна розглядати як об'єкт керування осадкою та об'єкт керування кутами нахилів крену та диференту. Отже рівняння (3.29), (3.35), (3.43), (3.44) і (3.45) утворюють математичну модель корпусу плавучого доку як об'єкта керування осадкою, а рівняння (3.52), (3.53), (3.58), (3.59) – математичну модель плавучого доку, як об'єкт керування кутами нахилів крену та диференту.

На базі отриманої математичної моделі з рівнянь (3.29), (3.35), (3.43), (3.44) і (3.45) розглянемо функціональну структуру узагальненої системи контролю осадки плавучого доку, що має баластну систему з 4 розподільними коробками і 20 баластними танками (рис. 3.3), де приймаються наступні позначення: ЕКРК(PT_1), ... ЕКРК(PT_4) – елементи керування розподільних коробок з розгалуженими трубопроводами; x_0 – реальне значення осадки; БКК – блок керування клінкетами; КД – корпус плавучого доку; $P_{нпд}$ – сила навантаження плавучого доку від судна; $KPT_{1,1}, \dots, KPT_{4,5}$ – клінкети складових розгалуженого трубопроводу $PT_{1,1}, \dots, PT_{4,5}$; u_p – сигнал керування осадкою; $u_{KPT1,1}, \dots, u_{KPT4,5}$ – сигнали керування $KPT_{1,1}, \dots, KPT_{4,5}$; $Q_{нбт1}, \dots, Q_{нбт20}$ – витрати баластної рідини при наповненні на входах $БТ_1, \dots, БТ_{20}$; $Q_{сбт1}, \dots, Q_{сбт20}$ – витрати баластної рідини при спустошенні на виходах $БТ_1, \dots, БТ_{20}$; $S_{зрт1,1}, \dots, S_{зрт4,1}$ – площини задіяних поверхонь затворів в трубопроводах $PT_{1,1}, \dots, PT_{4,5}$; $m_{бт1}, \dots, m_{бт20}$ – маса баластної рідини кожного $БТ_1, \dots, БТ_{20}$.

В незалежності від докової операції занурення або спливання, регулювання осадки виконується за допомогою дроселювання клінкетами в РТ, а головним сигналом управління є сигнал регулювання осадки u_p . Сигнал регулювання осадки u_p (0...10 В) прямо пропорційно залежить від сумарної витрати Q_Σ . Сигнали керування $u_{KPT1,1}, \dots, u_{KPT4,5}$ (0...10 В) клінкетами $KPT_{1,1}, \dots, KPT_{4,5}$ формуються в БКК в залежності від рівномірного наповнення або спустошення різних баластних танків. Відповідно БКК містить для кожної складової розгалуженого трубопроводу коефіцієнти пропорційності між u_p та

кожним $u_{\text{КРТ}1,1}, \dots, u_{\text{КРТ}4,5}$, що дозволяє регулювати $S_{\text{ЗРТ}1,1}, \dots, S_{\text{ЗРТ}4,5}$, створюючи необхідні витрати $Q_{\text{НБТ}1}, \dots, Q_{\text{НБТ}20}$ для кожного баластного танку. Крім того, БКК автоматично закриває і відкриває групу КРТ складових РТ для баластних танків в понтоні при певній осадці (осадка плавучого доку при рівні баластної води, що дорівнює рівню висоти баластних танків понтону) під час занурення та спливання плавучого доку, відповідно.

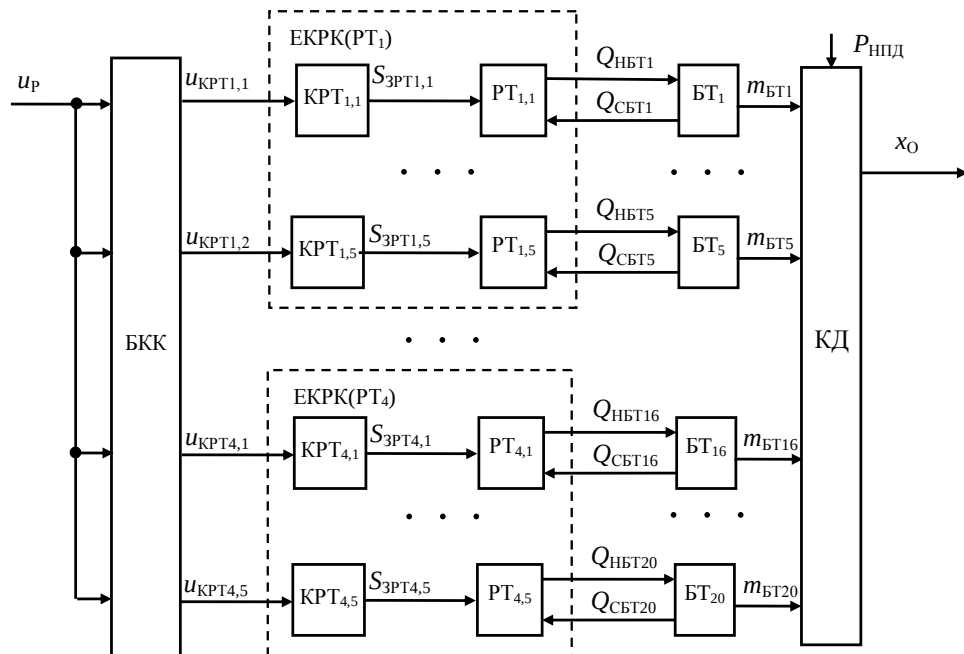


Рис. 3.3. Функціональна структура узагальненої системи управління осадкою плавучого доку

Таким чином, в залежності від докової операції занурення чи спливання плавучого доку, яка визначає напрямок руху рідкого баласту, подається додатний сигнал u_p (10 В), що відповідає максимальній витраті в кожній складовій розгалуженого трубопроводу. Відповідно, для зведення витрати до нуля, в певний момент часу сигнал регулювання u_p поступово зменшується до нуля В.

За допомогою розробленої математичної моделі плавучого доку проведено комп'ютерне моделювання основних докових операцій плавучого доку, а саме: занурення без судна, спливання без судна, занурення з судном та

спливання з судном. Моделювання перехідних процесів проводилося для плавучого доку середнього класу вантажопідйомністю 8500 тон, що має наступні параметри: ширина $B = 32,4$ м; довжина $L = 139,5$ м; ширина кожної вежі $B_B = 3,13$ м; висота понтону $h_{\Pi} = 4,6$ м; висота плавучого доку $h = 12,8$ м; осадка плавучого доку без судна $T = 2$ м; кількість водяного баласту $m_B = 18500$ тон. Причому максимальна маса доку (масова водотоннажність) з усім обладнанням складає $P_{\text{ТПД}} = 9253$ тон. Також баластна система плавучого доку має чотири розподільні коробки, 20 баластних танків та укомплектована баластними насосами продуктивністю $3750 \text{ м}^3/\text{год}$. В свою чергу, насоси працюють з постійною частотою обертів колес відцентрового типу. Приймні трубопроводи мають діаметр $d_1 = 750$ мм, розгалужений трубопровід баластних танків має діаметр $d_2 = 350$ мм. Всі клінкети мають мотор-редуктори 2-10 кВт і виступають в ролі регуляторів витрати [11]. Крім того, моделювання перехідних процесів проводилося для плоскобортного судна, що має наступні параметри: ширина $B = 22,54$ м; довжина $L = 130$ м; вага $P_C = 8400$ тон.

Результати комп'ютерного моделювання у вигляді графіків перехідних процесів занурення та спливання плавучого доку наведені на рис. 3.4, де прийнято наступні позначення: t_{31} – час занурення понтону плавучого доку з судном; t_{32} – час занурення понтону плавучого доку без судна; t_{33} – час початку входу розміщеного на кільблоках, судна у воду; t_{34} – час занурення плавучого доку до осадки 8,6 м; t_{C1} – час спливання понтону плавучого доку з судном; t_{C2} – час спливання понтону плавучого доку без судна; t_{C3} – час виходу розміщеного на кільблоках судна за межі води; t_{C4} – час спливання плавучого доку до осадки 3,83 м з судном; t_{C4} – час спливання плавучого доку до осадки 2 м без судна.

З графіків перехідних процесів занурення (рис. 3.4,а) видно, що початкова осадка плавучого доку без баласту в усіх баластних танках без судна складає 2 м, а з судном – 3,83 м. Процес занурення плавучого доку проходить повільно до тих пір поки понтон не зануриться у воду ($H_{\PiД} = 4,6$ м), час занурення понтону для плавучого доку з судном $t_{31} = 980$ с, а без судна $t_{32} = 2900$ с. Після

занурення понтону, процес пришвидшується і вже в момент часу $t_{33} = 5900$ с плавучий док (з судном і без судна) досягає осадки у 8,6 м. Процес занурення плавучого доку супроводжується зміною сигналу регулювання u_p , що в процесі призводить до збільшення маси рідкого баласту до 15700 кг в плавучому доці.

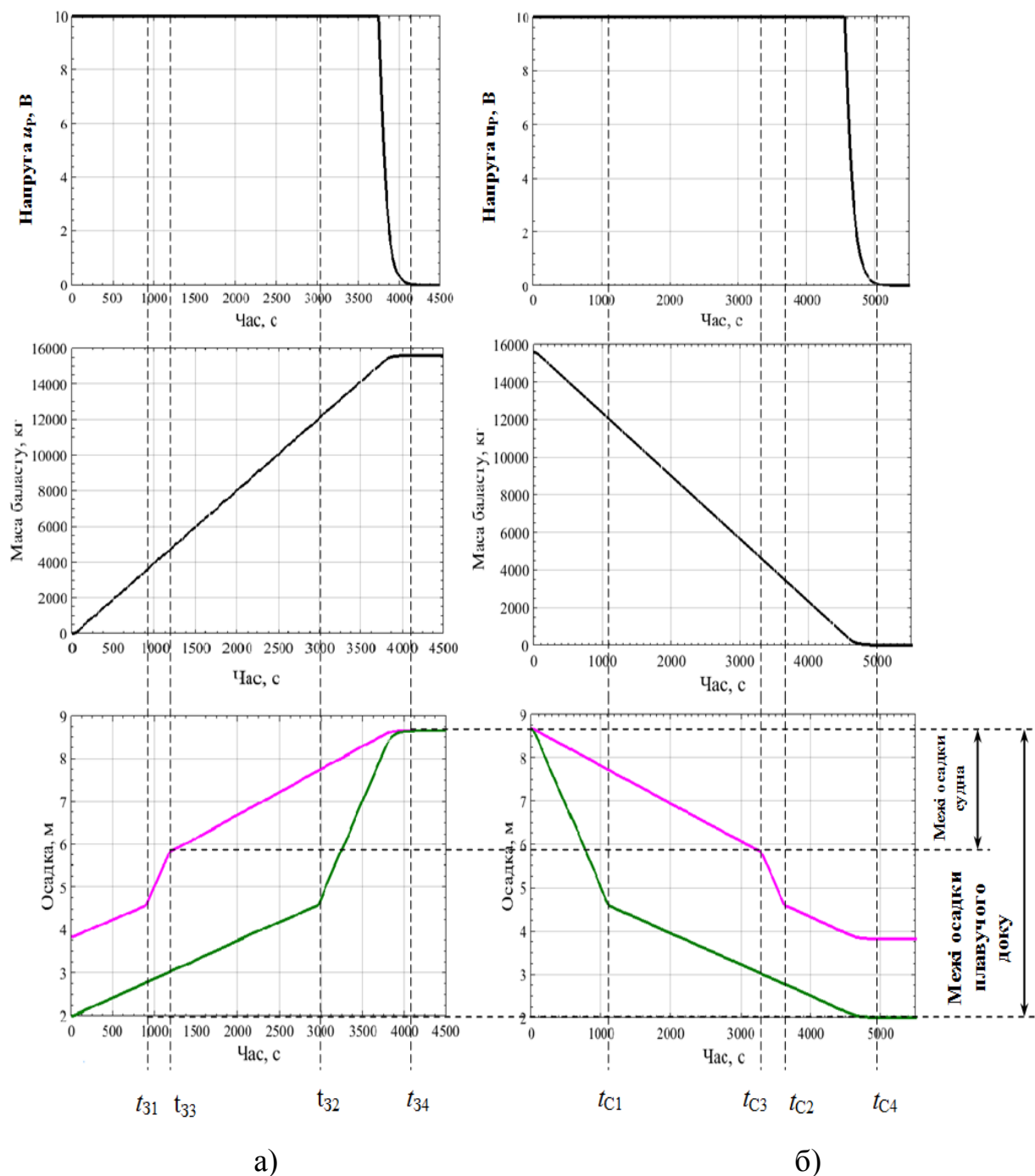


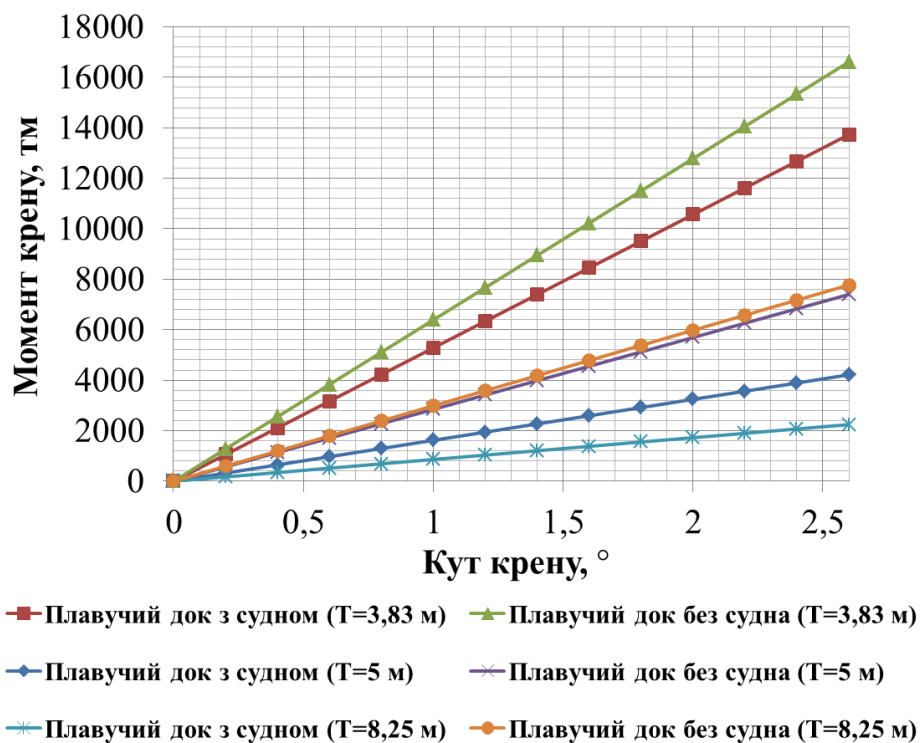
Рис. 3.4. Перехідні процеси (фіолетова лінія – з судном, зелена лінія – без судна): а) занурення плавучого доку; б) спливання плавучого доку

З графіків перехідного процесу спливання (рис. 3.4,б) видно, що початкова осадка плавучого доку складає 8,6 м. Процеси спливання плавучого доку з судном і без суттєво відрізняються: час спливання до рівня понтону без судна $t_{c2} = 1100$ с, а з судном $t_{c3} = 3300$ с. Після спливання плавучого доку до рівня понтону, процеси спливання в обох випадках значно сповільнюються. Процес спливання плавучого доку супроводжується зміною сигналу регулювання u_p , що в процесі призводить до зменшення маси рідкого баласту (близько до 0) в плавучому доці.

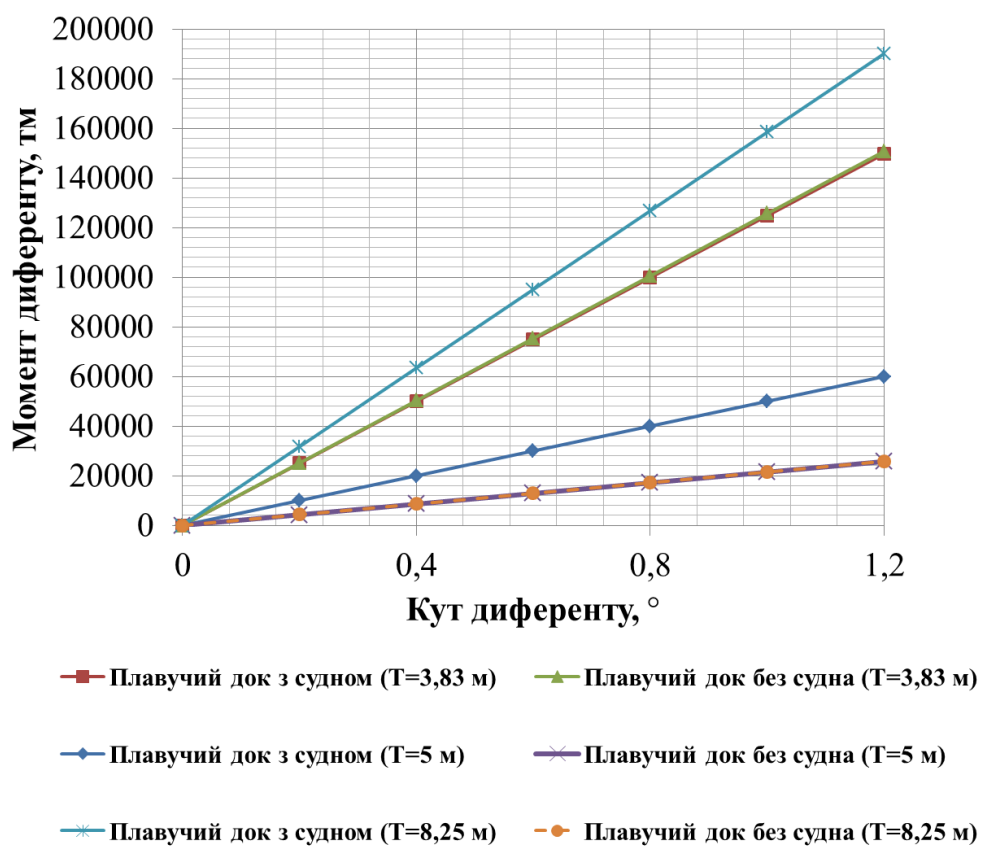
Адекватність математичної моделі підтверджується результатами комп'ютерного моделювання (рис. 3.4), оскільки осадка плавучого доку порожнем без судна і з судном становить 2 м і 3,83 м, відповідно, що відповідає паспортним даним. При збільшенні баласту до 15700 кг осадка плавучого доку з судном і без судна співпадають на рівні 8,6 м, що відповідає осадці судна в 2,81 м (ватерлінія судна). При осадці судна в 2,81 м вага і виштовхувальна сила судна рівні між собою, а отже дія судна на плавучий док стає несуттєвою, що призводить до однакової осадки плавучого доку.

За допомогою розробленої математичної моделі з рівнянь (3.52), (3.53), (3.58), (3.59) та імітаційної моделі в програмному комплексі FREE!ship Plus (рис. 3.5), яка відповідає реальному плавучому доку середнього класу вантажопідйомністю 8500 тон. Отримані практично лінійні залежності моментів від кута крену і диференту при різних значеннях осадки (рис. 3.6).

Плавучий док в імітаційній моделі має наступні параметри: ширина $B_d = 32,4$ м; довжина $L_d = 139,5$ м; ширина кожної вежі $B_v = 3,13$ м; висота понтону $h_{\Pi} = 4,6$ м; висота плавучого доку $h_d = 12,8$ м; осадка плавучого доку без судна $T_d = 2$ м; кількість водяного баласту $m_b = 18500$ тон. Причому максимальна маса доку (масова водотоннажність) з усім обладнанням складає $P_{\text{ТПД}} = 9253$ тон. Крім того, моделювання перехідних процесів проводилося для плоскобортного судна, що має наступні параметри: ширина $B_c = 22,54$ м; довжина $L_c = 130$ м; висота $h_d = 7$ м; вага $P_c = 8400$ тон.



а)



б)

Рис. 3.6. Залежності моментів від кута нахилу плавучого доку:
а) при крені; б) при диференті

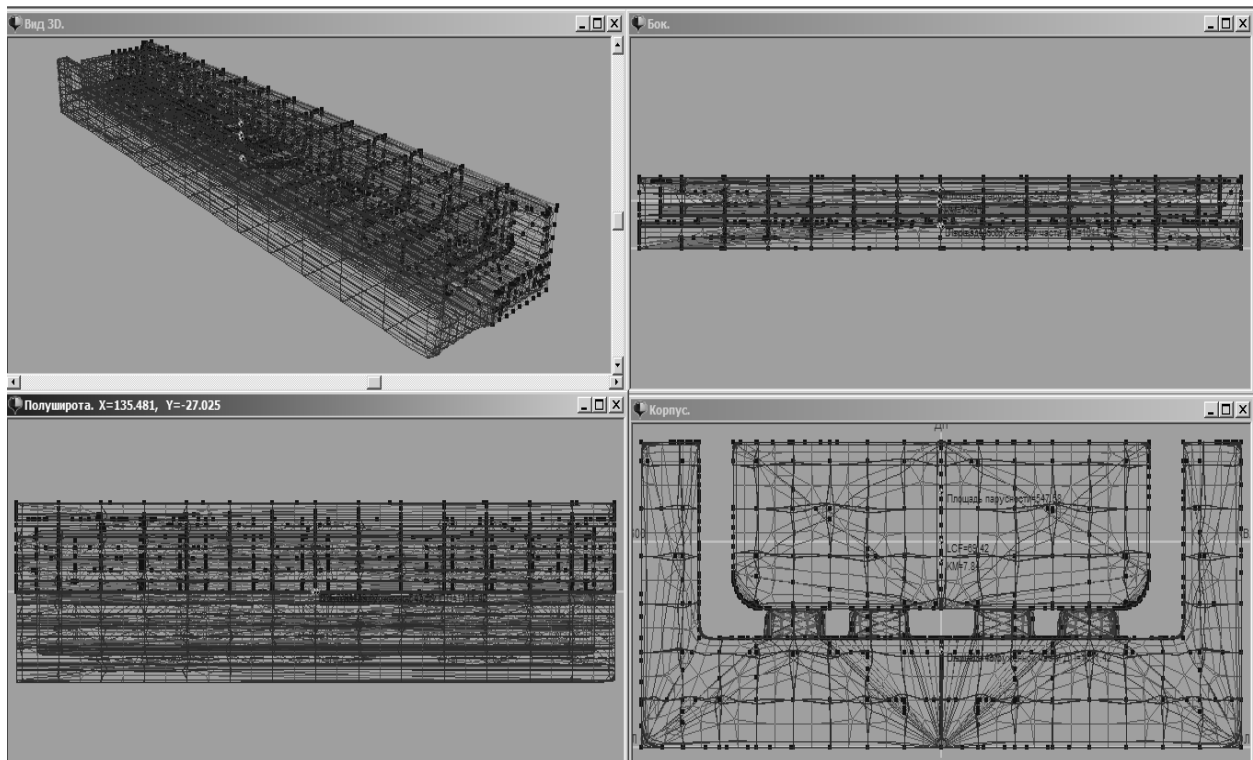


Рис. 3.5. Розрахункова модель системи док-судно в програмному комплексі FREE!ship Plus

З рис. 3.6. видно, що основними етапами осадки плавучого доку прийняті: осадка на рівні понтона ($T = 3,83$ м), осадка на рівні кільблоків ($T = 5$ м), осадка на рівні веж плавучого доку ($T = 8,25$ м). При зануренні плавучого доку центр тяжіння зміщується вниз, а центр величини вгору. Процес занурення плавучого доку починається з осадки 3,83 м. Під дією ваги судна і збільшення баласту, плавучий док починає занурюватися. Після досягнення осадки 5 м відбувається процес занурення кільблокової доріжки і веж плавучого доку, відповідно значно зменшується площа ватерлінії плавучого доку. При досягненні осадки 8,25 м. істотно збільшиться площа ватерлінії, яка буде складатися з площин плавучого доку і судна (для випадку розміщеного судна на плавучому доку). Відповідно при кожній осадці значення центру тяжіння, центру величини та площі ватерлінії вплинуть на показники моментів крену і диференту.

Лінійність показників пояснюється малими значеннями кутів крену і диференту плавучого доку, а тому значення $\sin\theta$ та $\sin\psi$ не суттєво впливають на лінійний характер зміни моментів при різних значеннях осадки.

3.3. Синтез та оптимізація нечіткого контролера осадки плавучого доку

Для виконання плавучим доком операцій занурення та спливання розроблено підсистему контролю осадки плавучого доку, що обслуговує баластну систему з 4 розподільними коробками і 20 баластними танками (БТ). Функціональна структура даної підсистеми представлена на рис. 3.7.

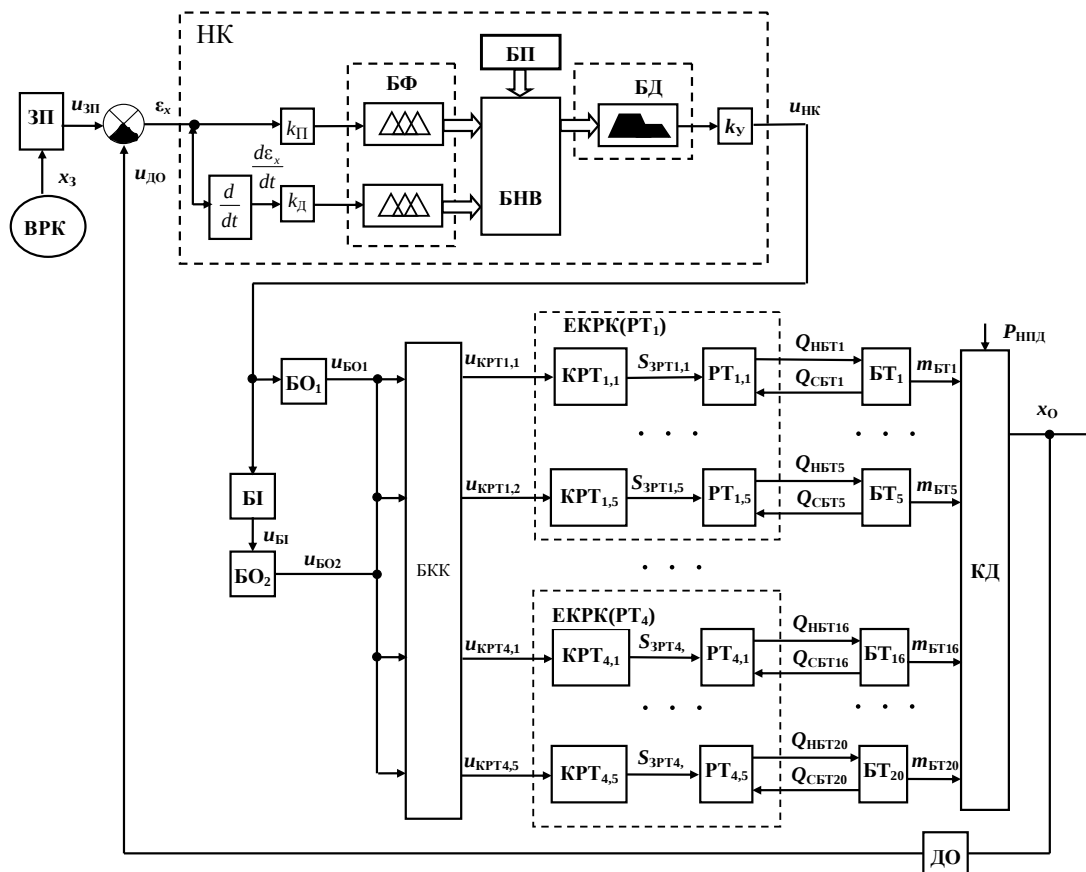


Рис. 3.7. Функціональна структура узагальненої підсистеми контролю осадки плавучого доку

На рис. 3.7 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 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 $KPT_{1,1}, \dots, KPT_{4,5}$; $Q_{НБТ1}, \dots, Q_{НБТ20}$ – витрати баластної рідини при наповненні на входах $БТ_1, \dots, БТ_{20}$; $Q_{СБТ1}, \dots, Q_{СБТ20}$ – витрати баластної рідини при спустошенні на виходах $БТ_1, \dots, БТ_{20}$; $S_{ЗРТ1,1}, \dots, S_{ЗРТ4,1}$ – площі задіяних поверхонь затворів в трубопроводах $РТ_{1,1}, \dots, РТ_{4,5}$; $m_{БТ1}, \dots, m_{БТ20}$ – маса баластної рідини кожного $БТ_1, \dots, БТ_{20}$, БІ – блок інверсії; БО1, БО2 – блоки обмеження; ВРК – верхній рівень контролю; ЗП – задавальний пристрій; БФ – блок фаззифікації; БНВ – блок нечіткого виведення; БД – блок дефаззифікації; ϵ_x – помилка керування; $k_{П}, k_{Д}, k_{У}$ – коефіцієнти пропорційності. ДО – датчик осадки; x_3, x_0 – задавальне і реальне контрольоване значення осадки; $u_{ЗП}, u_{НК}, u_{БІ}, u_{БО1}, u_{БО2}, u_{ДО}$ – вихідні сигнали ЗП, НК, БІ, БО₁, БО₂ та ДО, відповідно.

Задане значення осадки плавучого доку x_3 задається за допомогою ЗП, а реальне значення осадки x_0 вимірюється датчиком осадки ДО, який формує відповідний сигнал $u_{ДО}$. Сигнал від ЗП $u_{ЗП}$, що відповідає заданому значенню осадки плавучого доку x_3 , і сигнал $u_{ДО}$, що відповідає реальному значенню осадки плавучого доку x_0 , надходять через суматор до нечіткого контролера НК. НК облаштований блоком інверсії БІ і блоками обмеження БО₁, БО₂. Суматор порівнює сигнали $u_{ЗП}$ та $u_{ДО}$ і формує значення помилки керування осадкою $\epsilon_x = u_{ЗП} - u_{ДО}$. НК, в свою чергу, формує сигнал керування $u_{НК}$ на основі помилки ϵ_x відповідно до закону керування і передає його на блок інверсії БІ та блоки обмеження БО₁, БО₂. Блок інверсії перетворює сигнал НК $u_{НК}$ в інвертований сигнал $u_{БІ}$. Блоки обмеження БО₁, БО₂ пропускають тільки позитивні сигнали $u_{БО1}$ і $u_{БО2}$, які потім подаються на блок керування клінкетами БКК.

Якщо помилка ϵ_x додатня ($\epsilon_x > 0$) і увімкнений режим наповнення баластних танків, НК формує додатній сигнал керування $u_{НК}$, який надходить до блоку інверсії БІ і блоку обмеження БО₁. Блок інверсії БІ перетворює додатній сигнал $u_{НК}$ до від'ємного, який не передається через БО₂. У свою чергу БО₁ передає додатній сигнал керування $u_{НК}$ через БКК до всіх автоматизованих клінкетів КРТ в режимі наповнення баластних танків. Таким чином, всі КРТ

мають певний додатній вхідний сигнал і відповідно їх клінкети керування відкриваються на певний кут, чим забезпечується заповнення баластних танків. При цьому значення реальної осадки x_0 плавучого доку збільшується, а додатне значення помилки ε_x зменшується до нуля.

Якщо помилка ε_0 є від'ємною ($\varepsilon_x < 0$) і увімкнений режим спустошення баластних танків, НК формує від'ємний сигнал керування $u_{НК}$, який надходить до блоку інверсії БІ і блоку обмеження БО₁. БО₁ не пропускає вихідний від'ємний сигнал НК $u_{НК}$. У свою чергу, блок інверсії БІ перетворює від'ємний сигнал НК $u_{НК}$ на додатній, який передається через БО₂ та БКК до всіх автоматизованих клінкетів КРТ в режимі спустошення баластних танків. Таким чином, всі КРТ мають певний додатній вхідний сигнал і відповідно їх клінкети керування відкриваються на певний кут, чим забезпечується спустошення баластних танків. При цьому значення реальної осадки x_0 плавучого доку зменшується, а від'ємне значення помилки ε_0 також прагне до нуля.

Нечіткі системи керування з нечіткими контролерами забезпечують якість процесу регулювання не гірше, ніж в системах, синтезованих класичними традиційними методами [116, 148 - 150]. Крім того, в даний час широкого поширення набувають комплексні комбіновані системи управління технологічними процесами, що включають як безперервний (або цифровий) динамічний ПІ або ПД контролер, функціонуючі на традиційній основі, і адаптивний блок, побудований на базі нечіткої логіки.

Математична модель плавучого доку є об'єктом керування без автостабілізації, тому доцільно використовувати в якості НК саме нечіткий ПД-контролер осадки. Оскільки використання інтегральної складової помилки в процесі керування буде тільки зменшувати показники якості.

Розглянемо більш детально процедуру синтезу нечіткого ПД-контролера осадки Мамдані-типу, при реалізації якого основними етапами нечіткого логічного висновку є: фаззифікація, агрегація, активізація, акумуляція та дефаззифікація [1, 3, 8, 12, 31 - 33].

На етапі агрегації визначають ступені істинності для кожного з правил системи нечіткого логічного висновку, а на етапі активізації реалізується процедура знаходження ступенів істинності кожного з правил.

Подальшим етапом нечіткого логічного висновку є акумуляція, тобто процедура знаходження функцій належності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних. Метою акумуляції є об'єднання всіх вихідних лінгвістичних термів з відповідними ступенями істинності кожного з правил для отримання функції належності вихідної змінної. Таким чином, на етапі акумуляції формується результуюча функція належності для нечіткого рішення, яке потрібно перетворити в чітке значення вихідного сигналу.

Процедура знаходження чіткого числового значення вихідного сигналу u_{DC} являє собою процедуру дефазифікації. Існує кілька методів дефазифікації: метод центру тяжіння, метод центру площини, метод лівого модального значення, метод правого модального значення та ін. Для даного випадку використовується метод центру тяжіння, згідно якого значення вихідного сигналу розраховується за формулою

$$u_{DC} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \cdot \mu(u_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(u_i)}, \quad (3.60)$$

де n – кількість значень вихідної лінгвістичної змінної; u_i – i -те значення відповідної вихідної лінгвістичної змінної; $\mu(u_i)$ – значення результуючої функції належності для відповідного значення u_i .

