

**Автоматизація
Технологічних і
Бізнес
Процесів**

Volume 13, Issue 4 /2021

ISSN 2312-3125 (print), ISSN 2312-931X (online)

УДК 681.5+66-933.6+338.364

Головний редактор:

Артеменко С.В., д.т.н., проф. (Одеса)

Почесний науковий консультант:

Хобін В.А., д.т.н., проф. (Одеса)

Заступники головного редактора:

Котлик С.В., к.т.н., доц. (Одеса)

Єгоров В.Б., д.т.н. (Одеса)

Редакційна колегія:

Плотніков В.М., проф. (Одеса, Україна)

Дорофєєв Ю.І., доц. (Харків, Україна)

Тимченко В.Л., проф. (Миколаїв, Україна)

Жученко А.І., проф. (Київ, Україна)

Кіріченко Л.О., проф. (Харків, Україна)

Радівілова Т.А., доц. (Харків, Україна)

Коновенко Н.Г., доц. (Одеса, Україна)

Apostolos Korlos, prof. (Thessaloniki, Greece)

Тітлова О., доц. (Одеса, Україна)



Журнал «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів» було ініційовано до видання рішенням складу І Всеукраїнської науково – практичної конференції «Інформаційні технології та автоматизація – 2008», що відбулась у стінах Одеської національної академії харчових технологій та продовжує проводитися щорічно:

www.itia.com.ua

Журнал зареєстровано
Міністерством Юстиції України
Серія КВ №15895-4367Р від 16.10.2009 р.

Щоквартальний науково-виробничий журнал «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів» включено до категорії "Б" Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук згідно наказу МОН України від 11.07.2019 № 975 «Про затвердження рішень атестаційної колегії міністерства щодо діяльності спеціалізованих вчених рад від 23 квітня 2019 року» за спеціальностями 122, 123, 151.

www.atbp.onaft.edu.ua

Відповідальний редактор:

Бодюл О.С., к.т.н. (Одеса)

Комп'ютерний дизайн та верстка:

Козуб О.О. (Одеса)

Засновник:

Одеська національна академія харчових технологій

Адреса редакції:

м. Одеса, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039,
тел.: (048)712-42-54, e-mail: atbp.journal@gmail.com

Підписано до друку 01.12.2021 р.

Рекомендовано до друку та розташування в мережі
Інтернет Вченою радою Одеської національної
академії харчових технологій

01-03 грудня 2021 р., протокол № 6

Відповідальність за достовірність інформації несе
автор публікації.

Матеріали друкуються мовою оригінала.
Передрукування матеріалів журналу дозволяється
лише за згодою редакції. Ліцензія СС-ВУ.

Надруковано у видавництві «Diol Print»

Тираж 101 прим.



AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL AND BUSINESS-PROCESSES

Volume 13, Issue 4 /2021

ISSN 2312-3125 (print), ISSN 2312-931X (online)

Editor-in-chief:

Artemenko S., D.Sc., prof. (Odessa, Ukraine)

Honorary scientific consultant:

Khobin V., D.Sc., prof. (Odessa, Ukraine)

Deputy chief editors:

Kotlyk S., PhD (Odessa, Ukraine)

Yehorov V., D.Sc. (Odessa, Ukraine)

Editorial Board:

Plotnikov V., prof. (Odessa, Ukraine)

Dorofiev Y., PhD (Kharkiv, Ukraine)

Tymchenko V., prof. (Mykolayiv, Ukraine)

Zhuchenko A., prof. (Kiev, Ukraine)

Kirichenko L., prof. (Kharkiv, Ukraine)

Radivilova T., PhD (Kharkiv, Ukraine)

Konovenko N., PhD (Odessa, Ukraine)

Apostolos Korlos, prof. (Thessaloniki, Greece)

Titlova O., PhD (Odessa, Ukraine)

Executive editor:

Bodiul O.S., PhD (Odessa, Ukraine)

Computer design and imposition:

Kozub O.O. (Odessa, Ukraine)

Founder:

Odessa National Academy of Food Technologies

Address of the editorial office:

Ukraine, Odessa, Kanatnaya str, 112, 65039,

tel.: (048)712-42-54, e-mail:

atbp.journal@gmail.com

It's sent for the press 01.12.2021

It's recommended for printing and publishing online by academic council of Odessa National Academy of Food Technologies

01-03 December 2021, protocol № 6

Articles are printed in original language

It's allowed to use materials from the journal according to the Creative Commons license: CC-BY.

It's printed in publishing house «Diol Print» (Odessa).
Circulation is 101 copies.

Журнал реферується і індексується 14-ма провідними Світовими базами даних і індексними системами: EBSCO Information Services, ISSN, CrossRef, NBUV, Directory of Open Access Journals (DOAJ), ROAD, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), ULRICHS WEB Global Serials Directory.

Науково-виробниче видання «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів» включено до категорії "Б" Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (відповідно Порядку формування Переліку наукових фахових видань України, затвердженого наказом МОН України від 15 січня 2018 року № 32) згідно наказу МОН України від 11.07.2019 № 975 «Про затвердження рішень атестаційної колегії міністерства щодо діяльності спеціалізованих вчених рад від 23 квітня 2019 року» за спеціальностями 122, 123, 151.

Згідно з Міжнародними нормами журналу присвоєна ліцензія Creative Commons CC-BY Attribution, яка фіксує звіт правил щодо захисту авторських прав авторів. Для збільшення рівня цитованості статей, опублікованих в нашому журналі вченими з усього Світу, і, як наслідок, збільшення індексу цитування наших авторів, редакція журналу АТБП оформляє всі пристатейні списки літератури відповідно до IEEE Citation Style (стиль цитування Міжнародної асоціації Institute of Electrical and Electronics Engineers).



ЗМІСТ

Дрозд О.В. Вдосконалення підвіски стрічки Вантажного конвеєра.....	4
Ревякін О.О., Попков Д.М. Концепція мобільного додатка підтримки бездротової передачі даних за допомогою WI-FI.....	8
Улибін В.М. Автоматизація процесу керування підготовкою води для технологічних потреб при виготовленні лік.....	12
Сандлер А.К., Данчук Д.П. Засіб підвищення ефективності моніторингу стану вантажу на суднах-газовозах на основі волоконно-оптичних технологій.....	18
Зозуля В.А., Осадчий С.І., Каліч В.М. Інформаційна технологія ідентифікації моделі динаміки штанги платформи Стюарта.....	27
Михайлов П. І., Чехмейструк Р. Ю., Романюк О. Н., Котлік С. В. МІР-текстурування віртуального середовища для комп'ютерних ігр.....	34
Балинський В.В., Бодюл О.С. Дослідження роботи та розробка прототипної моделі мобільного додатку визначення оптимального шляху карет швидкої допомоги.....	40

CONTENT

Drozd O.V. Improving the suspension of the conveyor belt.....	4
Reviakin O.O., Popkov D.M. The concept of a mobile application that supports wireless data transmission via WI-FI.....	8
Ulybin V.M. Automation of the control process of water preparation for technical needs in the manufacture of medicines.....	12
Sandler A.K., Danchuk D.P. Means of increasing the efficiency of cargo condition monitoring on gas carriers based on fiber-optic technologies.....	18
Zozulia V.A., Osadchiy S.I., Kalich V.M. Information Technology of Identification of the Dynamics Model of the rod of the Stewart Platform.....	27
Mykhaylov P., Chekhmestruk R.Y., Romanyuk O.N., Kotlyk S.V. MIP mapping the virtual environment for computer games.....	34
Balynskiy V.V., Bodiul O.S. Research and development of a prototype model of a mobile application to determine the optimal path of ambulances.....	40



УДК 621.74.041:669.15

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПІДВІСКИ СТІЧКИ ВАНТАЖНОГО КОНВЕЄРА

Дрозд О.В.

Національний університет "Одеська морська академія", м. Одеса, Україна

E-mail: elenadrozd912@gmail.com

Copyright © 2021 by author and the journal "Automation of technological and business – processes".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

DOI: 10.15673/atbp.v13i4.2201

Анотація. Аналіз досвіду експлуатації стрічкових транспортерів підтверджує головні переваги конвеєрного транспорту - високий рівень продуктивності праці, на основі автоматизації роботи обладнання, можливість транспортування широкої номенклатури вантажу і низькі виробничі витрати. Вони є одним з основних засобів безперервного технологічного транспорту при навантаженні вугілля, руди, гравію в морських портах. Застосування стрічкових конвеєрів не тільки в берегових, але і в складі судових вантажних комплексів зумовило необхідність створення високопродуктивних стрічкових конвеєрів з великим міжремонтним періодом експлуатації. Значні капітальні витрати на придбання стрічкових конвеєрів компенсуються низькими експлуатаційними витратами. Собівартість одиниці вантажу стрічковими конвеєрами нижче, ніж у інших транспортних засобів, що застосовуються в складі морських перевантажувальних комплексів. Практика використання стрічкових конвеєрів відомих конструкцій різного призначення, виконання і типорозмірів показує, що всі без винятку зазначені конвеєри мають принципову ваду - швидким руйнуванням елементів підвіски стрічки. Динамічні удари при навантаженні і переміщенні вантажу призводять до ще більшого зниження терміну служби стрічки і підвіски, а також суттєвого зростання енергоємності процесу транспортування. Ці процеси призводять до передчасного виходу конвеєра з ладу, втрат вантажу, пиловим забруднення і втрати його якості при транспортуванні. Стрічкові конвеєри настільки удосконалилися, що фактично досягли певного "порогу модернізації", за яким не проглядаються реальні шляхи поліпшення експлуатаційних властивостей в рамках традиційної схеми роликів конвеєра. Підтвердженням цього є той факт, що в останні роки патентними органами в світі видаються поодинокі патенти в області конвеєробудування які не є принциповими для подальшого розвитку цього перспективного і необхідного виду транспорту. Поставлена задача вирішується тим, що система амортизації стрічки транспортера, що складається з основи, демпферів з магнетореологічного еластомеру, блоку живлення та керування, та яка відрізняється тим, що демпферів з еластомеру, закріплені на основі, виконані у вигляді трьох концентричних циліндрів різної висоти, в оболонці з високомолекулярного поліетилену, сигнал на керування властивостями та порядком залучення до дії яких надходить від датчиків навантаження та удару, що розташовані під основою у місці навантаження вантажу.

Abstract: Analysis of experience in the operation of belt conveyors confirms the main advantages of conveyor transport - a high level of productivity, based on automation of equipment, the ability to transport a wide range of goods and low production costs. They are one of the main means of continuous technological transport when loading coal, ore, gravel in seaports. The use of belt conveyors not only in coastal but also as part of ship cargo complexes necessitated the creation of highly productive belt conveyors with a long service life. Significant capital costs for the purchase of belt conveyors are offset by low operating costs. The unit cost of cargo conveyor belts is lower than that of other vehicles used in marine transshipment complexes. The practice of using belt conveyors of known constructions of different purpose, design and size shows that all without exception, these conveyors have a fundamental drawback - the rapid destruction of the elements of the suspension of the belt. Dynamic shocks during loading and relocation of cargo lead to an even greater reduction in the service life of the belt and suspension, as well as a significant increase in energy consumption of the transport process. These processes lead to premature failure of the conveyor, loss of cargo, dust pollution and loss of its quality during transportation. Belt conveyors have improved so much that they have actually reached a certain "threshold of modernization", beyond which there are no real ways to improve performance in the traditional scheme of the roller conveyor. This is confirmed by the fact that in recent years, patent authorities in the world issue single patents in the field of conveyor construction, which are not essential for the further development of this promising and necessary mode of transport. The problem is solved by the fact that the damping system of the conveyor belt, consisting of a base, dampers made of magnetorheological elastomer, power supply and control, and characterized in that the dampers made of elastomer-ru, fixed on the base, are made in the form of three concentric



cylinders -ditch of different heights, in a shell of high molecular weight polyethylene, the signal to control the properties and the order of involvement of which comes from the load and shock sensors located under the base at the place of loading.

Ключові слова: конвеєр, амортизація, демпфер

Key words: conveyor, depreciation, damper

Вступ

Аналіз досвіду експлуатації стрічкових транспортерів підтверджує головні переваги конвеєрного транспорту – високий рівень продуктивності праці, на основі автоматизації роботи обладнання, можливість транспортування широкої номенклатури вантажу і низькі виробничі витрати. Вони є одним з основних засобів безперервного технологічного транспорту при навантаженні вугілля, руди, гравію в морських портах. Застосування стрічкових конвеєрів не тільки в берегових, але і в складі суднових вантажних комплексів зумовило необхідність створення високопродуктивних стрічкових конвеєрів з великим міжремонтним періодом експлуатації (рис. 1).



Рис. 1. – Судновий стрічковий конвеєр

Значні капітальні витрати на придбання стрічкових конвеєрів компенсуються низькими експлуатаційними витратами. Собівартість одиниці вантажу стрічковими конвеєрами нижче, ніж у інших транспортних засобів, що застосовуються в складі морських перевантажувальних комплексів. Практика використання стрічкових конвеєрів відомих конструкцій різного призначення, виконання і типорозмірів показує, що всі без винятку зазначені конвеєри мають принципову ваду - швидким руйнуванням елементів підвіски стрічки. Динамічні удари при навантаженні і переміщенні вантажу призводять до ще більшого зниження терміну служби стрічки і підвіски, а також суттєвого зростання енергоємності процесу транспортування. Ці процеси призводять до передчасного виходу конвеєра з ладу, втрат вантажу, пиловим забруднення і втрати його якості при транспортуванні. Стрічкові конвеєри настільки удосконалилися, що фактично досягли певного "порогу модернізації", за яким не проглядаються реальні шляхи поліпшення експлуатаційних властивостей в рамках традиційної схеми роликів конвеєра. Підтвердженням цього є той факт, що в останні роки патентними органами в світі видаються поодинокі патенти в області конвеєростроєння які не є принциповими для подальшого розвитку цього перспективного і необхідного виду транспорту [1 , 2].

Аналіз літературних джерел та постановка задачі

Відома система амортизації, що містить основу та демпферну балку з постійними характеристиками [3].

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням статичної демпферної балки:

- вузький ваговий діапазон застосування;
- необхідність наявності певного набору демпферних балок для різних вантажів та умов експлуатації;
- значні витрати на ремонтно-відновлювальні роботи.



Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до винаходу, що пропонується, є система амортизації, що містить основу, демпфери з магнітореологічного еластомеру у вигляді мембрани, та блок живлення та керування [4, 5].

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням демпферів з магнітореологічного еластомеру у вигляді мембрани:

- обмежений ваговий діапазон демпфірування;
- відсутність диференціювання роботи системи амортизації в залежності від фрагментації вантажу на стрічці;
- неможливість транспортування вантажу у вигляді великих фрагментів;
- значні витрати на ремонтно-відновлювальні роботи.