Кількість лінгвістичних термів для вхідних та вихідної змінних нечіткого ПД-контролера осадки обирається з урахуванням кількості лінгвістичних термів m_i для кожної i -тої вхідної змінної нечіткого ПД-контролера осадки ($i = 1, \dots, n$) та w для вихідної змінної u_{HK} нечіткого ПД-контролера осадки. Доцільно вибрати непарну кількість мовних термінів m_i і w , яка в залежності від контрольованого параметру q може бути розрахована за формулою

$$m_i = w = q \cdot 2 + 1. \quad (3.61)$$

Спочатку параметр q встановлюється рівним одному ($q = 1$). Якщо оптимальне значення цільової функції не досягається за допомогою такої конфігурації нечіткого ПД-контролера осадки, то параметр q необхідно встановити рівним двом ($q = 2$), та здійснювати подальший синтез і оптимізацію.

Встановимо параметр q рівним одному ($q = 1$) Таким чином, для кожного вхідного та вихідного змінних даного нечіткого ПД-контролера осадки обираються 3 лінгвістичні терми ($m_i = w = 3$) для кожної з 3-х (2 вхідних та вихідної) змінних. Всі лінгвістичні терми LT_i^k , ($i \in \{1...3\}$, $k \in \{1...3\}$) мають трикутну форму функцій належності, зокрема, для двох входів ($k \in \{1,2\}$) і одного виходу ($k = 3$):

$$LT_i^k = (c_i^k - b_i^{k-}, c_i^k, c_i^k + b_i^{k+}), (i \in \{1...3\}, k \in \{1...3\}), \quad (3.62)$$

де c_i^k , b_i^{k-} , b_i^{k+} – три параметри функції належності нечіткого трикутного числа, які характеризують всі вершини ki -го трикутного лінгвістичного терма LT_i^k ; i – номер терму; k – номер змінної.

У свою чергу, початкові значення параметрів функцій належності лінгвістичних термів (ФНЛТ) визначаються таким чином, що лінгвістичні терми вхідних даних та вихідних змінних нечіткого ПД-контролера осадки рівномірно розподіляються в їх робочих діапазонах. Параметри функцій належності ЛТ представлені на рис. 3.8, де прийняті наступні позначення: N – від'ємний; Z – нульовий; P – додатний.

Загальна кількість правил в даному випадку становить 9. Кожне правило синтезованої бази правил (БП) є лінгвістичним твердженням, яке представлено виразом

$$\text{ЯКЩО } \epsilon_x = x \text{ I } \frac{d\epsilon_x}{dt} = y \text{ ТО } u_{\text{HP}} = z, \quad (3.63)$$

де x , y , та z – відповідні лінгвістичні терми.

База правил нечіткого ПД-контролера осадки $m_i = w = 3$, представлена у табл 3.1.

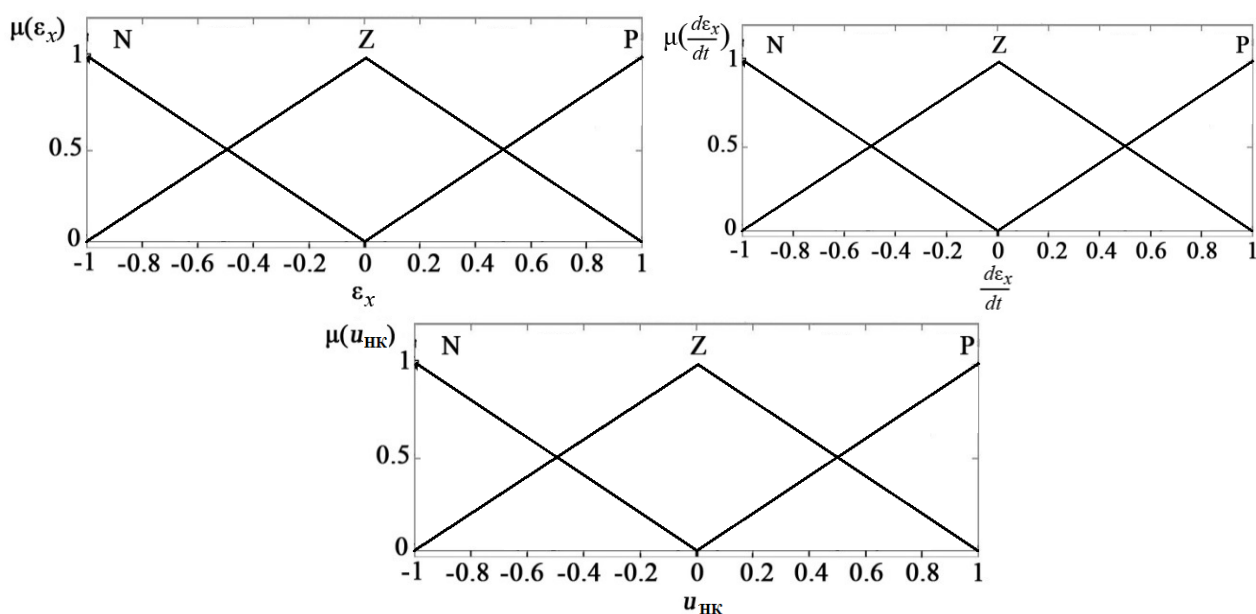


Рис. 3.8. Зовнішній вигляд ЛТ входних і вихідної змінних нечіткого ПД-контролера осадки при $m_i = w = 3$

Табл. 3.1. База правил нечіткого ПД-контролера осадки при $m_i = w = 3$

		Швидкість зміни похибок, $\frac{d\epsilon_x}{dt}$		
		N	Z	P
Похибка, ϵ_x	N	N	N	N
	Z	N	Z	P
	P	P	P	P

На рис. 3.9 представлена характеристична поверхня нечіткого ПД-контролера осадки.

При проектуванні ефективного нечіткого ПД-контролера осадки необхідно вдосконалити показники якості контролю, енергетичної та економічної ефективності підсистеми контролю осадки, за рахунок

першочергової процедури оптимізації параметрів та структури нечіткого ПД-контролера осадки на основі відповідних методів математичного програмування. При цьому доцільно провести структурну та параметричну оптимізацію нечіткого ПД-контролера осадки на основі бажаних перехідних процесів до досягнення оптимального значення цільової функції.

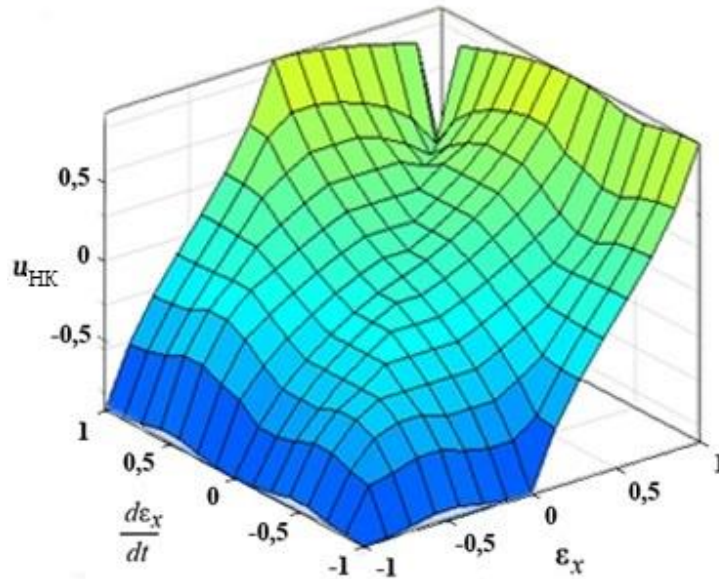


Рис. 3.9. Характерна поверхня нечіткого ПД-контролера осадки при $m_i = w = 3$

Цільова функція I процедури оптимізації полягає в мінімізації інтегрально-квадратичної помилки $f(t, P)$ між моделюючим $y_{\text{мод}}(t, P)$ і бажаним $y_{\text{баж}}(t, P)$ перехідними процесами

$$\min_P f(t, P) = \min_P \left[\int e(t, P)^2 dt \right] = \min_P \left[\int (y_{\text{мод}}(t, P) - y_{\text{баж}}(t, P))^2 dt \right], \quad (3.64)$$

де P – вектор оптимізованих параметрів; t – час перехідного процесу.

Вектор параметрів оптимізації приймає наступний вигляд для коефіцієнтів пропорційності.

$$P = \{k_p, k_d, k_y\}. \quad (3.65)$$

Для оптимізації лінгвістичних термів нечіткого ПД-контролера осадки також обране рівняння 3.66 в якості цільової функції I . Вектор оптимізованих параметрів P є масивом параметрів лінгвістичних термів нечіткого ПД-контролера осадки для кожного входу і виходу:

$$P = \{P_{i,j}^k\}, k = \{1, 2, 3\}, i = \{1, \dots, 3\}, j = \{1, 2, 3\}, \quad (3.66)$$

де k – номер вхідного або вихідного сигналу; i – номер лінгвістичного терму; j – номер оптимізованого параметра відповідного лінгвістичного терму.

Оптимізацію параметрів ФНЛТ вхідних і вихідної змінних нечіткого ПД-контролера осадки здійснено на основі методу градієнтного спуску. Ітераційна процедура може бути використана для оптимізації трьох параметрів c_i^k , b_i^{k-} і b_i^{k+} трикутної функції належності для всіх лінгвістичних термів LT_i^k , ($i \in \{1 \dots 3\}$, $k \in \{1 \dots 3\}$):

$$c_i^k[n+1] = c_i^k[n] - \gamma[n] \left. \frac{\partial f(P)}{\partial c_i^k} \right|_{c_i^k[n]}; \quad (3.67)$$

$$b_i^{k-}[n+1] = b_i^{k-}[n] - \gamma[n] \left. \frac{\partial f(P)}{\partial b_i^{k-}} \right|_{b_i^{k-}[n]}; \quad (3.68)$$

$$b_i^{k+}[n+1] = b_i^{k+}[n] - \gamma[n] \left. \frac{\partial f(P)}{\partial b_i^{k+}} \right|_{b_i^{k+}[n]}, \quad (3.69)$$

де n – число ітерацій; γ – крок градієнтного спуску.

Оптимізовані параметри ФНЛТ вхідних і вихідної змінних нечіткого ПД-контролера осадки представлені на рис. 3.10.

Для перевірки ефективності синтезованого на даному етапі нечіткого ПД-контролера осадки проводиться комп'ютерне моделювання перехідних процесів та порівняльний аналіз показників якості підсистеми контролю осадки плавучого доку з налаштованим нечітким ПД-контролером осадки та оптимально налаштованим ПД-контролером.

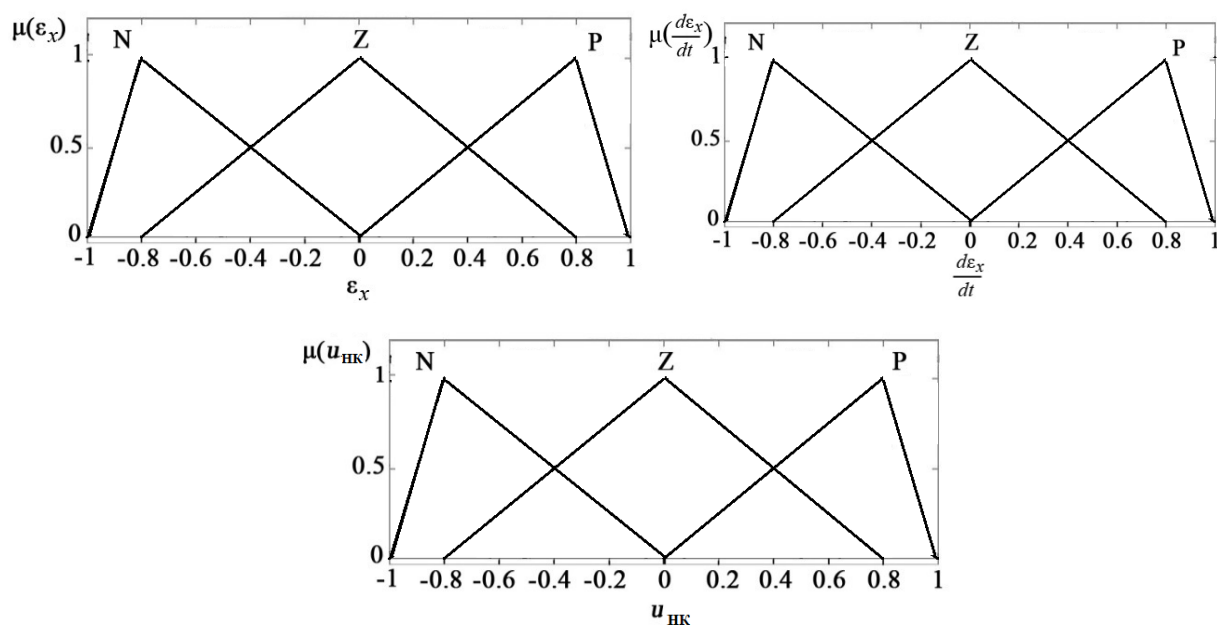


Рисунок 3.10. Оптимізовані параметри ФНЛТ вхідних і вихідної змінних нечіткого ПД-контролера осадки при $m_i = w = 3$

На рис. 3.11 представлена характерна поверхня розробленого нечіткого ПД-контролера осадки.

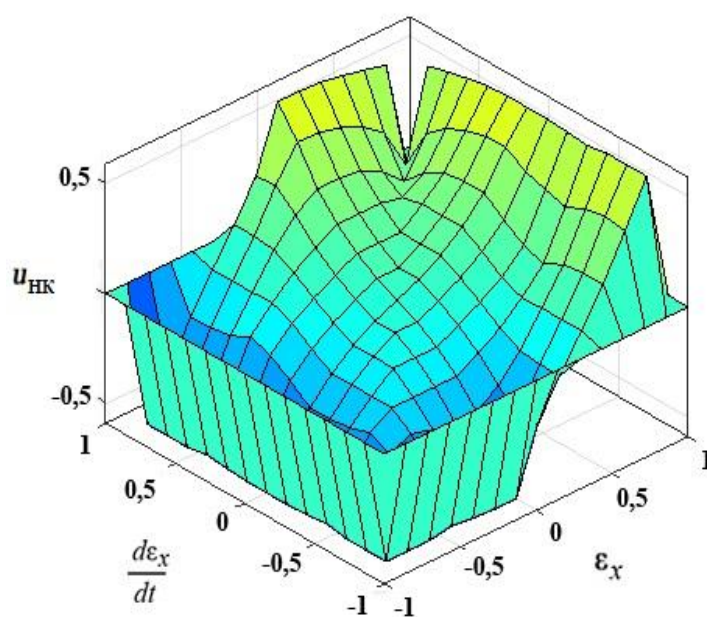


Рис. 3.11. Характерна поверхня оптимізованого нечіткого ПД-контролера осадки при $m_i = w = 3$

Перехідні процеси занурення плавучого доку з судном представлені на рис. 3.12. Початкове значення осадки плавучого доку становить 3,83 м, встановлене значення визначається оператором і складає 8,6 м.

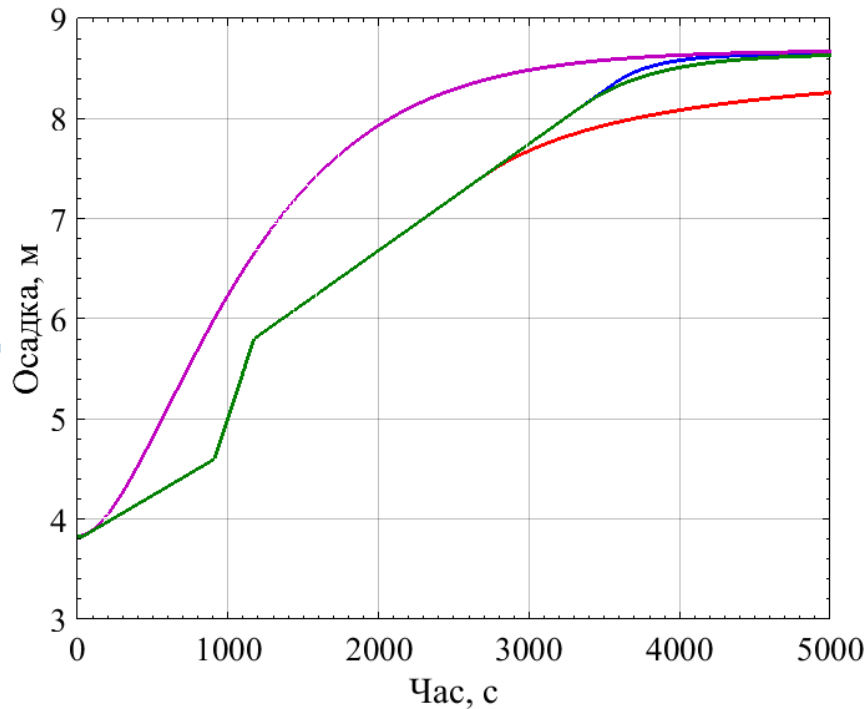


Рис. 3.12. Перехідні процеси підсистеми контролю осадки при зануренні плавучого доку з судном: фіолетова лінія – бажаний перехідний процес; зелена лінія – традиційний ПД-контролер; синя – оптимізований нечіткий ПД-контролер осадки $m_i = w = 3$; червона – неоптимізований нечіткий ПД-контролер осадки $m_i = w = 3$.

Результати порівняльного аналізу показників якості підсистеми контролю осадки плавучого доку з традиційним і нечітким ПД-контролерами при виконанні різних докових операцій (занурення і спливання) з судном представлені в табл. 3.2, де σ є перерегулювання, $\sigma = \frac{H_{FD\text{MAX}} - H_{FDS}}{H_{FDS}} \cdot 100\%$; t_r – час регулювання; I – значення цільової функції.

Перехідні процеси спливання плавучого доку з судном представлені на рис. 3.13. Початкове значення осадки плавучого доку становить 8,6 м, встановлене значення визначається оператором і складає 3,83 м.

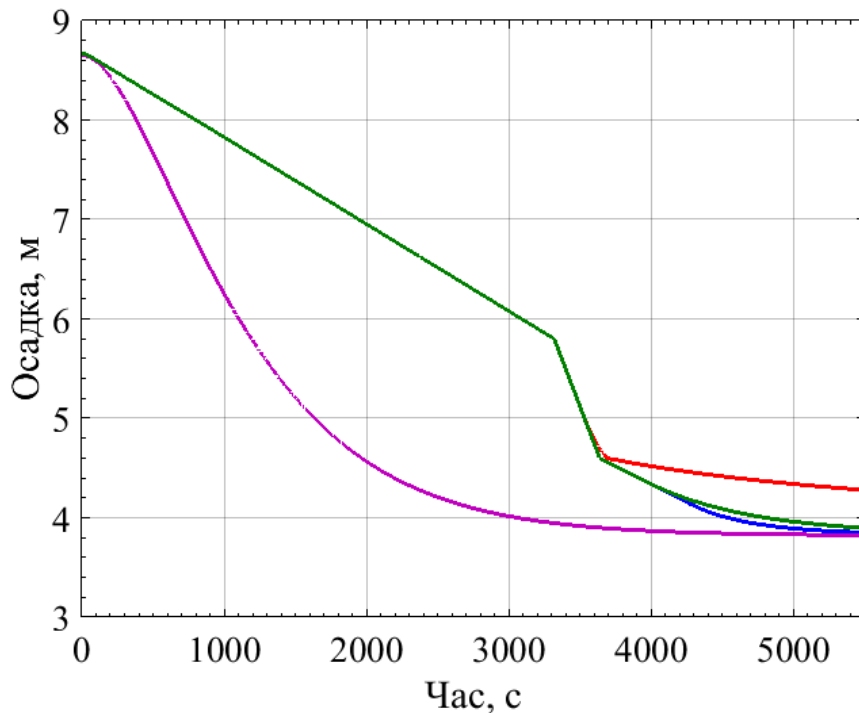


Рис. 3.13. Перехідні процеси підсистеми контролю осадки при спливанні плавучого доку з судном: фіолетова лінія – бажаний перехідний процес; зелена – традиційний ПД-контролер; синя – оптимізований нечіткий ПД-контролер осадки $m_i = w = 3$; червона – неоптимізований нечіткий ПД-контролер осадки $m_i = w = 3$.

Таблиця 3.2. Показники якості підсистеми контролю осадки плавучого доку

Показники якості	Показники якості підсистеми контролю осадки					
	Оптимально налаштований ПД-контролер		Не оптимізований нечіткий ПД-контролер осадки при $m_i = w = 3$		Оптимізований нечіткий ПД-контролер осадки при $m_i = w = 3$	
	Докові операції плавучого доку					
	занурення	спливання	занурення	спливання	занурення	спливання
$\sigma, \%$	0	0	0	0	0	0
t_r, s	4600	6500	20500	35000	4400	6200
I	3196	12400	4200	13500	3181	12390

Підсистема контролю осадки з традиційним ПД-контролером має кращі показники якості, ніж з неоптимізованим нечітким ПД-контролером типу Мамдані при зануренні і спливанні плавучого доку з судном. Проте оптимізований нечіткий ПД-контролер дає найкращі показники якості. Для

наближення перехідних процесів до бажаних та зведення часу регулювання до мінімально можливого проведемо наступний етап оптимізації нечіткого ПД-контролера осадки. Встановимо параметр q рівним двом ($q = 2$). Таким чином, для кожного вхідного та вихідного змінних даного нечіткого ПД-контролера осадки вибираються 5 лінгвістичних термінів ($m_i = w = 5$): BN – великий негативний; SN – невеликий негативний; Z – нуль; SP – маленький позитивний; BP – великий позитивний. У свою чергу, початкові значення вектору параметрів ФНЛТ визначаються таким чином, що лінгвістичні терми вхідних даних та вихідних змінних НК рівномірно розподіляються в їх робочих діапазонах. ФНЛТ вхідних та вихідних змінних НК показано на рис. 3.14.

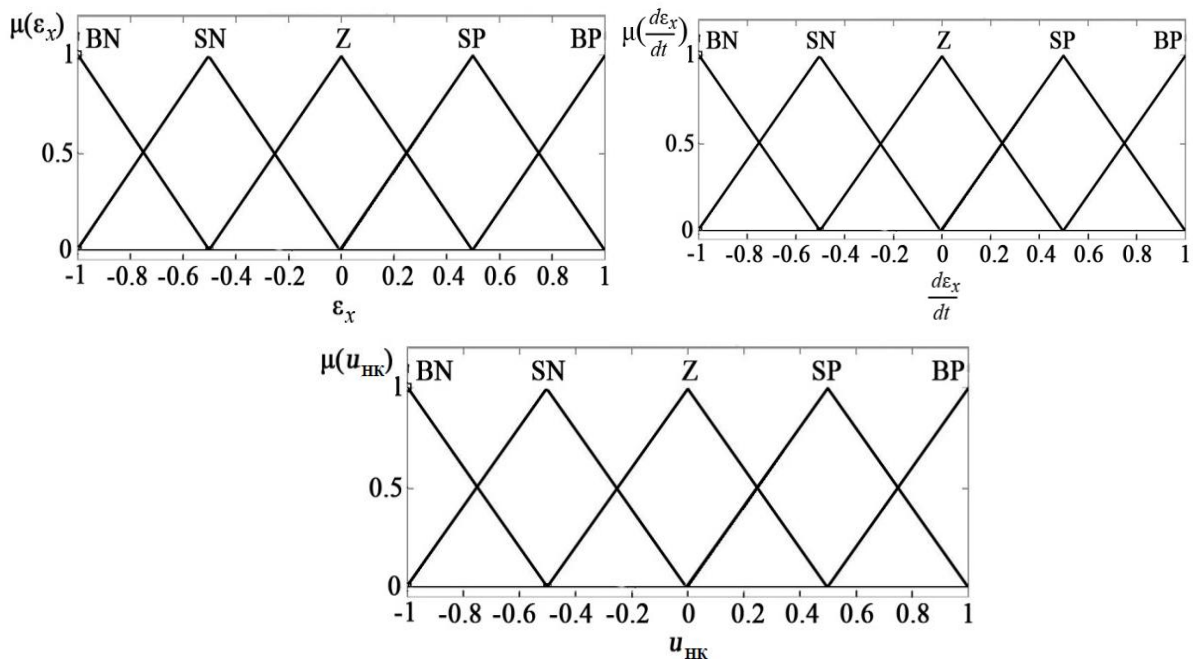


Рис. 3.14. Параметри ФНЛТ вхідних і вихідної змінних нечіткого ПД-контролера осадки при $m_i = w = 5$

Загальна кількість правил в даному випадку становить 25. Кожне правило синтезованої бази правил (БП) є лінгвістичним твердженням, яке представлено виразом (3.4). База правил нечіткого ПД-контролера осадки, представлена у табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Нормативна база нечіткого ПД-контролера осадки при $m_i = w = 5$

		Швидкість зміни похибок, $\frac{d\varepsilon_x}{dt}$				
		BN	SN	Z	SP	BP
Похибка, ε_x	BN	BN	BN	BN	BN	SN
	SN	BN	BN	BN	SN	SN
	Z	BN	SN	Z	SP	BP
	SP	SP	SP	BP	BP	BP
	BP	SP	BP	BP	BP	BP

На рис. 3.15 представлена характерна поверхня розробленого нечіткого ПД-контролера осадки.

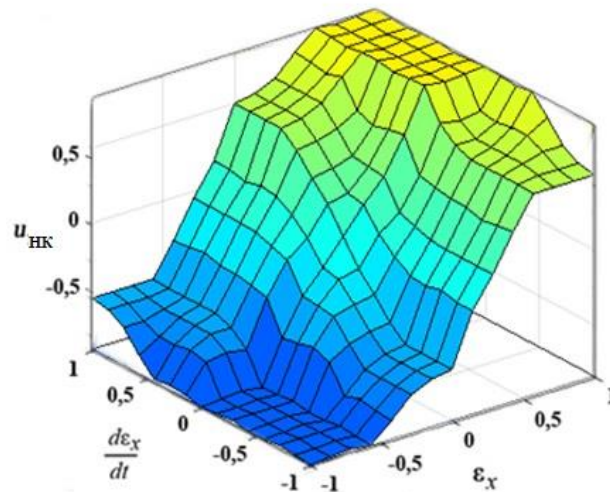


Рис. 3.15. Характерна поверхня нечіткого ПД-контролера осадки $m_i = w = 5$

Процедури оптимізації для нечіткого ПД-контролера осадки з п'ятьма лінгвістичними термами аналогічні попереднім процедурам оптимізації для нечіткого ПД-контролера осадки з трьома лінгвістичними термами. Для оптимізації обране рівняння 3.64 в якості цільової функції I . Вектор параметрів оптимізації приймає наступний вигляд для коефіцієнтів пропорційності.

$$P = \{k_{\Pi}, k_{\text{Д}}, k_{\text{У}}\}. \quad (3.70)$$

Вектор оптимізованих параметрів P є масивом параметрів лінгвістичних термів нечіткого ПД-контролера осадки для кожного входу і виходу (3.12):

$$P = \{P_{i,j}^k\}, k = \{1, 2, 3\}, i = \{1, \dots, 5\}, j = \{1, 2, 3\}, \quad (3.71)$$

де k – номер вхідного або вихідного сигналу; i – номер лінгвістичного терму; j – номер оптимізованого параметра відповідного лінгвістичного терму.

Оптимізовані параметри ФНЛТ вхідних і вихідних змінних нечіткого ПД-контролера осадки представлені на рис. 3.16.

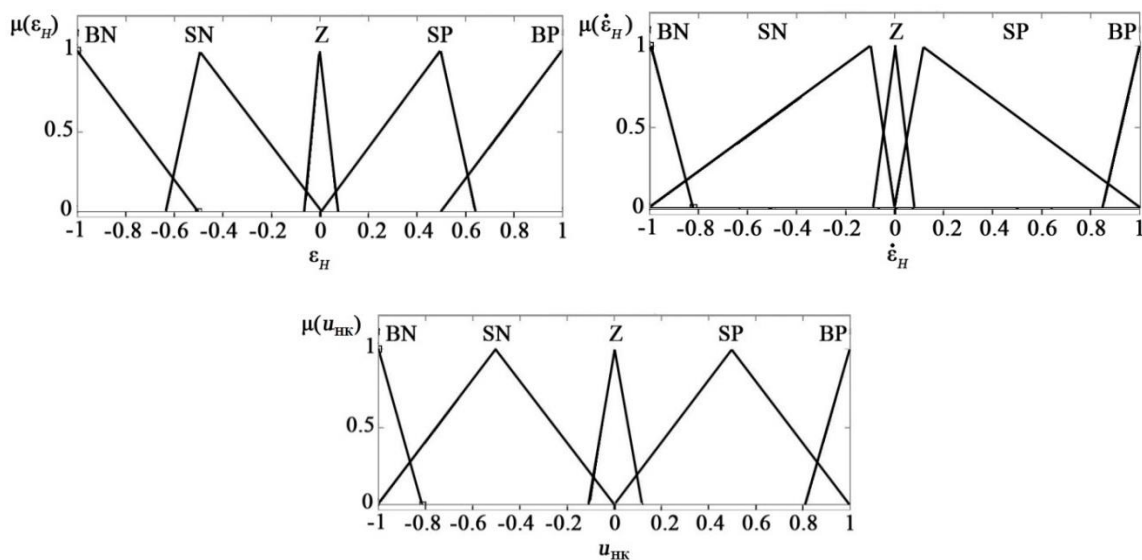


Рис. 3.16. Оптимізовані параметри ФНЛТ вхідних і вихідної змінних нечіткого ПД-контролера осадки при $m_i = w = 5$

На рис. 3.17 представлена характерна поверхня оптимізованого нечіткого ПД-контролера осадки.

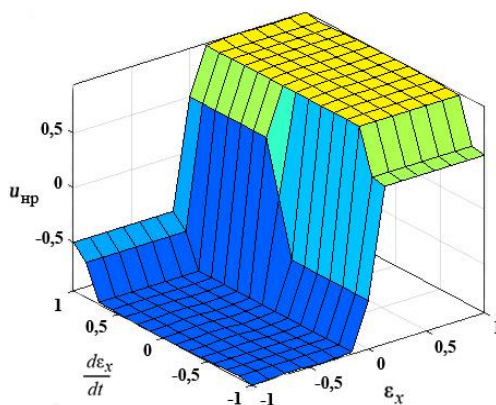


Рис. 3.17. Характерна поверхня оптимізованого нечіткого ПД-контролера осадки $m_i = w = 5$

Для перевірки ефективності синтезованого на даному етапі нечіткого ПД-контролера осадки проводиться комп'ютерне моделювання перехідних процесів та порівняльний аналіз показників якості підсистеми контролю осадки плавучого доку з оптимізованим нечітким ПД-контролером осадки $m_i = w = 5$ та оптимально налаштованим ПД-контролером. У свою чергу, перехідні процеси та порівняльний аналіз показників якості системи керування плавучого доку представлені на рис. 3.18, рис. 3.19 і табл. 3.4, відповідно.

Таблиця 3.4. Показники якості системи контролю осадки плавучого доку

Показники якості	Показники якості підсистеми контролю осадки					
	Оптимально налаштований ПД-контролер		Не оптимізований нечіткий ПД-контролер осадки при $m_i = w = 5$		Оптимізований нечіткий ПД-контролер осадки при $m_i = w = 5$	
	Докові операції плавучого доку					
	занурення	спливання	занурення	спливання	занурення	спливання
σ , %	0	0	0	0	0	0
t_r , s	4200	6500	7000	10000	3800	4700
I	3196	12400	3520	12760	3178	12380

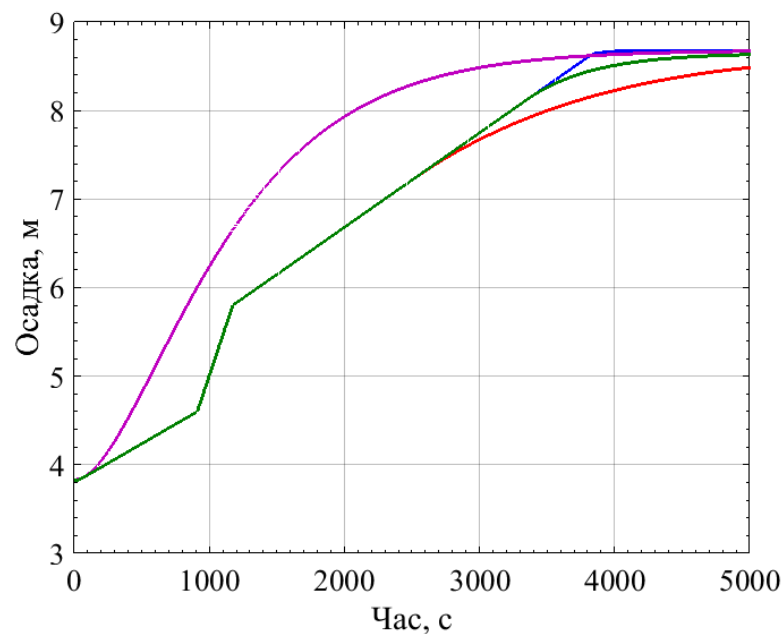


Рис. 3.18. Перехідні процеси підсистеми контролю осадки при зануренні плавучого доку з судном: фіолетова лінія – бажаний перехідний процес; зелена лінія – традиційний ПД-контролер; синя лінія – оптимізований нечіткий ПД-контролер осадки $m_i = w = 5$; червона лінія – неоптимізований нечіткий ПД-контролер осадки $m_i = w = 5$.

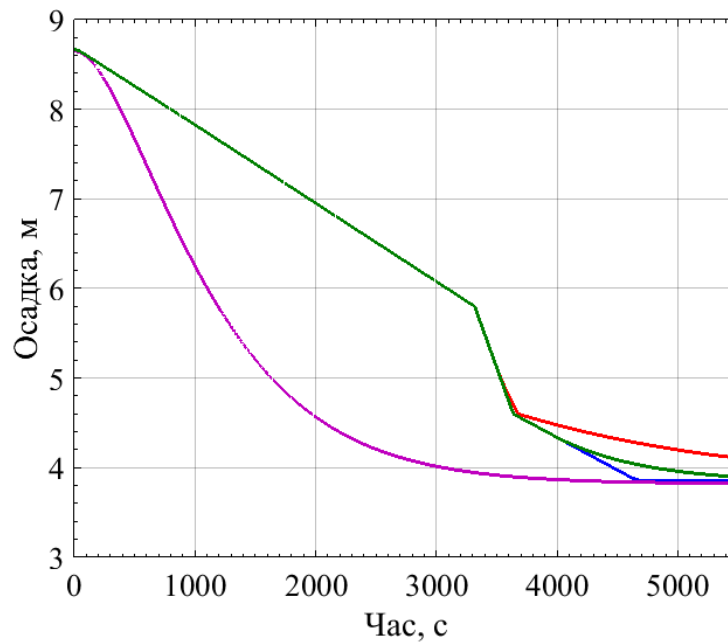


Рис. 3.19. Перехідні процеси підсистеми контролю осадки при зануренні плавучого доку з судном: фіолетова лінія – бажаний перехідний процес; зелена – традиційний ПД-контролер; синя – оптимізований нечіткий ПД-контролер осадки $m_i = w = 5$; червона – неоптимізований нечіткий ПД-контролер осадки $m_i = w = 5$.

Як видно з табл. 3.4 значення цільової функції з оптимізованим нечітким ПД-контролером осадки зводиться до $I = 3178$ для процесу занурення і $I = 12380$ для процесу спливання, що свідчить про максимальне наближення даних перехідних процесів до бажаних. Отже система керування з оптимізованим нечітким ПД-контролером осадки при $m_i = w = 5$ має найкращі показники якості.

Для удосконалення запропонованого нечіткого ПД-контролера осадки з точки зору зменшення часу обробки даних рекомендується здійснити процедуру редукції бази правил [12]. Дана редукція являє собою свого роду оптимізацію бази правил за рахунок скорочення числа правил при тій же ефективності керування, що дає можливість спростити реалізацію апаратного і програмного забезпечення розробленого нечіткого ПД-контролера осадки.

Процедура структурної оптимізації бази правил нечіткого ПД-контролера осадки складається з (а) визначення ступеня впливу правил БП на вихідний

сигнал нечіткого ПД-контролера осадки $u_{\text{НК}}$, (б) побудови відповідного ранжируваного ряду правил **R** за зменшенням ступеня впливу, а також (в) виключення з бази правил тих правил, вплив яких на формування сигналу $u_{\text{НК}}$ є несуттєвим [12].

Визначення ступеня впливу правил на вихідний сигнал $u_{\text{НК}}$ 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 -ого правила в процесі керування виражається функцією від часу t

$$\mu_r^R(t) = \bigcap_{k=1}^{n-1} \mu_k^r(X_k(t)) = \inf_{k=1}^{n-1} \mu_k^r(X_k(t)), \quad (3.72)$$

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 $G_r[\mu_r^R(t)]$ [12] впливу r -ого правила на процес керування, в свою чергу, розраховується за виразом

$$G_r[\mu_r^R(t)] = \frac{1}{t_{\max}} \int_0^{t_{\max}} \inf_{k=1}^{n-1} \mu_k^r(X_k(t)) dt. \quad (3.73)$$

При цьому моделювання автоматичної системи при розрахунку зміни ступенів істинності $\mu^R(t)$ та оціночних функціоналів $G[\mu^R(t)]$ правил на інтервалі часу від 0 до $t_{\max}$ доцільно проводити для всіх можливих режимів функціонування (при різнотипних ступінчатих та плавно наростаючих вхідних і збурювальних впливах). Крім того, моделювання перехідних процесів здійснюється для плавучого доку середнього класу вагою 9253 тон та вантажопідйомністю 8500 тон. Максимальна вага встановленого в плавучому

доку судна складає 8400 тон. При моделюванні враховано, що занурення плавучого доку з судном відбувається внаслідок заповнення баластних танків природним шляхом (внаслідок дії сили тяжіння на плавучий док при відкритих забортних клінкетах для прийому рідини), а спливання - внаслідок спустошення баластних танків за допомогою відцентрового насоса (видалення рідини з плавучого доку через отвори для відливу).

На рис. 3.20 показана діаграма оціночних функціоналів $G_r[\mu_r^R(t)]$ впливу на процес керування всіх правил нечіткого ПД-контролера осадки.

Ранжирований ряд **R** правил складається з всіх правил нечіткого ПД-контролера осадки, розташованих в порядку зменшення відповідних значень розрахованого оціночного функціоналу $G_r[\mu_r^R(t)]$: **R** = {23, 3, 8, 18, 13, 12, 14, 9, 7, 19, 17, 4, 2, 24, 22, 1, 5, 6, 10, 11, 15, 16, 20, 21, 25}.

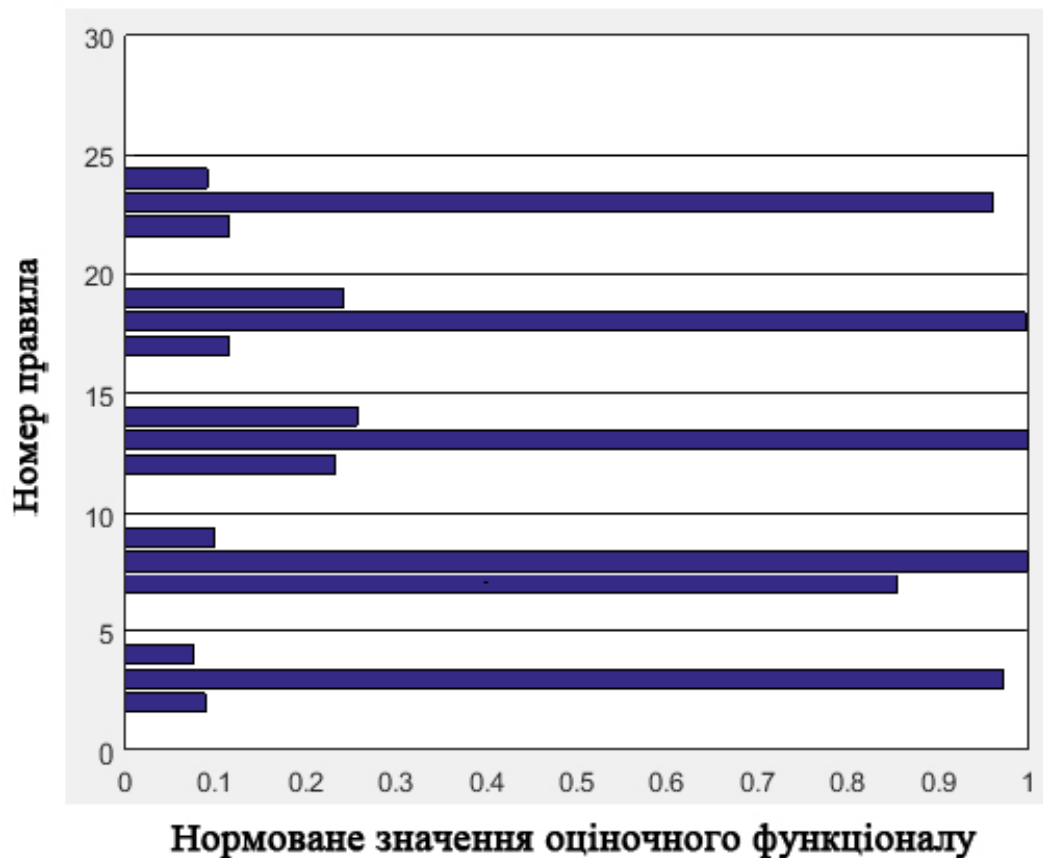


Рис. 3.20. Вплив правил нечіткого ПД-контролера осадки

Виключення правил, вплив яких на формування вихідного сигналу $u_{\text{нр}}$ є несуттєвим, доцільно здійснювати послідовно по одному правилу (починаючи з кінця побудованого ранжируваного ряду $\mathbf{R}$) до певного оптимального значення їх кількості, при якому показники якості автоматичної системи керування осадки будуть залишатися в допустимих межах.

З рис. 3.20 видно, що оціночний функціонал $G_r[\mu_r^R(t)]$ для деяких правил дорівнює нулю, або дуже малим значенням, а отже ці правила практично не беруть участі в процесі нечіткого логічного виведення і, таким чином, можуть бути легко видалені. На підставі рис. 3.20 і наведеного ранжированого ряду $\mathbf{R}$, було видалено 10 правил без погіршення показників якості керування доковими операціями плавучого доку. Таким чином, оптимізована база правил нечіткого контролера осадки складається з 15 правил (23, 3, 8, 18, 13, 12, 14, 9, 7, 19, 17, 4, 2, 24, 22). На рис. 3.21 представлена характерна поверхня нечіткого ПД-контролера осадки з оптимізованою базою правил.

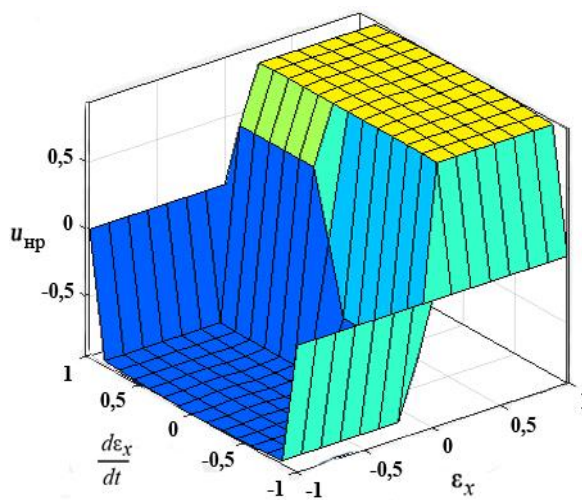


Рис. 3.21. Характерна поверхня нечіткого ПД-контролера осадки з оптимізованою базою правил

Перехідні процеси та порівняльний аналіз показників якості підсистеми контролю осадки плавучого доку при виконанні операції занурення з оптимізованим нечітким контролером і традиційним ПД-контролером представлені на рис. 3.22 і в табл. 3.5, відповідно.

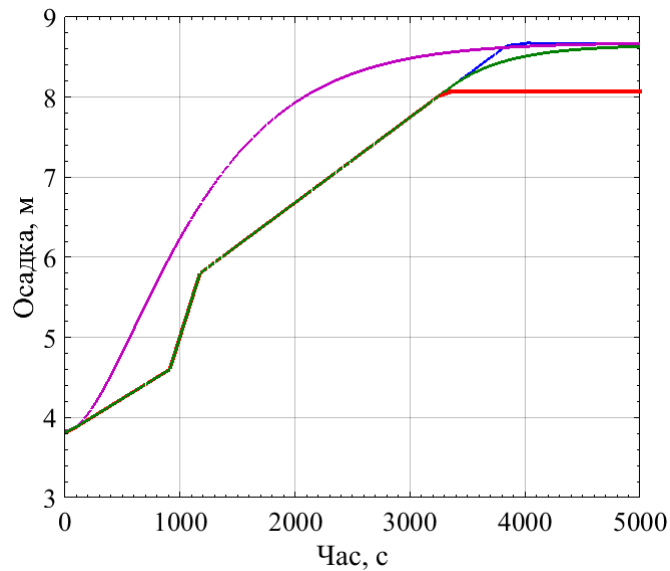


Рис. 3.22. Перехідні процеси підсистеми контролю осадки при зануренні плавучого доку з судном: фіолетова лінія – бажаний перехідний процес; зелена – традиційний ПД-контролер; синя – нечіткий контролер з 15 правилами; червона – нечіткий контролер з 14 правилами.

Як видно з рис. 3.22 та табл. 3.5 при подальшому скороченні правил нечіткого ПД-контролера осадки до 14 правил (23, 3, 8, 13, 12, 14, 9, 7, 19, 17, 4, 2, 24, 22) підсистема контролю осадки перестала відпрацьовувати контрольоване значення осадки.

Табл. 3.5 – Порівняльний аналіз показників якості підсистеми контролю осадки з традиційним і нечітким ПД-контролерами

Показники якості	Показники якості підсистеми контролю осадки		
	Традиційний ПД-контролер	ПД-контролер типу Мамдані з 14 правилами (23, ..., 24)	ПД-контролер типу Мамдані з 15 правилами (23, ..., 22)
t_p, s	4720	3200	3800
$\Delta_o, \%$	0	8,05	0

Таким чином, можна зробити висновок, що оптимальна кількість правил розробленого нечіткого ПД-контролера осадки становить 15 (23, 3, 8, 18, 13, 12, 14, 9, 7, 19, 17, 4, 2, 24, 22). Програмна реалізація традиційного і нечіткого контролерів представлена в додатку Д.

3.4. Інформаційна підсистема автоматизованого планування розподілу баласту для задач стабілізації плавучого доку

Стабілізація кутів крену і диференту плавучого доку безпосередньо оцінюється шляхом співвідношення збурюючих і стабілізуючих моментів. Відповідно в якості показника остійності використовують значення складових навантажень щодо впливу рідкого баласту, якщо момент крену або диференту виявиться менше допустимого, то остійність вважається достатньою. В іншому випадку остійність вважається недостатньою і необхідно збільшити або зменшити кількість рідкого баласту у відповідних танках [35].

Перерозподіл рідкого баласту всередині доку потребує складних розрахунків протікання рідини в трубопроводах, а тому доцільно розробити інформаційну систему розподілення баласту.

Процеси наповнення чи спустошення баластних танків відбуваються через складний баластний трубопровід, що має перемінний по довжині діаметр і розгалуження. Причому місця трубопроводу, де з'єднується кілька відведень труб, називають вузлами. Даний трубопровід містить як послідовні так і паралельні з'єднання.

Послідовний трубопровід складається з труб різної довжини і діаметра. Якщо зазначити загальну витрату рідини через Q то очевидно, що

$$Q = Q_1 = Q_2. \quad (3.74)$$

При цьому втрати напіру визначаються за формулою:

$$h = h_1 + h_2. \quad (3.75)$$

Паралельне розташування труб різних довжин і діаметрів з'єднуються в вузлі магістралі. Якщо зазначити загальну витрату рідини через Q то очевидно, що

$$Q = Q_1 + Q_2. \quad (3.76)$$

Втрати напіру рівні між собою:

$$h = h_1 = h_2. \quad (3.77)$$

Структуру складного трубопроводу розподільної коробки з розгалуженим трубопроводом баластної системи плавучого доку можна представити на рис. 3.23. В даному трубопроводі розглядаються п'єзометричні напіри H_0, H_1, H_2, H_3, H_n і витрати Q_0, Q_1, Q_2, Q_3, Q_n в магістральному трубопроводі H_0, Q_0 в вузлі H_1, Q_0 та на розгалужених ділянках $H_2, Q_1, H_3, Q_2, H_4, Q_3, H_n, Q_n$.

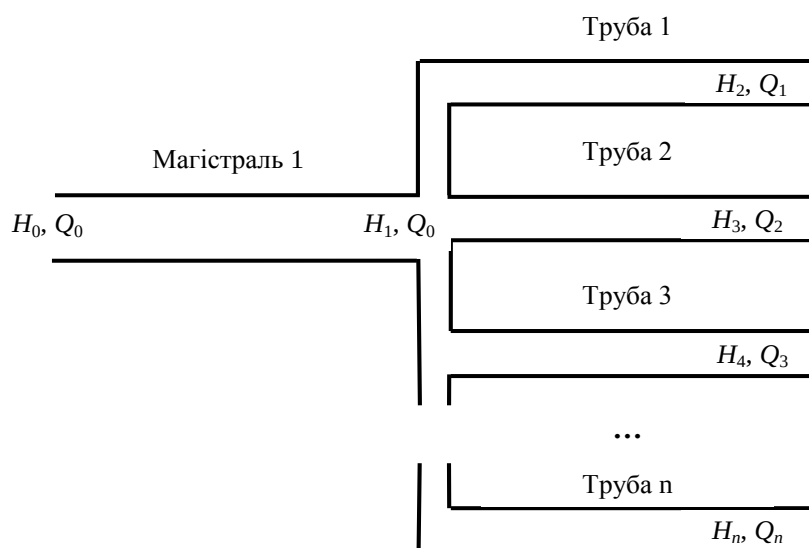


Рис. 3.23. Структура складного трубопроводу розподільної коробки з розгалуженим трубопроводом

Для визначення витрат в магістральному трубопроводі Q_0 та в складових розгалуженого трубопроводу Q_1, Q_2, Q_3, Q_n при умові, що $H_0 > H_1 > H_2, H_1 > H_3, H_1 > H_4, H_1 > H_n$, скористаємося рівняннями Бернуллі і рівнянням збереження витрати (або нерозривності).

Рівняння нерозривності в даному випадку буде мати вигляд

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n. \quad (3.78)$$

Втрати напірів на окремих ділянках трубопроводів, що впливають з рівнянь Бернуллі

$$H_1 = H_0 - H_1 = \left(\frac{\lambda l_1}{d_1} + \sum \zeta_1 \right) \frac{16Q_1^2}{\pi^2 d_1^4 2g}; \quad (3.79)$$

$$H_2 = H_1 - H_2 = \left(\frac{\lambda l_2}{d_2} + \sum \zeta_2 \right) \frac{16Q_2^2}{\pi^2 d_2^4 2g}; \quad (3.80)$$

$$H_3 = H_1 - H_3 = \left(\frac{\lambda l_3}{d_3} + \sum \zeta_3 \right) \frac{16Q_3^2}{\pi^2 d_3^4 2g}; \quad (3.81)$$

$$H_n = H_1 - H_n = \left(\frac{\lambda l_n}{d_n} + \sum \zeta_n \right) \frac{16Q_n^2}{\pi^2 d_n^4 2g}, \quad (3.82)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного опору, що залежить від режиму течії, l – довжина трубопроводу, d – діаметр трубопроводу, ζ – коефіцієнти місцевого опору; g – прискорення вільного падіння; l_1, d_1 – довжина та внутрішній діаметр кожного з трубопроводів.

Вище наведені рівняння об'єднуються в систему рівнянь, що зв'язують шукані витрати і втрати напірів на окремих ділянках трубопроводів. Однак, аналітично завдання може бути вирішене в тих випадках, коли до початку розрахунку можна передбачити режим течії, а значить і вид залежності λ від Re . У випадку невідомих параметрів краще застосовувати графоаналітичний метод.

Розглянемо на рис. 3.24 випадок, в котрому наповнення і спустошення розглядається тільки для двох баластних танків, відповідно розгалужений трубопровід складає дві труби. Рух рідини в трубопроводі змінює свій напрямок в залежності від операції занурення чи спливання плавучого доку. При зануренні плавучого доку рух рідкого баласту спрямований до баластних танків самопливом. При спустошенні, рух рідкого баласту спрямований від баластних танків за допомогою насосів. Тому можна виділити два випадки роботи баластної системи, на спустошення та на наповнення баластних танків.

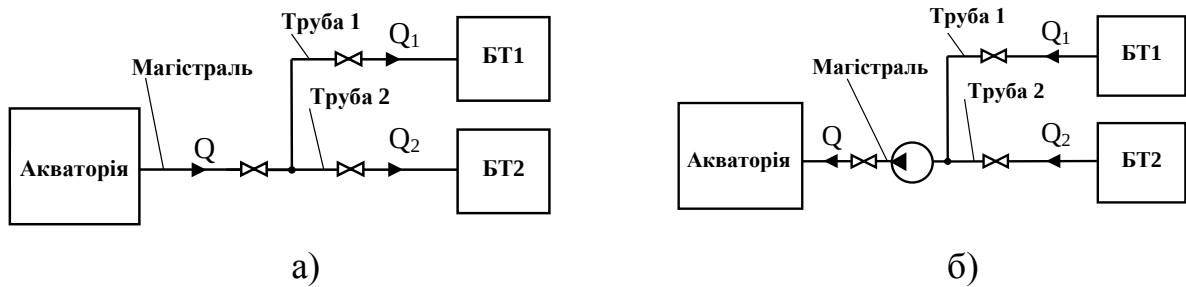


Рис. 3.24. Структура складного трубопроводу для двох баластних танків:

а) у випадку наповнення; б) у випадку спустошення.

Розглянемо графоаналітичний метод розрахунку трубопроводів наповнення та спустошення. Для цього будують напірно-витратні характеристики всіх труб $H = f(Q)$, що входять у відповідну схему для випадку наповнення та спустошення баластних танків. Характеристики паралельно з'єднаних труб підсумовують відповідно до рівнянь (3.74) і (3.75). На графіку складають абсциси (витрати) кожної з кривих труб при однакових ординатах (напіру). В результаті такого підсумовування отримаємо характеристику розгалуженої ділянки трубопроводу, яку можна розглядати як заміну паралельно з'єднаних труб однією їй еквівалентної. Характеристики послідовно з'єднаних труб підсумовують відповідно до рівнянь (3.76) і (3.77). Для цього на графіку складають напіри кожної з кривих при однакових витратах. В результаті отримаємо характеристику загального трубопроводу, яку можна розглядати як заміну послідовно з'єднаним трубам однієї їй еквівалентної. Загальний вигляд напірно-витратних характеристик для випадку наповнення та спустошення баластних танків наведений на рис. 3.25.

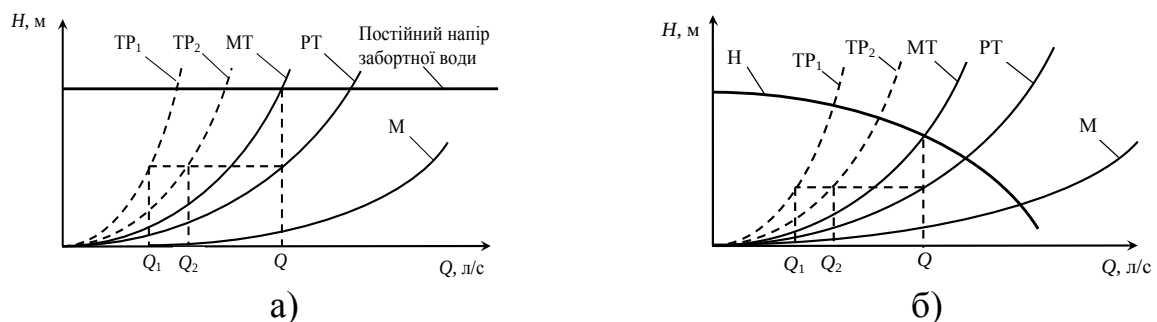


Рис. 3.25. Напірно-витратні характеристики баластної системи:

а) у випадку наповнення; б) у випадку спустошення.

Отже зображені напірно-витратні характеристики: насосу H ; магістралі M ; розгалуженої ділянки трубопроводу PT (побудована шляхом складання абсцис кривих труби 1 TP_1 і труби 2 TP_2); сумарної PMT і PT (побудована шляхом складання ординат кривих TP_1 , TP_2 , M). За відомим значенням MT знаходимо повну витрату рідини в трубопроводі Q , а по кривим TP_1 , TP_2 – витрати в окремих трубопровідних відведеннях Q_1 , Q_2 .

Для складного трубопроводу розподільної коробки плавучого доку розрахунок виконується для однієї послідовної ділянки трубопроводу та п'яти трубопровідних відведень за допомогою програмних засобів. Значення напіру та втрат напірів труб при відповідній витраті попередньо розраховуються в моделі з урахуванням опору трубопроводів (рис. 3.26).

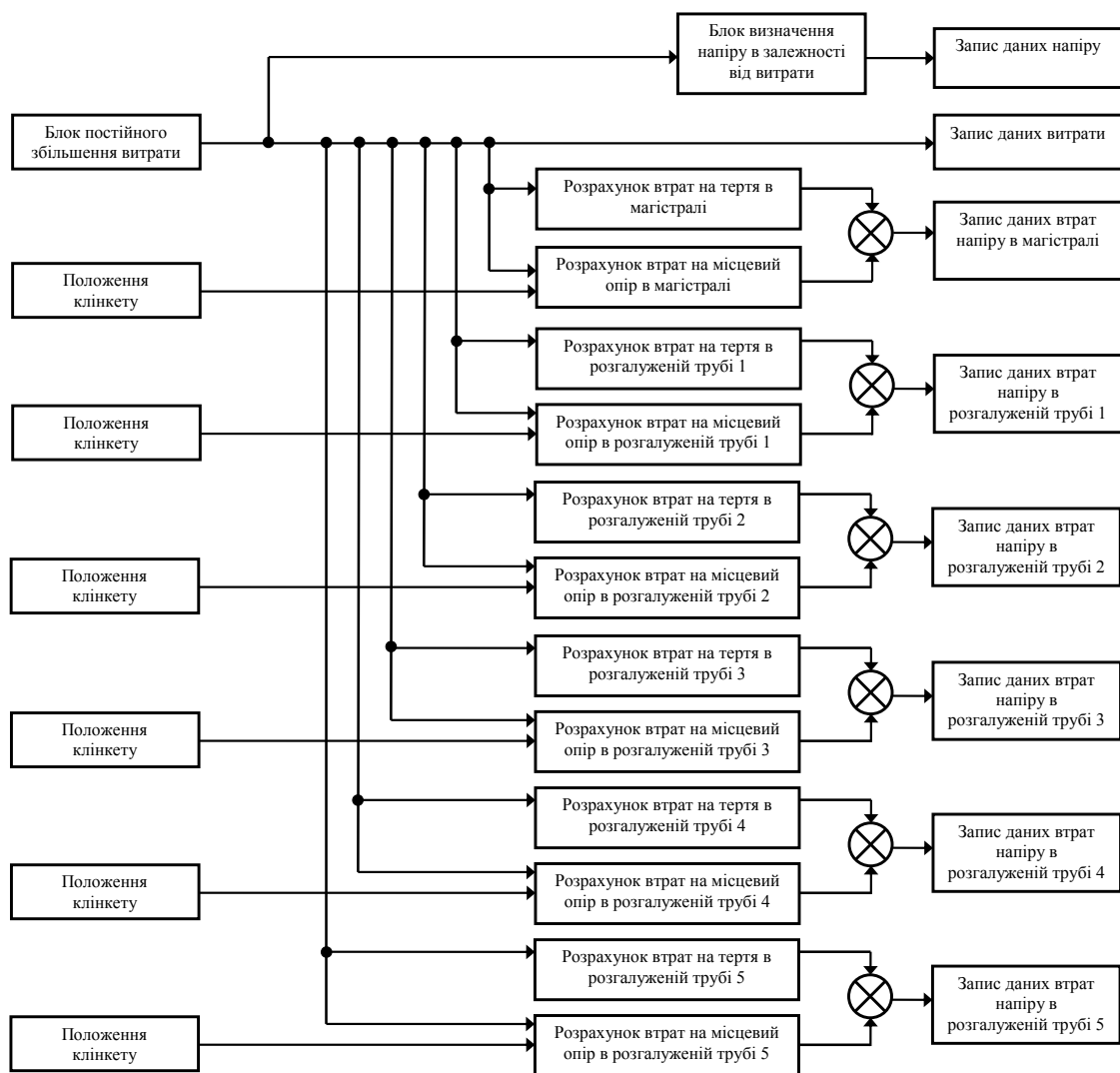


Рис. 3.26. Функціональна модель розрахунку гідравлічних параметрів

Розглянемо рис. 3.26. робота даної моделі виконується наступним чином. Блок постійного збільшення витрати формує сигнал поступового збільшення витрати, від якого в блоці визначення напіру розраховується напір відповідній витраті (у випадку постійного напіру, значення напіру не змінюється). Також від загальної витрати визначаються втрати в трубопровідних відведеннях 1, 2, 3, 4, 5. Так для кожного трубопровідного відведення визначається втрата напіру в залежності від тертя та місцевих опорів в трубі. При чому значення місцевих опорів залежать від положень клінкетів, які можуть змінюватися при кожному новому розрахунку. Всі отримані дані записуються в блоки з позначкою “запис”.

На рис 3.27. зображено алгоритм визначення витрат в складному трубопроводі.

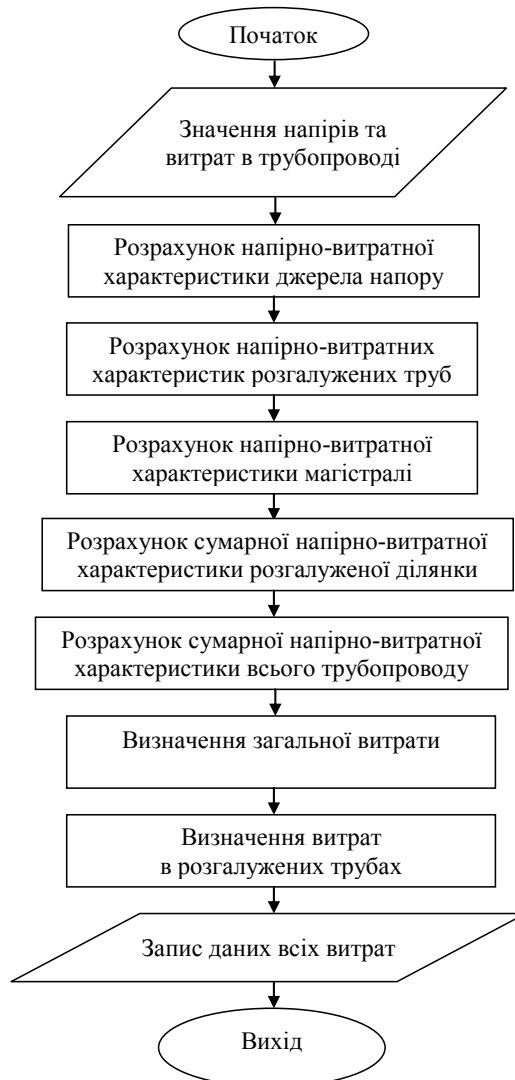
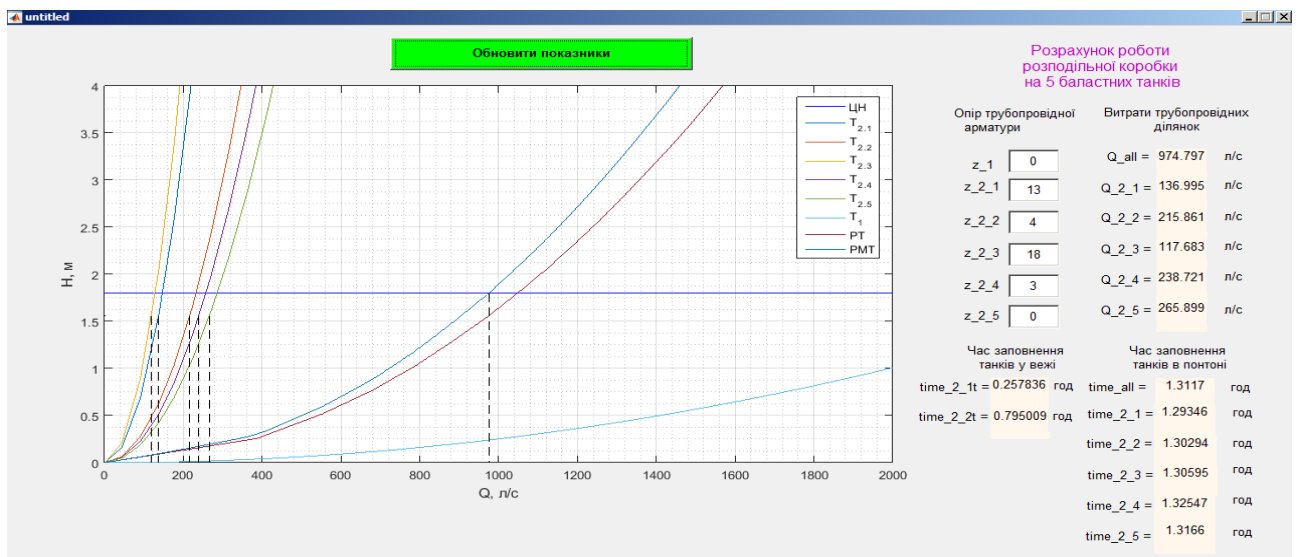


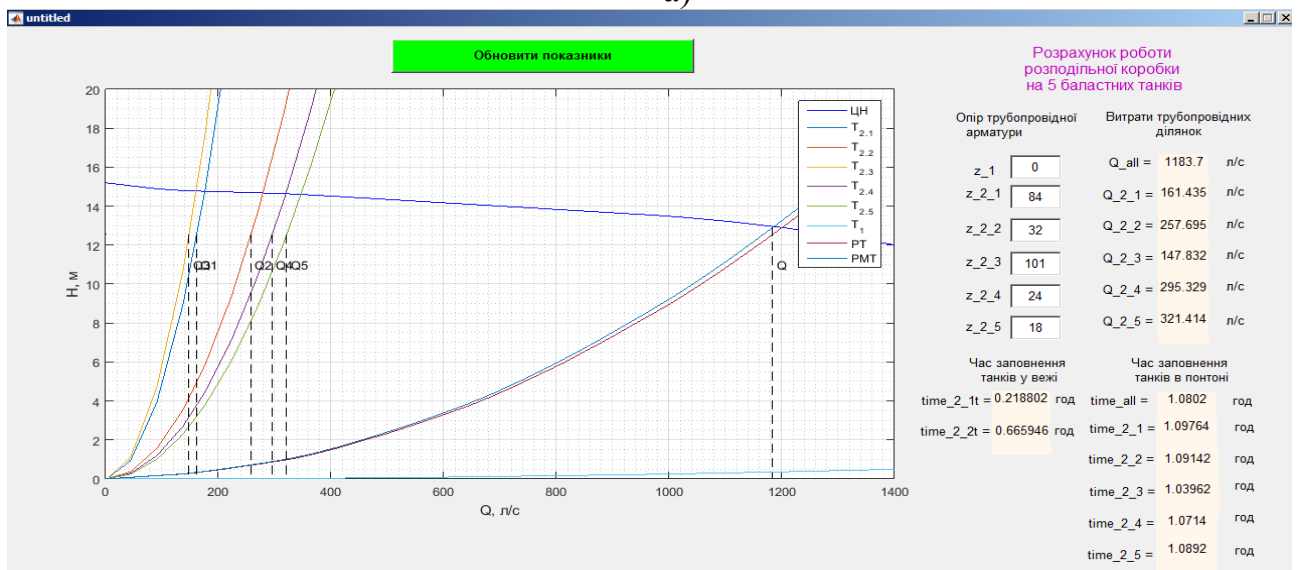
Рис. 3.27. Алгоритм визначення витрат в складному трубопроводі

Робота алгоритму розпочинається з отримання значень напірів в трубопроводі. Далі розраховуються напірно-витратні характеристики джерела напіру, розгалужених труб та магістралі. Наступний етап, це отримання сумарних напірно-витратних характеристик розгалуженої ділянки та всього трубопроводу. Потім виконується визначення витрати в магістралі, та в розгалужених трубах. Алгоритм завершується записом даних всіх витрат.

Синтезована інформаційна підсистема автоматизованого планування розподілу баласту для 5 танків представлена на рис. 3.28.



а)



б)

Рис. 3.28. Інформаційна підсистема автоматизованого планування розподілу баласту для 5 танків а) у випадку наповнення баластних танків; б) у випадку спустошення баластних танків.

Інформаційна підсистема автоматизованого планування розподілу баласту побудована за допомогою m-мови програмування (додаток Е) та об'єднує функціональну модель розрахунку гідравлічних параметрів та алгоритм визначення витрат в складному трубопроводі.