Мета та задачі дослідження

Таким чином актуальним науково-технічним завданням є створення системи амортизації стрічки транспортера, який можливо застосовувати у транспортерах для транспортування великих вантажу у широкому діапазоні фрагментації, у якій присутнє адаптивне демпфірування динамічних ударів вантажу стрічці, підвищена зносостійкість, знижені експлуатаційні ремонтні витрати та одночасно збережені простота схемотехнічних рішень систем амортизації відомих типів.

Результати дослідження

Поставлена задача вирішується тим, що система амортизації стрічки транспортера, що складається з основи, демпферів з магнітореологічного еластомеру, блоку живлення та керування, та яка **відрізняється тим, що** демпферів з еластомеру, закріплені на основі, виконані у вигляді трьох концентричних циліндрів різної висоти, в оболонці з високомолекулярного поліетилену, сигнал на керування властивостями та порядком залучення до дії яких надходить від датчиків навантаження та удару, що розташовані під основою у місці навантаження вантажу [4 -7].

Суть схемотехнічного рішення пояснюється кресленням (рис. 2), де зображена система амортизації стрічки транспортера, що складається з блоку живлення та керування 1, ліній живлення та керування 2, стрічка транспортера 3 з закріпленими на неї датчиками навантаження та удару 4 та основою 5. На основі закріплено ряди з концентричних циліндрів з магнітореологічного еластомеру 6, кожен з котрих вкритий оболонкою з високомолекулярного поліетилену 7. При навантаженні вантажу на стрічку відповідні датчики реєструють як вагу вантажу (датчики навантаження), так і ступінь фрагментації вантажу (датчики удару).

Після потрапляння вантажу на транспортерну стрічку динамічне навантаження з основи передається до датчиків навантаження та удару. На підставі інформації щодо вантажу блок живлення та керування генерує керуючий сигнал, що змінює властивості та порядок залучення до дії концентричних циліндрів з магнітореологічного еластомеру. Ступінь амортизації регулюється завдяки зміні пружності та кількості робочих демпферів з магнітореологічного еластомеру.

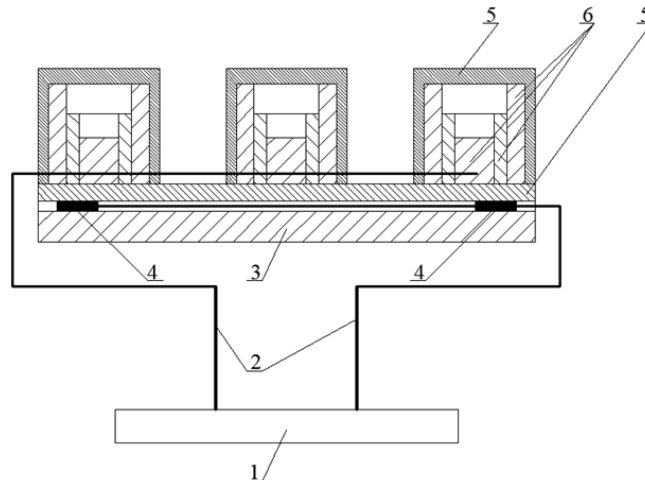


Рис. 2. Система амортизації стрічки транспортера: 1 – блок живлення та керування; 2 – лінії живлення та керування; 3 – стрічка транспортера; 4 – датчики навантаження та удару; 5 – основа; 6 – концентричних циліндрів з магнітореологічного еластомеру (показані збільшеними); 7 – оболонка з високомолекулярного поліетилену.

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію електромеханічних та магнітореологічного елементів.

У першому динамічному режимі (транспортування вантажу у вигляді малих фрагментів) амортизація динамічних навантажень на основу та стрічку відбувається за рахунок пружних деформацій найбільшого циліндру з магнітореологічного еластомеру. Зниження зносу транспортерної стрічки відбувається за рахунок використання оболонка з високомолекулярного поліетилену.



У другому динамічному режимі (транспортування вантажу у вигляді середніх та великих фрагментів вантажу) амортизація динамічних навантажень на основу та стрічку відбувається за рахунок пружних деформацій залучених до дії сумісно з найбільшим циліндром з магнітореологічного еластомеру середнього, або разом середнього та малого циліндрів. Ступінь гасіння регулюється завдяки зміні пружності демпферів з магнітореологічного еластомеру. В свою чергу, зміна властивостей демпферу відбувається у відповідності з керуючими сигналами від датчиків навантаження та удару.

Висновки

Технічний ефект досягається завдяки тому, що комбінація електромеханічних та магнітореологічних елементів забезпечує:

- адаптивне демпфірування динамічних навантажень широкого спектру на всі елементи транспортеру;
- підвищення стійкості до зношування елементів транспортеру;
- відсутність зсуву транспортерної стрічки;
- підвищення терміну служби роликів вузлів та транспортерної стрічки;
- зниження експлуатаційних та ремонтних витрат.

Застосування запропонованого схематичного рішення системи підвіски стрічкового транспортера дозволить значним чином збільшити міжремонтний період та зменшити вартість експлуатаційних витрат.

Список використаних джерел

- [1]. Ивченко, В. Н. Куров, С. В. Беспросыпные ленточные конвейеры. – М.: Горная Промышленность. – 2005. – №4.
- [2]. Конвейеры: Справочник / Р. А. Волков, А. Н. Гнутов, В. К. Дьячков и др. Под общ. ред. Ю. А. Пертена. – Л.; Машиностроение, 1984. – 367 с.
- [3]. Амортизационные демпферные балки. Электронный ресурс. [Режим доступа]: <https://sibkraspolimer.ru/lenty-konveyernye/protivoudarnaya-ammortizatsionnaya-balka.html>.
- [4]. Михайлов В. П., Зобов И. К., Селиваненко А. С. Демпфер на основе магнитореологического эластомера для активной виброизоляции нанотехнологического оборудования // Инженерный журнал: наука и инновации, 2013. – Вып. 6. URL: <http://engjournal.ru/catalog/nano/hidden/813.html>. <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2013-6-813>
- [5]. Михайлов, В.П., Базиненков, А.М., Зобов И.К., Шаков, К.Г., Хвостов, А.А. Системы точного позиционирования и активной виброизоляции для нанотехнологического оборудования // Наноинженерия, 2011. – № 3. – С. 47-57.
- [6]. Сандлер, А. К., Дрозд, О. В. Роликовый вузол стрічкового транспортера // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2018. – Т. 10. – №. 4. – Одеса: ОНАХТ. – С. 73-76. <https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1237>
- [7]. Дрозд, Е. В., Сандлер, А. К. Техногенна безпека при обробці зернових культур // Аграрний вісник Причорномор'я. – 2009. – № 48. – Одеса: ОДАУ. – С. 72-76.

References

- [1]. Ivchenko, V. N. Kurov, S. V. (2005). Besprosyynnye lentochnyye konveyery. [Loose belt conveyors]. – Moscow: Gornaya Promyshlennost'. – No. 4. [in Russian].
- [2]. Konveyery. [Conveyors]: Handbook / R. A. Volkov, A. N. Gnutov, V. K. Dyachkov, etc. under total. ed. Yu. A. Pertena. (1984). – Leningrad: Mashinostroyeniye. [in Russian].
- [3]. Amortizatsionnyye dempfernyye balki. [Cushion damper beams]. Electronic resource. [Access mode]: <https://sibkraspolimer.ru/lenty-konveyernye/protivoudarnaya-ammortizatsionnaya-balka.html>.
- [4]. Mikhailov V. P., Zobov I. K., Selivanenko A. S. (2013). Dempfer na osnove magnitoreologicheskogo elastomera dlya aktivnoy vibrozolyatsii nanotekhnologicheskogo oborudovaniya. [Damper based on magnetorheological elastomer for active vibration isolation of nanotechnological equipment] // Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii. – Vol. 6. URL: <http://engjournal.ru/catalog/nano/hidden/813.html>. [in Russian]. <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2013-6-813>
- [5]. Mikhailov, V. P., Bazinenkov, A. M., Zobov I. K., Shakov, K. G., Khvostov, A. A. (2011). Sistemy tochnogo pozitsionirovaniya i aktivnoy vibro-izolyatsii dlya nanotekhnologicheskogo oborudovaniya. [Systems of precise positioning and active vibration isolation for nanotechnological equipment] // Nanoinzheneriya. – No. 3. – P. 47-57. [in Russian].
- [6]. Sandler, A. K., Drozd, O. V. (2018). Rolykovyy vuzol strichkovoho transportera. [Roller assembly of the belt conveyor] // Automation of technological and business processes. – T. 10. – №. 4. – P. 73-76. [in Ukraine]. <https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1237>
- [7]. Drozd, E. V., Sandler, A. K. (2009). Tekhnohenna bezpeka pry obrobsi zernovykh kultur. [Technogenic safety in the processing of grain crops] / Agrarniy Visnik Prychornomor'ya. - No. 48. - Odessa: ODAU. - P. 72-76. [in Ukraine].

Отримана в редакції 05.10.2021. Прийнята до друку 26.11.2021. Received 05 October 2021. Approved 26 November 2021. Available in Internet 04 December 2021.



УДК 004.4'23:004.732:621.395.721.5

КОНЦЕПЦІЯ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКА ПІДТРИМКИ БЕЗДРОТОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ WI-FI

Ревякін О.О.¹, Попков Д.М.²

Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, Україна

E-mail: ¹oleg.03.07.2000@gmail.com, ²popkovdn@ukr.net

Copyright © 2021 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: 10.15673/atbp.v13i4.2203

Анотація. Робота присвячена розробці мобільного додатку для підтримки бездротової передачі даних за допомогою Wi-Fi.

Предметом дослідження є спосіб передачі даних за допомогою бездротової технології Wi-Fi. Завданням проектування є розробка мобільного додатку для бездротової передачі даних у локальній мережі, яка допоможе користувачеві в швидкій і якісній передачі даних засобами бездротових технологій за допомогою Wi-Fi. При дослідженні основних проблем предметної області, аналізі аналогів та засобів розробки було створено базу даних із використанням реляційної системи управління бази даних SQLite, використані мови програмування Kotlin, Groovy та Java, середовище розробки Android Studio та система автоматичного складання додатку Gradle.

Робота була спрямована на розробку мобільного додатку, завдяки якому люди зможуть швидко та якісно передавати файли та обмінюватись буферами обміну на різних пристроях за допомогою бездротових технологій з використанням Wi-Fi у локальній мережі. Система являє собою мобільний додаток, який допомагає людям передавати інформацію бездротовим способом у локальній мережі.

Даний програмний продукт не є вибагливим до апаратного забезпечення, що дозволяє користуватися системою кожній бажаної людині, яка має доступ в Інтернет.

Abstract. This work is devoted to mobile application which support wireless data transfer with help of Wi-Fi technology.

The object of research is the method of data transmission in the local network. The task of design is to develop mobile application for wireless data transfer in the local network, which can help people send large data from folder or file and working with clipboards from another device with help wireless technologies for data transfer. In the study of the main problems of the subject area, analysis of analogues and development tools. For this project a database was created with the help relational database management system SQLite, used programming languages like Kotlin, Groovy and Java, integrated development environment Android Studio and system of automation building applications Gradle.

The work was aimed at developing a mobile application that will allow people to quickly and efficiently transfer files and exchange clipboards on various devices using wireless technology using Wi-Fi in the local network. The system is a mobile application that helps people transmit information wirelessly on a local network.

This software product is not demanding on hardware, which allows anyone who has access to the Internet to use the system.

Ключові слова: мобільний додаток, база даних, бездротова технологія Wi-Fi

Key words: mobile application, database, Wi-Fi wireless technology

Вступ

На сьогоднішній день більшість виробників різноманітних пристроїв намагаються максимально переходити на бездротові інтерфейси. Завдяки технологіям Wi-Fi, Bluetooth є можливість ділитися, прослуховувати та шукати інформацію без допомоги дроту. Також бездротові технології є дуже швидким та комфортним способом передачі інформації з пристрою на пристрій. Бездротові технології різного типу забезпечують роботу мобільних телефонів, GPS-систем, супутникового телебачення, бездротової комп'ютерної периферії та бездротових мереж різного рівня [1].

Мета і завдання розробки – створення мобільного додатку для бездротової передачі даних у локальній мережі, яка допоможе користувачеві швидко і якісно передати дані засобами бездротових технологій.



Теоретична частина

Мережа передачі даних є невід’ємною частиною інфраструктури будь-якого сучасного підприємства. Залежно від масштабів компанії (малий, середній чи великий бізнес) або сфери діяльності (виробництво, логістика, торгівля, фінанси, тощо) комп’ютерні мережі можуть відрізнятися одна від одної, наприклад, за архітектурою та масштабом, за рівнем керованості та надійності, за кількістю інтегрованих функцій. Кожна географічно ізольована частина підприємства (окремий офіс, будівля або навіть комплекс споруд) має власну локальну мережу, основною якої (у більшості випадків) є провідна локальна мережа передачі даних (LAN) [2]. Також зараз це стосується і повсякденного життя.

Передача даних – фізичний процес. За фактом інформація переміщується від джерела до приймача. Вона існує тільки в момент передачі. До та після передачі інформація знаходиться у вигляді статичних даних. У момент, коли дані затребувані, вони стають інформацією. При застосуванні технічних методів передачі даних між джерелом та приймачем повинен знаходитися носій, здатний довгостроково зберігати інформацію, з якого її можна в будь-який момент вважати [3].

Бездротові комп’ютерні мережі – це технологія, що дозволяє створювати обчислювальні мережі, повністю відповідні стандартам для звичайних дротових мереж (наприклад, Ethernet), без використання кабельних дротів. Як носій інформації в таких мережах виступають радіохвилі СВЧ-діапазону. У загальному випадку бездротовою мережею називається мережа, в якій є хоч би один сегмент, що сполучає два і більше бездротових пристроїв по радіоканалу.

AirDrop - це технологія Apple передачі даних за допомогою бездротових технологій. Даний програмний продукт є пропріетарним рішенням, яке в свою чергу розроблено під пристрої Apple. Продукт має зручний інтерфейс, добре інтегрований в системи Apple та легкий у користуванні.

SHAREit - альтернатива для бездротової передачі контенту. Додаток має вбудовану функцію перегляду фотографій, що зберігаються на мобільному пристрої з комп’ютера. Основна перевага програми - набагато більш висока швидкість передачі даних в порівнянні з Bluetooth протоколом і навіть NFC [4].

ShareDrop - клон HTML5 сервісу Apple AirDrop. Це дозволяє передавати файли безпосередньо між пристроями без попереднього завантаження їх на якийсь сервер. Він використовує WebRTC для безпечної тимчасової передачі файлів і Firebase для управління присутністю і сигналізації WebRTC [5].

Основна проблема даної предметної області полягає у дротовій передачі даних, а саме, що даний спосіб передачі даних є не комфортним для користувача. Якщо користувач планує один і той самий файл поширити між багатьма пристроями, завдяки бездротовій передачі даних цей процес буде максимально швидким та комфортним.