Оцінку впливу розміщення і маси рідкого вантажу на моменти крену і диференту розглянемо на прикладі плавучого доку вантажопідйомністю 8500 тонн. Баластна система складається з чотирьох розподільних коробок, 20 баластних танків і укомплектована баластними насосами (Н) продуктивністю $3750 \text{ м}^3/\text{год}$. У свою чергу, насоси відцентрового типу працюють з постійною частотою обертання коліс. Приймальні трубопроводи мають діаметр $d_1 = 750$ мм, розгалужений трубопровід баластних танків має діаметр $d_2 = 350$ мм. Всі клінкетки мають мотор-редуктори 2-10 кВт і виступають в ролі регуляторів витрати. Схема розташування баластних танків (БТ) даного плавучого доку приведена на рис. 3.29.

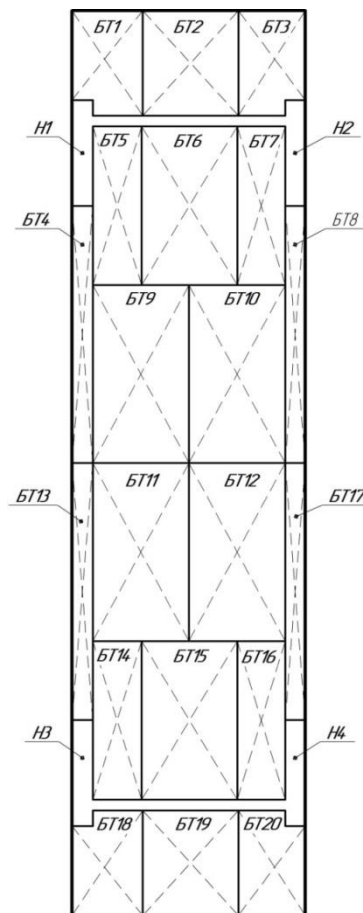


Рис. 3.29. Схема розташування баластних танків плавучого доку

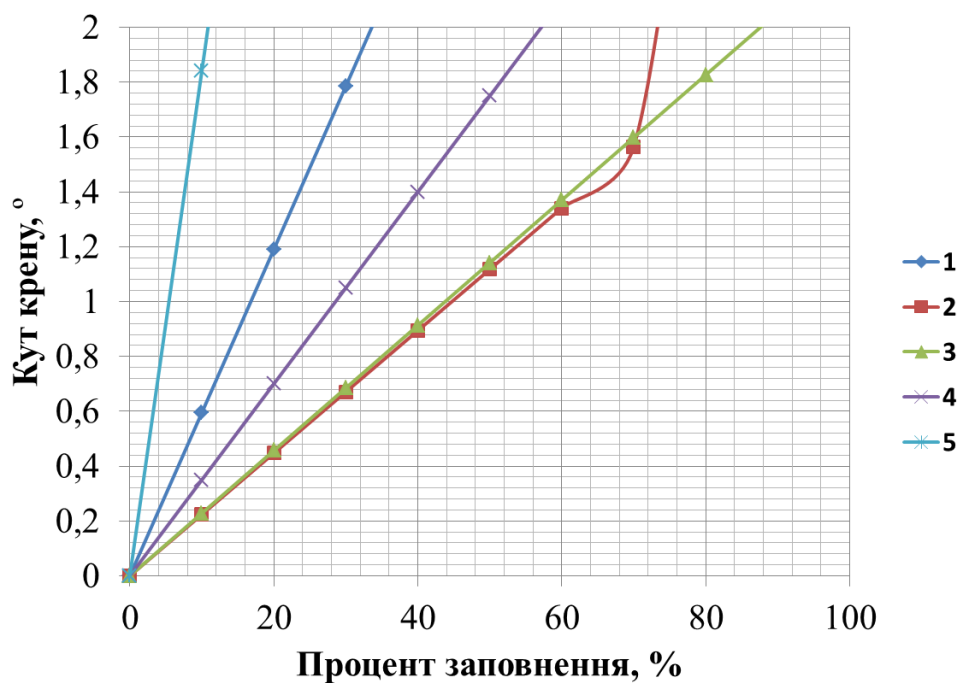
Центральна частина понтона дока містить баластні танки значно більших розмірів, ніж баластні танки, які знаходяться в носовій і кормовій частинах. Знак координат розташування баластних танків залежить від осі x : знак «+» відповідає носовому напрямку, знак «-» – кормовому. Для осі y : знак «+» відповідає лівому борту, знак «-» – правому борту. Для розрахунку стабілізуючих моментів крену і диференту розглянуто більш докладно вплив рідкого баласту в танках. Причому розрахунки проводилися для плавучого дока з судном при загальній осадці 3,83 м. Дана осадка є основною для виконання ремонтних робіт на судні в плавучому доці. Для баластування розглянуто по 5 позицій заповнення баластних танків, зокрема для випадків створення крену на лівий борт і диферента на ніс (табл. 3.6).

Залежно від груп заповнення баластних танків отримані значення стабілізуючих моментів і їх вплив на кути крену і диференту плавучого дока (рис. 3.30).

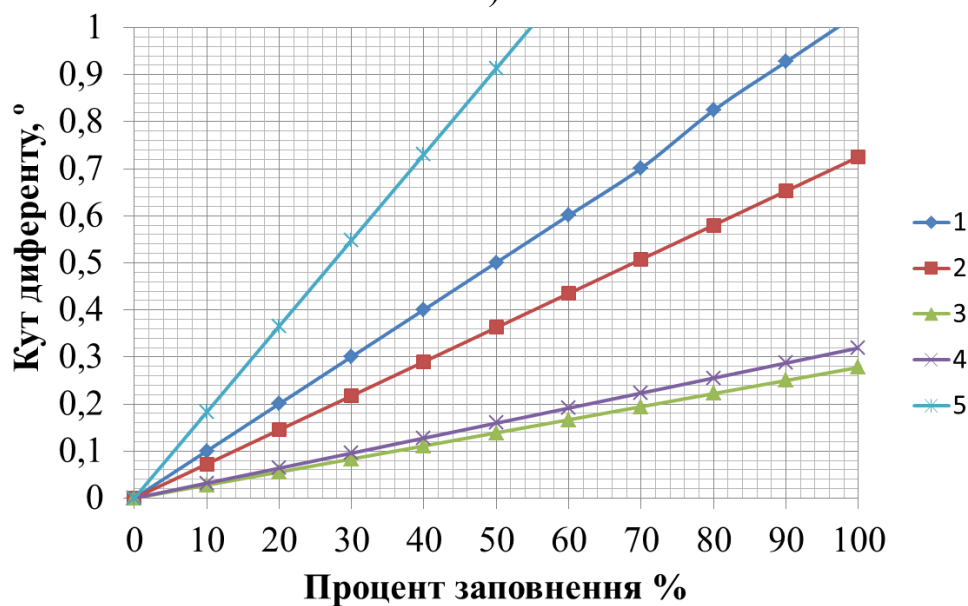
Табл.3.6. Варіанти заповнення баластних танків

Номер позиції	Плавучий док в стані крену на лівий борт	Плавучий док в стані диференту на ніс
1	БТ4, БТ13	БТ18, БТ19, БТ20
2	БТ1, БТ18	БТ14, БТ15, БТ16
3	БТ5, БТ14	БТ11, БТ12
4	БТ9, БТ11	БТ13, БТ17
5	БТ4, БТ13, БТ1, БТ18, БТ5, БТ14, БТ9, БТ11	БТ18, БТ19, БТ20, БТ14, БТ15, БТ16, БТ11, БТ12, БТ13, БТ17

З рис. 3.30,а та рис. 3.30,б видно, що залежності між величинами заповнення баластних танків і значеннями крену і диферента плавучого дока практично лінійні. Нелінійності спостерігаються тільки з тими групами баластних танків, в яких присутні БТ1, БТ18, БТ20. Ці баластні танки мають різну площу перетину в понтоні і веж, що призводить до зміщення центру ваги.



а)



б)

Рис 3.30. Залежність кутів від рівня заповнення баластних танків: а) для крену; б) для диференту

Для створення крену в 2° , можна заповнити наступні баластні групи: 1 групу на 10%, 2 групи на 73%, 3 групи на 87%, 4 групи на 56%, 5 групи на 35%. У свою чергу, для створення диферента в 1° можна заповнити лише дві групи баластних танків: 1 групу на 98%, 5 групи на 53%.

Отже, стабілізація кутів крену і диференту плавучого доку безпосередньо оцінюється шляхом співвідношення збурюючих і стабілізуючих моментів. Відповідно в якості показника остійності використовують значення складових навантажень щодо впливу рідкого баласту плавучого доку, якщо момент крену або диференту виявиться менше допустимого, то остійність вважається достатньою. В іншому випадку остійність вважається недостатньою і необхідно збільшити або зменшити кількість рідкого баласту у відповідних танках.

Висновки за розділом 3

За результатами проведених в розділі 3 досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Розроблено у формі диференціальних рівнянь ряд математичних моделей основних компонентів плавучого доку: приводи клінкетів, трубопроводи, баластні танки, корпус плавучого доку. Дані математичні моделі можуть бути застосовані при розробці різнотипних систем контролю експлуатаційних параметрів плавучого доку. Застосування комп'ютерного моделювання при розробці певних моделей дозволяє з досить високою точністю відображати їх властивості та особливості як об'єктів керування з суттєво нелінійними, нестационарними та невизначеними параметрами.

2. Розглянуті процедури синтезу та оптимізації традиційного та нечіткого (Мамдані-типу) ПД-контролерів осадки плавучого доку. Значна увага приділяється процедурі оптимізації параметрів ФНЛТ нечіткого ПД-контролера осадки Мамдані-типу на основі методу градієнтного спуску і бажаних перехідних процесів. Застосування розробленого авторами оптимізованого нечіткого ПД-контролера осадки дає можливість досягти більш високих показників якості керування ніж з оптимізованим традиційним ПД-контролером осадки при виконанні операції занурення плавучого доку.

3. Проведена структурна оптимізацію бази правил нечіткого контролера з метою спрощення її програмно-апаратної реалізації. В свою чергу, редукція

бази правил нечіткого контролера на основі оцінки впливу кожного правила на процес керування дала змогу зменшити загальну кількість правил з 25 до 15 без погіршення показників якості керування доковими операціями плавучого доку. Це дозволяє значно спростити програмну та апаратну реалізацію синтезованого нечіткого контролера в системі автоматичного керування осадкою плавучого доку.

4. Розроблено інформаційну систему розподілення рідкого баласту для задач стабілізації плавучого доку. Дана система використовує графоаналітичний метод розрахунку напірів і витрат для визначення необхідних положень клінкетів в баластній системі при рівномірному наповненні баластних танків в заданий час. Це дозволяє ефективно розрахувати необхідне розподілення рідкого баласту для усунення небажаних кутів крену і диференту плавучого доку.

РОЗДІЛ 4

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ЗАНУРЕНІ ТА СПЛИВАННІ ПЛАВУЧОГО ДОКУ

Завдання обробки оперативної інформації на віддалених робочих місцях і управління технологічними процесами за допомогою Інтернету та бездротових технологій вимагає суттєвого розширення функцій існуючих комп'ютерних систем управління та моніторингу. Майже всі провідні компанії-розробники систем автоматизації переходять на концепцію Industry 4.0. та активно розвивають продукцію в галузі промислового Інтернету речей [4, 117-129]. Зокрема, компанія SIEMENS розробила пакет WebNavigator для системи WinCC SCADA [125]. Іншим прикладом є компанія Adastra, яка розробила веб-сервер TRACE MODE data center для системи SCADA TRACE MODE 6 [53, 121]. Усі ці рішення забезпечують доступ до проекту для віддалених клієнтів. Тонка технологія клієнта дозволяє переглядати та змінювати операційну та архівну інформацію з будь-якого віддаленого робочого місця через будь-який веб-переглядач. Для задач технічного діагностування активно використовуються промислові рішення, що полягають у використанні відеосерверів (наприклад, фірма SIVICON SIMENS) або універсальних веб-серверів (наприклад, веб-студії INDUSOFT) [126].

4.1. Функціональна структура комп'ютерної системи контролю експлуатаційних параметрів при занурені та спливанні плавучого доку на основі технології Інтернету речей

Для виконання плавучим доком операцій занурення і спливання було розроблено спеціальну комп'ютерну систему контролю параметрів плавучого доку, що ґрунтується на принципах технології Інтернету речей для дистанційного моніторингу та операторського управління з використанням ПЛК та програмного забезпечення SCADA TRACE MODE [53, 61, 62].

Причому для підвищення надійності системи при управлінні плавучим доком передбачено апаратне резервування промислового контролера.

Дана комп'ютерна система контролю й управління параметрами плавучого доку призначена для вимірювання значень осадки, кутів крену і диференту, стрілок прогину й перегину, управління заслінками і насосами, а також для вимірювання рівня заповнення, тиску, температури й об'єму рідини в баластних танках. Причому комп'ютерна система побудована за модульною (із змінною конфігурацією) структурою і має окремо виражену систему віддаленої технічної діагностики з застосуванням хмарних технологій.

Запропонована комп'ютерна система, має два рівні моніторингу та автоматичного контролю: локальний та віддалений рівень. Локальний рівень, у свою чергу, поділяється на три ієрархічні рівні моніторингу та контролю: нижній рівень (рівень датчиків і виконавчих механізмів), середній рівень (контролерний рівень), верхній рівень (рівень оператора). Віддалений рівень заснований на хмарних технологіях для операторського контролю. Дана комп'ютерна система працює тільки з параметрами баластного комплексу, остійності та міцності плавучого доку і не оброблює дані пов'язані з постановкою судна в док та його подальшого виводу (дані з кільблоків, воріт плавучого доку та ін.).

Функціональна структура комп'ютерної системи операторського контролю експлуатаційних параметрів при занурені та спливанні плавучого доку наведена на рис. 4.1., де приймаються наступні позначення: ПК – персональний комп'ютер; ПЛК – програмований логічний контролер; ДТ, ДНТ – датчики температури і надлишкового тиску відповідно; ДРР – гідростатичний датчик рівня рідини; ДФРР – датчик фіксованого рівня рідини; ДЗРР – датчик забортного рівня рідини; Н – насос; З – заслінка; В – витратомір.

В баластному комплексі використовують ДРР, ДФРР, ДТ, ДНТ для отримання інформації щодо поточного значення рівня, фіксованого значення рівня, температури рідкого баласту, та надлишкового тиску в баластних танках. Окрім цього трубопровід баластного комплексу укомплектований насосами Н

витратомірами В та заслінками З, що використовуються для визначення та регулювання витрат. Зовнішні борти веж плавучого доку оснащені ДЗРР, які використовуються для непрямих вимірів прогину/перегину та кутів нахилу плавучого дока, ДЗРР розташовані рівномірно (три датчика вздовж правого борту та три датчика вздовж лівого борту) якомога ближче до його днища.

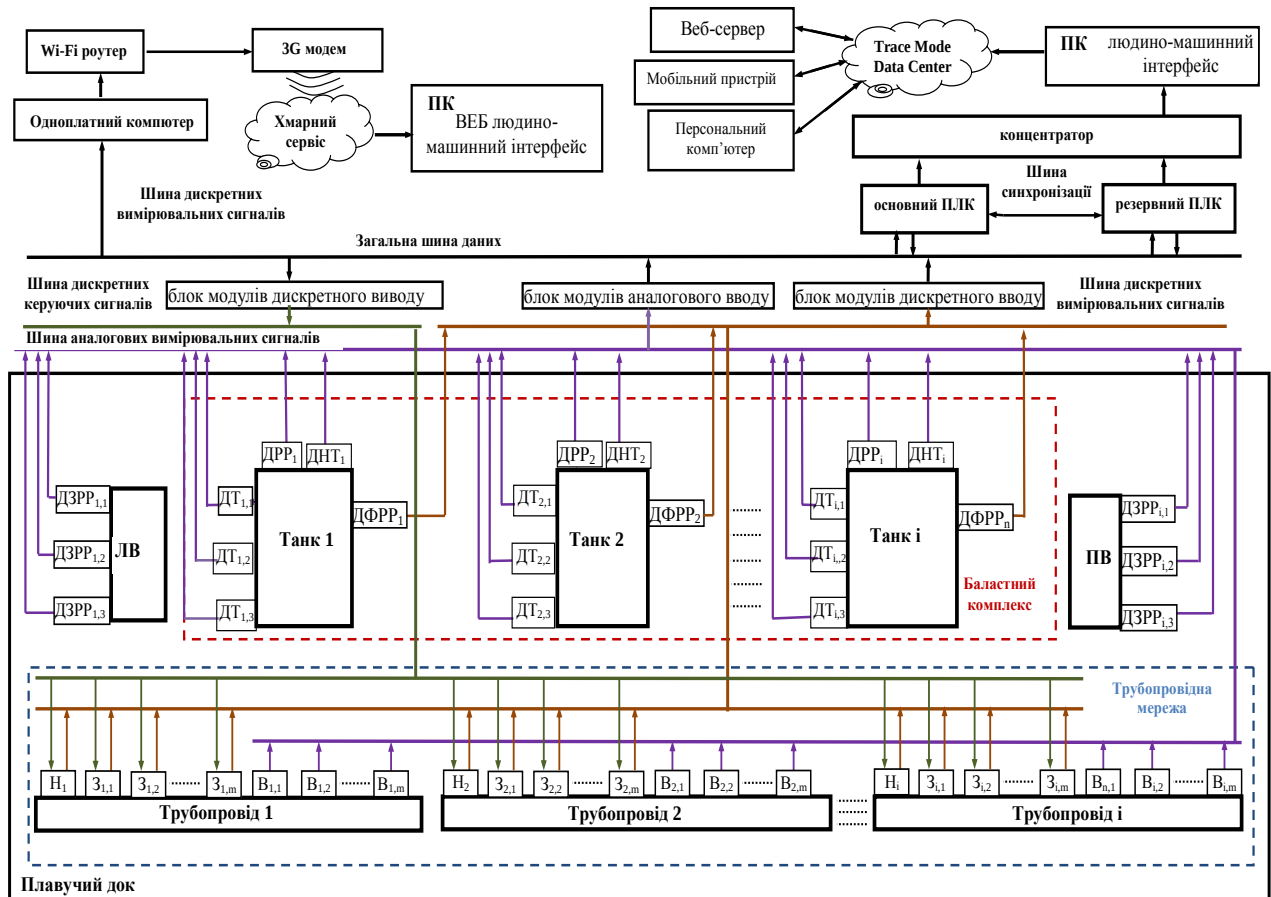


Рис. 4.1. Функціональна структура комп'ютерної системи операторського контролю експлуатаційних параметрів при зануренні та спливанні плавучого доку

Датчики рівня ДЗРР, ДРР в конструктивному виконанні в складі комп'ютерної системи становлять собою датчики тиску, а вимірювання поточних значень рівня рідини визначається гідростатичним методом [132]. В свою чергу датчик рівня ДФРР може представляти собою поплавковий датчик.

Вихідні дані з датчиків в залежності від типу сигналів надходять на блок модулів аналогового вводу чи блок модулів дискретного вводу, після чого в

цифровому вигляді передаються в основний та резервний ПЛК. ПЛК містять програмний блок розрахунку параметрів корпусу доку, програмний блок розрахунку баластного комплексу доку, а також програмний блок управління виконавчими механізмами. Усі вони реалізовані з використанням спеціалізованого програмного забезпечення SCADA [53, 54]. Причому архітектура резервованих контролерів має на увазі наявність двох промислових контролерів ідентичної конфігурації з шиною синхронізації, для синхронного виконання одного і тогож алгоритму. Функції синхронізації підтримуються операційною системою сучасних контролерів. При появі відмови основного ПЛК всі функції управління приймає на себе резервний справний ПЛК.

Інформація про поточні значення параметрів плавучого доку відображається на екрані комп'ютера оператора ПК за допомогою спеціалізованого людино-машинного інтерфейсу, що також передбачає контроль виконавчими механізмами. Причому інформація, щодо головних параметрів плавучого доку передається через веб-сервер на інші комп'ютери берегового посту контролю.

Ця комп'ютерна система контролю параметрів також оснащена системою для дистанційної діагностики датчиків рівня ДРР в баластному комплексі. Обладнання діагностики повинно включати, діагностичний датчик ДФРР (в даному випадку поплавковий датчик) ОК, WiFi маршрутизатор, модем 4G та хмарний сервіс.

Дані з ДРР та ДФРР обробляються за допомогою ПЛК після чого визначається технічний стан ДРР. Діагностична інформація з ПЛК обробляється однопалатним комп'ютером, який передає дані через Інтернет-мережу до хмарного сервісу. Крім того, Інтернет на плавучому доку забезпечується 4G модемом за допомогою глобальної бездротової мобільної технології 4G (швидкість передачі даних до 1 Гбіт/с) і поширюється на плаваючому доку, використовуючи маршрутизатор WiFi. Загальні результати системи віддаленої діагностики для датчиків рівня демонструються у графічному вигляді хмарного сервісу у режимі реального часу на будь-якому

комп'ютері або мобільному пристрої, що спеціалізуються на цих завданнях, і мають доступ до Інтернету.

4.2. Алгоритмічне забезпечення комп'ютерної системи контролю експлуатаційних параметрів при зануренні та спливанні плавучого доку на основі технології Інтернету речей

СКС представляє собою SCADA-систему, що працює в режимі реального часу за циклічним принципом. На самому початку циклу ПЛК сканує стан входів ПЗВД, на які надходять сигнали від датчиків і пристроїв. Потім відповідно до програми відбувається обчислення і вивід інформації у мережу Інтернет та на екран промислового комп'ютера. Зазначені етапи виконуються послідовно - це означає, що зміни станів входів не будуть «помічені» ПЛК під час виконання програми. З цієї причини одним з найважливіших параметрів SCADA-системи є час реакції. Якщо він виявиться більше, ніж мінімальний період зміни станів входів, деякі події, що відбуваються в системі, будуть «пропущені» ПЛК. Також варто врахувати, що і датчики реагують на зміни в системі не миттєво. Тому повний час реакції системи управління складається з часу реакції ПЛК і часу реакції датчиків [41].

В даному випадку розглядається SCADA-система TRACE MODE 6 і її комп'ютерні компоненти фірми ICP DAS. Запропонована SCADA-система має два рівні моніторингу: локальний та віддалений. Алгоритми локального та віддаленого рівнів СКС представлені на рис.4.2 та рис. 4.3 відповідно.

Робота системи починається з процедури перевірки конфігурації, в якій ініціалізується ПЛК та ПЗВД у вигляді модулів вводу/виводу з відповідними адресами. За результатами перевірки можуть бути внесені відповідні зміни. Відповідно до особливостей вирішуваних завдань визначається конфігурація кожного модуля, яка контролюється за допомогою інтерфейсу користувача. Залежно від умов роботи системи приймається рішення про використання сторожового таймера WD і налаштування його параметрів. При використанні

WD в кожному циклі виконання поточної команди формується перезапуск сторожового таймера. Після налаштування модулів виконується програма збору та обробки даних. Обробка команди модулем включає послідовну перевірку наступних параметрів: швидкість обміну по інтерфейсу RS-485; код операції; адреса модуля; аналіз контрольної суми, якщо вона передбачена; коректність виконання операції; коректність завершення кадру. Якщо всі умови виконані, то формується кадр підтвердження.



Рис. 4.2. Алгоритм роботи локальної частини СКС контролю параметрів плавучого доку

Наступний етап, це опитування датчиків температури, гідростатичного тиску та фіксованого рівня. Отримані дані зберігаються в базу даних та використовуються для розрахунку параметрів (крену, диференту, осадки, рівня рідини в баластних танках) плавучого доку. Після розрахунку параметрів плавучого доку виконується обчислення технічних станів датчиків гідростатичного тиску, під час якого визначаються робочі або не робочі стани датчиків. Завершується алгоритм виводом обробленої інформації щодо параметрів та технічних станів датчиків у персональний комп'ютер та мережу Інтернет, де дані відсилаються в сервер TRACE MODE Data Center.

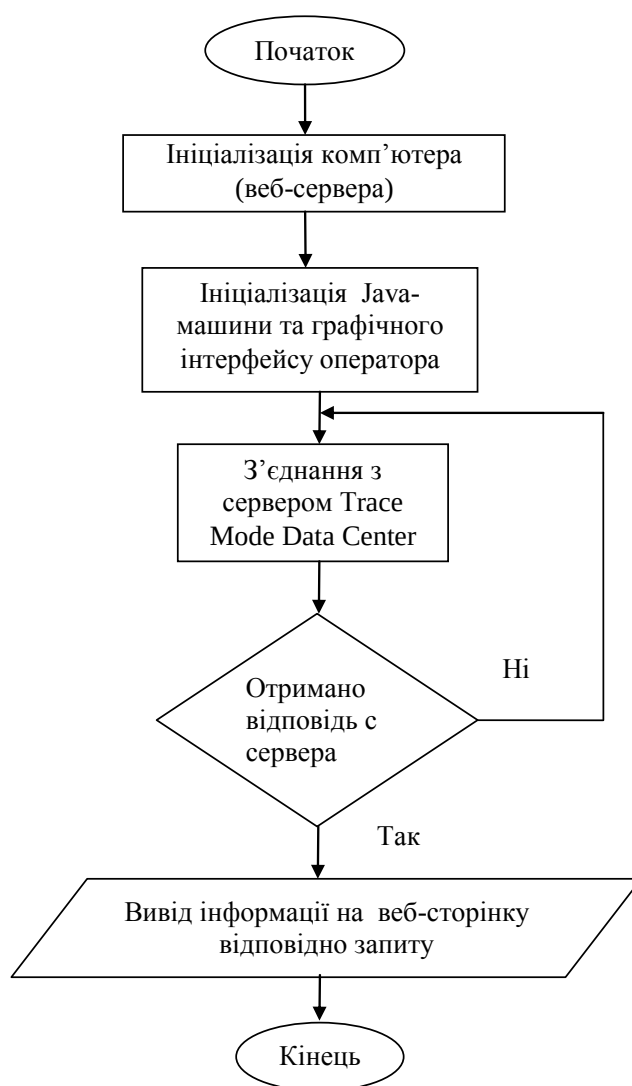


Рис. 4.3. Алгоритм роботи віддаленої частини
СКС контролю параметрів плавучого доку

Залежно від особливостей алгоритму роботи системи, обробка даних може виконуватися після виконання чергової команди і/або в кінці процедури збору інформації (наприклад, при побудові графіків). Зчитування вхідної інформації з модулів може бути виконано в асинхронному або синхронному режимах. Синхронний режим використовується в тому випадку, коли необхідно зафіксувати значення вхідних параметрів у декількох модулях одночасно. При використанні синхронного режиму модулі запам'ятовують вхідну інформацію у внутрішніх регістрах. Далі інформація з цих регістрів зчитується асинхронно.

Алгоритм роботи віддаленої частини СКС контролю параметрів плавучого доку розпочинається з ініціалізації комп'ютера веб-сервера на якому розміщується TRACE MODE Data Center. У веб-сервері попередньо налаштований публікатор та веб-консоль для доступу, по HTTP протоколу, до веб-сторінки оператора. Далі на другому комп'ютері ініціалізується Java-машина та відповідний інтерфейс оператора на веб-сторінці. Віртуальна машина Java виконує байт-код Java, попередньо створений з вихідного тексту програми компілятором. На наступному кроці виконується з'єднання Java-аплета проекту TRACE MODE з сервером TRACE MODE Data Center, у разі з'єднання з сервером інформація щодо поточного стану датчиків виводиться на веб-сторінку і на цьому алгоритм завершується, в іншому випадку запит на отримання даних з сервера повторюється.

Алгоритм роботи підсистема віддаленого сповіщення діагностичної інформації в хмарний сервіс ThingSpeak зображено на рис. 4.4. Алгоритм розпочинається з ініціалізації однопалатного комп'ютера Raspberri Pi Model B+ з відповідним налаштуванням його портів. Наступний крок ініціалізація хмарного сервісу ThingSpeak та вивід його каналів на веб-сторінку. Після завершення налаштувань відбувається сканування даних технічної діагностики доти поки не виявиться несправний стан одного або декількох датчиків. Після виявлення неробочих станів однопалатний комп'ютер Raspberri Pi Model B+ з'єднується з хмарним сервісом ThingSpeak і здійснюється запит до серверу. У разі отримання запиту відбудеться вивід інформації на веб-сторінку і алгоритм

завершується, в іншому випадку пройде повторна спроба з'єднання Raspberri Pi Model B+ з хмарним сервісом ThingSpeak.

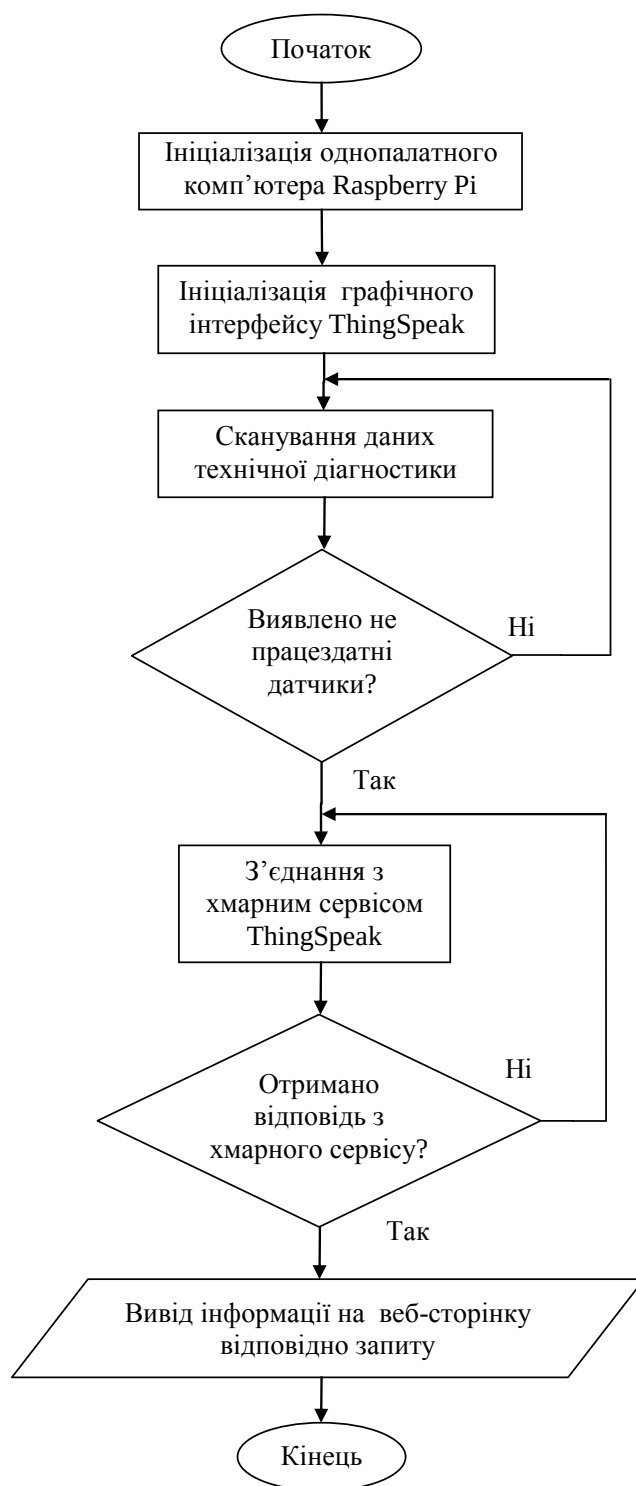


Рис 4.4. Алгоритм роботи підсистема віддаленого сповіщення діагностичної інформації в хмарний сервіс ThingSpeak

ThingSpeak дозволяє створити програмний додаток для моніторингу працездатності датчиків в режимі реального часу. Важливою перевагою ThingSpeak перед конкурентами є потужна підтримка засобів розробки MATLAB для обробки даних та візуалізації графічних зображень.

4.3. Програмно-апаратна реалізація комп'ютерної системи контролю експлуатаційних параметрів при зануренні та спливанні плавучого доку на основі технології Інтернету речей

Реалізація СКС (рис. 4.5) плавучого доку апробована на розробленому в НУК ім. адм. Макарова за участю автора експериментальному стенді плавучого доку з деталізацією SCADA-системи моніторингу та операторського контролю (рис 4.5,а) і підсистеми віддаленого сповіщення діагностичної інформації датчиків рівня баластного комплексу (рис 4.5,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 реалізації системи використані різні цифрові пристрої [61]. Серед програмно-апаратних засобів застосовувалися цифрові компоненти фірми ICP DAS [19, 61].

Модулі ICP DAS I-7018P використовуються як модулі збору даних з ДТ. Модулі ICP DAS I-7017C зі струмовим вводом використовуються для збору інформації від ДРР. Модуль ICP DAS I-7051 з 16 входами використовується в якості модуля збору даних дискретних вхідних сигналів (сигнали роботи насосів і клінкетів). Крім того, модуль ICP DAS I-7061 з 12 силовими

релейними виходами використовується для керування виконавчими механізмами (насосами, клінкетами).

Система додатково оснащена модулем конвертора інтерфейсів ICP DAS I7520, який виконує функції перетворення сигналів шини RS485 в інтерфейс RS232.

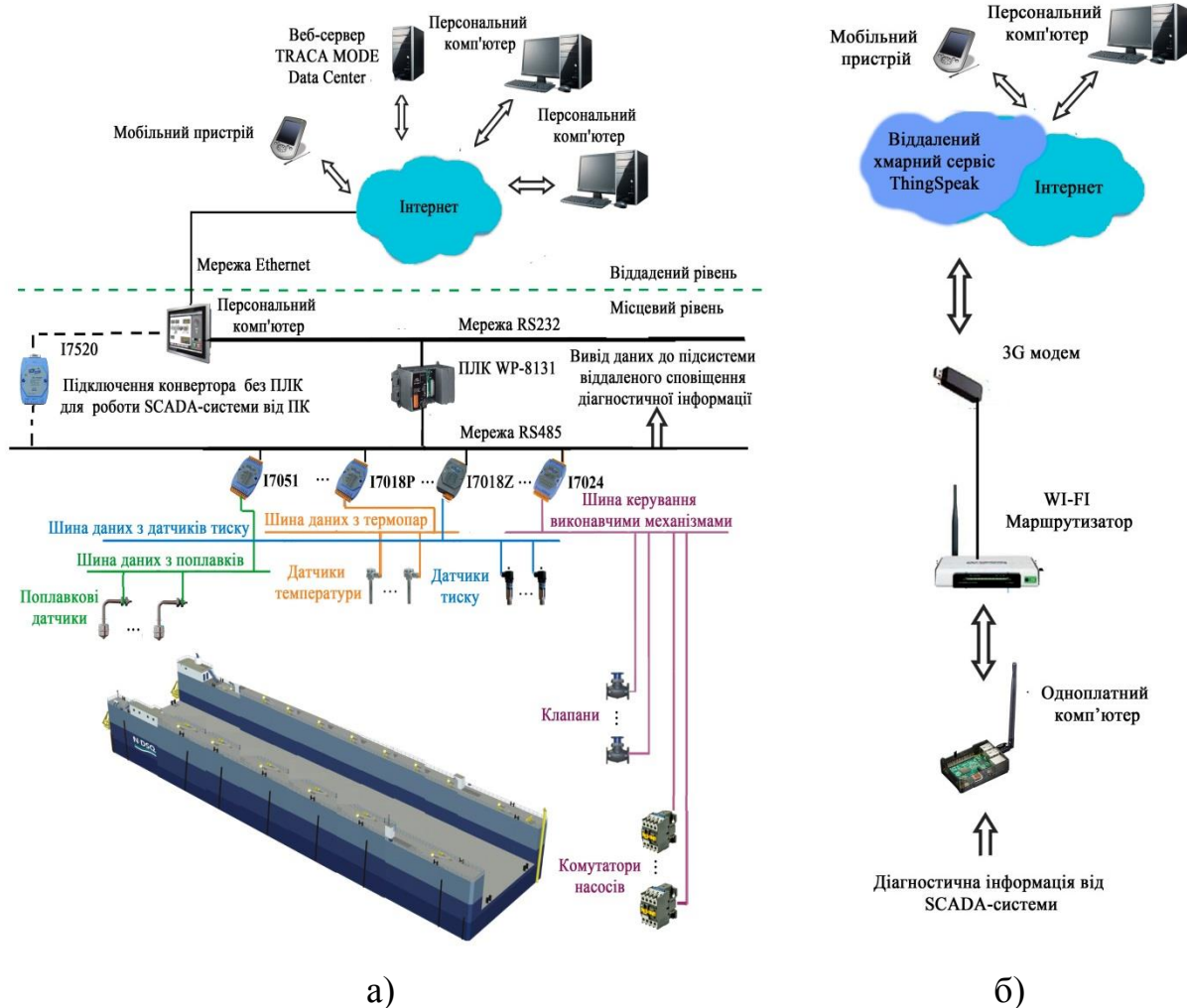


Рис. 4.5. Реалізація функціональної моделі СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку: а) SCADA-система моніторингу та операторського контролю параметрів плавучого доку, б) підсистема віддаленого сповіщення діагностичної інформації в хмарний сервіс ThingSpeak

ПЛК ICP DAS WP-8131 використовується в поточній системі контролю та вимірювання в якості основного виконавчого модуля. Основні характеристики ПЛК: CPU PXA270 or Comparable (42-bit, 520 MGz), RW

Memory SDRAM 128 Mb, Zeropower SRAM 512 Kb, Flash-memory 128 Mb, а також підтримка карт пам'яті 16 Гб MicroSD. ПЛК включає VGA, Ethernet, USB 1.1, RS232, RS485 і RS482 інтерфейси.

На операторському рівні використовуються персональні комп'ютери однакової архітектури. Перший персональний комп'ютер (локальний) застосовується в якості монітору реального часу (МРВ) з відповідним людино-машинним інтерфейсом [6]. Другий персональний комп'ютер застосовується як веб-сервер для реалізації віддаленого посту керування параметрами плавучого доку з відповідним веб-орієнтованим людино-машинним інтерфейсом. Кожний з комп'ютерів оснащений процесорами Intel Core I5 з тактовою частотою 2,6 ГГц і модулем оперативної пам'яті на 8ГБ.

Слід зазначити, що комп'ютерна система плавучого доку повинна бути надійна і обов'язково мати автоматичне переключення на резервовані компоненти і мережі загальної системи ("гарячий резерв"). В даному випадку розглядається система в рамках експериментального зразку без резервування, проте при реалізації подібної системи для плавучих доків обов'язково повинні розглядатися питання резервування.

Для успішного запуску SCADA-системи локальний комп'ютер оснащений TRACE MODE 6. Обмін даними між комп'ютером і ПЛК здійснюється за допомогою інтерфейсу RS232 фірмовим механізмом обміну даних SCADA TRACE MODE. Зв'язок між модулями вводу/виводу та ПЛК здійснюється за допомогою інтерфейсу RS485 з використанням протоколу DCON. Цей протокол використовує тільки фізичний і прикладний рівень моделі OSI. На фізичному рівні використовується пряме двійкове кодування, коли логічний нуль представлений низьким рівнем напруги в шині RS-485, логічна одиниця - високим рівнем. Вимоги до передачі (кручена пара) визначаються стандартом на інтерфейсі RS-485. Широка популярність протоколу DCON обумовлена відсутністю необхідності в спеціалізованих мікросхемах для реалізації стека протоколів, що істотно знижує собівартість периферійних пристроїв.

Алгоритми вимірювання та керування експлуатаційними параметрами плавучого доку в ПЛК реалізуються за допомогою інструментів, які надаються SCADA-системою TRACE MODE 6, яка є універсальною та компактною системою SCADA (всі системні редактори викликаються з однієї програми). Дана SCADA TRACE MODE 6 містить набір мов програмування, які дозволяють програмувати відповідне програмне та апаратне забезпечення. Ці мови сумісні з інструкціями IEC 61131-3. Необхідні алгоритми обробки даних (для перевірки діапазону, значень коефіцієнтів тощо) реалізовані в SCADA TRACE MODE 6 в вузлі “RTM_1” з використанням програм на мові ST та FBD (додаток Ж). “RTM_1” також містить людино-машинний інтерфейс комп’ютерної системи, що може бути легко змінено безпосередньо в ПЛК з використанням програмних можливостей Micro TRACE MODE 6. Людино-машинний інтерфейс даної системи реалізовано за допомогою інструментів, які надано в базовій версії SCADA-системи TRACE MODE 6. Розроблений людино-машинний інтерфейс СКС експериментального плавучого доку є багатовіконним. Головний екран СКС представлений на рис. 4.6.



Рис. 4.6. Людино-машинний інтерфейс комп’ютерної системи контролю параметрів плавучого доку

Головний екран забезпечує візуалізацію основних показників комп'ютерної системи контролю параметрів плавучого доку на дисплеї оператора: List – значення кута крену; Trim – значення кута диференту; Deflection – значення величини прогину/перегину; Draft – рівень осадки; Level – рівень води в баластному танку; Press – тиск води в баластному танку; Temp – температура в баластному танку; valve – клінкет; Immersion – режим занурення плавучого доку; Emersion – режим спливання плавучого доку. Значення індикаторів Warning залежить від критичного рівня рідини.

Головний екран людино-машинного інтерфейсу має інформаційно-керуючу панель та схему розташування баластних танків. Інформаційно-керуюча панель містить дані про крен, диферент, осадку, режим та стан роботи плавучого доку при зануренні та спливанні. Також на головному екрані передбачений екран подій, що призначений для відображення різних ситуацій, що фіксуються каналами класу “Події”, їх перегляду в реальному часі та квітування. Для інформативності, панель “Події” містить інструменти для завдання кольору рядка при відсутності, появу і зникненні події.

На головному екрані людино-машинного інтерфейсу додані кнопки швидкого переходу до інших екранів. За допомогою кнопки “Tanks status” оператор має можливість отримати більш детальну інформацію про рівні заповнення баластних танків. Панель стану рівнів баластних танків зображено на рис. 4.7. За допомогою кнопки “Trends screen” оператор має можливість спостерігати за динамікою контрольованих процесів на екрані трендів. На екрані трендів в графічному вигляді виводиться інформація про кути крену і диференту, прогину і перегину плавучого дока, рівень осадки та рівень в баластних танках. Приклад тренду для рівня в баластному танку зображено на рис. 4.8 (інші тренди мають аналогічне візуальне відображення, але з власними показниками).

Для дистанційного контролю експлуатаційних параметрів плавучого доку з берегового посту використовується спеціальний веб-сервер TRACE MODE Data Center. Головною метою цього програмного продукту є надання

користувачам можливості керувати процесом через веб-браузер за допомогою мережі Інтернет/Інтранет або бездротового зв'язку (GPRS, Wi-Fi, Bluetooth і т.д.). Цей веб-сервер дозволяє отримати доступ до даних у реальному часі з будь-якого комп'ютера, що використовує різні операційні системи (Windows, Linux, Mac OS і т.д.). За допомогою TRACE MODE Data Center виконується тільки моніторинг параметрів плавучого доку. TRACE MODE Data Center має систему безпеки, інтегровану в систему безпеки TRACE MODE 6. Тому доступ до даних веб-сервера можуть отримати лише авторизовані користувачі. Права різних користувачів гнучко конфігуруються і управляються в режимі реального часу. Для забезпечення більшої безпеки TRACE MODE Data Center підтримує надійне зашифроване з'єднання VPN від зовнішніх ПК, підключених до Інтернету. Робота TRACE MODE Data Center базується на паралельних підключеннях клієнтських пристроїв (ПК, кишенькових ПК, мобільних телефонів тощо). Програма доступна у версіях для 4, 8, 16, 32, 64 і необмежених робочих місць. При використанні TRACE MODE Data Center не потрібні веб-сервери інших виробників (наприклад, Microsoft IIS), що відрізняє цю систему від рішень, що використовуються деякими конкуруючими розробниками SCADA. Крім того, TRACE MODE Data Center потребує окремого персонального комп'ютера.

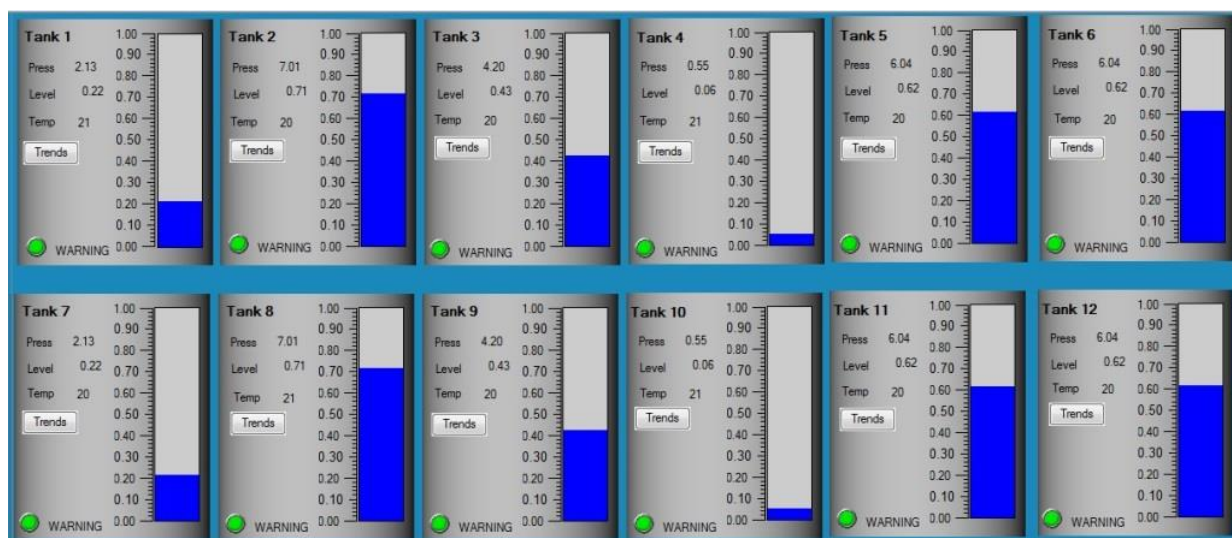


Рис. 4.7. Панель стану рівнів баластних танків

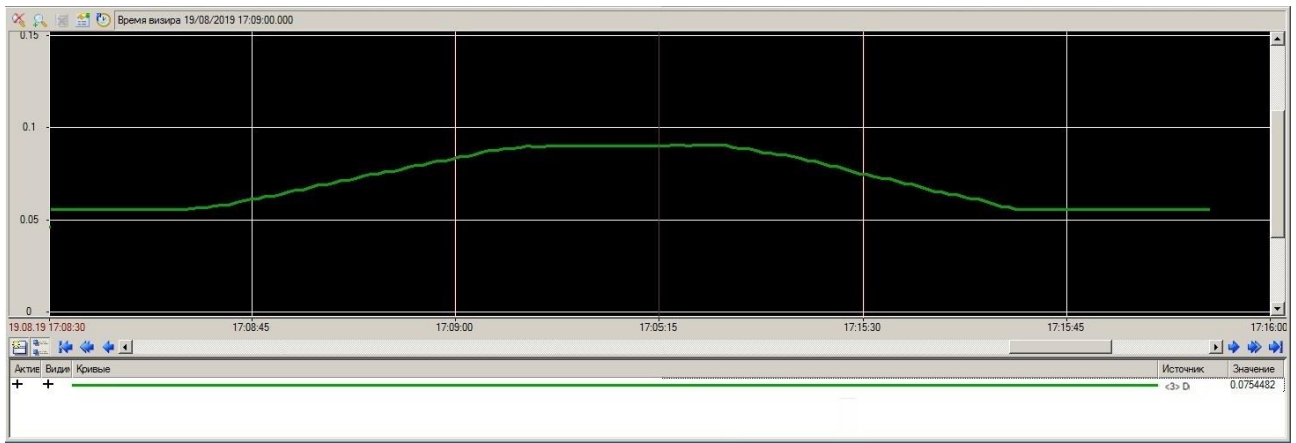


Рис. 4.8. Тренд контролю рівня в баластному танку

TRACE MODE Data Center обслуговує SCADA-систему контролю експлуатаційних параметрів плавучого доку на віддаленому рівні. 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).

Для налаштування веб-сервера TRACE MODE Data Center необхідно виконати наступні дії. Отже на локальному комп'ютері в "RTM_1" налаштуємо мережевий адаптер на прийом і передачу. Також вкажемо IP адресу даного комп'ютера, в нашому випадку "192.168.86.130". Для передачі інформації в Інтернет створимо вузол "EmbeddedConsole_2" і налаштуємо мережевий адаптер на прийом і передачу. В вузлі "EmbeddedConsole_2" створимо графічну панель. В даній графічній панелі зробимо функціональну копію людино-машинного інтерфейсу головного екрана вузла "RTM_1". Причому всі аргументи графічної панелі прив'яжимо до каналів вузла "RTM_1". Перенесемо папку з проектом TRACE MODE на комп'ютер де встановлений веб-сервер TRACE MODE Data Center. На віддаленому комп'ютері відкриємо веб-сервер. В публікаторі встановимо: порт веб-сервера: 81 та підтвердимо "Overerite if Names are the Same". У Веб-консолі встановимо: порт веб-сервера: 82, порт проксі-сервера 8080, таймаут відключення проксі-сервера: нескінченний. Запустимо веб-сервер і у веб-консолі вкажемо вузол "EmbeddedConsole_2". Щоб контролювати параметри плавучого доку з веб-орієнтованого людино-

машинного інтерфейсу, оператор входить на сторінку веб-браузера, що підтримує віртуальну Java-машину і вводить адресу (<http://192.168.86.131:82/>) (рис. 4.9). Отже, TRACE MODE Data Center дозволяє реалізувати дещо спрощену версію людино-машинного інтерфейсу на веб-сторінці не втрачаючи при цьому у функціональних можливостях.

Для реалізації підсистеми віддаленого сповіщення діагностичної інформації ДРР спеціалістам на береговому контрольному посту застосовується окрема підсистема з використанням хмарного сервісу ThingSpeak.

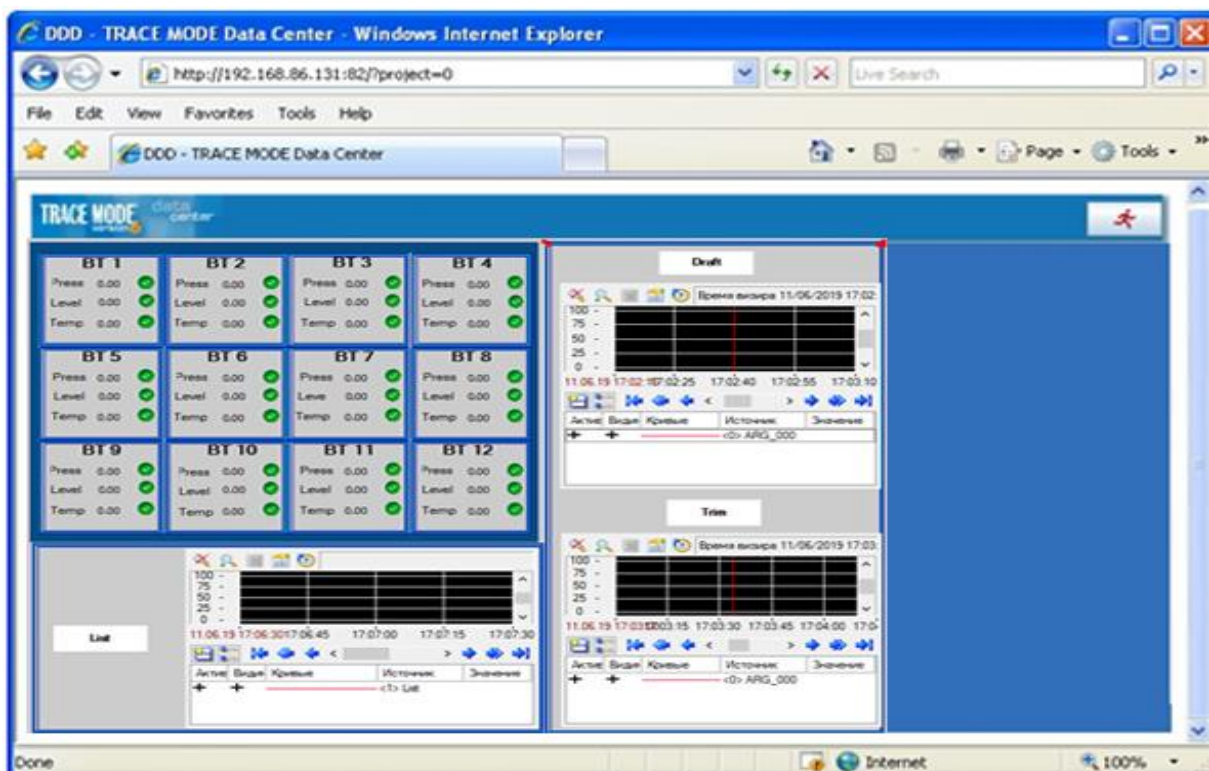


Рис. 4.9. Веб-орієнтований людино-машинний інтерфейс комп'ютерної системи контролю параметрів плавучого доку

Для апаратної реалізації підсистеми технічної діагностики використано одноплатний комп'ютер ОК, WiFi маршрутизатор та модем 3G. Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi модель «B+» застосовується для збору діагностичної інформації та передачі її в хмарний сервіс ThingSpeak. Даний комп'ютер оснащений ARM11 процесором Broadcom BCM2835 з тактовою частотою 700

МГц і модулем оперативної пам'яті на 256МБ/512МБ, розміщеними за технологією «package-on-package» безпосередньо на процесорі. Модель «В +» оснащується чотирма USB 2.0, портом Ethernet, а також окремим Wi-Fi адаптером. 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.

Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi модель «В+» застосовується для збору діагностичної інформації та передачі її в хмарний сервіс ThingSpeak. Даний комп'ютер оснащений ARM11 процесором Broadcom BCM2835 з тактовою частотою 700 МГц і модулем оперативної пам'яті на 256МБ/512МБ, розміщеними за технологією «package-on-package» безпосередньо на процесорі. Модель «В +» оснащується чотирма USB 2.0 та портом Ethernet.

Отже, для реалізації технічної діагностики ДРР спеціалістам на береговому контрольному посту застосовується окрема підсистема з використанням хмарного сервісу ThingSpeak [40, 117]. 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. Причому канали підтримують формати XML, JSON та CSV. Кожен використаний канал введення даних зберігається разом із датою та міткою часу, а також підписаним унікальним ідентифікатором запису (entry_id). Відповідно, збережені дані можна отримати за часом або за ідентифікатором.

Крім того, завантаження даних у канали може бути реалізоване за допомогою URL-адреси. Наприклад, якщо ключ є API-XXXXXXXXXXXXXXXXXX, URL-адреса для оновлення полів 1 та 2 з значеннями 1 і 0 має такий вигляд:

«[Http://api.thingspeak.com/update?key=ABC1234L6789STIV&field1=1&field2=0](http://api.thingspeak.com/update?key=ABC1234L6789STIV&field1=1&field2=0)». Кожен використаний канал введення даних зберігається разом із датою та міткою часу, а також підписаним унікальним ідентифікатором запису

(entry_id). Відповідно, збережені дані можна отримати за часом або за ідентифікатором.

На рис. 4.10 представлено два канали хмарного сервісу ThingSpeak, що відповідно використовуються для відображення даних технічного стану працездатності двох датчиків ДРР. Налаштування взаємодії raspberry пі з хмарним сервісом ThingSpeak представлено у вигляді коду на С мові програмування (додаток 3). В першому каналі червоною лінією показано роботу ДРР, який, як показано на екрані під час його роботи, переходив у непрацюючий стан, рівень лінії змінювався ($1 \rightarrow 0$). В другому каналі червона лінія знаходиться на рівні одиниці, що свідчить про справність датчика ДРР.

У реальних ситуаціях існує потреба в значно більших обсягах передачі даних діагностики ДРР. Стандартна ліцензія ThingSpeak може використовуватися для діагностики плавучого доку. За допомогою стандартної ліцензії можна оновлювати дані з датчиків рівня один раз на секунду, проте в цілому ця версія дозволяє обробляти та зберігати 33 мільйони повідомлень протягом одного року. Крім того, запис до 8 полів в одному каналі ThingSpeak визначається, як повідомлення (кожне повідомлення не може перевищувати 3000 байтів).

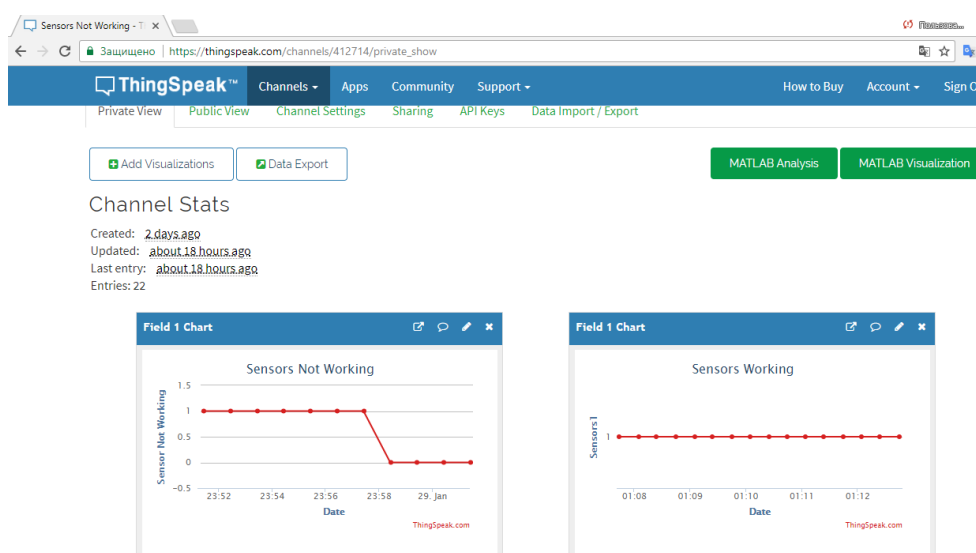


Рис. 4.10. Веб-інтерфейс технічної діагностики датчиків рівня ДРР в ThingSpeak

Перевірка працездатності та точності наведеної комп'ютерної системи здійснювалася на розробленій експериментальній установці контролю параметрів плавучого доку. Експериментальна установка (рис. 4.11) складається з басейну, плавучого доку з встановленими датчиками, та виконавчими механізмами апаратних модулів (ПЛК, модулів вводу/виводу тощо.).



Рис. 4.11. Фото експериментального стенду плавучого доку із комп'ютерною системою контролю параметрів

Загальна модель взаємодії оператора з комп'ютерною системою контролю параметрів плавучого доку включає головний людино-машинний інтерфейс SCADA-системи (рис. 4.6.) та два веб-орієнтованих людино-машинних інтерфейсів для віддаленого контролю параметрів плавучого доку (рис. 4.9.) та для віддаленої технічної діагностики датчиків рівня ДРР (рис. 4.10). Дана модель дозволяє підключити 2-5 клієнтів з різних пристроїв до 1 серверу, що розширює можливості для операторів, які виконують моніторинг параметрів плавучого доку. Серед основних властивостей представлених людино-машинних інтерфейсів можна виділити наступні: адаптованість,

достатність та простота використання. Адаптованість означає, що людино-машинні інтерфейси забезпечують сумісність з потребами та можливостями оператора, а також надійність переходу від виконання однієї функції до іншої. Достатність людино-машинних інтерфейсів означає, що запити оператора повинні бути чіткими і однозначними на всіх рівнях, а також реакція системи на всі типи запитів є однозначною і зрозумілою. Максимальна простота обумовлена готовністю людино-машинних інтерфейсів, при мінімальному інструментарію, в повній мірі задовольнити запити оператора при розв'язанні визначеного класу задач.

Ефективність апаратно-програмного забезпечення СКС підтверджено результатами його тестування на експериментальній моделі плавучого доку. Для перевірки працездатності та точності комп'ютерної системи заповнювали баластні танки водою, а модель плавучого доку нахилили. Рівень закачаної води в баластних танках та кути нахилу (крен і диферент) плавучого доку вимірювали за допомогою комп'ютерної системи та перевіряли вимірювальною лінійкою і кутоміром.

Деякі результати експериментального випробування комп'ютерної системи контролю і управління параметрами плавучого доку наведено в табл. 4.1.

Табл. 4.1. Результати експериментального випробування

Параметр	Вимірювання за допомогою системи	Вимірювання за допомогою лінійки та кутоміра	Помилка, %
Осадка, м	0,073	0,072	1,39
Крен, °	1,43	1,44	0,7
Диферент, °	0,737	0,75	1,7
Рівень танка 1, м	0,113	0,11	2,72
Рівень танка 3, м	0,039	0,04	2,5
Рівень танка 9, м	0,126	0,13	3,1

За результатами експериментів, наведених в табл. 4.1, можна зробити висновок, що розроблена система дозволяє здійснювати вимірювання осадки,

кутів крену і диференту, рівня рідини в баластних танках з досить високою точністю, зокрема, максимальне значення похибки не перевищує 3,1 %.

Висновки за розділом 4

За результатами проведених в розділі 4 досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Розроблено функціональну модель СКС параметричного контролю та керованої стабілізації плавучого доку. Застосування комп'ютерної системи із запропонованою функціональною структурою дає змогу здійснювати контроль та керування основними параметрами плавучого доку в режимі реального часу з достатньо високою точністю. Крім того використання хмарних технологій розширює можливості запропонованої системи. Розроблена функціональна структура гарантує гнучкість і масштабованість даної системи контролю та управління, а отже, вона може бути легко вбудована до великих систем і впроваджена в існуючі системи моніторингу плавучих доків, кранів тощо.

2. Розроблено алгоритмічне забезпечення плавучого доку, яке складається з алгоритму роботи локальної частини СКС контролю параметрів плавучого доку, алгоритму роботи віддаленої частини СКС контролю параметрів плавучого доку та алгоритму роботи підсистема віддаленого сповіщення діагностичної інформації. Розроблене забезпечення дає змогу використовуючи цифрові пристрої, в яких відбувається децентралізована обробка інформації, здійснювати контроль основними параметрами плавучого доку в режимі реального часу.

3. Розроблено програмно-апаратне забезпечення та людино-машинні інтерфейси для багатофункціональної системи віддаленого контролю параметрами плавучого доку дозволяє відображати всю необхідну інформацію на екрані оператора та проводити відповідне керування виконавчими механізмами. Крім того, у разі виникнення надзвичайної ситуації система забезпечує можливість її виявлення на основі розроблених алгоритмів

керування робочими діапазонами головних параметрів плавучого доку в умовах реального часу. Інформація про поточні показники системи і динаміку їх зміни відображається на графічних екранах, де кожний з контрольованих параметрів доступний для оператора;

4. 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.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню 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 редукції 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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.
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.
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.
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-вимірювальна 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.

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.

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.

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.

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.

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.

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-Poljana, Ukraine, 2016. P. 57–61.

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 IV 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. *Могілянські 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 XXIII 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.

35. Топалов А.М., Козлов О.В., Кондратенко Ю.П. Математичне моделювання баластної системи плавучого доку для задач автоматичного

керування. *Автоматика – 2017*. Матеріали XXIV 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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

44. Бесекерский В.А., Изранцев В.А. Системы автоматического управления с микро ЭВМ. М.: Наука, 1987. 320 с.

45. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования. М.: Солон-пресс, 2004. 254 с.

46. Ширяев В.В. Компьютерные измерительные средства. Томск: Изд. ТПУ, 2008. 190 с.

47. Вошинський В.С. Інформаційно-вимірювальні комплекси. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. 337 с.

48. Волобуев Ю. АСУТП в металлургии: проблемы и решения. *Современные технологии автоматизации*. 2000. №1. С. 38–43.

49. Дорожовець М.М., Івахів О.В., Мокрицький В.О. Уніфікуючі перетворювачі інформаційного забезпечення мехатронних систем. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. 304 с.

50. Сорокин С. Шина PCI в специальных приложениях. *Журнал современные технологии автоматизации*. 1998. № 3. С. 14–26.

51. Антонюк М.П., Лобур М.В. Синхронізація пристроїв по PCI-шині у реальному масштабі часу. *Вісник комп'ютерні системи проектування теорія і практика*. 2007. № 591. С. 42–47.

52. Балобанов А.В., Михеев Г.М. Автоматизация двойного монохрома МДР-6У для спектроскопии комбинационного рассеяния света. *Химическая химия имезоскопия*. 2007. Т. 9, №4. С. 430–436.
53. Ефимов И.П., Солюянов Д.А. SCADA-система Trace Mode. Ульяновск: УлГТУ, 2010. 158 с.
54. Андреев Е.Б., Синенко О.В. SCADA - системы: взгляд изнутри. М.: РТСофт, 2004. 176 с.
55. Шиляев С.Н., Руднев П.И. Компьютер и виртуальные приборы. *Журнал приборы и системы управления*. 1997. №12. С. 39-43.
56. Буткевич В., Неврозов В. Изделия L-CARD: отечественные платы АЦП/ЦАП с сигнальным процессором. *Электроника НТБ*. 1999. № 3. С. 32-33.
57. Кузнецов А. Промышленные компьютеры фирмы ADVANTECH. *Журнал СТА*. 1997. № 1. С. 12-20.
58. Пономарев О.П. Наладка и эксплуатация средств автоматизации. SCADA-системы. Промышленные шины и интерфейсы. Общие сведения о программируемых логических контроллерах и одноплатных компьютерах: Учебное пособие. Калининград: Изд-во Ин-та «КВШУ», 2006. 80 с.
59. Мишунин В.В. Информационно-измерительные и управляющие системы. Белгород: Изд-во БелГУ, 2010. 129 с.
60. Крылова Е.Л., Наседкин А.В., Немудрук М.Л., Падалка Д.В., Федоров М.С. Программирование промышленных контроллеров в системе PROSYS: Методические указания к лабораторным работам. М.: СПбГЭТУ, 1998. 32 с.
61. Графкин А.В. Принципы программного управления модулями ICP DAS СЕРИИ I - 7000 в задачах промышленной автоматизации. СНЦ РАН, 2010. 133 с.
62. Мезенцев А.А., Павлов В. М. САПР TRACE MODE 6: учебно-методическое пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 137 с.

63. Гордеев Б.Н. Каратеев В.И., Чегринец В.Н., Юрков В.Д. Автоматизированная система управления доковыми операциями. *Портовые технологии и техника мореплавания*. 2007. Спецвыпуск. С. 93–98.
64. Apostolidis A., Kokarakis J., Merikas A. Modeling the Dry-Docking Cost: The Case of Tankers. *Journal of Ship Production and Design*. 2012. № 28. P. 134–143.
65. Lundquist E.A. Science and an Art: Dry Docks Enable Vital Ship Construction, Maintenance and Repair. *Seapower*, 2015. P. 10–13.
66. Dev A.K., Saha, M. Modeling and Analysis of Ship Repairing Time. *Journal of Ship Production and Design*. 2015. V. 31, № 2, P. 129–136.
67. Kwon J.W., Seo J. Docking Control on Both Stationary and Moving Stations Based on Docking Formation. *Electronics Letters*. 2014. V. 50, №6. P. 436–438.
68. Борщ В.І. Стан та проблеми розвитку підприємств суднобудівельної галузі промисловості України. *Економіка промисловості та організація виробництва*. 2014. № 3(13). С. 22–29.
69. Рашковский О.С., Прудивус В.П., Щедролосев О.В., Узлов О.М. Основы проектирования плавучих доков. Николаїв: РАЛ-поліграфія, 2011. 232 с.
70. Ловягин М.А., Корсаков В.М., Каганер Я.Б. Металлические плавучие доки. Л.: Судостроение, 1964. 336 с.
71. Павлов П.Я., Рагулин А.Н. Эффективность эксплуатации доков М.: Транспорт, 1987. 176 с.
72. Рашковский А.С., Слуцкий Н.Г., Коннов В.Н., Щедролосев А.В., Узлов Л.Н. Проектирование, технология и организация строительства композитных плавучих доков. Николаев: РАЛ-полиграфия, 2008. 614 с.
73. Григорьев В.И., Марченко Д.В., Симаков Г.В., Смелов В.А. Судоподъёмные сооружения. Л.: Судостроение, 1978. 271 с.
74. Вахарловский Г.А., Кучерявенко П.Ф., Бузик В.Ф. Современные доковые сооружения для крупных и средних судов. Ленинград, 1968. 251 с.