Кожен з вищерозглянутих аналогів має певні переваги та недоліки, деякі мають добру інтеграцію в операційній системі, але не підтримують крос-платформеність. Але до загальних недоліків цих програмних продуктів можна віднести:

- незручне підключення до інших девайсів
- немає можливості працювати без підключення до мережі інтернет
- не швидка передача даних

Практична частина

Для реалізації мобільного додатку було використано мови програмування Java та Kotlin. Java використовувалась для обробки інтерфейсу, Kotlin використовувалась для написання сервісу відправки, прийняття та обробки даних. Для реалізації графічного інтерфейсу була використана технологія XML. В якості бази даних задіяна вбудована в операційну систему Android система управління базами даних SQLite та бібліотека SQLiteOpenHelper для підключення і роботи з БД.



Рис. 1 – Інформаційна модель



На рисунку 1.1 зображено інформаційну модель системи, взаємодії користувача з програмою, її модулями та взаємовідносини між модулями. Даною системою може користуватися будь-який користувач. Він має повний доступ до файлової системи пристрою та локальної мережі. В базу даних записуються данні про роботу користувача для майбутньої оптимізації. З БД буде відображатися тільки корисна інформація для користувача.

Користувач під час роботи з додатком може працювати з файловою системою та локальною мережею. Усі дії користувача будуть записуватись в БД для майбутнього розширення та оптимізації додатку. Для користувача буде відображатися тільки потрібна інформація.

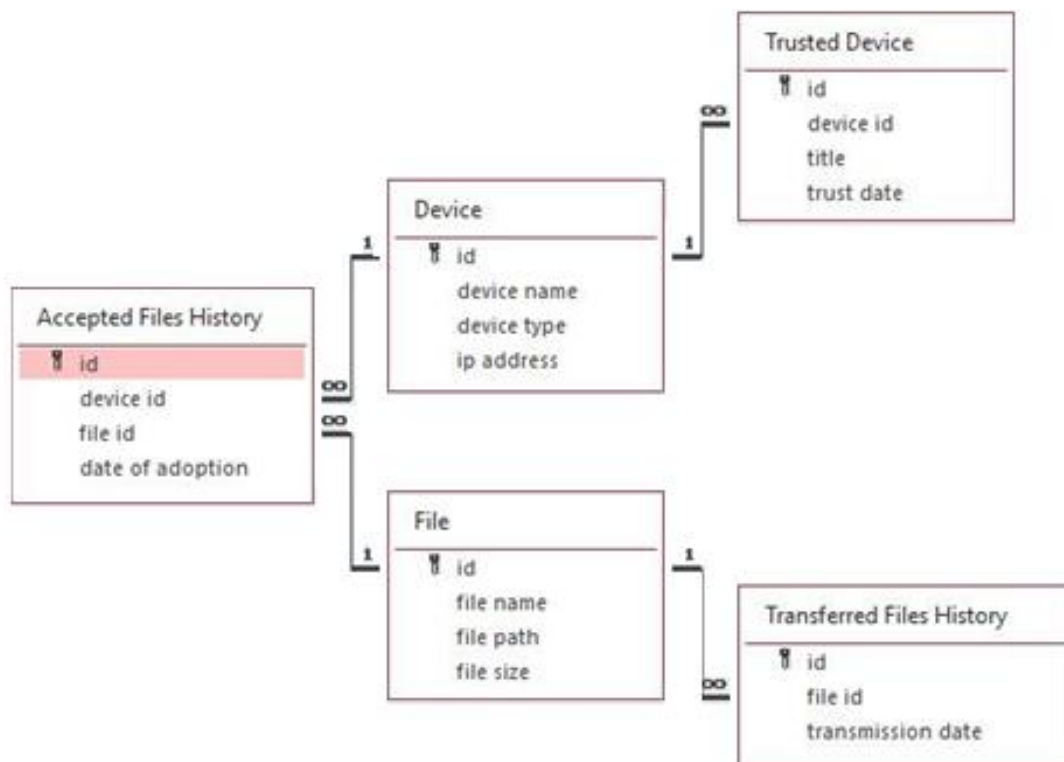


Рис. 2 – Схема бази даних

На рисунку 1.2 зображена структура схеми бази даних із зв'язками між таблицями. Данна база даних необхідна для повного функціонування додатку. База приведена до третьої нормальної форми, з урахуванням спеціалізації потреб системи про що свідчать зв'язки, які вказані на рисунку.

База даних має 5 таблиць, зв'язок між таблицями «один до багатьох», база призначена для зберігання даних, про пристрої, які знаходяться в даній локальній мережі, файли котрі користувач відправляв і приймав на пристрій.

Головною таблицею слід вважати «Device»/«Пристрій», у якій буде вписуватись усі девайси, які контактували з пристроєм користувача. Дана таблиця є головною, тому що вона потім використовується для оптимізації пошуку.

Для реалізації графічного інтерфейсу була використана технологія XML та мова програмування Java. В файлі XML описувались графічні елементи інтерфейсу, які в свою чергу допомагали відображати нативні елементи графічного інтерфейсу операційної системи Android, а мова програмування Java допомагала опрацювати дані елементи інтерфейсу. Для створення адаптивного інтерфейсу, який буде працювати та відображатися однаково на всіх Android пристроях, використовувався ConstraintLayout. Даний макет допомагає притягувати елементи інтерфейсу до заданих сторін.

Для підключення бази даних використовувався сервіс SQLiteOpenHelper. В даному сервісі є підтримка бази даних SQLite, також сервіс надає можливості взаємодіяти та конфігурувати етапи створення та оновлення бази даних.

Результати

Програмне забезпечення, розроблене в рамках даного проекту, є Android додатком для бездротової передачі даних у локальній мережі. В програмі є можливості передачі файлу з пристрою та прийняття файлу з іншого пристрою, окрім цього є можливість передачі текстових повідомлень по типу URL адрес з буфера обміну.

Даний програмний продукт не є вибагливим до апаратного забезпечення, що дозволяє користуватися системою кожній бажаною людині, яка має доступ в Інтернет. Системні вимоги для мобільного телефону: оперативна пам'ять – 70MB, вільне місце на диску - 11MB, операційна система – Android 4.4, Android 5.1, Android 6.0, Android 7.1, Android 8.1, Android 9, Android 10, Android 11.

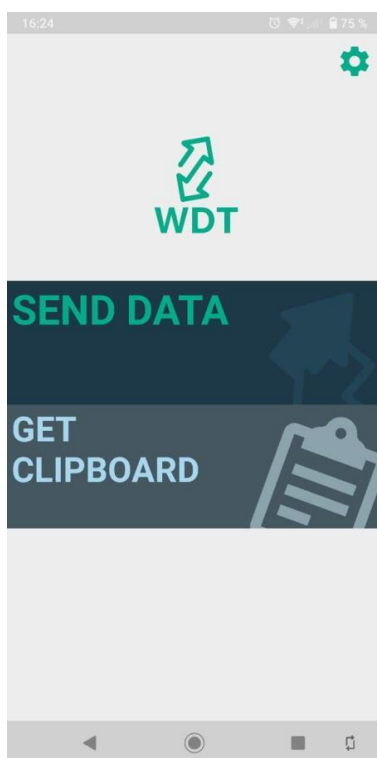


Рис. 3 – Головна сторінка



Рис. 4 – Вибір девайсу

Головна сторінка містить логотип, налаштування, кнопка для відправки даних, кнопка для отримання даних з буфера обміну від іншого девайсу. На даній сторінці автоматично запускається сервіс для прийняття та обробки запитів.

Натискаючи на кнопку відправки, переходимо до вибору девайсу на який бажаємо відправити файли чи папку. При натиску на девайс, пошук іншого девайсу не зупиняється. Як тільки з'явиться новий девайс, буде можливість відправити інформацію і на нього. Це меню буде відображатися також тоді, коли натиснемо на кнопку «get clipboard»,



для отримання буфера обміну з іншого девайсу, або коли сторонній додаток буде звертатися до додатку для бездротової передачі даних у локальній мережі, коли буде потрібно працювати з даними.

Висновки

В результаті написання даного проекту було розроблено мобільний додаток для бездротової передачі даних у локальній мережі, який допоможе користувачеві в швидкій і якісній передачі даних засобами бездротових технологій. Перед реалізацією програмного продукту було проведено аналіз предметної області, розглянуто та порівняно існуючі аналоги, на основі чого було виокремлені необхідні вимоги до програмного продукту.

Список використаних джерел

- [1]. Kpi.ua: [Веб-сайт]. URL: <http://ros.kpi.ua/wp-content/uploads/Download/Articles/502-852-1-SM.pdf> (дата звернення: 10.05.2021).
- [2]. Netwave[Веб-сайт]. - . - URL: <https://netwave.ua/rishennya/merezheva-infrastruktura/lokalni-merezhi-peredachi-danyh/> (дата звернення: 04.10.2020).
- [3]. Klaster: [Веб-сайт]. URL: <https://klaster.ua/ua/stati-i-obzory/metody-i-sredstva-peredachi-dannykh/> (дата звернення: 15.06.2021).
- [4]. Biblprog: [Веб-сайт]. URL: <https://biblprog.org.ua/ua/shareit/> (дата звернення: 07.07.2021).
- [5]. Linuxadictos: [Веб-сайт]. URL: <https://www.linuxadictos.com/ru/sharedrop-un-airdrop-gratuito-para-intercambiar-archivos-desde-el-navegador.html> (дата звернення: 12.07.2021).

References

- [1]. Kpi.ua: [Veb-sajt]. URL: <http://ros.kpi.ua/wp-content/uploads/Download/Articles/502-852-1-SM.pdf> (data zvernennya: 10.05.2021).
- [2]. Netwave[Veb-sajt]. - . - URL: <https://netwave.ua/rishennya/merezheva-infrastruktura/lokalni-merezhi-peredachi-danyh/> (data zvernennya: 04.10.2020).
- [3]. Klaster: [Veb-sajt]. URL: <https://klaster.ua/ua/stati-i-obzory/metody-i-sredstva-peredachi-dannykh/> (data zvernennya: 15.06.2021).
- [4]. Biblprog: [Veb-sajt]. URL: <https://biblprog.org.ua/ua/shareit/> (data zvernennya: 07.07.2021).
- [5]. Linuxadictos: [Veb-sajt]. URL: <https://www.linuxadictos.com/ru/sharedrop-un-airdrop-gratuito-para-intercambiar-archivos-desde-el-navegador.html> (data zvernennya: 12.07.2021).

Отримана в редакції 06.10.2021. Прийнята до друку 26.11.2021. Received 06 October 2021. Approved Approved 26 November 2021. Available in Internet 04 December 2021.

УДК 004.896:[663.63:615.012](477.74)

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ПІДГОТОВКОЮ ВОДИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОТРЕБ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ЛІК

Улибін В.М.

Одеська національна академія харчових технологій

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1092-8916>

E-mail: vovanich525@gmail.com

Copyright © 2021 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: [10.15673/atbp.v13i4.2199](https://doi.org/10.15673/atbp.v13i4.2199)

Анотація. Вода - основа всього живого на планеті. Водні розчини необхідні для забезпечення потреб промисловості, сільського господарства, побутових потреб. Вода при виготовленні лік повинна відповідати певним нормам, має бути дистильованою. Мета ведення процесу підготовки води при виготовленні лік – отримання готової очищеної води із заданими показниками якості. Високої ефективності процесу підготовки води можна досягти лише при автоматизації цього процесу. Всі існуючі розробки в сфері автоматизації підготовки води не задовольняють



сучасним вимогам до якості готового продукту. В ОНАХТ, на кафедрі АТПіРС розроблено новий підхід до автоматизації підготовки води з метою забезпечення її високої якості. Результати структурно-параметричного синтезу і аналізу розробленої САУ підтверджують переваги запропонованого підходу, а саме високу динамічну точність управління процесом. Побудована автономна САР забезпечує високу якість готового продукту. Розроблена проектна документація відображає всі особливості і переваги запропонованого способу управління. Розроблене АРМ оператора-технолога і наладчика САУ в SCADA-системі дозволяє зручно і ефективно спостерігати та керувати ходом процесом підготовки води. Подальший розвиток питання автоматизації управління процесом підготовки води знайде в магістерській випускній роботі.

Abstract. Water is the basis of all living things on the planet. Aqueous solutions are needed to meet the needs of industry, agriculture, household needs. Water in the manufacture of the drug must meet certain standards, must be distilled. The purpose of the process of water preparation in the manufacture of drugs - to obtain ready purified water with specified quality indicators. High efficiency of the water treatment process can be achieved only by automating this process. All existing developments in the field of automation of water treatment do not meet modern requirements for the quality of the finished product. At ONAFT, the ATPiRS department has developed a new approach to automation of water treatment in order to ensure its high quality. The results of structural-parametric synthesis and analysis of the developed automatic control system confirm the benefits of the proposed approach. The constructed cascade system of automatic regulation provides a high dynamic accuracy of management of the considered technological process. The automated workplace of an automated operator-technologist and an automatic control system in the SCADA system allows you to conveniently and operate and control the process of pasteurization of apple juice. Further development of the issue of automation of water treatment process management will be found in the master's thesis.

Ключові слова: система автоматичного керування (САК), об'єкт керування (ОК), автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора, підготовка води, виготовлення лік.

Keywords: automatic control system (ACS), control object (CO), workstation of operator (OWS), water treatment, production of medicine.

Вступ. Вода - та сама складова основа всього живого на планеті, без якої неможливе життя і розвиток людської цивілізації. Крім підтримки природних процесів функціонування організму, водні розчини необхідні для забезпечення потреб промисловості, сільського господарства, побутових потреб.

Воду використовують зокрема при виробництві лік. Вода повинна відповідати певним нормам, і повинна бути дистильована. Дистильована вода - вода, очищена від розчинених в ній мінеральних солей, органічних речовин та інших домішок шляхом дистиляції. рН мати значення в діапазоні 5,4-6,6. Фільтрація води проходить через декілька ступенів механічної очистки, а ось рівень рН регулюється електродіанізатором, де завдяки подачі напруги можна регулювати якість води, тобто рН, але потрібна стабільна подача води у вигляді тиску, це і є два контури які будуть регулюватися, також вони взаємозв'язані. Вони і складають основу технологічного регламенту процесу підготовки. Розроблений технологічний регламент служить основою: а) розробки контуру в якому буде реалізовано технологічний процес; б) керування технологічним процесом при його реалізації у виробничих умовах. При проектуванні контура забезпечується можливість виконання регламенту при зміні умов ведення процесу у всьому можливому діапазоні, зокрема розраховуються необхідні витратові характеристики регулюючих органів. При керуванні на основі технологічного регламенту обираються, перш за все, регульовані змінні, обґрунтовуються їх задані значення і припустимі відхилення.

Мета і завдання досліджень. Мета ведення процесу очистки води – отримання готову очищену воду із заданими показниками якості. При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдано тільки тоді, коли технологічний процес має сенс реалізувати, коли виконується цілий ряд вимог до технологічного процесу. Технологічний процес очищення води доцільно реалізувати якщо: 1) є подача води до ділянки очищення; 2) є наявності живлення для електродіанізатора; 3) повинна бути електроенергія в колах живлення насоса із середньостатистичними параметрами мережі.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Для забезпечення високої якості очищення води, необхідно цей процес автоматизувати. Чимало розробників присвятили свої дослідження цьому питанню.