75. Гордеев Б.Н., Каратеев В.И., Чегринцев В.Н. Автоматизированная система управления доковыми операциями. *Внедрения и разработки*. 2007. № 1. С. 18–20.
76. Гордеев Б.Н., Жуков Ю.Д., Куракин А.В., Приходько С.Б. Система автоматизированного дистанционного контроля параметров посадки плавучего дока. СИЭТ5-99, 1999. № 5. С. 258–260.
77. Ovidiu V., Friess P., Guillemin P. Internet of things strategic research roadmap. *Internet of Things-Global Technological and Societal Trends*. 2011. P. 9-52.
78. Vermesan O., Friess P. Internet of Things: Global Technological and Societal Trends from Smart Environments and Spaces to Green ICT. River Publishers, 2011. 338 p.
79. Payam B., Wang W., Henson C., Taylor K. Semantics for the Internet of Things: early progress and back to the future. *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)*. 2012. №8(1). С 1-21.
80. Макаренко А.Ю., Парфенова А.О., Могильный С.Б. Бездротові технології передачі даних WI-FI, BLUETOOTH, ZIGBEE. *Вісник Національного технічного університету України "КПІ"*. 2010. № 41. С. 171-181.
81. Yang G., Liang H., Wu C. Deflection and inclination measuring system for floating dock based on wireless networks. *Journal Ocean Engineering*. 2013. Issue 69. P. 1-8.
82. Большев А.С., Михаленко Е.Б., Фролов С.А. Математическое моделирование поведения морских плавучих сооружений. Санкт-Петербург, 2006. 38 с.
83. Фрейдзон И.Р. Моделирование корабельных систем управления. Ленинград: Судостроение, 1975. 232 с.
84. Timchenko V. L., Kondratenko Y. P. Robust stabilization of Marine Mobile Objects on the Basis of Systems with Variable Structure of Feedbacks. *Journal of Automation and Information Sciences*. New York: Begel House Inc., 2011. Vol. 43, № 6. P. 16-29.

85. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. Одесса: Латстар, 2002. 310 с.
86. Floating dock specification. URL: <https://www.yumpu.com/en/document/view/27611472/floating-dock-specification/5>.
87. Жуков Ю.Д., Иванченко А.Т. Использование имитационного моделирования в автоматизированных управляющих системах плавучих доков. *Наукові праці. Науково-методичний журнал ЧДУ ім. П. Могили*. 2007. Т. 61, № 48. С. 20-25.
88. Демченко В.А., Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС. Одесса: Астропринт, 2001. 308 с.
89. Вакина В.В. Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов. К.: Вища шк., 1986. 208 с.
90. Шаруда В.Г. Практикум з теорії автоматичного управління: Навч. посібник. Д.: НГУ, 2002. 414 с.
91. Фукельман В.Л. Основы теории корабля. Ленинград: Судостроение, 1977. 247 р.
92. Бекенский Б.В. Практические расчеты мореходных качеств судна. Москва: Транспорт, 1974. 266 с.
93. Войткунский Ю.И. Сопротивление движению судов. Ленинград: Судостроение, 1988. 286 с.
94. Блинцов В.С., Магула В.Е. Проектирование самоходных привязных подводных систем. Київ: Наукова думка, 1997. 140 с.
95. Лукомский Ю.А., Пешехов В.Г., Скороходов Д.А. Навигация и управления движением судов. Санкт-Петербург: Elmore, 2002. 359 с.
96. Чапчай Е.П. Имитационное моделирование поворотливости судна с учетом экспериментальных данных. *Водный транспорт*. 2014. № 2. С. 79–83.
97. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов. М.: Энергия, 1979. 240 с.

98. Герасимов Б.М., Грабовский Г.Г., Рюмшин М.А. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации. К.: Техніка, 2002. 140 с.
99. Пегат А.М. Нечеткое моделирование и управление М.: БИНОМ Лаборатория Знаний, 2009. 798 с.
100. Блинцов С.В., Фан Ван Ван. Особенности применения нечетких регуляторов в режиме стабилизации судна на курсе *Зб. наук. праць УДМТУ*. 2002. № 8(386). С. 133–140.
101. Захаров В.Н., Ульянов С.В. Нечеткие модели интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления. I. Научно-организационные, технико-экономические и прикладные аспекты. *Техническая кибернетика*. 1992. № 5. С. 171–196.
102. Зак Ю.А. Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных: “Fuzzy” технологии. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. 352 с.
103. Борисенко В.Ф., Овсянников В.П., Плис П.С. Построение ПИД-регулятора на основе нечеткой логики и нейронных сетей при регулировании производительности насосов. *Наукові праці ДонНТУ*. 2009. №17(157). С. 110–122.
104. Солонников Ю.Я., Иванов В.Э. Реализация нечеткого регулятора для системы контроля уровня жидкости, используя программный комплекс Labview. *Ученые заметки ТОГУ*. 2017. том 8, №17. С. 119–125.
105. Гостев В.И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления. Киев: Радіоаматор, 2003. 510 с.
106. Zadeh L.A. Fuzzy sets. *Information and Control*. 1965. No. 8. P. 338–353.
107. Каргин А.А. Введение в интеллектуальные машины. Интеллектуальные регуляторы Донецк: Норд-Пресс, 2010. 526 с.
108. Ивахненко А.Г., Лапа В.Г. Предсказание случайных процессов. Киев: Наукова думка, 1971. 416 с.

109. Дубовой В.М., Кветний Р.Н. Програмування комп'ютерних систем автоматики і управління Вінниця: ВДТУ, 1997. 185 с.
110. Бобыр В.А., Егоров Г.В., Луговенко В.К. “Программа наливной груз” для судовой ПЭВМ. *Экспресс – Информация*. 1991. №.1 (199). С. 1–5.
111. Егоров Г.В. Вопросы оптимизации загрузки и балластировки судов. *Судостроение и судоремонт: сб. ОИИМФ*. М.: В/О “Мортехинформреклама”. 1989 С. 55-59.
112. Герасимов Б.М., Тарасов В.А., Токарев И.В. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта. К.: Наукова думка, 1993. 180 с.
113. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях. *Вопросы анализа и процедуры принятия решений*. М.: Мир, 1976. С.172–215.
114. Николайчук Я.М., Возна Н.Я., Пітух І.Р. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем. Тернопіль: ТзОВ “Терно-Граф”, 2010. 392 с.
115. Barreto A.M.S., Anderson C.W. Restricted Gradient-Descent Algorithm for Value-Function Approximation in Reinforcement Learning. *Artificial Intelligence*. 2008. № 172, Issues 4-5. P. 454–482.
116. Casillas J., Cordon O., Del Jesus M.J., Herrera F. Genetic Tuning of Fuzzy Rule Deep Structures Preserving Interpretability and Its Interaction with Fuzzy Rule Set Reduction. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2005. Vol. 13, № 1. P. 13–29 .
117. Pasha. S. Thingspeak Based Sensing and Monitoring System for IoT with Matlab Analysis. *International Journal of New Technology and Research*. 2016. Vol. 2, Issue 6. P. 19–23.
118. Internet of Things: Global Technological and Societal Trends from Smart Environments and Spaces to Green ICT. Vermesan O., Friess P. (Eds.). River. Publishers, 2011. 351 p.

119. Payam B., Wang W., Henson C., Taylor K. Semantics for the Internet of Things: early progress and back to the future. *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)*. 2012. № 8 (1). P. 1–21.
120. Identity management framework towards Internet of Things (IoT): Roadmap and key challenges In Proc. Recent Trends in Network Security and Applications. *CNSA 2010. Communications in Computer and Information Science*. Mahalle P., Babar S., Prasad N.R., Prasad R., Meghanathan N., Boumerdassi S., Chaki N., Nagamalai D. (Eds.). 2010. № 89, P. 430–439.
121. TRACE MODE 6' user guide, Adastra Research Group, Ltd. Moskow, 2006. 39 p.
122. Weber R.H., Weber R. Internet of Things. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 135 p.
123. Uckelmann D., Harrison M., Michahelles F. Architecting the Internet of Things. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 386 p.
124. Rellermeyer Jan S., Duller M., Gilmer K. The software fabric for the internet of things. *In The Internet of Things*, Berlin: Springer, 2008. P. 87–104.
125. Заміховський Л.М., Паньків Ю.В., Паньків Х.В. Дистанційне спостереження та керування технологічними процесами на базі Simatic WinCC та Web Navigator з безпосереднім візуальним контролем. *Нафтогазова енергетика*. 2011. № 2(15). С. 90 – 93.
126. SIVICON – Industry Solutions Division – Siemens [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.industry.siemens.com/industrysolutions/global/en/IT4Industry/products/diagnostics/sivicon/>
127. Mitton N., Chaouchi H., Noel T. Interoperability, Safety and Security in IoT. InterIoT 2016 and Third International Conference, SaSeIoT 2016. Revised Selected Papers. Paris: Springer, 2016. 138 p.
128. Росляков А.В., Ваняшин С.В., Гребешков А.Ю. Интернет Вещей. Самара: ПГУТИ, 2015. 200 с.

129. Zach Sh., Bormann C. 6LoWPAN: The wireless embedded Internet Germany: A John Wiley & Sons, 2011. 244 p.
130. Зивенко А.В. Система измерения параметров посадки и прогиба дока *Вісник НУК ім. адмірала Макарова*. 2014. № 3. С. 197–204.
131. Конюхов В. Н. Исследование емкостного датчика давления. Методические указания к лабораторной работе. Самара: СГАУ, 2006. 23 с.
132. Жданкин В. Приборы для измерения уровня. *Современные технологии автоматизации*. 2002. № 3. С. 6–19.
133. Zhukov Y., Gordeev B., Zivenko A., Nakonechniy A. Polymetric Sensing in Intelligent Systems. *Chapter in the book: Advances in Intelligent Robotics and Collaborative Automation*. River Publishers, 2015. P. 211–234.
134. Чебоксаров А.Н. Основы теории надежности и диагностика. Конспект лекций. Омск: СибАДИ, 2012. 76 с.
135. Строев О.Я. Надежность информационных систем. Метод. указания к курсовому проектированию. Хабаровск: ДВГУПС, 2008. – 28 с.
136. Kharchenko V., Ponochovnyi Y., Abdulmunem A., Boyarchuk A. Security and availability models for smart building automation systems. *International Journal of Computing*. 2017. №16(4). P. 194–202.
137. Tarasenko A., Zinchenko Y., Juravel A. Complex of diagnostics of digital devices REA. Proceedings of scientific and technical. Conf. on completed research work. 1991. P. 120–122.
138. Федотов А.В., Скабкин Н.Г. Основы теории надежности и технической диагностики. Конспект лекций. Омск: ОмГТУ, 2010. 64 с.
139. Антоненко С.В., Линник Е.В., Голобокова Н.Ю. Обеспечение эксплуатационной надёжности плавучих доков. *Морские интеллектуальные технологии*. СПб.: Моринтех. 2001. № 2. С. 4–8.
140. Green Experiments with FPGA. In: Green IT Engineering: Components, Networks and Systems Implementation. Drozd A., Kharchenko V., Kondratenko Y., Kacprzyk J. (Eds.). Springer, 2017. P. 219–239.

141. Kondratenko Y., Gordienko E. Implementation of the neural networks for adaptive control system on FPGA. *Annals of DAAAM for 2012 & Proceeding of the 23th Int. DAAAM Symp. "Intelligent Manufacturing and Automation"*. Vienna, 2012. Vol. 23, No.1. P. 389–392.
142. Resource and Energy Optimisation Oriented Development of FPGA-Based adaptive Logical Networks. In: *Green IT Engineering: Components, Networks and Systems Implementation*. Palagin A.V., Opanasenko V.M., Kryvyi S.L., Kharchenko V., Kondratenko Y., Kacprzyk J. (Eds.). Springer, 2017. P. 195–218.
143. Kharchenko V., Illiashenko O. Diversity for security: case assessment for FPGA-based safety-critical systems. *MATEC Web of Conferences*. 2016. № 76. P. 1–9.
144. Huffmire T., Irvine C., Nguyen T., Levin T., Kastner R., Sherwood T. *Handbook of FPGA Design Security*. Springer. 2010. 160 p.
145. Bakhmach E., Herasimenko A., Golovyr V. FPGA-based NPP I&C Systems. Development and Safety assessment. RPC Radiy, National Aerospace University “KhAI”, SSTC on Nuclear and Radiation Safety. 2008. P. 29–37.
146. Wang L., Kazmierski T. J. VHDL-AMS based genetic optimization of fuzzy logic controllers. *In Int. J. for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*. 2007. № 26(2). P. 447–460.
147. Kiselyov V., Suvorov N. Method of diagnostic digital circuit with programmable PLD on production stage. *Herald of Perm National Research Polytechnic University*. 2015. №14. P. 97–107.
148. Гостев В.И. Системы управления с цифровыми регуляторами. Справочник. Київ: Техніка, 1990. 280 с.
149. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. 832 с.
150. Голубева Н.В. Математическое моделирование систем и процессов СПб.: Лан, 2013. 192 с.

ДОДАТОК А

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 науко-метричної 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 науко-метричної 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 науко-метричної 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-вимірювальна 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. *Могілянські 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-Poljana, 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 IV 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. *Могілянські 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 XXIII 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 XXIV 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*).

ДОДАТОК Б

**Акти впровадження та патенти, що підтверджують науково-практичне
значення одержаних наукових результатів**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ТОВ «Аміко Сервіс»

А.В. Безруков

" 10 " 2017 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи А.М. Топалова в області
цифрових систем керування плавучого доку

Комісія у складі представників ТОВ «Аміко Сервіс»: директора Безрукова А.В. та д.т.н., головного конструктора Гордєєва Б.М., а також представників Національного університету кораблебудування (НУК) ім. адм. Макарова: д.т.н., професора Кондратенко Ю.П. і аспіранта Топалова А.М. підтверджує, що у ТОВ «Аміко Сервіс» в практику проектування автоматизованих систем управління доковими операціями занурення та спливання плавучого доку впроваджені наступні результати досліджень, виконаних в рамках дисертаційної роботи Топалова А. М.:

- методи організації мереж децентралізованих програмно-апаратних засобів системи контролю та керування плавучого доку;
- алгоритмічне забезпечення функціонування мультисенсорної системи моніторингу робочих параметрів плавучого доку на основі гідростатичного методу вимірювання рівня рідини;
- комп'ютеризована система стабілізації кутів крену та диференту плавучого доку в процесі занурення чи спливання.

Результати дисертаційної роботи впроваджені на підприємстві ТОВ «Аміко Сервіс»: та застосовуються для виготовлення автоматизованих систем управління доковими операціями занурення та спливання плавучого доку.

Даний акт виданий для пред'явлення за місцем захисту дисертації і не може бути підставою для отримання будь-яких коштів з фондів підприємства.

Від НУК ім. адм. Макарова

Д.т.н., професор



Ю.П. Кондратенко

Аспірант



А.М. Топалов

Від ТОВ «Аміко Сервіс»

Директор



А.В. Безруков

Д.т.н., головний конструктор



Б.М. Гордєєв

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Директор ТОВ «Респект Бізнес»
 О.В. Моспаненко
 "15" січня 2017 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи А.М. Топалова в
 області автоматизованих систем керування технологічними процесами

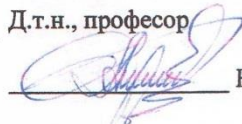
Комісія у складі представників ТОВ «Респект Бізнес»: заступника директора Кабанова М.В. та заступника директора з виробництва Стребного Є.Ю., а також представників Національного університету кораблебудування (НУК) ім. адм. Макарова: д.т.н., професора Кондратенка Ю.П. і аспіранта Топалова А.М. підтверджує, що у ТОВ «Респект Бізнес» в практику проектування автоматизованого виробничого комплексу для переробки органічної частини твердих побутових відходів енергозберігаючим методом багатоконтурного циркуляційного піролізу впроваджені наступні результати досліджень, виконаних в рамках дисертаційної роботи Топалова А. М.:

- методи функціонально-структурної організації розгалужених цифрових систем управління в режимі реального часу електродвигунами та іншими виконавчими механізмами піролізної установки;
- інформаційні та програмно-алгоритмічні засоби побудови спеціалізованих комп'ютерних систем контролю параметрів технологічного процесу переробки частини твердих побутових відходів;
- механізми ідентифікації складових частин складного технічного комплексу для переробки органічної частини твердих побутових відходів;
- процедури аналізу та синтезу системи автоматичного керування піролізної установки.

Отримані результати дисертаційної роботи впроваджені на підприємстві «Респект Бізнес» та застосовуються для виготовлення автоматизованого виробничого комплексу для переробки органічної частини твердих побутових відходів.

Від НУК ім. адм. Макарова

Д.т.н., професор



Ю.П. Кондратенко

Аспірант



А.М. Топалов

Від ТОВ «Респект Бізнес»

Заступник директора



М.В. Кабанов

Заступник директора з виробництва



Є.Ю. Стребний

**China-Ukraine (Jiangsu) Transnational Technology Transfer Centre of
Shipping and Marine Engineering**

Address: No. 2 Mengxi Road, Zhenjiang, Jiangsu. Post Code: 212003, CPR
Tel.: 86-511-84401190

TO WHOM IT MAY CONCERN

ACT-CERTIFICATE

OF CONTRACT № 03.2013/02 "THE DEVELOPMENT OF SHIP MULTIFUNCTIONAL
LIQUID LEVEL REMOTE MEASUREMENT AND ALARM SYSTEM"

about the results' implementing of A.M. Topalov PhD-dissertation results
to the field of the automation of control processes

The present Act-Certificate confirms that China-Ukraine (Jiangsu) Transnational Technology Transfer Centre of Shipping and Marine Engineering implemented the following results of dissertation research, carried out in the framework of A.M. Topalov's PhD-thesis, in the practice of designing of automated ship multifunctional liquid level remote measurement and alarm systems, including:

- information and software-algorithmic tools for specialized computer systems building for the tanks parameters control;
- the methodologies of structural and parametric identification for the components of the automated ship multifunctional liquid level remote measurement and alarm systems;
- the methodologies of functional and structural organization of branched digital control and monitoring systems of complex technical objects based on programmable logic controller;
- structure and main components of developed computerized system for remote control of liquid level in tanks with discrete self-testing method implementation.

The results of dissertation work implemented by China-Ukraine (Jiangsu) Transnational Technology Transfer Centre of Shipping and Marine Engineering (China) and used for the manufacture of automated ship multifunctional liquid level remote measurement and alarm systems.

Yours sincerely,

China-Ukraine (Jiangsu) Transnational
Technology Transfer Centre of Shipping
and Marine Engineering



" 28 " 03.2016

**China-Ukraine (Jiangsu) Transnational Technology Transfer Centre of
Shipping and Marine Engineering**

Address: No. 2 Mengxi Road, Zhenjiang, Jiangsu. Post Code: 212003, CPR
Tel.: 86-511-84401190

TO WHOM IT MAY CONCERN

ACT-CERTIFICATE

OF CONTRACT № 03.2013/02 "THE DEVELOPMENT OF SHIP MULTIFUNCTIONAL
LIQUID LEVEL REMOTE MEASUREMENT AND ALARM SYSTEM"

about the results' implementing of A.M. Topalov PhD-dissertation results
to the field of the automation of control processes

The present Act-Certificate confirms that China-Ukraine (Jiangsu) Transnational Technology Transfer Centre of Shipping and Marine Engineering implemented the following results of dissertation research, carried out in the framework of A.M. Topalov's PhD-thesis, in the practice of designing of automated systems for the control of floating docks docking operations, including:

- the mechanisms of identification of the complex technical objects for mathematical models development of main components designing of multi-coordinates control systems of floating docks docking operations;
- the methodologies of functional and structural organization of branched digital control systems of electric motors and other actuators of multi-coordinates control systems of floating docks docking operations in real time mode;
- the procedures for analysis and synthesis of the automatic control systems of the floating docks operating parameters.

The results of dissertation work implemented by China-Ukraine (Jiangsu) Transnational Technology Transfer Centre of Shipping and Marine Engineering (China) and used for the manufacture of automated systems for the control of floating docks docking operations.

Yours sincerely,

China-Ukraine (Jiangsu) Transnational
Technology Transfer Centre of Shipping
and Marine Engineering


" 20 " 03 2017



АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук А.М. Топалова
у навчальний процес

Комісія у складі:

д.т.н., професора Павлова Г.В. – директора Навчально-наукового інституту автоматики та електротехніки (ННІАЕ), к.т.н., доцента Черно О.О. – завідуючого кафедрою комп'ютеризованих систем управління (КСУ), к.т.н., Покровського М.В. – доцента кафедри КСУ, підписала дійсний акт про те, що основні теоретичні положення наукових досліджень викладача кафедри комп'ютеризованих систем управління Топалова А.М., проведених у рамках дисертаційної роботи, впроваджені та використовуються в навчальному процесі НУК ім. адм. Макарова, а саме:

- функціональні схеми організації цифрових мереж систем контролю та керування основними параметрами технологічних процесів – при викладанні дисциплін "Автоматизоване проектування цифрових пристроїв", "Теорія проектування цифрових систем";
- програмно-алгоритмічні засоби побудови систем моніторингу і управління складними технічними об'єктами та їх людино-машинних інтерфейсів – при викладанні дисциплін "Теорія систем та системний аналіз", "Програмні засоби систем управління";
- механізми ідентифікації складових частин технічних об'єктів, аналіз і синтез систем автоматичного керування, знайшли відображення в роботі "Ідентифікація технологічних об'єктів: Методичні вказівки до лабораторних робіт" / О.В. Козлов, Г.В. Кондратенко, А.М. Топалов. – Миколаїв: НУК ім. адм. Макарова, 2017. – 75 с.

Результати дисертаційної роботи використовуються, зокрема, в лекційному матеріалі та лабораторних роботах, а також для дипломного проектування при підготовці фахівців за спеціальністю 151 – "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології".

Директор ННІАЕ,
д.т.н., професор

Завідуючий кафедрою КСУ,
к.т.н., доцент

к.т.н., доцент кафедри КСУ

Г.В. Павлов

О.О. Черно

М.В. Покровський



АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Андрія Миколайовича Топалова в області спеціалізованих комп'ютерних систем та автоматизації систем керування технологічними процесами

Комісія у складі:

д.т.н., професора Павлова Г.В. – директора Навчально-наукового інституту автоматизації та електротехніки (ННІАЕ), д.т.н., професора Ю.П. Кондратенка – професора кафедри комп'ютеризованих систем управління (КСУ), Савенкова О.В. – начальника науково-дослідної частини (НДЧ) НУК, підписала дійсний акт про те, що основні теоретичні положення наукових досліджень молодшого наукового співробітника НДЧ Топалова А.М., проведених в рамках кандидатської дисертації, а саме:

- програмно-алгоритмічні засоби побудови спеціалізованих комп'ютерних систем контролю параметрів технологічних процесів;
- математичні моделі окремих компонентів технічних об'єктів на основі комп'ютерного моделювання поведінки технологічних процесів;
- алгоритми ідентифікації параметрів складних технічних об'єктів на основі багатодатчикових інформаційно-вимірювальних схем та експериментальних даних.
- методи організації розгалужених цифрових систем для управління електродвигунами та іншими виконавчими механізмами в режимі реального часу;

впроваджені в Національному університеті кораблебудування ім. адм. Макарова при виконанні (в рамках наукових досліджень на замовлення Міністерства освіти і науки України) держбюджетних тем №2110 "Розробка комп'ютеризованої системи моніторингу та автоматичного керування мобільним роботом багатоцільового призначення на основі інтелектуальних технологій", номер державної реєстрації 0117U007282 (2017-2020 рр.) та №1990 "Дослідження та розробка модулю термоакустичного перетворювача теплових викидів енергетичних установок транспорту та промисловості", номер державної реєстрації 0115U000301 (2015-2017 рр.).

Директор ННІАЕ,
д.т.н., професор

Професор кафедри КСУ,
д.т.н., професор

Начальник науково-дослідної частини НУК

Г.В. Павлов

Ю.П. Кондратенко

О.І. Савенков

ДОВІДКА

з впровадження результатів дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук Топалова Андрія Миколайовича в області автоматизації процесів керування та комп'ютерно-інтегрованих технологій при виконанні освітнього європейського проекту ALIOT за програмою Erasmus+

Наукові результати дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук в області автоматизації процесів керування та комп'ютерно-інтегрованих технологій Топалова Андрія Миколайовича (науковий керівник д.т.н., професор, заслужений винахідник України Кондратенко Юрій Пантелійович, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету імені Петра Могили) впроваджені при виконанні освітнього європейського проекту ALIOT "Internet of Things: Emerging Curriculum for Industry and Human Applications", 573818-EPP-1-2016-1-UK-EPPKA2-CBHE-JP, 2016-2019 (за програмою Erasmus+), що спрямований на розробку магістерських і аспірантських курсів за тематикою «Structures, models and technologies for development of industrial IoT-based systems» та «Advanced techniques and means for design, modernization and implementation of industrial IoT-based systems».

Розроблена Топаловим А.М. комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система моніторингу робочих параметрів плавучого доку на основі технології інтернету речей увійшла до курсу «ITM6 IoT for industrial systems», який призначено для підвищення кваліфікації спеціалістів з виробничих підприємств та викладається для студентів магістерської підготовки за IoT напрямом. В лабораторних роботах у складі створеного модуля «ITMM6.2 Advanced techniques and means for design, modernization and implementation of industrial IoT-based systems» даного курсу застосовуються розроблені за участю автора програмні засоби віддаленого діагностування вимірювального обладнання плавучого доку з використанням хмарного сервісу.

Національний координатор ALIOT-проекту,
завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»,
заслужений винахідник України,
доктор технічних наук, професор

В.С. Харченко

Підпис професора Харченка В.С. засвідчую:
в. о. декана факультету радіоелектроніки,
комп'ютерних систем та інфокомунікацій
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»



О.В. Одокієнко

ДОВІДКА

з впровадження результатів дисертаційної роботи Топалова Андрія Миколайовича в галузі автоматизації процесів керування та спеціалізованих комп'ютерних систем при виконанні освітнього європейського проекту TEMPUS CABRIOLET «Model-Oriented Approach And Intelligent Knowledge-Based System for Evolvable Academia-Industry Cooperation in Electronic and Computer Engineering» (544497-TEMPUS-1-2013-1-UK-TEMPUS-JPHES)

Наукові результати дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук в галузі автоматизації процесів керування та спеціалізованих комп'ютерних систем Топалова Андрія Миколайовича (науковий керівник д.т.н., професор, заслужений винахідник України Кондратенко Юрій Пантелійович, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету імені Петра Могили) впроваджені при виконанні освітнього європейського проекту TEMPUS CABRIOLET «Model-Oriented Approach And Intelligent Knowledge-Based System for Evolvable Academia-Industry Cooperation in Electronic and Computer Engineering» (544497-TEMPUS-1-2013-1-UK-TEMPUS-JPHES).

Розроблені Топаловим А.М. інструментальні засоби на основі нечіткої логіки для синтезу інтелектуальних комп'ютерних систем автоматичного управління параметрами плавучих споруд (зокрема плавучого доку) були впроваджені у розділі монографії другого тому навчальних матеріалів «Університетсько-індустріальна кооперація. Інтелектуальна знання-орієнтована система прийняття рішень. Вимоги, алгоритми, верифікація і застосування», під редакцією д.т.н., проф. Ю.П. Кондратенка, д.т.н., проф. В.С. Харченка. Крім того, результати досліджень впроваджені в тренінги для студентів і викладачів університетів та спеціалістів ІТ-компаній в рамках проекту TEMPUS CABRIOLET.

Національний координатор CABRIOLET-проекту,
завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»,
заслужений винахідник України,
доктор технічних наук, професор



В.С. Харченко

Підпис професора Харченка В.С. засвідчую:
в. о. декана факультету радіоелектроніки,
комп'ютерних систем та інфокомунікацій
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»,
кандидат технічних наук



О.В. Одокієнко



DAAD
Ostpartnerschaftsprogramm



CERTIFICATION

about the main results of the project "Design and implementation of a mobile robot with controlled electromagnetic wheel-movers for automating tool movement on inclined and vertical ferromagnetic surfaces"

Forschungsprojekt im Rahmen der Kooperation zwischen der Universität des Saarlandes und der Petro-Mohyla-Schwarzmeeruniversität, Mykolajiv für den Zeitraum 2015-2017

1. Principal Investigators

Petro-Mohyla-Schwarzmeeruniversität,
Mykolajiv

Name: Yuriy P. KONDRATENKO

Prof. Dr.Sc.

Address:

Petro Mohyla Black Sea State University

10, 68th Desantnykiv Str.

Mykolaiv, 54003, Ukraine

Email: y_kondrat2002@yahoo.com

Tel.: +380 512 464074

Fax: +380 512 500333, +380 512 500069

Universität des Saarlandes

Name: Joachim RUDOLPH

Prof. Dr.-Ing.

Address: Universität des Saarlandes

Lehrstuhl für Systemtheorie und

Regelungstechnik, Campus A5 1

66123, Saarbrücken, Germany

Email: j.rudolph@lsr.uni-saarland.de

Tel.: +49 (0) 681 302-64721

Fax: +49 (0) 681 302-64722

2. Ukrainian team members

Mykyta Taranov, Ph.D. student

Yuriy Zaporozhets, PhD, Assoc. prof.

Galyna Kondratenko, PhD., Assoc. prof.

Oleksiy Kozlov, PhD., Assoc. prof.

Oleksandr Gerasin, Ph.D. student

Andriy Topalov, Ph.D. student

German team members

Christian Wolf, Lecturer

3. Main research results

1) The kinematic mathematical model and simulation of electromagnetic wheel mover's (EWM) movement are investigated for confirmation of the EWM efficiency and investigation of the EWM center's trajectory of the movement on the ferromagnetic surface with different profiles.

2) The mathematical models for the permanent and electromagnets of the wheeled MR is developed for determination of main parameters of the clamping magnets (windings and a core). The mathematical models take into account (a) ferromagnetic and non-ferromagnetic uncertainties of working ferromagnetic surface (FS), and (b) electromagnets' constructions and modes.

3) The hybrid neuro-fuzzy clamping force (CF) observer for mobile robot (MR) is designed. The force observer synthesis procedures of the MR's clamping electromagnet based on experimental data and adaptive-network-based fuzzy inference system is considered for



DAAD Ostpartnerschaftsprogramm



preliminary calculating CF using Gaussian membership functions for linguistic terms of input variables in the uncertain working surface (before MR leg adhesion with working surface).

4) Clamping force control system (CFCS) based on Hall sensors is developed. The combination-generation method based on the finite elements is proposed for computing geometrical parameters of CF localization patches in the developed CFCS. The developed CFCS can significantly improve reliability of EWM's movement along inclined FS.

5) Recommendations on choosing construction of the reverse - moving forward sliding spoke of electromagnetic wheel-movers (EWMs) are given based on conducted comparative analysis of existing solutions: linear motor, "screw-nut", "gear-rake" transmission, combined transmission and others.

6) The main results of the project are presented and published by joint Ukrainian-German teams, including such Scopus-publications:

- Yuriy Kondratenko, Yuriy Zaporozhets, Joachim Rudolph, Oleksandr Gerasin, Andriy Topalov, Oleksiy Kozlov: Modeling of clamping magnets interaction with ferromagnetic surface for wheel mobile robots. *International Journal of Computing*, Vol.17, Issue 1, Open Access, 2018, pp. 33-46.

- M. Taranov, C. Wolf, J. Rudolph, Y. Kondratenko: Simulation of Robot's Wheel-Mover on Ferromagnetic Surfaces. *Proceedings of 2017 IEEE 9th International Conference IDAACS'2017*, Bucharest, Romania, vol. 1, Sept. 21-23, 2017, pp. 283-288.

- Y. Kondratenko, Y. Zaporozhets, J. Rudolph, O. Gerasin, A. Topalov, O. Kozlov: Features of clamping electromagnets using in wheel mobile robots and modeling of their interaction with ferromagnetic plate. *Proceedings of 2017 IEEE 9th International Conference IDAACS'2017*, Bucharest, Romania, vol. 1, Sept. 21-23, 2017, pp. 453-458.

- Taranov, M., Rudolph, J., Wolf, C., Kondratenko, Y., Gerasin, O. Advanced approaches to reduce number of actors in a magnetically-operated wheel-mover of a mobile robot. *2017 13th International Conference Perspective Technologies and Methods in MEMS Design, MEMSTECH 2017 - Proceedings*, 2017, pp. 96-100.

- Kondratenko, Y.P., Rudolph, J., Kozlov, O.V., Zaporozhets, Y.M., Gerasin, O.S. Neuro-fuzzy observers of clamping force for magnetically operated movers of mobile robots, *Technical Electrodynamics*, Issue 5, 2017, pp. 53-61, (in Ukrainian)

Place, date, signatures

From the Petro-Mohyla Black Sea National University
Saarbrücken, October 25, 2018



Yuriy P. KONDRATENKO

From the University of Saarland,
Saarbrücken, October 25, 2018



Joachim RUDOLPH

Lehrstuhl für
Systemtheorie und Regelungstechnik
Universität des Saarlandes, Geb. A5 1
Postfach 151150 · 66041 Saarbrücken
Prof. Dr.-Ing. habil. J. Rudolph



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **102167** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)
G01F 23/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2015 01549	(72) Винахідник(и): Кондратенко Юрій Пантелійович (UA), Коробко Олексій Володимирович (UA), Кондратенко Галина Володимирівна (UA), Козлов Олексій Валерійович (UA), Герасін Олександр Сергійович (UA), Топалов Андрій Миколайович (UA)
(22) Дата подання заявки: 23.02.2015	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 26.10.2015	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 26.10.2015, Бюл.№ 20	(73) Власник(и): ЧОРНОМОРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ, вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, 54003 (UA)

(54) СПОСІБ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ РІДИНИ В РЕЗЕРВУАРАХ З ДИСКРЕТНИМ САМОТЕСТУВАННЯМ

(57) Реферат:

Спосіб автоматичного контролю рівня рідини в резервуарах з дискретним само тестуванням, в якому у робочому просторі резервуара встановлюють два вимірювачі на відповідній фіксованій відстані один від одного по висоті резервуара та здійснюють одночасно неперервну реєстрацію їх електричних сигналів, причому перший вимірювач виконують у вигляді гідростатичного датчика тиску, а значення рівня рідини в резервуарі визначають гідростатичним методом на основі реєстрованих електричних сигналів. Другий вимірювач виконують у вигляді дискретного датчика фіксованого рівня та встановлюють вище гідростатичного датчика тиску, при цьому в кожний момент спрацювання (включення/вимкнення) дискретного датчика фіксованого рівня здійснюють порівняння електричного сигналу, що надходить від гідростатичного датчика тиску і відповідає поточному значенню рівня рідини в резервуарі, з електричним сигналом, що відповідає фіксованому значенню рівня, на якому встановлений дискретний датчик, та формують електричний сигнал, відповідний значенню похибки вимірювання гідростатичного датчика тиску, при перевищенні яким максимального порогового значення сигналізують про несправність гідростатичного датчика тиску.

UA 102167 U



УКРАЇНА

(19) UA (11) 113880 (13) U
 (51) МПК
 G21C 17/035 (2006.01)
 G01F 23/22 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2016 03773	(72) Винахідник(и):	Кондратенко Юрій Пантелійович (UA), Козлов Олексій Валерійович (UA), Кондратенко Галина Володимирівна (UA), Коробко Олексій Володимирович (UA), Топалов Андрій Миколайович (UA), Герасін Олександр Сергійович (UA)
(22) Дата подання заявки:	08.04.2016	(73) Власник(и):	ЧОРНОМОРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ, вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, 54003 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	27.02.2017		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	27.02.2017, Бюл.№ 4		

(54) СПОСІБ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ РІДИНИ З РОЗПОДІЛЕНИМ ПО ВИСОТІ РЕЗЕРВУАРА ДИСКРЕТНИМ САМОТЕСТУВАННЯМ

(57) Реферат:

Спосіб автоматичного контролю рівня рідини з розподіленням по висоті резервуара дискретним самотестуванням. Здійснюють одночасно неперервну реєстрацію їх електричних сигналів та на основі даних сигналів гідростатичним методом визначають поточне значення рівня рідини в резервуарі. В кожний момент спрацювання першого дискретного датчика фіксованого рівня здійснюють порівняння електричного сигналу, що надходить від гідростатичного датчика тиску і відповідає поточному значенню рівня рідини в резервуарі, з електричним сигналом, що відповідає фіксованому значенню рівня, на якому встановлений перший дискретний датчик. У робочому просторі резервуара встановлюють принаймні два додаткові дискретні датчики фіксованого рівня, при цьому другий дискретний датчик фіксованого рівня встановлюють вище першого дискретного датчика, а третій дискретний датчик встановлюють вище другого дискретного датчика фіксованого рівня по висоті резервуара. В кожний момент спрацювання (включення/вимкнення) першого, другого або третього дискретних датчиків фіксованого рівня здійснюють порівняння електричного сигналу, що надходить від гідростатичного датчика тиску і відповідає поточному значенню рівня рідини в резервуарі, з електричним сигналом, що відповідає фіксованому значенню рівня, на якому встановлений відповідний дискретний датчик, що спрацює в конкретний момент часу при завантаженні/розвантаженні резервуара з рідиною. Формують електричні сигнали, що відповідають значенням похибок вимірювання гідростатичного датчика тиску на кожному фіксованому рівні по висоті резервуара, де попередньо закріплені відповідні дискретні датчики, при перевищенні будь-яким з сигналів похибки попередньо встановленого максимального порогового значення сигналізують про несправність гідростатичного датчика тиску.

UA 113880 U



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **117729** (13) **U**
(51) МПК
G21C 17/035 (2006.01)
G01F 23/22 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2016 13290	(72) Винахідник(и): Кондратенко Юрій Пантелійович (UA), Козлов Олексій Валерійович (UA), Топалов Андрій Миколайович (UA)
(22) Дата подання заявки: 26.12.2016	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.07.2017	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА, пр. Героїв Сталінграда, 9, м. Миколаїв, 54025 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.07.2017, Бюл.№ 13	

(54) СПОСІБ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ОСАДКИ, КРЕНУ, ДИФЕРЕНТУ ТА СТІЛКИ ПРОГИНУ/ПЕРЕГИНУ ПЛАВСПОРУДИ З БЕЗДРОВОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ ДАНИХ

(57) Реферат:

Спосіб автоматичного контролю осадки, крену, диференту та стрілки прогину/перегину плавспоруди з бездротовою передачею даних, згідно з яким плавспоруду обладнують системою датчиків та здійснюють одночасно неперервну реєстрацію їх електричних сигналів, при цьому датчики встановлюють уздовж бортів плавспоруди, а поточні значення осадки, крену, диференту та стрілки прогину/перегину плавспоруди розраховують на основі реєстрованих електричних сигналів, причому до складу системи датчиків включають перший, другий, третій, четвертий, п'ятий та шостий гідростатичні датчики тиску, які встановлюють рівномірно по три датчики вздовж лівого і правого бортів зовні плавспоруди якомога ближче до її днища, причому перший і п'ятий датчики встановлюють в крайніх точках лівого борту, другий та шостий - в крайніх точках правого борту, третій датчик - посередині між першим та п'ятим датчиками на лівому борті, а четвертий - посередині між другим та шостим датчиками на правому борті, при цьому поточні значення осадки, крену, диференту та стрілки прогину/перегину плавспоруди розраховують на основі реєстрованих електричних сигналів першого, другого, третього, четвертого, п'ятого та шостого гідростатичних датчиків тиску за допомогою гідростатичного методу та геометричних залежностей між положенням датчиків відносно поверхні води та значеннями осадки, кутів крену та диференту, стрілки прогину/перегину плавспоруди, причому розраховані поточні значення осадки, крену, диференту та стрілки прогину/перегину плавспоруди передають неперервно в режимі реального часу до берегового поста контролю плавспоруди за допомогою бездротового зв'язку, який реалізують на основі локальних або глобальних бездротових мереж.

UA 117729 U



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **122417** (13) **U**
(51) МПК
G21C 17/035 (2006.01)
G01F 23/22 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: у 2017 06248	(72) Винахідник(и):
(22) Дата подання заявки: 19.06.2017	Кондратенко Юрій Пантелійович (UA),
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.01.2018	Козлов Олексій Валерійович (UA),
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.01.2018, Бюл.№ 1	Кондратенко Галина Володимирівна (UA),
	Коробко Олексій Володимирович (UA),
	Топалов Андрій Миколайович (UA),
	Герасін Олександр Сергійович (UA)
	(73) Власник(и):
	ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ,
	вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, 54003 (UA)

(54) СПОСІБ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ РІДИНИ З РОЗПОДІЛЕНИМ ПО ВИСОТІ РЕЗЕРВУАРА ДИСКРЕТНИМ САМОТЕСТУВАННЯМ ТА КОМПЕНСАЦІЄЮ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ

(57) Реферат:

Спосіб автоматичного контролю рівня рідини з розподіленням по висоті резервуара дискретним самотестуванням та компенсацією похибки вимірювання, згідно з яким у робочому просторі резервуара встановлюють гідростатичний датчик тиску та принаймні три дискретні датчики фіксованого рівня на відповідній фіксованій відстані один від одного по висоті резервуара, здійснюють одночасно неперервну реєстрацію їх електричних сигналів та на основі даних сигналів гідростатичним методом визначають поточне значення рівня рідини в резервуарі. При цьому для електричних сигналів, що відповідають значенням похибок вимірювання гідростатичного датчика тиску на кожному фіксованому рівні по висоті резервуара, де попередньо закріплені відповідні дискретні датчики, обчислюють сигнал середньоарифметичного значення та для компенсації похибки вимірювання гідростатичного датчика тиску за допомогою суматора додають сигнал середньоарифметичного значення до електричного сигналу, що надходить від гідростатичного датчика тиску, а результуючий вихідний сигнал суматора, що відповідає реальному поточному значенню рівня рідини у резервуарі з врахуванням компенсації похибок вимірювання гідростатичного датчика тиску, надсилають на пристрій відображення інформації.

UA 122417 U

ДОДАТОК В

Лістинг програми технічної діагностики датчика рівня рідини на мові
VHDL

```

-----
--
-- Title      : No Title
-- Design     : ICTEERI
-- Author     : Top
-- Company    : Top
--
-----
--
-- File       : I:\ICTERI4\ICTEERI\ICTEERI\compile\ICTEERI.vhd
-- Generated  : 08/10/19 00:54:27
-- From      : I:\ICTERI4\ICTEERI\ICTEERI\src\ICTEERI.asf
-- By        : FSM2VHDL ver. 5.0.7.2
--
-----
--
-- Description :
--
-----

library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;
use IEEE.std_logic_arith.all;
use IEEE.std_logic_unsigned.all;

entity ICTEERI is
    generic (
        counter: INTEGER := 0;
        LF: INTEGER := 100;
        P1: INTEGER := 2;
        RG: INTEGER := 10094 );
    port (
        CLK: in STD_LOGIC;
        F: in BIT;
        P: in INTEGER;
        Power: in STD_LOGIC;
        ErHPS: out BIT);
end ICTEERI;

architecture ICTEERI of ICTEERI is

    -- diagram signals declarations
    signal C1: INTEGER range 0 to 1000;
    signal dL: INTEGER;
    signal F0: BIT;
    signal F1: BIT;
    signal F2: BIT;
    signal F3: BIT;
    signal F4: BIT;
    signal F5: BIT;
    signal F6: BIT;
    signal L: INTEGER range 0 to 2147483647;
    signal LPS: INTEGER;
    signal Remainder: INTEGER;

```

```

-- BINARY ENCODED state machine: Sreg0
attribute enum_encoding: string;
type Sreg0_type is (
    S1, S4, S6, S7, S5, S10, S9, S8, S2, S3
);
attribute enum_encoding of Sreg0_type: type is
    "0000 " &          -- S1
    "0001 " &          -- S4
    "0010 " &          -- S6
    "0011 " &          -- S7
    "0100 " &          -- S5
    "0101 " &          -- S10
    "0110 " &          -- S9
    "0111 " &          -- S8
    "1000 " &          -- S2
    "1001" ;          -- S3

signal Sreg0, NextState_Sreg0: Sreg0_type;

-- Declarations of pre-registered internal signals
signal int_ErHPS, next_ErHPS: BIT;
signal next_C1: INTEGER range 0 to 1000;
signal next_dL: INTEGER;
signal next_F0: BIT;
signal next_F1: BIT;
signal next_F2: BIT;
signal next_F3: BIT;
signal next_F4: BIT;
signal next_F5: BIT;
signal next_F6: BIT;
signal next_L: INTEGER range 0 to 2147483647;
signal next_LPS: INTEGER;
signal next_Remainder: INTEGER;

begin

-----
-- Machine: Sreg0
-----

-----
-- Next State Logic (combinatorial)
-----

Sreg0_NextState: process (C1, dL, F, F1, F2, F3, F4, F5, F6, int_ErHPS, L, LPS, P, Sreg0)
begin
    NextState_Sreg0 <= Sreg0;
    -- Set default values for outputs and signals
    next_ErHPS <= int_ErHPS;
    next_L <= L;
    next_C1 <= C1;
    next_F3 <= F3;
    next_F4 <= F4;
    next_F1 <= F1;
    next_F5 <= F5;
    next_F2 <= F2;
    next_F6 <= F6;
    next_LPS <= LPS;
    next_dL <= dL;
    case Sreg0 is
        when S1 =>
            next_ErHPS <= '0';
            if F'event and F='1' then
                NextState_Sreg0 <= S10;

```



```

        elsif F'event and F='0' then
            NextState_Sreg0 <= S9;
        else
            NextState_Sreg0 <= S2;
        end if;
when S4 =>
    next_L <= abs DL;
    if F'event and F='1' then
        NextState_Sreg0 <= S10;
    elsif F'event and F='0' then
        NextState_Sreg0 <= S9;
    else
        NextState_Sreg0 <= S5;
    end if;
when S6 =>
    if P1 < L then next_ErHPS <= '1';
    end if;
    if P1 >= L then next_ErHPS <= '0';
    end if;
    if F'event and F='1' then
        NextState_Sreg0 <= S10;
    elsif F'event and F='0' then
        NextState_Sreg0 <= S9;
    else
        NextState_Sreg0 <= S7;
    end if;
when S7 =>
    if P1 < L then next_C1 <= C1+1;
    end if;
    if F'event and F='1' then
        NextState_Sreg0 <= S10;
    elsif F'event and F='0' then
        NextState_Sreg0 <= S9;
    else
        NextState_Sreg0 <= S8;
    end if;
when S5 =>
    if F1='1' then next_F3 <= '1';
    elsif F2='1' then next_F3 <= '1';
    else next_F4 <= '1';
    end if;
    if F'event and F='1' then
        NextState_Sreg0 <= S10;
    elsif F'event and F='0' then
        NextState_Sreg0 <= S9;
    elsif F3='1' then
        NextState_Sreg0 <= S6;
    elsif F4='1' then
        NextState_Sreg0 <= S1;
    end if;
when S10 =>
    next_F1 <= '1';
    next_F5 <= '1';
    if F'event and F='1' then
        NextState_Sreg0 <= S10;
    elsif F'event and F='0' then
        NextState_Sreg0 <= S9;
    else
        NextState_Sreg0 <= S1;
    end if;
when S9 =>
    next_F2 <= '1';
    next_F6 <= '1';

```

```

        if F'event and F='1' then
            NextState_Sreg0 <= S10;
        elsif F'event and F='0' then
            NextState_Sreg0 <= S9;
        else
            NextState_Sreg0 <= S1;
        end if;
    when S8 =>
        next_F1 <= '0';
        next_F2 <= '0';
        next_F3 <= '0';
        next_F4 <= '0';
        if F'event and F='1' then
            NextState_Sreg0 <= S10;
        elsif F'event and F='0' then
            NextState_Sreg0 <= S9;
        else
            NextState_Sreg0 <= S1;
        end if;
    when S2 =>
        next_LPS <= P / RG;
        if F'event and F='1' then
            NextState_Sreg0 <= S10;
        elsif F'event and F='0' then
            NextState_Sreg0 <= S9;
        else
            NextState_Sreg0 <= S3;
        end if;
    when S3 =>
        next_DL <= LF - LPS;
        if F'event and F='1' then
            NextState_Sreg0 <= S10;
        elsif F'event and F='0' then
            NextState_Sreg0 <= S9;
        else
            NextState_Sreg0 <= S4;
        end if;
--vhdl_cover_off
    when others =>
        null;
--vhdl_cover_on
    end case;
end process;

-----
-- Current State Logic (sequential)
-----
Sreg0_CurrentState: process (CLK)
begin
    if CLK'event and CLK = '1' then
        if Power='1' then
            Sreg0 <= S1;
        else
            Sreg0 <= NextState_Sreg0;
        end if;
    end if;
end process;

-----
-- Registered Outputs Logic
-----
Sreg0_RegOutput: process (CLK)
begin

```

```

if CLK'event and CLK = '1' then
  if Power='1' then
    -- L <=          -- Initialization in the reset state or default value required!
    -- C1 <=          -- Initialization in the reset state or default value required!
    -- F3 <=          -- Initialization in the reset state or default value required!
    -- F4 <=          -- Initialization in the reset state or default value required!
    -- F1 <=          -- Initialization in the reset state or default value required!
    -- F5 <=          -- Initialization in the reset state or default value required!
    -- F2 <=          -- Initialization in the reset state or default value required!
    -- F6 <=          -- Initialization in the reset state or default value required!
    -- LPS <=         -- Initialization in the reset state or default value required!
    -- dL <=          -- Initialization in the reset state or default value required!
    int_ErHPS <= '0';
  else
    L <= next_L;
    C1 <= next_C1;
    F3 <= next_F3;
    F4 <= next_F4;
    F1 <= next_F1;
    F5 <= next_F5;
    F2 <= next_F2;
    F6 <= next_F6;
    LPS <= next_LPS;
    dL <= next_dL;
    int_ErHPS <= next_ErHPS;
  end if;
end if;
end process;

-- Copy temporary signals to target output ports
ErHPS <= int_ErHPS;

end ICTEERI;

```

ДОДАТОК Г

Розрахунки остійності плавучого доку в програмному комплексі Freeship plus

Розрахунки гідростатики плавучого доку без судна

Результаты гидростатики

Печать

Сохранить

✓

Закрыть

Проект

Проектант

Имя файла

:

:

: деталь9.fbm

Длина между перпенд.

Длина максимальная

Ширина на миделе

Ширина максимальная

Проектная осадка

Абсцисса миделя

Плотность воды

:

:

:

:

:

:

:

139.50 м

139.50 м

32.400 м

32.400 м

3.830 м

69.750 м

1.025 т/м³

Draft	Trim	Lwl	Bwl	Volume	Displ.	LCB	VCB	Cb	Am	Cm	Aw	Cw	LCF	Cp	S	KMt	KMI
м	м	м	м	м³	тонн	м	м	[-]	м²	[-]	м²	[-]	м	[-]	м²	м	м
3.830	0.000	139.500	32.400	17205	17635	69.573	1.925	0.9939	65.857	0.5307	4519.0	0.9998	69.728	1.8727	6765.0	24.894	427.54
4.130	0.000	139.500	32.400	18561	19025	69.584	2.075	0.9943	70.865	0.5296	4518.9	0.9998	69.727	1.8775	6951.6	23.366	396.60
4.430	0.000	139.500	32.400	19916	20414	69.591	2.225	0.9947	75.723	0.5276	4511.5	0.9982	69.613	1.8854	7143.1	22.051	368.09
4.730	0.000	139.500	32.400	20866	21387	69.587	2.331	0.9760	79.157	0.5165	1331.1	0.2945	69.355	1.8896	10521	11.848	165.40
5.030	0.000	139.500	32.400	21246	21777	69.591	2.376	0.9345	163.638	1.0041	1256.4	0.2780	69.079	0.9307	10837	11.453	149.31
5.330	0.000	139.500	32.400	21614	22155	69.592	2.424	0.8972	169.011	0.9787	1231.5	0.2725	69.055	0.9167	11116	11.233	143.52
5.630	0.000	139.500	32.400	21972	22522	69.594	2.474	0.8635	174.661	0.9575	1190.9	0.2635	68.720	0.9018	11402	11.192	129.76
5.930	0.000	139.500	32.400	22589	23154	69.595	2.565	0.8428	182.053	0.9475	3620.3	0.8010	69.994	0.8895	14604	6.814	399.41
6.230	0.000	139.500	32.400	23676	24268	69.601	2.727	0.8408	190.337	0.9430	3749.8	0.8296	69.112	0.8917	15010	7.342	380.59
6.530	0.000	139.500	32.400	24788	25408	69.604	2.890	0.8399	198.854	0.9399	3818.5	0.8448	69.152	0.8936	15373	7.615	368.35
6.830	0.000	139.500	32.400	25916	26563	69.608	3.055	0.8395	207.450	0.9374	3848.6	0.8515	69.064	0.8955	15721	7.738	354.30
7.130	0.000	139.500	32.400	27051	27727	69.613	3.220	0.8394	216.082	0.9354	3870.2	0.8563	69.069	0.8974	16063	7.797	340.93
7.430	0.000	139.500	32.400	28190	28894	69.615	3.384	0.8394	224.728	0.9335	3890.8	0.8608	69.415	0.8992	16403	7.806	331.11
7.730	0.000	139.500	32.400	29329	30062	69.618	3.547	0.8395	233.365	0.9318	3874.3	0.8572	69.297	0.9009	16742	7.796	317.27
8.030	0.000	139.500	32.400	30468	31230	69.620	3.709	0.8395	242.010	0.9302	3880.1	0.8585	69.346	0.9025	17082	7.802	305.97
8.330	0.000	139.500	32.400	31608	32398	69.623	3.870	0.8395	250.673	0.9288	3894.3	0.8616	69.428	0.9039	17421	7.823	296.21
8.600	0.000	139.500	32.400	32633	33449	69.624	4.015	0.8395	258.474	0.9276	3894.2	0.8616	69.415	0.9050	17727	7.844	286.94

Розрахунки гідростатики плавучого доку з судном

Результаты гидростатики

Печать

Сохранить

Закрыть

Проект

Проектант

Имя файла

:

:

: деталь7_2.fbm

Длина между перпенд.

Длина максимальная

Ширина на миделе

Ширина максимальная

Проектная осадка

Абсцисса миделя

Плотность воды

:

:

:

:

:

:

:

139.50 м

139.50 м

32.400 м

32.400 м

2.000 м

69.750 м

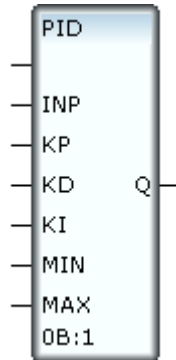
1.025 т/м³

Draft	Trim	Lwl	Bwl	Volume	Displ.	LCB	VCB	Cb	Am	Cm	Aw	Cw	LCF	Cp	S	KMt	KMI
м	м	м	м	м³	тонн	м	м	[-]	м²	[-]	м²	[-]	м	[-]	м²	м	м
2.000	0.000	139.500	32.400	9039.0	9264.9	69.753	1.000	0.9999	40.162	0.6198	4548.8	1.0064	69.662	1.6134	5764.4	45.559	807.39
2.400	0.000	139.500	32.400	10848	11119	69.745	1.200	1.0000	47.066	0.6053	4519.5	0.9999	69.746	1.6522	6013.3	37.646	676.79
2.800	0.000	139.500	32.400	12654	12971	69.751	1.400	0.9999	53.953	0.5947	4519.5	0.9999	69.746	1.6813	6262.1	32.642	580.52
3.200	0.000	139.500	32.400	14463	14825	69.744	1.600	1.0000	60.819	0.5866	4519.5	0.9999	69.746	1.7048	6510.9	28.934	508.28
3.600	0.000	139.500	32.400	16270	16677	69.749	1.800	0.9999	67.643	0.5799	4519.5	0.9999	69.746	1.7243	6759.7	26.098	452.20
4.000	0.000	139.500	32.400	18077	18529	69.752	2.000	0.9999	74.427	0.5743	4519.4	0.9999	69.745	1.7411	7008.4	23.869	407.38
4.400	0.000	139.500	32.400	19885	20382	69.751	2.200	0.9999	81.162	0.5693	4510.3	0.9979	69.700	1.7563	7259.0	22.075	369.40
4.800	0.000	139.500	32.400	20958	21482	69.746	2.319	0.9660	84.930	0.5461	877.73	0.1942	69.398	1.7690	11099	11.337	68.549
5.200	0.000	139.500	32.400	21308	21840	69.738	2.364	0.9066	86.391	0.5128	872.83	0.1931	69.717	1.7680	11327	11.170	68.733
5.600	0.000	139.500	32.400	21656	22198	69.739	2.412	0.8556	175.667	0.9682	872.84	0.1931	69.718	0.8837	11555	11.077	67.714
6.000	0.000	139.500	32.400	22006	22556	69.733	2.466	0.8115	178.527	0.9183	946.19	0.2093	65.206	0.8836	11782	11.641	55.023
6.400	0.000	139.500	32.400	22355	22913	69.743	2.524	0.7728	181.337	0.8745	872.83	0.1931	69.718	0.8837	12010	10.918	65.787
6.800	0.000	139.500	32.400	22701	23268	69.752	2.586	0.7386	184.108	0.8356	872.83	0.1931	69.718	0.8839	12238	10.853	64.885
7.200	0.000	139.500	32.400	23052	23629	69.742	2.654	0.7084	186.829	0.8009	872.83	0.1931	69.718	0.8845	12466	10.794	64.001
7.600	0.000	139.500	32.400	23402	23987	69.739	2.725	0.6813	189.511	0.7696	872.83	0.1931	69.718	0.8852	12693	10.743	63.157
8.000	0.000	139.500	32.400	23750	24343	69.748	2.798	0.6568	192.150	0.7413	896.83	0.1984	68.609	0.8860	12921	10.882	59.568
8.400	0.000	139.500	32.400	24099	24702	69.744	2.878	0.6347	194.760	0.7156	872.81	0.1931	69.716	0.8870	13149	10.665	61.558
8.600	0.000	139.500	32.400	24273	24880	69.740	2.916	0.6245	196.046	0.7036	872.81	0.1931	69.716	0.8875	13263	10.647	61.176

ДОДАТОК Д

Реалізація контролерів на мові FBD в програмному середовищі TRACE MODE

ПІД-контролер



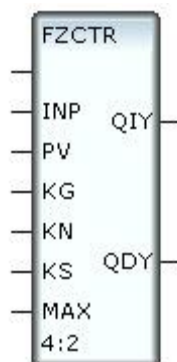
Цей блок формує вихідне значення по ПІД-закону від величини, поданої на вхід INP:

$$Q_i = KP \cdot INP_i + \frac{KD \cdot (INP_i - INP_{i-1})}{\Delta t} + KT \cdot \Delta t \cdot \sum_{k=1}^i INP_k$$

де i - поточний такт перерахунку, KP , KD і KI - відповідно коефіцієнти пропорційної, диференціальної і інтегральної складових, Δt - період перерахунку блоку в секундах (тривалість такту).

Модуль, що подається на вхід KI від'ємного значення передається на вихід. Далі при подачі на вхід KI невід'ємного значення регулювання починається з встановленої величини. Для обмеження величини керуючого впливу використовуються входи блоку MIN і MAX . Якщо величина управління менше MIN , то $Q = MIN$, якщо величина управління більше MAX , то $Q = MAX$, при цьому в обох випадках накопичення інтегральної складової закону регулювання припиняється. Даний блок обчислює величину керуючого впливу за значенням неузгодженості регульованої величини і завдання, яке попередньо треба обчислювати за допомогою блоку "X-Y". Введення в алгоритм параметра Δt виключає необхідність перерахунку налаштувань контролера при зміні періоду перерахунку.

Нечіткий контролер



Даний функціональний блок реалізує функцію нечіткого контролера. На вхід INP подається регульоване значення. Вхід PV призначений для завдання уставки. На виході QIY блока, формується величина керуючого впливу. Вихід QDY використовується для виведення величини збільшення керуючого впливу на поточному перерахунку блока.

Значення виходів формується за наступним алгоритмом:

$$QIY_i = QIY_{i-1} + QDY_i$$

$$QDY_i = kg \cdot QDY_g + kn \cdot QDY_n + ks \cdot QDY_s$$

де, i – поточний такт перерахунку; kg , kn , ks – приналежність неузгодженості до категорій “великий”, “середній” і “малий” відповідно; QDY_g , QDY_n , QDY_s – приріст управління за умовою “великий”, “середній” і “малий” відповідно.

Збільшення по кожній з категорій відхилення розраховуються за формулою:

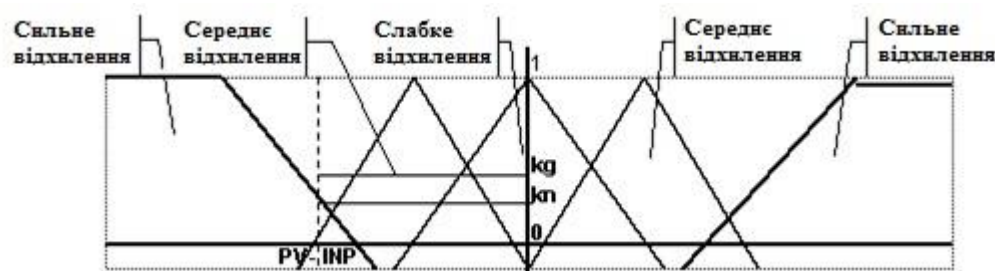
$$QDY_j = K_j \cdot \text{SIGN}(PV - INP)$$

де, j – ознака неузгодженості; g – велика неузгодженість; n – середня неузгодженість; s – слабка неузгодженість.

Коефіцієнти K_j налаштовуються входами KG, KN, KS даного блоку. Якщо ці коефіцієнти не задані, то їх значення приймаються як константи 0.3, 0.2 та 0.05 відповідно.

Вхід MAX обмежує величину приросту керуючого впливу. Це обмеження обчислюється як похідна даного входу і неузгодженості завдання, а також регульованого значення.

На рисунку зображено підхід до визначення коефіцієнтів приналежності до інтервалів неузгодженості.



Межі діапазонів категорій неузгодженості задаються за допомогою блока “SFZ”. Він передає свої налаштування всім нечітким контролерам даного вузла. Тому цей блок слід розмістити перед кожним контролером, що мають індивідуальні настройки.

ДОДАТОК Е

Лістинг програми на m мові для інформаційної підсистеми автоматизованого планування розподілу баласту

```

function varargout = untitled(varargin)
% UNTITLED MATLAB code for untitled.fig
%   UNTITLED, by itself, creates a new UNTITLED or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = UNTITLED returns the handle to a new UNTITLED or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   UNTITLED('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in UNTITLED.M with the given input arguments.
%
%   UNTITLED('Property','Value',...) creates a new UNTITLED or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before untitled_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to untitled_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help untitled

% Last Modified by GUIDE v2.5 26-Oct-2018 00:41:59

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @untitled_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @untitled_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before untitled is made visible.
function untitled_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to untitled (see VARARGIN)

% Choose default command line output for untitled
handles.output = hObject;

```

```

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes untitled wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = untitled_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in btn.
function btn_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btn (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
z_1 = str2double(get(handles.z_1, 'String'));
assignin('base', 'z_1', z_1);
z_2_1 = str2double(get(handles.z_2_1, 'String'));
assignin('base', 'z_2_1', z_2_1);
z_2_2 = str2double(get(handles.z_2_2, 'String'));
assignin('base', 'z_2_2', z_2_2);
z_2_3 = str2double(get(handles.z_2_3, 'String'));
assignin('base', 'z_2_3', z_2_3);
z_2_4 = str2double(get(handles.z_2_4, 'String'));
assignin('base', 'z_2_4', z_2_4);
z_2_5 = str2double(get(handles.z_2_5, 'String'));
assignin('base', 'z_2_5', z_2_5);

options = simset('DstWorkspace', 'base', 'SrcWorkspace', 'base');
sim('pipeline_network_2015_dock', [], options);

Counter = evalin('base', 'Counter');
H = evalin('base', 'H');
H_data = evalin('base', 'H_data');
H_interp = evalin('base', 'H_interp');
H_intersect = evalin('base', 'H_intersect');
H_min = evalin('base', 'H_min');
H_sum = evalin('base', 'H_sum');
H_sum_v = evalin('base', 'H_sum_v');
p_1 = evalin('base', 'p_1');
p_2 = evalin('base', 'p_2');
p_2_1 = evalin('base', 'p_2_1');
p_2_2 = evalin('base', 'p_2_2');
p_2_3 = evalin('base', 'p_2_3');
p_2_4 = evalin('base', 'p_2_4');
p_2_5 = evalin('base', 'p_2_5');
pipe_1 = evalin('base', 'pipe_1');
pipe_2_1 = evalin('base', 'pipe_2_1');
pipe_2_2 = evalin('base', 'pipe_2_2');
pipe_2_3 = evalin('base', 'pipe_2_3');
pipe_2_4 = evalin('base', 'pipe_2_4');
pipe_2_5 = evalin('base', 'pipe_2_5');
Q = evalin('base', 'Q');
Q_2_1 = evalin('base', 'Q_2_1');
Q_2_1_res = evalin('base', 'Q_2_1_res');
Q_2_2 = evalin('base', 'Q_2_2');

```



```

Q_2_2_res = evalin('base', 'Q_2_2_res');
Q_2_3 = evalin('base', 'Q_2_3');
Q_2_3_res = evalin('base', 'Q_2_3_res');
Q_2_4 = evalin('base', 'Q_2_4');
Q_2_4_res = evalin('base', 'Q_2_4_res');
Q_2_5 = evalin('base', 'Q_2_5');
Q_2_5_res = evalin('base', 'Q_2_5_res');
Q_all = evalin('base', 'Q_all');
Q_res = evalin('base', 'Q_res');
Q_sum = evalin('base', 'Q_sum');
Q_sum_v = evalin('base', 'Q_sum_v');
z_1 = evalin('base', 'z_1');
z_2_1 = evalin('base', 'z_2_1');
z_2_2 = evalin('base', 'z_2_2');
z_2_3 = evalin('base', 'z_2_3');
z_2_4 = evalin('base', 'z_2_4');
z_2_5 = evalin('base', 'z_2_5');
i = evalin('base', 'i');
volume_2_1 = evalin('base', 'volume_2_1');
volume_2_2 = evalin('base', 'volume_2_2');
volume_2_3 = evalin('base', 'volume_2_3');
volume_2_4 = evalin('base', 'volume_2_4');
volume_2_5 = evalin('base', 'volume_2_5');
volume_2_1t = evalin('base', 'volume_2_1t');
volume_2_2t = evalin('base', 'volume_2_2t');
clc;

H_data = transpose(H.Data);
H_interp = 0:(16/length(H_data)):20;
H_interp = H_interp(1:length(H_data));
Q_res = transpose(Q.Data) * 1000;

p_2_1 = transpose(pipe_2_1.Data);
p_2_2 = transpose(pipe_2_2.Data);
p_2_3 = transpose(pipe_2_3.Data);
p_2_4 = transpose(pipe_2_4.Data);
p_2_5 = transpose(pipe_2_5.Data);
p_1 = transpose(pipe_1.Data);

% находим расход(Q) по значению H методом линейной интерполяции
Q_2_1 = interp1(p_2_1, Q_res, H_interp);
Q_2_2 = interp1(p_2_2, Q_res, H_interp);
Q_2_3 = interp1(p_2_3, Q_res, H_interp);
Q_2_4 = interp1(p_2_4, Q_res, H_interp);
Q_2_5 = interp1(p_2_5, Q_res, H_interp);

% сумма абсцисс 2 + 2'
%Q_sum = Q_2_1 + Q_2_2;
Q_sum = Q_2_1 + Q_2_2 + Q_2_3 + Q_2_4 + Q_2_5;

% находим общие потери(Q) по значению Q методом линейной интерполяции
p_2 = interp1(Q_sum, H_interp, Q_res);

% сумма ординат H_1 + H_2 + H_3
H_sum = p_1 + p_2;
%H_sum = p_2;

H_min = abs(H_sum - H_data);

[~, i] = min(H_min);
H_intersect = H_data(i);

```

```

Counter = find(~isnan(H_sum), 1, 'last');

H_sum_v = H_sum(1:Counter(1));
Q_sum_v = Q_res(1:Counter(1));

% результат
Q_all = interp1(H_sum_v, Q_sum_v, H_intersect);
Q_2_1_res = interp1(p_2_1, Q_res, interp1(Q_sum, H_interp, Q_all));
Q_2_2_res = interp1(p_2_2, Q_res, interp1(Q_sum, H_interp, Q_all));
Q_2_3_res = interp1(p_2_3, Q_res, interp1(Q_sum, H_interp, Q_all));
Q_2_4_res = interp1(p_2_4, Q_res, interp1(Q_sum, H_interp, Q_all));
Q_2_5_res = interp1(p_2_5, Q_res, interp1(Q_sum, H_interp, Q_all));

axes(handles.graf);
hold off;
plot(Q_res, H_data, 'b');
hold on;
plot(Q_res, p_2_1);
hold on;
plot(Q_res, p_2_2);
hold on;
plot(Q_res, p_2_3);
hold on;
plot(Q_res, p_2_4);
hold on;
plot(Q_res, p_2_5);
hold on;
plot(Q_res, p_1);
hold on;
plot(Q_sum, H_interp);
hold on;
plot(Q_res(1:length(H_sum)), H_sum);
hold on;

% соединить линии
plot([Q_all Q_all], [H_intersect 0], '--black');
hold on;
plot([0 2.2], [interp1(Q_sum, H_interp, Q_all) interp1(Q_sum, H_interp, Q_all)], '--black');
hold on;
plot([Q_2_1_res Q_2_1_res], [interp1(Q_sum, H_interp, Q_all) 0], '--black');
hold on;
plot([Q_2_2_res Q_2_2_res], [interp1(Q_sum, H_interp, Q_all) 0], '--black');
hold on;
plot([Q_2_3_res Q_2_3_res], [interp1(Q_sum, H_interp, Q_all) 0], '--black');
hold on;
plot([Q_2_4_res Q_2_4_res], [interp1(Q_sum, H_interp, Q_all) 0], '--black');
hold on;
plot([Q_2_5_res Q_2_5_res], [interp1(Q_sum, H_interp, Q_all) 0], '--black');
hold on;

% точки;
%plot(Q_all, interp1(Q_sum, H_interp, Q_all), 'black', 'markers', 11);
%hold on;
%plot(Q_2_1_res, interp1(Q_sum, H_interp, Q_all), 'red', 'markers', 11);
%hold on;
%plot(Q_2_2_res, interp1(Q_sum, H_interp, Q_all), 'green', 'markers', 11);
%hold on;
%plot(Q_2_3_res, interp1(Q_sum, H_interp, Q_all), 'green', 'markers', 11);
%hold on;
%plot(Q_2_4_res, interp1(Q_sum, H_interp, Q_all), 'green', 'markers', 11);
%hold on;
%plot(Q_2_5_res, interp1(Q_sum, H_interp, Q_all), 'green', 'markers', 11);
%hold on;