Сібірська екологічна компанія запропонувала спосіб автоматичного керування процесом підготовки води, в якому регулювання тиску у системі відбувається шляхом керування клапанами для забезпечення гідравлічного контролю. Основним завданням гідравлічного контролю є забезпечення можливості вирівнювати перепад тиску в камерах фільтрату і концентрату. Недоліком даного способу є те, що він не забезпечує гнучкий контроль тиску у системі, що спричиняє зменшення продуктивності виробництва та погіршення якості готового продукту. Компанія Ecosoft запропонувала спосіб безперервної обробки води, який містить автоматичне керування за допомогою комплексу датчиків, витратомірів, впускних і випускних клапанів і. Недоліком даного способу є те, що він є енергозатратним і економічно не вигідним. Компанія Diesel Engineering запропонувала спосіб підготовки води, використовуючи лише установки зворотнього осмосу, даний спосіб є енергетично економічним, але недоліком даного способу є, низька якість води, бо в системі не використовується електродіанізатор. Найбільш близьким до



запропонованого є спосіб автоматичного керування процесом підготовки води, який містить регулювання тиску води у системі шляхом зміни частоти обертання приводу електродвигуна насоса подачі води, і якості води шляхом зміни потужності діонізатора (зміни рН). Недоліком даного способу є те, що контур регулювання тиску впливає на контур регулювання якості води, що обумовлює низьку динамічну точність регулювання, що приводить до низького рівня якості підготовки води.

На кафедрі автоматизації технологічних процесів Одеської національної академії харчових технологій в рамках випускної роботи, запропоновано новий спосіб автоматичного керування процесом підготовки води для технологічних потреб.

Методи і матеріали досліджень. Основним використаним методом є діалектичний. Також використано такі методи: аналіз, синтез, індукція, дедукція, спостереження, експеримент, вимір. Основним експериментальним методом обрано імітаційне моделювання.

Результати досліджень. Спочатку було розглянуто технологічний процес підготовки води, побудовано параметризовану технологічну схему (рис. 1), параметричну, та структурну (рис.2) схеми процесу як об'єкту управління. Проведено структурну і параметричну ідентифікацію каналів об'єкта управління. Проведено параметричну оптимізацію алгоритмів управління, порівняльний аналіз САР, отримано цифрові аналоги обраних алгоритмів. Побудовано багатомірну САР та на її основі – автономну САР (рис. 3). Зроблено порівняльний аналіз результатів моделювання (рис. 4, 5, табл. 1, 2, 3). Розроблено АРМ оператора-технолога і налагоджувача САУ в SCADA-системі (рис. 6). Розроблена АСУТП на базі мікропроцесорної техніки яка ефективно керує процесом, забезпечуючи підтримку регульованих координат на заданому рівні та зменшення використання електроенергії. Для цього підвищена якість регулювання, удосконалено алгоритми управління, розроблено контролерно-комп'ютерна мережа, здійснено програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САУ. Розглянуто питання економічної ефективності запропонованого рішення та питання охорони праці.

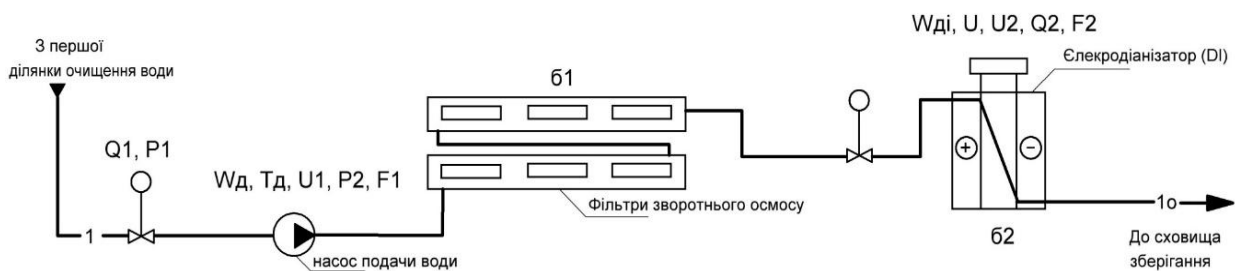
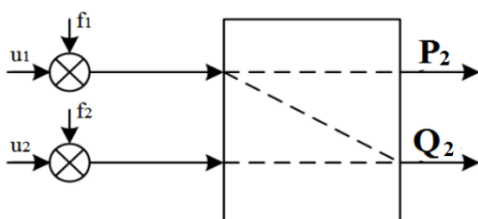


Рис.1 – Параметризована технологічна схема процесу підготовки води

Q1 – Ph на вході у систему (до насоса), Ph;
 P1 – тиск на вході у систему (до насоса), Бар;
 P2 – тиск після насоса, Бар;
 U1 - напруга в ланцюзі живлення електродвигуна насоса, В;
 F1 – витрата після насоса, м³/с;
 б 1 – наліт на мембранах зворотного осмосу, %;
 Wді – потужність ДІ;

U – напруга у мережі, В;
 Q2 – Ph після електродеонізатора, Ph;
 F2 – витрата після електродеонізатора, м³/с;
 U2 - напруга в ланцюзі живлення електродеонізатора, В;
 б 2 – наліт в електродеонізаторі, %;
 Тд – температура насоса
 Wд – потужність насоса



u1 – положення регулюючого органу зміни частоти електроприводу насоса;
 u2 – положення регулюючого органу зміни живлення на ДІ
 P2 – тиск у системі після насоса;
 Q2 – якість води після ДІ;
 f1, f2 – вектор неконтрольованих збурень;

Рис. 2 – Структурна схема процесу підготовки води як об'єкту регулювання

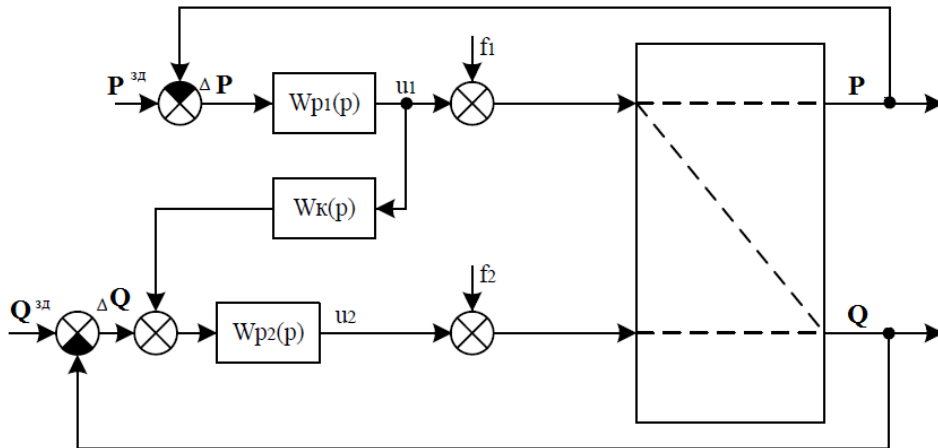


Рис. 3 – Структурна схема автономної системи керування

u_1 – положення регулюючого органу зміни частоти електроприводу насосу;
 u_2 – положення регулюючого органу зміни потужності на ДІ
 P – тиск у системі очищення води;
 Q – якість води у системі;
 f_1, f_2 – вектор неконтрольованих збурень;
 $W_{P1}(p)$ – передаточна функція регулятора тиску води;

$W_{P2}(p)$ – передаточна функція регулятора якості води;
 $W_K(p)$ – передаточна функція коригуючої ланки;
 $P^{зд}$ – задане значення тиску води;
 ΔP – помилка регулювання значення тиску води;
 $Q^{зд}$ – задане значення якості води;
 ΔQ – помилка регулювання якості води

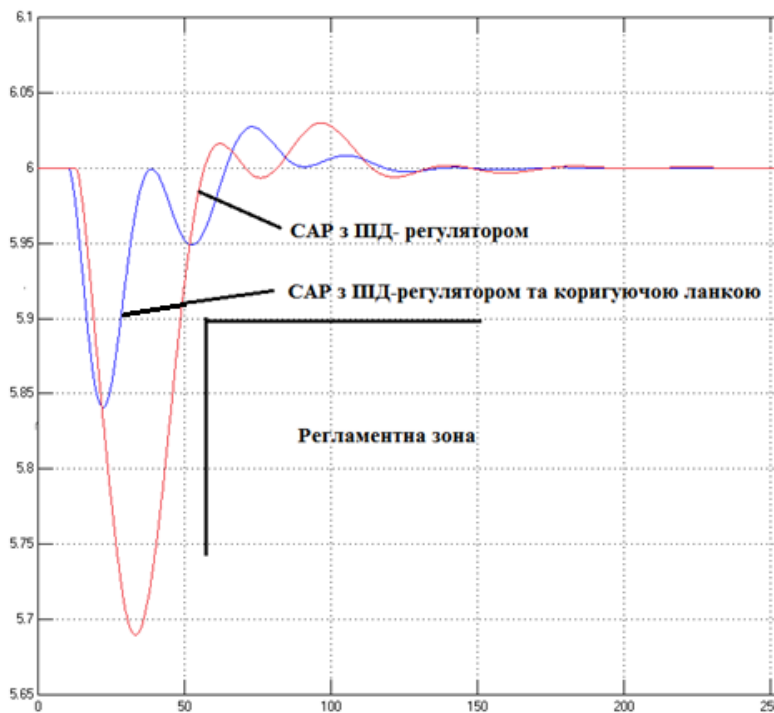


Рис. 4 – перехідні процеси в САР базової структури і структури САР підвищеної динамічної точності за каналом « $u_2 - Q$ »

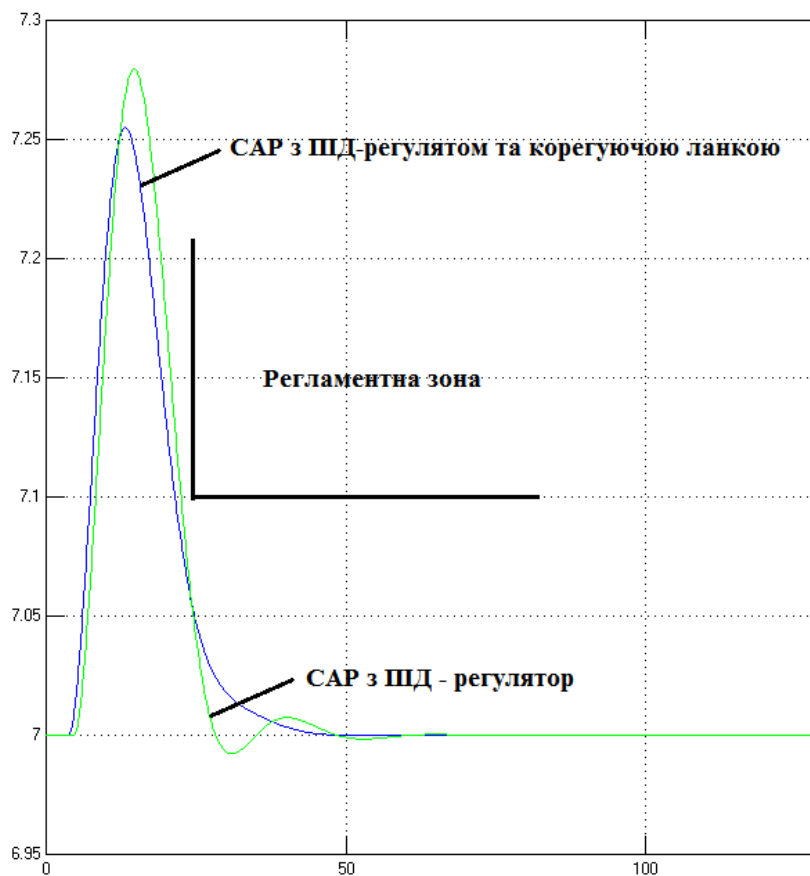


Рис. 5 – Перехідні процеси в САР базової структури і структури САР підвищеної динамічної точності за каналом « $u_1 - P$ »

Таблиця 1 – Результати порівняння САР базової і підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

САР	P_{max}	$T_{ппр}$	Q_{max}	$T_{ппq}$	J
ПД	0.29	41.2	0.32	59,4	44
ПД з кор. Л.	0.15	19.1	0.21	28,6	11.7

Таблиця 2 – Результати порівняння САР базової і підвищеної динамічної точності в сталих режимах для каналу « $u_1 - P$ »

Показатель качества	Значения параметров ОУ		
	номинальные	лучшие	худшие
Математическое ожидание	6	6	6
Среднеквадратическое отклонение	0,037	0,031	0,045
Среднеквадратический период	57,2	57,2	57,2
Интегральный критерий	20,63	18,37	23,21

Таблиця 3 – Результати порівняння САР базової і підвищеної динамічної точності в сталих режимах для каналу « $u_2 - Q$ »

Показатель качества	Структура САР	
	Базовая	Повышенной динамической точности
Математическое ожидание	6	6
Среднеквадратическое отклонение	0,02	0,019
Среднеквадратический период	1377,0	97,1
Интегральный критерий	191	183

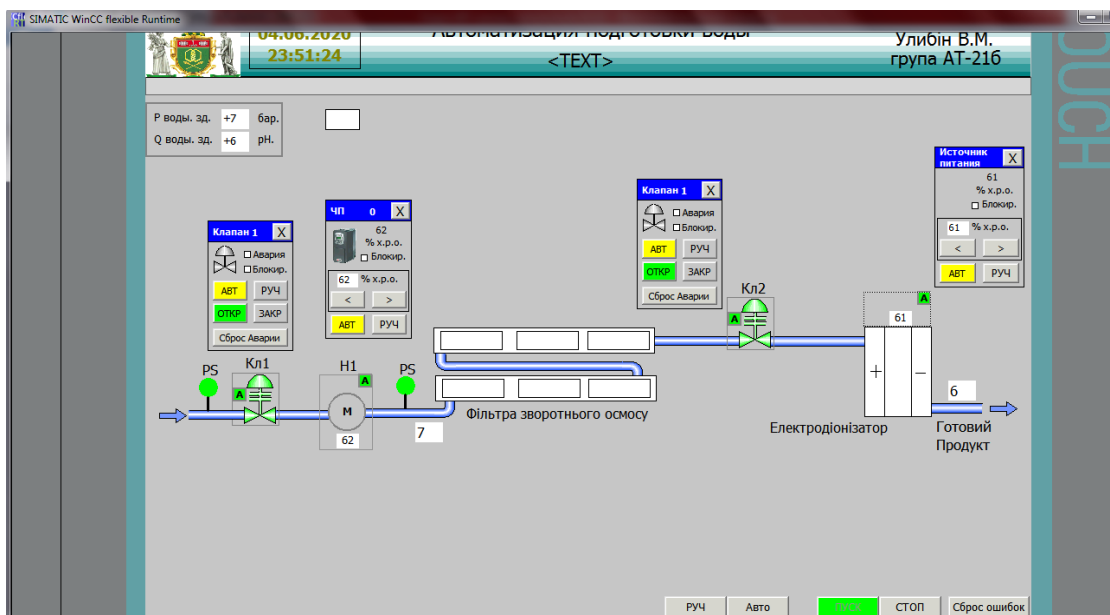


Рис. 6 – Вікно «Мнемосхема» при відкритих екранних формах управління двигунами і клапанами

Подальший розвиток питання автоматизації керування процесом пастеризації яблучного соку знайде в магістерській випускній роботі.