```

```

axis([0 2000 0 4]);
grid on;
xlabel('Q, л/с');
ylabel('H, м');
text(Q_all, 11, 'Q');
text(Q_2_1_res, 11, 'Q1');
text(Q_2_2_res, 11, 'Q2');
text(Q_2_3_res, 11, 'Q3');
text(Q_2_4_res, 11, 'Q4');
text(Q_2_5_res, 11, 'Q5');
legend('IH', 'T_2_1', 'T_2_2', 'T_2_3', 'T_2_4', 'T_2_5', 'PT', 'PMT', 'Location', 'northeast');
grid minor;
set(handles.Q_all, 'String', Q_all);
set(handles.Q_2_1_res, 'String', Q_2_1_res);
set(handles.Q_2_2_res, 'String', Q_2_2_res);
set(handles.Q_2_3_res, 'String', Q_2_3_res);
set(handles.Q_2_4_res, 'String', Q_2_4_res);
set(handles.Q_2_5_res, 'String', Q_2_5_res);
time_all = (volume_2_1+volume_2_2+volume_2_3+volume_2_4+volume_2_5)/(Q_all*3.6);
time_2_1 = volume_2_1/(Q_2_1_res*3.6);
time_2_2 = volume_2_2/(Q_2_2_res*3.6);
time_2_3 = volume_2_3/(Q_2_3_res*3.6);
time_2_4 = volume_2_4/(Q_2_4_res*3.6);
time_2_5 = volume_2_5/(Q_2_5_res*3.6);

time_2_1t = volume_2_1t/(Q_2_1_res*3.6);
time_2_2t = volume_2_2t/(Q_2_2_res*3.6);
set(handles.time_all, 'String', time_all);
set(handles.time_2_1, 'String', time_2_1);
set(handles.time_2_2, 'String', time_2_2);
set(handles.time_2_3, 'String', time_2_3);
set(handles.time_2_4, 'String', time_2_4);
set(handles.time_2_5, 'String', time_2_5);
set(handles.time_2_1t, 'String', time_2_1t);
set(handles.time_2_2t, 'String', time_2_2t);

```

ДОДАТОК Ж

Лістинги програм контролю параметрів плавучого доку на мовах ST і FBD

Лістинг програми на мові ST. Розрахунок об'ємів резервуарів

```

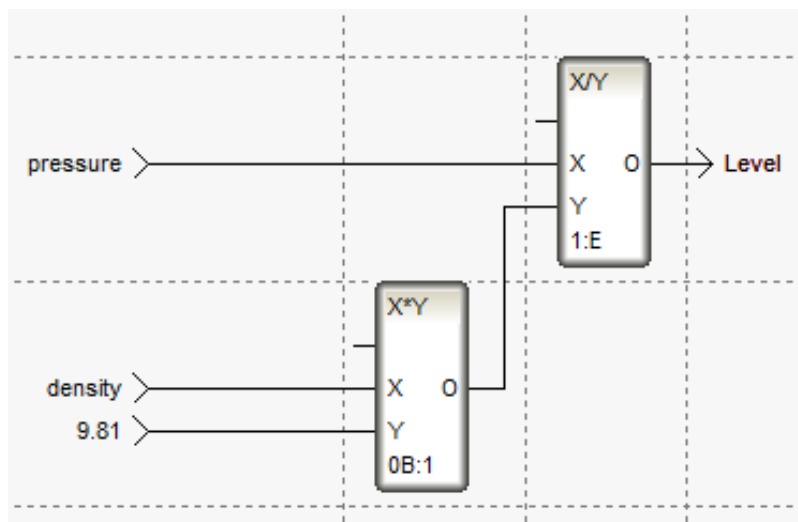
PROGRAM
  VAR_INPUT radius : REAL; END_VAR
  VAR_INPUT pressure : REAL; END_VAR
  VAR_INPUT density : REAL; END_VAR
  VAR_INPUT tank_type : REAL; END_VAR
  VAR_INPUT a : REAL; END_VAR
  VAR_INPUT b : REAL; END_VAR
  VAR_OUTPUT Volume : REAL; END_VAR

  if tank_type == 1 then
    Volume = 3.14*radius*radius*pressure/density/9.81;
  elseif tank_type == 2 then
    Volume=a*b*pressure/density/9.81;
  elseif tank_type == 3 then
    Volume=2/3*a*(pressure/density/9.81)**3/2;
  else Volume=-1;
  end if;

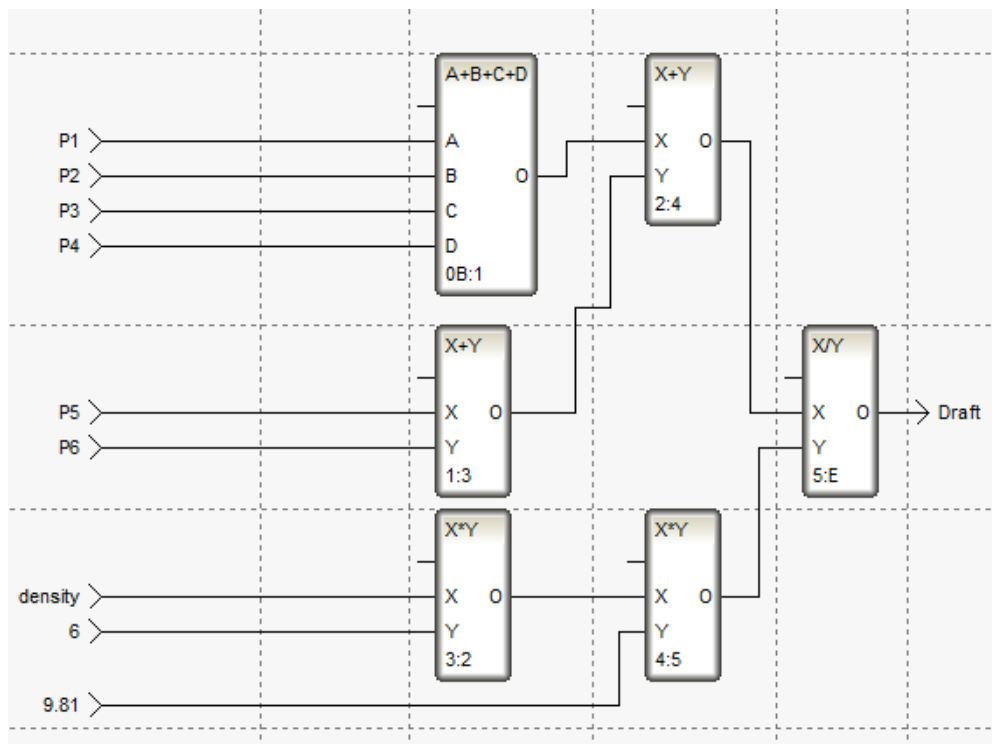
END_PROGRAM

```

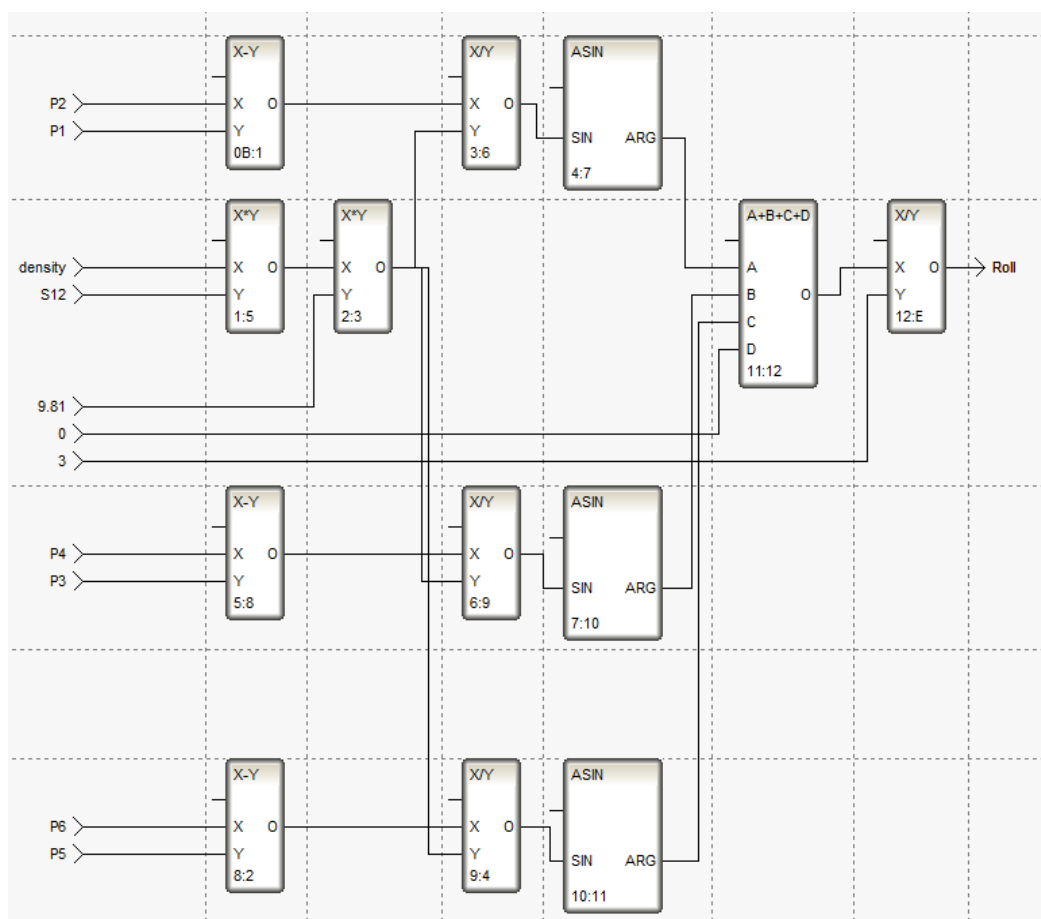
Лістинг програми на мові FBD. Розрахунок рівні в баластному танку



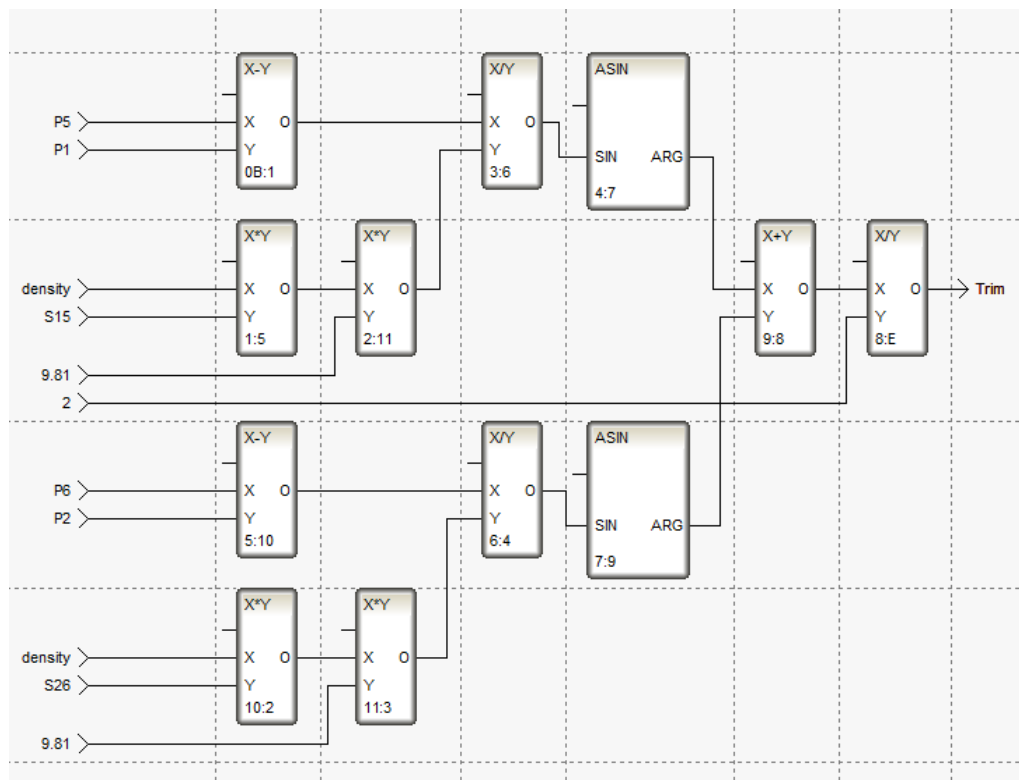
Лістинг програми на мові FBD. Розрахунок осадки



Лістинг програми на мові FBD. Розрахунок кута крену



Лістинг програми на мові FBD. Розрахунок кута дифиренту



ДОДАТОК 3

Лістинги програм на С мові для взаємодії одноплатного комп'ютера Raspberry Pi з хмарним сервісом ThingSpeak

File: ert_main.c

```

#define _GNU_SOURCE
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <pthread.h>
#include <sched.h>
#include <semaphore.h>
#include <errno.h>
#include <limits.h>
#include <signal.h>
#include <time.h>
#include "Rasberi1.h"
#include "Rasberi1_private.h"
#include "rtwtypes.h"

typedef struct {
    int signo;
    sigset_t sigMask;
    double period;
} baseRateInfo_t;

void MW_blockSignal(int sigNo, sigset_t *sigMask);
void MW_setTaskPeriod(double periodInSeconds, int sigNo);
void MW_sigWait(sigset_t *sigMask);
void MW_exitHandler(int sig);
void MW_sem_wait(sem_t *sem);

#define CHECK_STATUS(status, fcn)    if (status != 0) {printf("Call to %s returne
error status (%d).\n", fcn, status); perror(fcn); fflush(stdout); exit(EXIT_FAILURE);}

/* Semaphore(s) used for thread synchronization */
sem_t stopSem;
void baseRateTask(void *arg)
{
    baseRateInfo_t info = *((baseRateInfo_t *)arg);
    MW_setTaskPeriod(info.period, info.signo);
    while (rtmGetErrorStatus(Rasberi1_M) == (NULL) ) {
        /* Wait for the next timer interrupt */
        MW_sigWait(&info.sigMask);
        Rasberi1_output();

        /* Get model outputs here */
        Rasberi1_update();
    }
    /* while */
}

```

```

    sem_post(&stopSem);
}

void MW_sem_wait(sem_t *sem)
{
    int status;
    while (((status = sem_wait(sem)) == -1) && (errno == EINTR)) {
        /* Restart if interrupted by a signal */
        continue;
    }

    CHECK_STATUS(status, "sem_wait");
}

void MW_exitHandler(int sig)
{
    rtmSetErrorStatus(Rasberi1_M, "stopping the model");
    sem_post(&stopSem);
}

void MW_blockSignal(int sigNo, sigset_t *sigMask)
{
    int ret;
    sigaddset(sigMask, sigNo);
    ret = pthread_sigmask(SIG_BLOCK, sigMask, NULL);
    CHECK_STATUS(ret, "pthread_sigmask");
}

void MW_setTaskPeriod(double periodInSeconds, int sigNo)
{
    timer_t timerId;
    struct sigevent sev;
    struct itimerspec its;
    int ret;

    /* Create a timer */
    sev.sigev_notify = SIGEV_SIGNAL;
    sev.sigev_signo = sigNo;
    sev.sigev_value.sival_ptr = &timerId;
    ret = timer_create(CLOCK_REALTIME, &sev, &timerId);
    CHECK_STATUS(ret, "timer_create");

    /* Arm real-time scheduling timer */
    its.it_value.tv_sec = (time_t)periodInSeconds;
    its.it_value.tv_nsec = (periodInSeconds - (time_t)periodInSeconds) *
        1000000000;
    its.it_interval.tv_sec = its.it_value.tv_sec;
    its.it_interval.tv_nsec = its.it_value.tv_nsec;
    ret = timer_settime(timerId, 0, &its, NULL);
    CHECK_STATUS(ret, "timer_settime");
}

```



```

void MW_sigWait(sigset_t *sigMask)
{
    int ret;
    while (((ret = sigwaitinfo(sigMask, NULL)) == -1) && (errno == EINTR)) {
        /* Restart if interrupted by a signal other than the one we
           are waiting on */
        continue;
    }
}

int main(int argc, char **argv)
{
    int ret;
    baseRateInfo_t info;
    pthread_attr_t attr;
    pthread_t baseRateThread;
    void * threadJoinStatus;
    size_t stackSize;
    unsigned long cpuMask = 0x1;
    unsigned int len = sizeof(cpuMask);
    printf("**starting the model**\n");
    fflush(stdout);
    rtmSetErrorStatus(Rasberi1_M, 0);

    /* Unused arguments */
    (void)(argc);
    (void)(argv);

    /* All threads created by this process must run on a single CPU */
    ret = sched_setaffinity(0, len, (cpu_set_t *) &cpuMask);
    CHECK_STATUS(ret, "sched_setaffinity");

    /* Initialize semaphore used for thread synchronization */
    ret = sem_init(&stopSem, 0, 0);
    CHECK_STATUS(ret, "sem_init:stopSem");

    /* Create threads executing the Simulink model */
    pthread_attr_init(&attr);
    ret = pthread_attr_setinheritsched(&attr, PTHREAD_EXPLICIT_SCHED);
    CHECK_STATUS(ret, "pthread_attr_setinheritsched");
    ret = pthread_attr_setdetachstate(&attr, PTHREAD_CREATE_JOINABLE);
    CHECK_STATUS(ret, "pthread_attr_setdetachstate");

    /* PTHREAD_STACK_MIN is the minimum stack size required to start a thread */
    stackSize = 64000 + PTHREAD_STACK_MIN;
    ret = pthread_attr_setstacksize(&attr, stackSize);
    CHECK_STATUS(ret, "pthread_attr_setstacksize");

    /* Block signal used for timer notification */
    info.period = 0.01;
    info.signo = SIGRTMIN;

```

```

sigemptyset(&info.sigMask);
MW_blockSignal(info.signo, &info.sigMask);
signal(SIGTERM, MW_exitHandler); /* kill */
signal(SIGHUP, MW_exitHandler); /* kill -HUP */
signal(SIGINT, MW_exitHandler); /* Interrupt from keyboard */
signal(SIGQUIT, MW_exitHandler); /* Quit from keyboard */
Rasberi1_initialize();

/* Create base rate task */
ret = pthread_create(&baseRateThread, &attr, (void *) baseRateTask, (void *)
                    &info);
CHECK_STATUS(ret, "pthread_create");
pthread_attr_destroy(&attr);

/* Wait for a stopping condition. */
MW_sem_wait(&stopSem);

/* Received stop signal */
printf("***stopping the model**\n");
if (rtmGetErrorStatus(Rasberi1_M) != NULL) {
    printf("\n**%s**\n", rtmGetErrorStatus(Rasberi1_M));
}

/* Wait for baseRate task to complete */
ret = pthread_join(baseRateThread, &threadJoinStatus);
CHECK_STATUS(ret, "pthread_join");

/* Disable rt_OneStep() here */

/* Terminate model */
Rasberi1_terminate();
return 0;
}

```

File: Rasberi1.c

```

#include "Rasberi1.h"
#include "Rasberi1_private.h"
#define Rasber_PrintDiagnosticMessages_ (true)
#define Rasberi1_UpdateInterval_      (20.0)

/* Block states (auto storage) */
DW_Rasberi1_T Rasberi1_DW;

/* Real-time model */
RT_MODEL_Rasberi1_T Rasberi1_M_;
RT_MODEL_Rasberi1_T *const Rasberi1_M = &Rasberi1_M_;

/* Model output function */
void Rasberi1_output(void)
{

```

```

boolean_T rtb_GPIORead1_0;
boolean_T rtb_GPIORead1_1;
int32_T k;
TSDData_t * ptr;
uint32_T currentTime;
static const char_T tmp[17] = { 'O', 'G', 'X', 'C', 'H', '2', 'A', 'M', 'Z',
    'C', 'O', '0', 'I', 'B', 'D', 'X', '\x00' };

static const char_T tmp_0[34] = { 'h', 't', 't', 'p', 's', ':', '/', '/', 'a',
    'p', 'i', '.', 't', 'h', 'i', 'n', 'g', 's', 'p', 'e', 'a', 'k', '.', 'c',
    'o', 'm', '/', 'u', 'p', 'd', 'a', 't', 'e', '\x00' };

char_T tmp_1[34];
char_T tmp_2[17];
uint32_T qY;
boolean_T guard1 = false;
boolean_T exitg1;
boolean_T exitg2;

/* S-Function (linuxGpioRead_sfcn): '<Root>/GPIO Read' */
rtb_GPIORead1_0 = MW_gpioRead(20U);

/* S-Function (linuxGpioRead_sfcn): '<Root>/GPIO Read1' */
rtb_GPIORead1_1 = MW_gpioRead(23U);

k = 0;
exitg2 = false;
while ((exitg2 == false) && (k < 8)) {
    if (Rasberi1_DW.obj.inputVarSize1[k] != 1U) {
        for (k = 0; k < 8; k++) {
            Rasberi1_DW.obj.inputVarSize1[k] = 1U;
        }

        exitg2 = true;
    } else {
        k++;
    }
}

k = 0;
exitg1 = false;
while ((exitg1 == false) && (k < 8)) {
    if (Rasberi1_DW.obj.inputVarSize2[k] != 1U) {
        for (k = 0; k < 8; k++) {
            Rasberi1_DW.obj.inputVarSize2[k] = 1U;
        }

        exitg1 = true;
    } else {
        k++;
    }
}

```

```

currentTime = MW_getCurrentTimeInMillis();
guard1 = false;
if (Rasberi1_DW.obj.LastUpdateTime == 0U) {
    guard1 = true;
} else {
    qY = currentTime - Rasberi1_DW.obj.LastUpdateTime;
    if (qY > currentTime) {
        qY = 0U;
    }

    if (qY >= 20000U) {
        guard1 = true;
    }
}

if (guard1 == true) {
    Rasberi1_DW.obj.LastUpdateTime = currentTime;
    for (k = 0; k < 34; k++) {
        tmp_1[k] = tmp_0[k];
    }

    for (k = 0; k < 17; k++) {
        tmp_2[k] = tmp[k];
    }

    ptr = MW_startThingSpeak(tmp_1, tmp_2, Rasber_PrintDiagnosticMessages_);
    MW_addField(ptr, (real_T)rtb_GPIORead1_0, 1U);
    MW_addField(ptr, (real_T)rtb_GPIORead1_1, 2U);
    for (k = 0; k < 34; k++) {
        tmp_1[k] = tmp_0[k];
    }

    for (k = 0; k < 17; k++) {
        tmp_2[k] = tmp[k];
    }

    MW_postThingSpeak(ptr, tmp_1, tmp_2, Rasber_PrintDiagnosticMessages_);
}

/* End of Start for MATLABSystem: '<Root>/ThingSpeak Write1' */
}

/* Model update function */
void Rasberi1_update(void)
{
    /* (no update code required) */
}

/* Model initialize function */
void Rasberi1_initialize(void)
{

```

```

/* Registration code */

/* initialize error status */
rtmSetErrorStatus(Rasberi1_M, (NULL));

/* states (dwork) */
(void) memset((void *)&Rasberi1_DW, 0,
    sizeof(DW_Rasberi1_T));

{
    static const char_T tmp[34] = { 'h', 't', 't', 'p', 's', ':', '/', '/', 'a',
        'p', 'i', '.', 't', 'h', 'i', 'n', 'g', 's', 'p', 'e', 'a', 'k', '.', 'c',
        'o', 'm', '/', 'u', 'p', 'd', 'a', 't', 'e', '\x00' };

    static const char_T tmp_0[17] = { 'O', 'G', 'X', 'C', 'H', '2', 'A', 'M',
        'Z', 'C', 'O', 'O', 'I', 'B', 'D', 'X', '\x00' };

    char_T tmp_1[34];
    char_T tmp_2[17];
    uint8_T tmp_3;
    uint8_T tmp_4;
    int32_T i;

    /* Start for S-Function (linuxGpioRead_sfcn): '<Root>/GPIO Read' */
    tmp_4 = 0U;
    MW_gpioInit(20U, 1U, 1U, &tmp_4);

    /* Start for S-Function (linuxGpioRead_sfcn): '<Root>/GPIO Read1' */
    tmp_3 = 0U;
    MW_gpioInit(23U, 1U, 1U, &tmp_3);

    /* Start for MATLABSystem: '<Root>/ThingSpeak Write1' incorporates:
     * InitializeConditions for MATLABSystem: '<Root>/ThingSpeak Write1'
     */
    Rasberi1_DW.obj.isInitialized = 0;
    Rasberi1_DW.obj.isempty = true;
    Rasberi1_DW.obj.isInitialized = 1;
    for (i = 0; i < 8; i++) {
        Rasberi1_DW.obj.inputVarSize1[i] = 1U;
        Rasberi1_DW.obj.inputVarSize2[i] = 1U;
    }

    for (i = 0; i < 34; i++) {
        tmp_1[i] = tmp[i];
    }

    for (i = 0; i < 17; i++) {
        tmp_2[i] = tmp_0[i];
    }

    MW_initThingSpeak(tmp_1, tmp_2, Rasberi1_UpdateInterval_,
        Rasber_PrintDiagnosticMessages_);
}

```

```

    if (Rasberi1_DW.obj.isInitialized == 1) {
        Rasberi1_DW.obj.LastUpdateTime = 0U;
    }

    /* End of Start for MATLABSystem: '<Root>/ThingSpeak Write1' */
}
}

/* Model terminate function */
void Rasberi1_terminate(void)
{
    /* Terminate for S-Function (linuxGpioRead_sfcn): '<Root>/GPIO Read' */
    MW_gpioTerminate(20U);

    /* Terminate for S-Function (linuxGpioRead_sfcn): '<Root>/GPIO Read1' */
    MW_gpioTerminate(23U);

    /* Start for MATLABSystem: '<Root>/ThingSpeak Write1' incorporates:
     * Terminate for MATLABSystem: '<Root>/ThingSpeak Write1'
     */
    if (Rasberi1_DW.obj.isInitialized == 1) {
        Rasberi1_DW.obj.isInitialized = 2;
    }

    /* End of Start for MATLABSystem: '<Root>/ThingSpeak Write1' */
}

```

File: Rasberi1.h

```

#ifndef RTW_HEADER_Rasberi1_h_
#define RTW_HEADER_Rasberi1_h_
#include <stddef.h>
#include <string.h>
#ifndef Rasberi1_COMMON_INCLUDES_
# define Rasberi1_COMMON_INCLUDES_
#include "rtwtypes.h"
#include "rtw_continuous.h"
#include "rtw_solver.h"
#include "MW_thingspeak.h"
#include "MW_gpio_lct.h"
#endif /* Rasberi1_COMMON_INCLUDES_ */

#include "Rasberi1_types.h"

/* Macros for accessing real-time model data structure */
#ifndef rtmGetErrorStatus
# define rtmGetErrorStatus(rtm)    ((rtm)->errorStatus)
#endif

#ifndef rtmSetErrorStatus
# define rtmSetErrorStatus(rtm, val) ((rtm)->errorStatus = (val))
#endif

```

```

/* Block states (auto storage) for system '<Root>' */
typedef struct {
    realtime_internal_linux_thing_T obj; /* '<Root>/ThingSpeak Write1' */
    void *ThingSpeakWrite1_PWORK;      /* '<Root>/ThingSpeak Write1' */
    boolean_T objisempty;               /* '<Root>/ThingSpeak Write1' */
} DW_Rasberi1_T;

/* Real-time Model Data Structure */
struct tag_RTM_Rasberi1_T {
    const char_T * volatile errorStatus;
};

/* Block states (auto storage) */
extern DW_Rasberi1_T Rasberi1_DW;

/* Model entry point functions */
extern void Rasberi1_initialize(void);
extern void Rasberi1_output(void);
extern void Rasberi1_update(void);
extern void Rasberi1_terminate(void);

/* Real-time Model object */
extern RT_MODEL_Rasberi1_T *const Rasberi1_M;

/*_
 * The generated code includes comments that allow you to trace directly
 * back to the appropriate location in the model. The basic format
 * is <system>/block_name, where system is the system number (uniquely
 * assigned by Simulink) and block_name is the name of the block.

```

File: Rasberi1_private.h

```

#ifndef RTW_HEADER_Rasberi1_private_h_
#define RTW_HEADER_Rasberi1_private_h_
#include "rtwtypes.h"
#endif                                /* RTW_HEADER_Rasberi1_private_h_ */

/*
 * File trailer for generated code.
 *
 * [EOF]
 */
/* Use the MATLAB hilite_system command to trace the generated code back
 * to the model. For example,
 *
 * hilite_system('<S3>') - opens system 3
 * hilite_system('<S3>/Kp') - opens and selects block Kp which resides in S3
 *
 * Here is the system hierarchy for this model

```

```

*
* '<Root>': 'Rasberi1'
*/
#endif                          /* RTW_HEADER_Rasberi1_h_ */

```

File: Rasberi1_types.h

```

#ifndef RTW_HEADER_Rasberi1_types_h_
#define RTW_HEADER_Rasberi1_types_h_
#include "rtwtypes.h"
#ifndef struct_spxpjr9fFHfZz6C0XHCRT
#define struct_spxpjr9fFHfZz6C0XHCRT

struct spxpjr9fFHfZz6C0XHCRT
{
    int32_T isInitialized;
    uint32_T inputVarSize1[8];
    uint32_T inputVarSize2[8];
    uint32_T LastUpdateTime;
};

#endif                          /* struct_spxpjr9fFHfZz6C0XHCRT */

#ifndef typedef_realtime_internal_linux_thing_T
#define typedef_realtime_internal_linux_thing_T

typedef struct spxpjr9fFHfZz6C0XHCRT realtime_internal_linux_thing_T;

#endif                          /* typedef_realtime_internal_linux_thing_T */

/* Forward declaration for rtModel */
typedef struct tag_RTM_Rasberi1_T RT_MODEL_Rasberi1_T;

#endif                          /* RTW_HEADER_Rasberi1_types_h_ */

```

File: rtwtypes.h

```

#ifndef __RTWTYPES_H__
#define __RTWTYPES_H__

/* Logical type definitions */
#if (!defined(__cplusplus))
#  ifndef false
#    define false          (0U)
#  endif

#  ifndef true
#    define true           (1U)
#  endif
#endif

```



```

/*=====
=====*
    * Target hardware information
    * Device type: ARM Compatible->ARM Cortex
    * Number of bits:  char:  8  short: 16  int: 32
    *                   long: 32
    *                   native word size: 32
    * Byte ordering: LittleEndian
    * Signed integer division rounds to: Undefined
    * Shift right on a signed integer as arithmetic shift: on

*=====*/

/*=====
=*
    * Fixed width word size data types:
    * int8_T, int16_T, int32_T  - signed 8, 16, or 32 bit integers  *
    * uint8_T, uint16_T, uint32_T - unsigned 8, 16, or 32 bit integers *
    * real32_T, real64_T      - 32 and 64 bit floating point numbers *

*=====*/

typedef signed char int8_T;
typedef unsigned char uint8_T;
typedef short int16_T;
typedef unsigned short uint16_T;
typedef int int32_T;
typedef unsigned int uint32_T;
typedef float real32_T;
typedef double real64_T;

/*=====
=====*
    * Generic type definitions: real_T, time_T, boolean_T, int_T, uint_T,      *
    *                           ulong_T, char_T and byte_T.                  *

*=====*/

typedef double real_T;
typedef double time_T;
typedef unsigned char boolean_T;
typedef int int_T;
typedef unsigned int uint_T;
typedef unsigned long ulong_T;
typedef char char_T;
typedef unsigned char uchar_T;
typedef char_T byte_T;

/*=====
=====*
    * Complex number type definitions

*=====*/

#define CREAL_T

typedef struct {
    real32_T re;
    real32_T im;
} creal32_T;

```

```
typedef struct {
    real64_T re;
    real64_T im;
} creal64_T;
```

```
typedef struct {
    real_T re;
    real_T im;
} creal_T;
```

```
#define CINT8_T
```

```
typedef struct {
    int8_T re;
    int8_T im;
} cint8_T;
```

```
#define CUINT8_T
```

```
typedef struct {
    uint8_T re;
    uint8_T im;
} cuint8_T;
```

```
#define CINT16_T
```

```
typedef struct {
    int16_T re;
    int16_T im;
} cint16_T;
```

```
#define CUINT16_T
```

```
typedef struct {
    uint16_T re;
    uint16_T im;
} cuint16_T;
```

```
#define CINT32_T
```

```
typedef struct {
    int32_T re;
    int32_T im;
} cint32_T;
```

```
#define CUINT32_T
```

```
typedef struct {
    uint32_T re;
    uint32_T im;
} cuint32_T;
```

```
/*=====
=*
* Min and Max:
* int8_T, int16_T, int32_T - signed 8, 16, or 32 bit integers *
```

* uint8_T, uint16_T, uint32_T - unsigned 8, 16, or 32 bit integers *

```

*=====*/
#define MAX_int8_T      ((int8_T)(127))
#define MIN_int8_T      ((int8_T)(-128))
#define MAX_uint8_T     ((uint8_T)(255U))
#define MAX_int16_T     ((int16_T)(32767))
#define MIN_int16_T     ((int16_T)(-32768))
#define MAX_uint16_T    ((uint16_T)(65535U))
#define MAX_int32_T     ((int32_T)(2147483647))
#define MIN_int32_T     ((int32_T)(-2147483647-1))
#define MAX_uint32_T    ((uint32_T)(0xFFFFFFFFU))

/* Block D-Work pointer type */
typedef void * pointer_T;

#endif          /* __RTWTYPES_H__ */

```