Обговорення результатів досліджень. Аналіз технологічного процесу підготовки води, дозволив розкрити його суть та побудувати параметризовану технологічну схему, яка вміщує властивості вхідних та вихідних сировинних та енергетичних потоків. Аналіз параметризованої схеми дозволив виділити серед всіх параметрів потоків групи сировинних, енергетичних та механічних вхідних параметрів та регламентованих, експлуатаційних, техніко-економічних вихідних параметрів і побудувати параметричну схему. На параметричній схемі було виділено основні регламентні параметри та відповідні керуючі впливи та побудовано структурну схему процесу підготовки води, як об'єкту керування. Структурна та параметрична ідентифікація каналів об'єкта керування, дозволила отримати математичні моделі об'єкта керування, за допомогою яких було одержано ПІ та ПІД алгоритми регулювання. Параметрична оптимізація алгоритмів дозволила одержати оптимальні параметри налагодження регуляторів. Для основних регульованих параметрів було побудовано САР базової структури. Порівняльний аналіз САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності показав підвищення інтегральних показників якості. Розроблені алгоритми пуску-зупинки системи врахували умови початкового стану та ведення процесу. Розроблено АРМ оператора-технолога і наладчика САУ в SCADA-системі. Складена в середовищі Step7 програма керування процесом, та реалізована на її основі SCADA-система в середовищі WinCC flexible для АРМ оператора-технолога і наладчика САК дозволяє в режимі реального часу стежити за ходом технологічного процесу, та за необхідності впливати на нього. Обрані технічні засоби забезпечують належне та високоякісне керування процесом підготовки води та відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Розроблений варіант комплексу технічної документації САК: схема автоматизації; принципова електрична схема контролю та керування; принципова електрична схема живлення; загальний вид щита оператора; монтажна схема щита оператора; схема зовнішніх проводок на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-300, задовольняє вимоги замовника САК. Розглянуті питання економічної ефективності запропонованого рішення та питання з охорони праці дозволили зробити обґрунтування та висновки щодо інвестиційно привабливості розробки проекту, адже приріст чистого прибутку та чистий грошовий потік більше нуля та дорівнюють, відповідно, 58 946 тис. грн та 164 923 тис. грн.

Висновки

1. Вода - основа всього живого на планеті.
2. Водні розчини необхідні для забезпечення потреб промисловості, сільського господарства, побутових потреб.
3. Вода при виготовленні лік повинна відповідати певним нормам, має бути дистильованою.
4. Мета ведення процесу підготовки води при виготовленні лік – отримання готової очищеної води із заданими показниками якості.
5. Високої ефективності процесу підготовки води можна досягти лише при автоматизації цього процесу.
6. Всі існуючі розробки в сфері автоматизації підготовки води не задовольняють сучасним вимогам до якості готового продукту.
7. В ОНАХТ, на кафедрі АТПіРС розроблено новий підхід до автоматизації підготовки води з метою забезпечення її високої якості.
8. Результати структурно-параметричного синтезу і аналізу розробленої САУ підтверджують переваги запропонованого підходу, а саме високу динамічну точність управління процесом.
9. Побудована автономна САР забезпечує високу якість готового продукту.



10. Розроблена проектна документація відображає всі особливості і переваги запропонованого способу управління.
11. Розроблене АРМ оператора-технолога і налагоджувача САУ в SCADA-системі дозволяє зручно і ефективно спостерігати та керувати ходом процесом підготовки води.
Подальший розвиток питання автоматизації управління процесом підготовки води знайде в магістерській випускній роботі.

Список використаних джерел

- [1]. Сайт Сібірської екологічної компанії.- URL: <http://www.sibecolog.ru/informatsiya/254/>
- [2]. Сайт компанії Ecosoft.- URL: https://ecosoft.ua/sistemy-elektrodeionizatsii_prom/
- [3]. Сайт компанії V3.- URL: <http://www.v3corporation.ru/site.aspx?IID=2268391 &SECTIONID=2203010>
- [4]. Сайт компанії Diesel Engineering.– URL: <https://diesel.ru/shop/osmos/>
- [5]. Улибін В.М. Випускна робота бакалавра «Автоматизація процесу підготовки води для потреб підприємства «Інтрехім»» (Рукопис).- Одеса: ОНАХТ, 2020.- 165с.

References

- [1]. Sait Sibirskoi ekologichnoi kompanii.- URL: <http://www.sibecolog.ru/informatsiya/254/>
- [2]. Sait kompanii Ecosoft.- URL: https://ecosoft.ua/sistemy-elektrodeionizatsii_prom/
- [3]. Sait kompanii V3.- URL: <http://www.v3corporation.ru/site.aspx?IID=2268391 &SECTIONID=2203010>
- [4]. Sait kompanii Diesel Engineering.– URL: <https://diesel.ru/shop/osmos/>
- [5]. Ulybin M. V. Vypusknа robota bakalavra «Avtomatyzatsiia protsesu pidgotovki vodi dlya ptreb pidpriemstva «Intrechim»» (Rukopys).- Odesa: ONAKhT, 2020.- 165s.

Науковий керівник О.Є. Гончаренко і ст. викладач С. М. Дубна

Отримана в редакції 15.10.2021. Прийнята до друку 29.11.2021. Received 15 October 2021. Approved Approved 29 November 2021. Available in Internet 04 December 2021.

УДК 543.275.1.089.68:681.586.5

ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВАНТАЖУ НА СУДНАХ-ГАЗОВОЗАХ НА ОСНОВІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Сандлер А.К., Данчук Д.П.

Національний університет "Одеська морська академія", м. Одеса, Україна
E-mail: albertsand4@gmail.com

Copyright © 2021 by author and the journal "Automation of technological and business – processes".
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: 10.15673/atbp.v13i4.2202

Анотація. Дослідження базується на запиті практики про необхідність розробки й впровадження нових засобів волоконно-оптичних засобів моніторингу вологості газу, які, за рахунок підвищення вірогідності вимірювальної інформації, забезпечують зниження невиробничих втрат. У роботі вирішене актуальне науково-технічне завдання наукового обґрунтування, розробки й дослідження засобу моніторингу вологості газу. Пропонований засіб забезпечує підвищення достовірності результатів вимірювання за рахунок використання принципів часткової інваріантності до зовнішніх неконтрольованих впливів вимірювань, яка досягається шляхом синтезу процесів перетворення світла, конструкції, комбінації матеріалів і способу одержання вимірювальної інформації. Як об'єкт дослідження визначені процеси формування й перетворення інформаційного сигналу у волоконно-оптичному засобі моніторингу вологості газу у складних умовах транспортування. Відповідно, предметом дослідження є волоконно-оптичні засоби моніторингу, що функціонують у складних умовах експлуатації. Теоретична частина роботи виконана з використанням: а) системного аналізу й дослідження операцій – при визначенні структурних зв'язків між елементами вимірювального засобу діагностики й декомпозиції об'єкта дослідження; б) теорії оптичних хвильоводів – при розрахунках коефіцієнтів оптичного зв'язку ділянок оптичного волокна (ОВ); в) методів аналітичного дослідження процесів взаємодії полів хвильоводних елементів – при дослідженні процесів перетворення світлового випромінювання у чутливому елементі (ЧЕ) під впливом деформацій. Проведено порівняльний аналіз впливу



експлуатаційних факторів на характеристики волоконно-оптичних пристроїв контролю властивостей газу на судах-газовозах. Проведений аналіз результатів впливу експлуатаційних дестабілізуючих факторів на характеристики пристроїв моніторингу відомих типів, дозволив локалізувати коло досліджень у межах використання волоконно-оптичних датчиків амплітудної модуляції. Визначено, що компенсацію некорельованої складової погрішності акселерометра необхідно виконувати на основі використання методів інваріантних перетворень, заснованих на принципі багатоканальності. Обрані методи, припущення і математичний апарат дослідження. Обґрунтовано застосування хвильового аналізу процесів у чутливому елементі (ЧЕ) засобу моніторингу на основі рівнянь Максвелла та методу рівних об'ємів. На підґрунті модифікованої теорії зв'язаних мод у оптичних волокнах, а також положеннях теорії пружності, сформована математична модель перетворення світлового випромінювання у пропонованому засобі моніторингу. Застосування запропонованого методу визначення параметрів синтезованого засобу діагностування на практиці створює передумови для розробки вимірювальних перетворювачів широкого цільового призначення.

Abstract. The research is based on the request of practice about the need to develop and implement new means of fiber-optic means of gas humidity monitoring, which, by increasing the reliability of the measured information, reduce non-production losses. The actual scientific and technical problem of scientific substantiation, development and research of the means of gas humidity monitoring is solved in the work. The proposed tool improves the reliability of measurement results by using the principles of partial invariance to external uncontrolled effects of measurements, which is achieved by synthesizing the processes of light conversion, design, combination of materials and method of obtaining measurement information. The processes of formation and transformation of the information signal in the fiber-optic means of gas humidity monitoring in difficult conditions of transportation are determined as the object of research. Accordingly, the subject of the study are fiber-optic monitoring tools that operate in difficult operating conditions. The theoretical part of the work was performed using: a) systematic analysis and study of operations - in determining the structural relationships between the elements of the measuring instrument of diagnostics and decomposition of the object of study; b) the theory of optical waveguides - when calculating the coefficients of optical coupling of optical fiber (OB); c) methods of analytical study of the processes of interaction of the fields of wave-wave elements - in the study of the processes of conversion of light radiation in the sensitive element (S) under the influence of deformations. A comparative analysis of the influence of operational factors on the characteristics of fiber-optic devices for monitoring the properties of gas on gas carriers. The analysis of the results of the influence of operational destabilizing factors on the characteristics of monitoring devices of known types, allowed to localize the scope of research within the use of fiber-optic sensors of amplitude modulation. It is determined that the compensation of the non-correlated component of the accelerometer error must be performed based on the use of invariant transform methods based on the principle of multichannel. Selected methods, assumptions and mathematical apparatus of research. The application of wave analysis of processes in the sensitive element (S) of the monitoring tool based on Maxwell's equations and the method of equal volumes is substantiated. Based on the modified theory of coupled modes in optical fibers, as well as the provisions of the theory of elasticity, a mathematical model of the transformation of light radiation in the proposed monitoring tool was formed. The application of the proposed method for determining the parameters of the synthesized diagnostic tool in practice creates the preconditions for the development of measuring transducers for a wide purpose.

Ключові слова: газ, судно-газовоз, моніторинг, вологість, волоконно-оптичний, чутливий елемент.

Key words: gas, ship-gas carrier, monitoring, humidity, fiber-optic, sensitive element.

Вступ

Технологічні та кліматичні умови завантаження та транспортування на судах-газовозах можуть суттєво впливати на стан газових сумішів. Вплив морського навколишнього середовища та коливання параметрів режимів транспортування можуть сприяти додатковому зволоженню газу у транспортних танках. Несвоєчасне виявлення та усунення причин зволоження газу приводить до роботи обладнання на неспецифікаційних режимах та виходу з працездатного стану. З метою запобігання невиробничих втрат і для забезпечення безпеки судноплавства, рішення щодо здійснення всього логістичного комплексу заходів щодо суден-газовозів, приймаються виключно на підставі діагностичної інформації про реальний стан газових сумішів.

Сучасна концепція "превентивного моніторингу" ґрунтується на різних методах визначення стану об'єкту контролю, зокрема – ідентифікації зміни стану газоподібного вантажу на початковій стадії їх розвитку. Практичне використання цієї концепції вимагає впровадження новітніх, більш ефективних, автоматизованих засобів моніторингу і значно ускладнює процедури контролю вантажу. Тенденції розвитку сучасних технологій газових вантажних операцій свідчать, що саме застосування надійних, інваріантних до впливу зовнішніх збурень вимірювальних засобів, які легко імплементуються у суднові інформаційно-вимірювальні системи, забезпечують високу експлуатаційну ефективність та надійність функціонування суднового газовантажного комплексу.

В наш час засоби моніторингу стану вантажу газу на судах функціонують в умовах дестабілізуючих факторів – концентрованого впливу потужних електромагнітних, термічних та вібраційних полів потужного, компактно розташованого, суднового обладнання. Саме ці збурення не дозволяють забезпечити ефективний та достовірний моніторинг за головною контрольованою ознакою – наявністю вологи у газі.

Аналіз відомих рішень доводить, що завдання створення засобів моніторингу на основі волоконно-оптичних компонентів, які нечутливі до більшості експлуатаційних дестабілізуючих факторів (ДФ) та дають змогу



безперервного, тривалого і достовірного контролю стану газової суміші, є актуальним і затребуваним судновласниками, розв'язок і практичне використання якого суттєво підвищує рівень безпеки судноплавства [1, 2].

Мета і завдання дослідження

У якості мети дослідження визначено зниження непродуктивних втрат та аварійності, забезпечення високої ефективності використання суден-газовозів, що досягається впровадженням сучасних засобів моніторингу стану вантажу газу, які забезпечують підвищення вірогідності процесів моніторингу за рахунок використання принципів часткової інваріантності до зовнішніх ДФ на вимірювання.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення наступних завдань:

1. Визначення завадостійких до впливу експлуатаційних ДФ засобів моніторингу вантажу газу з подальшою оцінкою можливостей корекції вимірювальних погрешностей.
2. Створення математичної моделі оцінювання впливу зміни параметрів на метрологічні характеристики завадостійких та безпечних волоконно-оптичних засобів контролю вологості газу.

Об'єкт, предмет та методи дослідження

Як об'єкт дослідження визначені процеси формування й перетворення інформаційного сигналу у волоконно-оптичному засобі моніторингу вологості газу у складних умовах транспортування.

Відповідно, предметом дослідження є волоконно-оптичні засоби моніторингу, що функціонують у складних умовах експлуатації.

Теоретична частина роботи виконана з використанням: а) системного аналізу й дослідження операцій – при визначенні структурних зв'язків між елементами вимірювального засобу діагностики й декомпозиції об'єкта дослідження; б) теорії оптичних хвильоводів – при розрахунках втрат оптичного випромінювання при зв'язку ділянок оптичного волокна (ОВ); в) методів аналітичного дослідження процесів взаємодії полів хвильоводних елементів – при дослідженні процесів перетворення світлового випромінювання у оптичному чутливому елементі (ЧЕ) під впливом деформацій.

Наукова новизна результатів дослідження

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному.

1. Вперше запропоновані теоретичні основи побудови засобу моніторингу, який, за рахунок обґрунтування й визначення конструкції та застосування матеріалів з особливими властивостями, відрізняється частковою інваріантністю до зовнішніх ДФ, що дозволяє здійснювати безперервний моніторинг вологості газу, підвищити якість та безпечність експлуатації суден-газовозів.
2. Отримав подальший розвиток метод синтезу волоконно-оптичного засобу моніторингу вологості газу, який відрізняється від відомих схемотехнічних рішень оптимізацією сполучення конструктивних параметрів і комбінацією матеріалів, що дозволяє практично здійснювати запропонований спосіб одержання інформації про стан вантажу газу.
3. Отримала подальшого розвитку математична модель волоконно-оптичного засобу моніторингу, яка відрізняється застосуванням модифікованої теорії зв'язаних мод, що дозволяє визначати та корегувати параметри засобу моніторингу за рахунок обліку властивостей реальних матеріалів, технології виробництва та особливостей експлуатації.

Аналіз предмету дослідження та формалізація завдання що розв'язується

На підставі аналізу результатів особливості експлуатації суден-газовозів визначено, що до основних елементів, технічний стан яких лімітує ефективність моніторингу властивостей вантажу, слід віднести, у першу чергу, датчики вологості газу. Надійність, термін використання датчиків багато у чому залежать від умов експлуатації, впливу навколишнього середовища та кількості робочих циклів. На основі дослідження закономірностей зміни технічного стану, причин та видів ушкоджень датчиків вологості газу визначено, що більшість розглянутих ушкоджень елементів датчиків майже не піддаються математичному опису, мають високу швидкість розвитку до критичного стану і складні для виявлення за непрямими діагностичними ознаками дефекти.

Суттєвою проблемою у моніторингу властивостей газів є відсутність стандартизованих табличних залежностей для парціального тиску водяної пари, коефіцієнтів стискальності для водяної пари, залежностей для перерахування одних одиниць вологості в інші. Види існуючих залежностей, що застосовуються у наш час, мають певні відмінності, що є джерелом до некоректної інтерпретації результатів вимірювання приладами різних виробників.

Актуальними є вимірювання вологовмісту при високих тисках газу у вантажних та транспортних системах. Діапазон тисків понад 10 МПа, з позицій гігроскопії майже не забезпечений метрологічно. З оглядом на те, що реальна поведінка газу в таких умовах суттєво відрізняється від визначеної теоретично, створюються умови для неможливості градуїрувці датчиків при нормальних тисках з екстраполяцією результатів на більш високі тиски.

Крім того, актуальним завданням є вимірювання вологості у технологічних газах, що містять домішки вуглеводнів. Вимірювання температури крапки роси в таких газах приводить до недостовірних результатів вимірювання внаслідок неконтрольованого впливу домішок вуглеводнів на температуру крапки роси вологи [2].

На підґрунті проведеного аналізу зроблено наступний висновок. Подальше удосконалення процесів волоконно-оптичного засобу моніторингу вологості газу можливе на основі впровадження рішень, які добре зарекомендували себе в атомній енергетиці, а саме переходу до застосування високоточної вимірювальної техніки, створеної на основі волоконно-оптичних технологій.



Таким чином спрямованість дослідження сформована на основі "запиту практики" про необхідність розробки й впровадження нових засобів моніторингу вологості газів, які забезпечать підвищення вірогідності вимірювальної інформації й зниження невиробничих втрат газотранспортному логістичному комплексу.

Аналіз волоконно-оптичних засобів моніторингу вологості газу

Для обрання схематичного рішення, яке найбільш повно відповідає задачам моніторингу стану вантажу газу на судах-газовозах, виконана оцінка потенційних можливостей волоконно-оптичних вимірювальних перетворювачів вологості газів відомих типів.

Відомий волоконно-оптичний датчик вологості газу, що складається з основи з кварцового скла до якої приварений відрізок перфорованої скляної трубки, віддзеркалюючого шару, утвореного на основі, блоку гігроскопічного матеріалу, розташованого між віддзеркалюючим шаром та спіральною ділянкою основного світловода (рис. 1) [3].

Перша пряма ділянка основного світловода нероз'ємно та коаксіально до скляної трубки прикріплена до віддзеркалюючого шару, а спіральна ділянка розташована концентрично до скляної трубки. До другої прямої ділянки світловода прикріплено біметалеву пластинку та скляну заглушку між світловодом та трубкою.

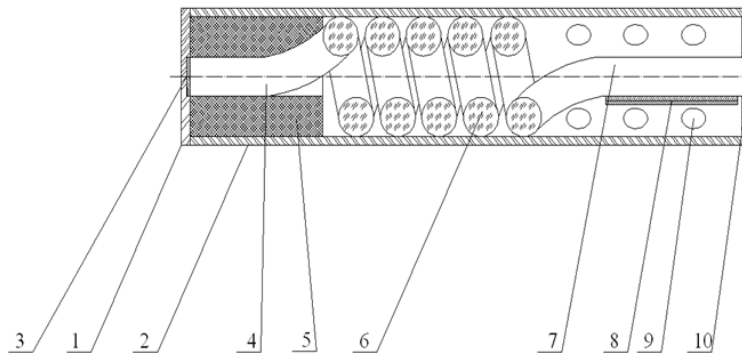


Рис. 1 – Волоконно-оптичний датчик моніторингу вологості газу: 1 – основа, 2 – скляна трубка, 3 – віддзеркалюючий шар, 4 – перша пряма ділянка основного світловоду, 5 – блок з гігроскопічного матеріалу, 6 – спіральна ділянка основного світловоду, 7 – друга пряма ділянка основного світловоду, 8 – біметалева пластинка, 9 – отвори перфорації, 10 – заглушка.

Основна відмінність від існуючих аналогів полягає у тому, що для передачі та прийому світлового випромінювання застосовано єдиний світловод без вільних оптичних поверхонь та для компенсації плинну температури навколишнього середовища застосовано біметалеву пластину.

Недоліком вказаного датчику, що суттєво впливає на його характеристики, є наявність споуки біметалевої пластини та скляного волокна. С часом наявність такої споуки ініціює початок деструктивних процесів у матеріалі світловоду. Інший недолік обумовлений контактом гігроскопічного матеріалу та світловоду, що утворює спіраль. Потрапляння вологи до матеріалу світловоду створює умови для пошкодження поверхні світловоду та порушення ідентичності витків спіралі. Вказані недоліки негативно відбиваються на метрологічних характеристиках датчику.

Більшою мірою вільний від згаданих недоліків волоконно-оптичний датчик вологості газу, що складається з перфорованої колби з кварцового скла до якої прикріплено взаємно зварені заглушка, основний світловод (рис. 2) [4].

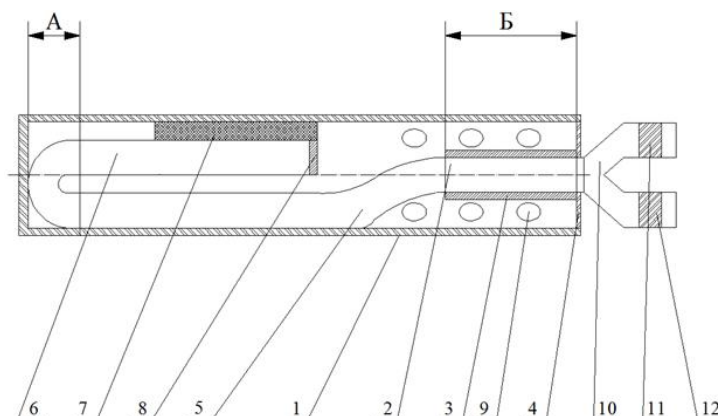


Рис. 2 – Волоконно-оптичний датчик вологості газу: 1 – колба; 2 – основний світловод; 3 – мідна трубка; 4 – заглушка; 5 – первинна гілка світловода; 6 – вторинна гілка світловода; 7 – блок з гігроскопічного матеріалу; 8 – віддзеркалюючий шар; 9 – отвори перфорації; 10 – оптичний розгалужувач; 11 – вхідний оптичний фільтр; 12 – вихідний оптичний фільтр.



До основного світловоду та від якого крізь волоконний розгалужувач з оптичними фільтрами у кожній лінії надходить та відводиться випромінювання. До складу датчика також входить мідна трубка, розташована коаксіально до світловоду, первинної та вторинної гілок світловоду. Блок гігроскопічного матеріалу розташований між вторинною гілкою світловоду та колбою. Віддзеркалюючий шар утворений на торці вторинної гілки світловоду. Відмінністю датчика є те, що первинна і вторинна гілки встановлені з можливістю зміни радіуса згину між ними, а мідну трубку приварено до основного світловода.

Поряд з перевагами, цьому датчику також притаманні певні недоліки. А саме – згинання скляного світловоду під кутом 180° є передумовою зменшення експлуатаційного ресурсу датчику. Це обмежує застосування датчику для вирішення задач моніторингу технологічних газів.

В той же час, встановлено, що розглянуті волоконно-оптичні датчики вологості газу, принцип дії яких заснований на модуляції величини інтенсивності світлового випромінювання під дією вимірюваної величини, найбільш прості, надійні і універсальні за застосуванням. На основі аналізу процесів руйнації скляних матеріалів під впливом фізико-механічних факторів зроблено такі висновки:

- засоби випромінювання у перетворювачах з відкритим або закритим оптичним каналом (ОК) під впливом експлуатаційних дестабілізуючих факторів є джерелом погіршення або деструкції ОВ та волоконного ЧЕ;
- найменшою мірою під вплив підпадають перетворювачі з закритим ОК, а при деформації ЧЕ слід уникати впливу на його бічну сторону;
- необхідне застосування методів автокорекції впливу ДФ на характеристики датчиків вологості [1].

Було запропоновано схемотехнічне рішення, у якому зроблена спроба поєднати властивості, що задовольняють зробленим висновкам.

За основу прийнято одномодовий світловод, вкритий захисним шаром (рис. 3).

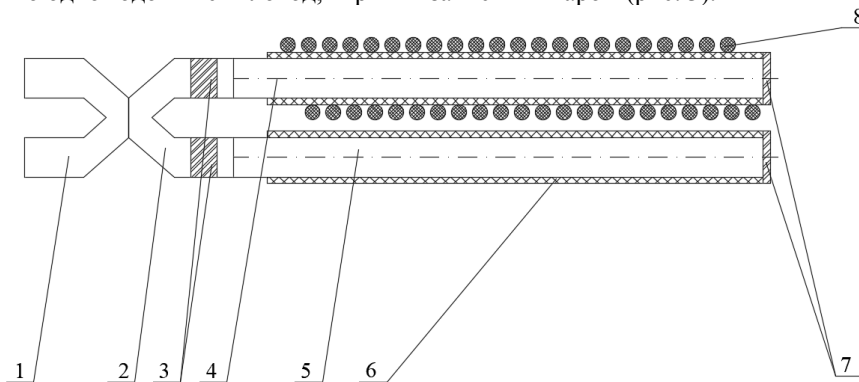


Рис. 3 – Двоканальний оптичний датчик вологості газу: 1 – первинний розгалужувач; 2 – вторинний розгалужувач; 3 – оптичні фільтри; 4 – світловод вимірювального каналу; 5 – світловод контрольного каналу; 6 – захисний шар; 7 – віддзеркалюючий шар; 8 – котушка з гігроскопічного волокна.

На вимірювальному світловоді створена пружна котушка з гігроскопічного волокна – аналога волосся біологічного походження. Волокно, навите на світловод створює у ньому попередню напругу. Контрольний світловод відрізняється відсутністю котушки. Обидва світловода, сполучені з оптичними розгалужувачами з оптичними фільтрами, утворюють контрольний та вимірювальний канал датчика. Захисний шар світловода утворює матеріал, наведений у [5].

Волокно фіксується на світловоді з попереднім натягом. В наслідок чого у світловоді утворюється напруження, яке знаходить своє відбиття у зміні показника профіля заломлення (ППЗ) матеріала світловода. З позицій метода рівних об'ємів сполучення напруженої та ненапруженої частин світловода є аналогом сполучення світловодів з різними апертурами. Після зволоження волокна його довжина збільшується, що ініціює зменшення напруження у світловоді. Тобто створюються умови для зрівнювання апертур двох ділянок вимірювального світловода [6].

Аналіз використовуваних методів підвищення точності й стабільності роботи ВОА показав, що реалізований у пропонованому рішенні метод інваріантних перетворень, заснованих на принципі багатоканальності, забезпечує достатню компенсацію некорельованої складової погрішності перетворювача.

Створення моделі волоконно-оптичного датчика вологості газу

Для дослідження процесів у запропонованому схемотехнічному рішенні волоконно-оптичного датчику вологості газу визначено ряд методів, припущень і математичний апарат. А саме, розглядати ЧЕ як багаточарову структуру, де однорідні зміни профілю показника заломлення, у наслідок деформації, еквівалентні зміні показника заломлення на постійну величину у деякій області поперечного перерізу. Ці процеси визначені з позицій хвильового аналізу, на основі рівнянь Максвелла. Зіставлення ОВ з різним ступенем збурення розглянуті на основі методу показника



заломлення рівного об'єму, а деформації – застосуванням моделі класичної механіки суцільних середовищ, що підкоряються закону Гука для анізотропного тіла [6, 7].

Для якісної й кількісної оцінки цієї взаємодії в оптичних розрахунках застосовується ряд методів. Спрямованості використовуваних методів сформовані з урахуванням двоїстої природи світлового випромінювання й різноманіття форм його транспортування. Ключовими позиціями більшості використовуваних методів є модель поширення світла (геометрична або хвильова) і модель, що імітує ОВ.

Розв'язок завдання модуляції амплітуди оптичного випромінювання шляхом впливу контрольованих процесів на характеристики матеріалу волокна також може бути знайдений кожним з відомих методів. Тому для оптимізації методологічного й математичного апарата, у дослідженні були, у першу чергу, конкретизовані враховані вище позиції. Також були введені припущення й обмеження, що найбільше суттєво впливають на кінцевий результат досліджень, незалежно від обраного методу й способу розв'язку завдання.

В ОВ звичайно не виконується умова малості довжини хвилі світла, що поширюється, у порівнянні з радіусом серцевини волокна й тому променева модель може приводити до значних погрешностей. На відміну від геометричного, хвильовий аналіз оптичних хвилеводів дає можливість розглядати процеси поширення світла не тільки тоді, коли розміри формуючої світлової пучок системи багато більше довжини хвилі, але й при будь-якій співвідношенні між ними. У зв'язку із цим, логічним є моделювання робочих процесів в ОВ на основі його діелектричної апроксимації.

Згідно з теорією, розв'язок рівнянь Максвелла, дозволяє точно визначити хвилеводні характеристики ОВ. Однак розв'язок можна одержати лише чисельними методами, що вимагають значного обсягу обчислювальних робіт.

Для подолання цього утруднення прийняте припущення, згідно з яким ОВ представляється як однорідна серцевина радіусом ρ з матеріалу з показником переломлення n_{co} , оточена нескінченно товстою оболонкою з матеріалу з показником переломлення n_{cl} ($<n_{co}$). Це дозволяє, з попереднім уведенням наближення слабонапрямних хвилеводів, замінити рівняння Максвелла скалярним хвильовим рівнянням.

Друге допущення, засноване на попередньому, – це перехід до гауссового наближення, яке надає можливість одержати аналітичні вираження практично для всіх характеристик поширення хвилі в ОВ з довільним ППЗ [6, 7].

Перетворення гауссова пучка мод є гауссовим за формою, а перетворення однорідного пучка дає циліндричний аналог функції $\sin x/x$. Необхідно відзначити, що інтенсивність $A^2(u)$ дифракційної структури однорідного пучка є майже гауссовою для значень ur_s , менших чому перший нуль функції $J_1(ur_s)$.

У теж час, гауссовий пучок з $\rho \approx 0,75ur_s$ має майже таку ж інтенсивність дифракційної структури, як однорідний пучок радіуса r_s . Функція $A^2(u)$ є майже гауссовою для пучків різних згладжених профілів, проміжних між однорідним і гауссовим. Це означає, що результати й висновки, отримані для гауссового пучка, широко застосовні для будь-яких ОВ з довільним ППЗ. Таким чином, хвильова модель поширення світла в сукупності із прийнятими допущеннями й завдяки своїй універсальності була вибрана базовою у даній роботі.

Згідно з теоремою Ліувілля й закону яскравості, хвилеводна структура, що має M_l мод, що направляються, може зібрати не більш M_l мод, що випромінюються збуджуючою хвилеводною структурою із числом мод M_0 . Цей результат не залежить від типу оптичного зв'язку між хвилеводними структурами. Це дає підставу розглядати, у загальному випадку, завдання узгодження двох хвилеводних структур як порушення приймальної антени деяким заданим полем випромінюючої антени. При однаковій поляризації електричних полів, що збуджує ψ_1 і порушуваної ψ_2 хвиль і при неширокій діаграмі спрямованості двох апертур у наближенні еквівалентним наближенню Кірхгофа ефективність узгодження хвилеводних структур по потужності η є:

$$\eta = Tr \eta_0, \quad (6.1)$$

де Tr – коефіцієнт пропускання, $\eta_0 = \left| \int \psi_1 \psi_2 ds \right|^2$ – ефективність перекриття збуджуючого ψ_0 і порушуваного ψ_1 полів, нормованих так, що $\int |\psi_1| ds = 1$ і $\int |\psi_2| ds = 1$.

Таким чином взаємодію полів деформованої та недеформованої частини світловоду вимірювального каналу можливо розглядати як процес передачі оптичної потужності між хвилеводними структурами, зв'язаними через торцеві поверхні. Якщо поле основної моди збудженої ділянки вимірювального світловода описується гауссовою функцією з відповідним розміром плями пучка ρ_s , тобто

$$F_0(r) = \exp\left(\frac{-r^2}{2\rho_s^2}\right), \quad (6.2)$$

то кожне розузгодження можливо розглядати як відповідним чином орієнтований гауссовий пучок, спрямований на незбудовану ділянку. Частина потужності, втрачена при такому сполученні дорівнює $1 - P_0/P_i$.

Таким чином, для основної моди, поляризованої уздовж осі світловода:

$$\psi_0 = F_0 = \exp\left(\frac{-r^2}{2\rho_s^2}\right), \quad (6.3)$$

де $\rho_0 = \frac{\rho}{\sqrt{V}}$ – розмір плями моди; V – хвилеводний параметр.

Припустивши, що $n_i = n_{co}$, одержимо вираження для частини потужності пучка, що поширюється в основній моді

$$\frac{P_0}{P_i} = \left(\frac{2\rho_s\rho_0}{\rho_s^2 + \rho_0^2}\right)^2. \quad (6.4)$$



Вираз (6.4) описує співвідношення оптичної потужності при порушенні хвилеводу похилим пучком. Такий тип порушення є найбільш загальним випадком порушення поля.

Якщо пучок направляється на торець ОВ під кутом θ_1 до його осі, то

$$\frac{P_1}{P_i} = \left(\frac{2\rho^2}{\rho_s^2}\right) \frac{\left[\int_0^\infty F_1(R) J_1(kR) \exp\left(-\frac{R^2 \rho^2}{2\rho_s^2}\right) R dR\right]^2}{\int_0^\infty F_1^2(R) dR}. \quad (6.5)$$

Якщо при визначенні співвідношення (6.5) гауссовий пучок замінити однорідним з радіусом ρ_s , одержимо аналогічне вираження для слабонапрямого ОВ зі східчастим профілем показника переломлення

$$\frac{P_1}{P_i} = \left(\frac{2\rho^2}{\rho_s^2}\right) \frac{\left[\int_0^{\rho_s} F_1(R) J_1(kR) R dR\right]^2}{\int_0^\infty F_1^2(R) dR}. \quad (6.6)$$

Розглянемо

$$I_1 = \int_0^{\rho_s} F_1(R) J_1(kR) R dR \quad (6.7)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Для } \rho_s/\rho \quad F_1(R) &= J_1(UR)/J_1(U), & 0 \leq R \leq 1 \\ F_1(R) &= K_1(WR)/K_1(W), & 1 \leq R \leq \rho_s/\rho \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_1 = \int_0^{\rho_s} F_1(R) J_1(kr) R dr = I_3 + I_4. \quad (6.8)$$

$$I_3 = (J_1(U))^{-1} \int_0^1 J_1(UR) J_1(kr) R dr, \quad (6.9)$$

де K_1 – функція Бесселя; W – параметр моди у оболонці; U – параметр моди у сердцевині.

Скористаємося інтегралом від добутку функцій Бесселя, тоді (6.9) перетвориться до вигляду

$$I_3 = (J_1(U))^{-1} \left((U^2 - k^2)^{-1} R(k J_1(UR) J_1(kr) - U J_1(kr) J_1(UR)) \right) \Big|_0^1 = \\ = ((k J_1(U) J_1(k) - U J_1(k) J_1(U)) / (J_1(U) (U^2 - k^2))) \quad (6.10)$$

$$I_4 = \int_0^{\rho_s/\rho} \frac{K_1(WR)}{K_1(W)} J_1(kr) R dr. \quad (6.11)$$

Скористаємося інтегралом від добутку функцій Бесселя, тоді

$$I_4 = (K_1(W))^{-1} \left((R(k K_1(WR) J_1(kr) - W J_1(kr) K_1(WR)) / (W^2 + k^2)) \right) \Big|_0^{\rho_s/\rho} = \\ = \rho_s (k K_1(Ws) J_1(k) - W J_1(k) K_1(Ws)) - \rho (k K_1(W) J_1(k) - \\ - W J_1(k) K_1(W)) ((K_1(W) (W^2 + k^2) \rho)^{-1}) \quad (6.12)$$

Якщо повернутися до (6.4), то

$$\frac{P_1}{P_i} = \left(\frac{2\rho^2}{\rho_s^2}\right) \frac{[I_3 + I_4]^2}{I_2} = \frac{[I_3 + I_4]^2 4\rho^2 U^2 K_1^2(W)}{\rho_s^2 K_{1-1}(W) K_{1+1}(W)}. \quad (6.13)$$

Вираз (6.13) ураховує найбільш загальний випадок порушення хвилеводу. Якщо розглядати співвісне розташування пучка й одномодового хвилеводу, то впливає, що буде порушена тільки HE_{11} -мода й $\theta_1 = ks = k = 0$. Прийняття цих обмежень приводить до перетворення (6.13) до вигляду

$$\frac{P_0}{P_i} = \left(\frac{2U}{VW_s}\right)^2 \left[\left(\frac{V^2}{U^2}\right) - \left(\frac{\rho_s - K_1(W_s)}{\rho K_1(W)}\right) \right]^2. \quad (6.14)$$

Під впливом механічних навантажень у результаті ефекту фотопружності світловод стає оптично анізотропним, тобто напрямки головних осей еліпсоїда діелектричної проникності збігаються з напрямками головних осей еліпсоїда напруги. Таким чином, прикладена до світловода навантаження приводить до збільшення щільності матеріалу і, відповідно, до збільшення діелектричної проникності.

Визначимо величини σ і $\Delta\rho$ у сердечнику та оболонці, що відбиває, ОВ. При впливі на поверхню світловода розподіленого тиску намотаного волокна F_b зміна радіуса сердечника $\Delta\rho_{co}$ повинна дорівнювати, за абсолютною величиною, зміні внутрішнього радіуса оболонки. Якщо виникаючий при цьому тиск на сердечник F_a , то величина зміни радіуса сердечника [8-10]

$$\Delta\rho_{co} = -\frac{1-\mu_1}{E_1} F_a \rho, \quad (6.15)$$

а величина зміни радіуса оболонки

$$\Delta\rho_{cl} = \frac{1-\mu_2}{E_2} M a + \frac{1+\mu_2}{E_2} N \rho_{co}^2 \rho_{cl}^2,$$

де μ – коефіцієнт Пуассона; E – модуль Юнга;



$$M = \frac{F_a \rho_{co}^2 - F_b b^2}{\rho_{cl}^2 - \rho_{co}^2}; \quad N = \frac{(F_b - F_a)}{(\rho_{cl}^2 - \rho_{co}^2)}$$

Сила стискування світловода визначається як [10]

$$F = \frac{S_{max}}{\rho_{cl} t},$$

де S_{max} – максимальне статичне напруження волокна; t – крок навивання.

Тоді частина потужності, яка обумовлена перемінною дією сухого/ зволоженого волокна та з урахування майже лінійної залежності величини S_{max} від вологості контролюваного середовища, може бути визначена як

$$P_s = 1 - \left(\frac{2(\rho_{co} + \Delta\rho_{co})(\sqrt{k^2 n_{co}^2 - \beta^2})}{VW_s} \right)^2 \left[\left(\frac{V^2}{((\rho_{co} + \Delta\rho_{co})(\sqrt{k^2 n_{co}^2 - \beta^2}))^2)} - \left(\frac{\rho_s - K_1(W_s)}{\rho K_1((\rho_{co} + \Delta\rho_{co})(\sqrt{\beta^2 - k^2 n_{cl}^2}))^2} \right) \right)^2 \right]$$

З урахуванням результатів досліджень, наведених у [11-13], доцільним є виконання світловодів вимірювального та контрольного каналів зі штучного сапфіру як матеріалу, який забезпечує необхідні механічні характеристики вимірювального пристрою системи для контролю вологості газу (при припустимому діапазоні геометричних розмірів), у всьому робочому діапазоні тиску та температури.

Висновки

1. Визначено, що найбільш завадостійкими до впливу експлуатаційних факторів є волоконно-оптичні засоби моніторингу вологості газу на суднах, які побудовані на основі запропонованої схеми перетворювача з закритим оптичним каналом і захищеним чутливим елементом з зовнішньою навивкою пружного елемента, пружність якого залежить від вологості газового середовища. За результатами оцінки можливостей методів корекції погрешностей обґрунтовано обрання двоканальної схеми засобу моніторингу.

2. Визначена залежність параметрів оптичного, яка є основою математичної моделі засобу моніторингу, та в якій враховані властивості матеріалів та особливості технології виробництва.

Список використаних джерел

- [1]. Сандлер, А. К. Метод підвищення ефективності діагностування технічного стану суднових газотурбінних установок на основі волоконно-оптичних технологій: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Київський університет інфраструктури та технологій. – К., 2021. – 20 с.
- [2]. Пеклер, В. В., Мамонтов, Г. М. Состояние и перспективы развития гигрометров и средств их метрологического обеспечения // Научное приборостроение. – 2003. – Т.13, № 3. – С. 12-18.
- [3]. Патент України № 79525. МПК (2013.01) G02B 6/00 G01N 25/56 (2006.1). Волоконно-оптичний гігрометр / А. К. Сандлер, Ю. М. Цюпко, О. А. Сандлер, К. Ю. Цюпко; заявники та володарі патенту Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М., Сандлер, О. А., Цюпко, К. Ю. – u201212093. – заявл. 24.10.2012; опубл. 25.04.2013, бюл. № 8. – 3 с.
- [4]. Патент України на винахід № 108519. МПК (2015.01) G02B 6/00 G01N 19/10 G01K 5/10. Волоконно-оптичний датчик клімат-контролю для вимірювання вологості і температури / А. К. Сандлер, Ю. М. Цюпко, О. А. Сандлер, К. Ю. Цюпко; заявники та володарі патенту Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М., Сандлер, О. А., Цюпко, К. Ю. – a201306835; – заявл. 31.05.2013; опубл. 12.05.2015, бюл. № 9. – 3 с.
- [5]. Патент РФ RU 2543694. МПК G02B1/10. Защитное покрытие для гигроскопических оптических материалов на основе лазерно-осаждаемых углеродных нанотрубок для целей оптоэлектроники и медицинской техники / Н. В. Каманина, П. Я. Васильев, П. В. Кужаков; Владелец патента Открытое акционерное общество "Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова". – 2013118962/28; – заявл. 23.04.2013; – опубл. 10.03.2015.
- [6]. Снайдер, А., Лав, Д. Теория оптических волноводов. – М.: Радио и связь, 1987. – 656 с.
- [7]. Семенов, А. С., Смирнов, В. Л., Шмалько, А.В. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. – М.: Радио и связь, 1990. – 224 с.
- [8]. Черненко, В. Д. Оптомеханика волоконных световодов. – СПб.: Политехника, 2010. – 291 с.
- [9]. Овчинкин, А. В. Исследование процессов взаимодействия компонентов волоконно-оптического кабеля под воздействием механо-термических нагрузок, возникающих при эксплуатации информационно-измерительных систем: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.16. – Иркутск, 2004. – 145 с.
- [10]. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов по специальности "Подъемно-транспортные машины и оборудование" / М. П. Александров, Л. Н. Колобов, Н. А. Лобов и др.: – М.: Машиностроение, 1986. – 400 с.
- [11]. Сандлер, А. К. Моделирование акселерометра маятникового типа / А. К. Сандлер // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2019. – №1. – Черкаси: ЧДТУ. – С. 75-81.



- [12]. Сандлер, А. К. Оптимізація конструктивних параметрів волоконного акселерометру / А. К. Сандлер // Slovak international scientific journal. – 2020. – № 42. – V.1. – P. 25-31.
- [13]. Сандлер, А. К. Чувствительный элемент волоконно-оптического акселерометра на основе сапфирового стекла / А. К. Сандлер // IX Міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика". Матеріали конференції. – 2019. – С. 27-33.

References

- [1]. Sandler A. K. (2021). Metod pidvyshchennya efektyvnosti diahnostuvannya tekhnichnoho stanu sudnovykh hazoturbinykh ustanovok na osnovi volokonno-optychnykh tekhnolohiy. [Method of improving the efficiency of diagnosis of the technical condition of ship's gas turbines plants based on fiber-optical technologies]. Abstract of dissertation for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.22.20 / State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv. [in Ukraine].
- [2]. Pekler, V. V., Mamontov, G. M. (2003). Sostoyaniye i perspektivy razvitiya gigrometrov i sredstv ikh metrologicheskogo obespecheniya. [Status and development prospects of hygrometers and means of their metrological support]. Nauchnoe priborostroenie. – V.13, No. 3. – S. 12-18. [in Russian].
- [3]. Patent of Ukraine 79525. IPC (2013.01) G02B 6/00 G01N 25/56 (2006.1). Volokonno-optychnyy hihrometr. [Fiber-optic hygrometer] / A. K. Sandler, Yu. M. Tsyupko, O. A. Sandler, K. Yu. Tsyupko; applicants and patent holders Sandler, A. K., Tsyupko, Yu. M., Sandler, O. A., Tsyupko, K. Yu. – u201212093. – dec. 10/24/2012; publ. 04/25/2013, bul. No. 8. – 3 p. [in Ukraine].
- [4]. Patent of Ukraine for invention № 108519. IPC (2015.01) G02B 6/00 G01N 19/10 G01K 5/10. Volokonno-optychnyy datchyk klimat-kontrolyu dlya vymiryuvannya volohosti i temperatury. [Fiber-optic climate control sensor for measuring humidity and temperature] / AK Sandler, Yu. M. Tsyupko, OA Sandler, K. Yu. Tsyupko; applicants and patent holders Sandler, A. K., Tsyupko, Yu. M., Sandler, O. A., Tsyupko, K. Yu. – a201306835; – stated. 31.05.2013; publ. 12.05.2015, bul. № 9. – 3 p. [in Ukraine].
- [5]. RF patent RU 2543694. IPC G02B1/10. Zashchitnoye pokrytiye dlya gigroskopichnykh opticheskikh materialov na osnove lazerno-osazhdayemykh uglerodnykh nanotrubok dlya tseley optoelektroniki i meditsinskoy tekhniki. [Protective coating for hygroscopic optical materials based on laser-deposited carbon nanotubes for optoelectronics and medical technology] / N. V. Kamanina, P. Ya. Vasiliev, P. V. Kuzhakov; Patent holder Open Joint Stock Company "State Optical Institute named after S.I. Vavilov". – 2013118962/28; – dec. 04/23/2013; – publ. 03/10/2015. [in Russian].
- [6]. Snyder, A., Love, D. (1987). Teoriya opticheskikh volnovodov. [Theory of optical waveguides]. – Moscow: Radio i svyaz'. [in Russian].
- [7]. Semenov, A. S., Smirnov, V. L., Shmalko, A. V. (1990). Integral'naya optika dlya sistem peredachi i obrabotki informatsii. [Integrated optics for information transmission and processing systems]. – Moscow: Radio i svyaz'. [in Russian].
- [8]. Chernenko, V. D. (2010). Optomekhanika volokonnykh svetovodov. [Optomechanics of fiber light guides.] – St. Petersburg: Polytechnika. [in Russian].
- [9]. Ovchinkin, A. V. (2004). Issledovaniye protsessov vzaimodeystviya komponentov volokonno-opticheskogo kabelya pod vozdeystviyem mekhano-termicheskikh nagruzok, vznikayushchikh pri ekspluatatsii informatsionno-izmeritel'nykh system. [Investigation of the processes of interaction of fiber-optic cable components under the influence of mechano-thermal loads arising during the operation of information-measuring systems]: dis. ... cand. tech. Sciences: 05.11.16. – Irkutsk. [in Russian].
- [10]. Gruzopod"yemnyye mashiny. [Hoisting machines]: A textbook for universities in the specialty "Hoisting and transport machines and equipment"(1986) / M. P. Aleksandrov, L. N. Kolobov, N. A. Lobov and others: – Moscow: Mashinostroenie. [in Russian].
- [11]. Sandler, A. K. (2019). Modelirovaniye akselerometra mayatnikovogo tipa. [Modeling of a pendulum-type accelerometer]. Cherkasy: Bulletin of the Cherkasy State Technological University. No. 1. –P. 75 – 81. [in Ukraine].
- [12]. Sandler, A. K. (2020). Optymizatsiya konstruktyvnykh parametrov volokonnoho akselerometru. [Optimization of design parameters of the fiber accelerometer]. Bratislava: Slovak international scientific journal. – № 42. VOL.1. – P. 25-31. [in Slovak].
- [13]. Sandler, A.K. (2019). Chuvstvitel'nyy element volokonno-opticheskogo akselerometra na osnove sapfirovogo stekla. [Sensitive element of a fiber-optic accelerometer based on sapphire glass]. Odessa: IX international scientific-methodical conference "Ship`s electrical engineering, electronics and automation". [in Ukraine].

Отримана в редакції 27.10.2021. Прийнята до друку 29.11.2021. Received 27 October 2021. Approved Approved 29 November 2021. Available in Internet 04 December 2021.



УДК 681.513;62.505;621.9.04

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МОДЕЛІ ДИНАМІКИ ШТАНГИ ПЛАТФОРМИ СТЮАРТА

Зозуля В.А.¹, Осадчий С.І.², Каліч В.М.³^{1,2,3} Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна¹к.т.н., доцент, ²д.т.н., проф., ³к.т.н., проф.ORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0003-3793-4686>, ²<https://orcid.org/0000-0002-1811-3594>, ³<https://orcid.org/0000-0002-9907-5496>E-mail: ¹irish38@ukr.net, ²srg2005@ukr.net, ³vmk041954@gmail.com

Copyright © 2021 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

DOI: 10.15673/atbp.v13i4.2200

Анотація. Метою даної статті є розробка зручної інформаційної технології ідентифікації моделі динаміки багатовимірного рухомого об'єкта та збурень, що діють на нього під час функціонування, за даними векторів сигналів керування та сигналів на виході об'єкта, направленої на підвищення надійності отримання результатів обчислення. Для створення інформаційної технології ідентифікації використано прикладне середовище Stateflow Matlab. Відмінною рисою інформаційної технології є підвищена точність та надійність виконання обчислень, які досягнуті за рахунок впровадження нового підходу до процесів факторизації поліноміальних матриць, удосконалення алгоритмів множення поліноміальних, дробово-раціональних матриць відповідно для зменшення втрати вірних значущих цифр за рахунок впорядкування і ранжирування елементарних операндів та для зменшення зростання порядків результатів на основі використання операцій видалення відповідних полюсів праворуч та ліворуч та вводу відповідних нулів праворуч та ліворуч. При виконанні дослідження було створено програмно-технічну систему збору експериментальних даних, для ідентифікації моделі динаміки штанги, що використовуються в платформі Стюарта, на основі LabVIEW з використанням модулів FPGA, SoftMotion та Real-Time. Також, в роботі була проведена ідентифікація моделі динаміки штанги платформи Стюарта та визначена її передаточна функція, а також передаточна функція формуючого фільтра, який при вхідному сигналі у вигляді білого шуму має на виході випадковий процес з заданими статичними характеристиками.

Abstract. The purpose of this article is to develop convenient information technology for identifying the model of the dynamics of a multidimensional moving object and disturbances acting on it during operation, according to the vectors of control signals and signals at the output of the object, aimed at increasing the reliability of the calculation results. The Stateflow Matlab application environment was used to create an information technology for identification. A distinctive feature of information technology is the increased accuracy and reliability of computations, which have been achieved through the introduction of a new approach to the processes of factorization of polynomial matrices, improvement of algorithms for multiplication of polynomial, fractional-rational matrices, accordingly, to reduce the loss of significant digits due to ordering and ranking of elementary operands and to reduce the growth of orders of results by using the operations of removing the corresponding poles from the right and left and entering the corresponding zeros on the right and left. During the study, a software and hardware system for collecting experimental data was created to identify the model of the rod dynamics used in the Stewart platform based on LabVIEW using FPGA, SoftMotion, and Real-Time modules. Also in the work, the identification of the model of the dynamics of the rod of the Stewart platform was carried out and its transfer function was determined, as well as the transfer function of the shaping filter, which, with an input signal in the form of white noise, has a random process at the output with specified static characteristics.

Ключові слова: системи, керування, об'єкт, ідентифікація, штанга, платформа Стюарта, ІТ**Keywords:** system, control, object, identification, rod, Stewart platform, IT

Вступ.

Створення гарантовано конкурентоспроможних систем стабілізації руху складних багатовимірних рухомих об'єктів, які функціонують в умовах дії випадкових неконтрольованих збурень, з мінімальними витратами на проектування одна із головних вимог досягнення успіху на ринку даного класу пристроїв. Як зазначено в монографії [1], одним із найбільш ефективних та перевірених при створенні авіаційної та космічної техніки шляхів виконання такої умови є застосування експериментально-аналітичного підходу до проектування оптимальних систем



стохастичної стабілізації.

Один із факторів успішного застосування такого підходу визначається з одного боку відповідністю алгоритмів ідентифікації структури та параметрів моделі в умовах наближених до реального режиму функціонування дослідного зразка об'єкту, а з іншого - наявністю системи комп'ютерної математики, що дозволяє застосувати алгоритми для автоматизованого проектування оптимальних систем автоматичного керування.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Сьогодні відоме досить широке коло методів ідентифікації моделей динаміки об'єктів керування, які функціонують в умовах дії неконтрольованих центрованих стаціонарних випадкових впливів [1 - 3], за даними «вхід-вихід». Однак, використання відомих методів структурної ідентифікації в САПР обмежено за рахунок підвищеної обчислювальної складності, яка виникає при виконанні математичних операцій з поліноміальними та дробно-раціональними матрицями комплексного аргументу та проявляється у зменшенні надійності одержання результату [4, 5].

В таких умовах коло методів ідентифікації значно звужується. Наприклад, у статті [6] представлений алгоритми ідентифікації динаміки елементів багатовимірної системи стабілізації, де стверджується, що в умовах, коли сигнали в контурі керування належать до множини центрованих стаціонарних випадкових процесів, а шум датчиків має різні джерела походження зі збуреннями на систему, то можна однозначно визначити матриці дробово-раціональних функцій формувача збурення та знайти систему звичайних диференціальних рівнянь мінімального порядку, яка характеризує динаміку об'єкта керування. У той же час відсутні інформаційні технології ідентифікації для оцінки динаміки об'єктів керування, які б допомогли в вирішенні проблеми складності виконання таких розрахунків.

Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є розробка зручної інформаційної технології ідентифікації моделі динаміки багатовимірного рухомого об'єкта та збурень, що діють на нього під час функціонування, за даними векторів сигналів керування та сигналів на виході об'єкту, направленої на підвищення надійності отримання результатів обчислення.

Для досягнення цієї мети згідно роботи [1] було поставлено та розв'язане завдання побудови алгоритму підготовки до розв'язання задачі ідентифікації та її інформаційної технології.

У термінах роботи [1], нехай на вході об'єкта керування діють m -вимірний вектор сигналів керування u_0 та p -вимірний вектор білого шуму одиночної інтенсивності Δ . На виході об'єкта діє n -вимірний вектор сигналів виходу x_1 (рис.1).

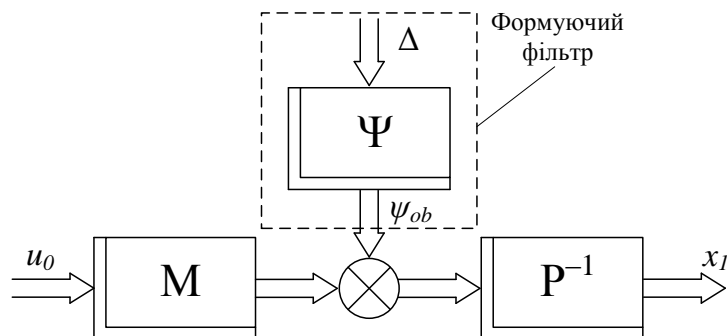


Рис. – Структурна схема об'єкта ідентифікації:

P, M - поліноміальні матриці від оператора диференціювання s відповідного розміру, ψ_{ob} – вектор центрованих стаціонарних випадкових збурень

Fig. 1 – Block diagram of the identification object

Вважається, що вектор збурень ψ_{ob} може бути зображений як:

$$\psi_{ob} = \Psi \Delta,$$

де Ψ – шукана матриця розмірності $n \times n$, елементи якої – оператори функції від s . Вектор ψ_{ob} формується з вектора шумів Δ лінійним стійким фільтром з матрицею передаточних функцій Ψ . Також, вектори корисних сигналів і збурень являють собою багатовимірні стаціонарні випадкові процеси з нульовими математичними сподіваннями і дробово-раціональними матрицями спектральних і взаємних спектральних щільностей $S_{x_1 x_1}, S_{u_0 u_0}, S_{x_1 u_0}, S_{u_0 x_1}$, які вже отримані за даними випробувань.

Задача отримання динамічних характеристик багатовимірного рухомого об'єкта і вектора збурень, полягає у наступному: за даними вимірюваних вхідного u_0 і вихідного векторів x_1 необхідно вибрати блокову матрицю-рядок передаточних функцій Φ так, щоб вона мінімізувала показник якості ідентифікації:

$$J = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr}(S'_{\varepsilon\varepsilon} R) ds,$$

де $S'_{\varepsilon\varepsilon}$ - транспонована матриця спектральних щільностей вектору похибок ідентифікації ε ; R – симетрична додатково визначена вагова матриця.

**1. Методи та матеріали досліджень**

Алгоритм підготовки до розв'язання задачі ідентифікації моделі динаміки багатовимірного рухомого об'єкта, складається з виконання наступних етапів:

1. Введення системи звичайних диференціальних рівнянь, що характеризує динаміку об'єкта керування:

$$P x_1 = M u_0 + \psi_{06}, \quad (1)$$

2. Введення вектору похибок ідентифікації ε , який дорівнює

$$\varepsilon = x_1 - \Phi \zeta; \quad (2)$$

де Φ – блочна матриця передаточних функцій об'єкта ідентифікації від розширеного вектору вхідних сигналів $\zeta = \begin{bmatrix} u_0 \\ \Delta \end{bmatrix}$.

3. Знаходження зв'язку транспонованої матриці спектральних щільностей похибок ідентифікації $S'_{\varepsilon\varepsilon}$ з блочною матрицею Φ , на основі теореми Вінера-Хінчина у векторній формі [7], застосованої до вектору (2):

$$S'_{\varepsilon\varepsilon} = S'_{x_1 x_1} - S'_{\zeta_1} \Phi_* - \Phi S'_{x_1 \zeta} + \Phi S'_{\zeta \zeta} \Phi_*, \quad (3)$$

де $S'_{x_1 x_1}$ – транспонована матриця спектральних щільностей випадкового процесу x_1 ; S'_{ζ_1} – транспонована матриця взаємних спектральних щільностей між векторними випадковими процесами ζ та x_1 ;

$$S'_{\zeta \zeta} = \begin{bmatrix} S_{u_0 u_0} & 0 \\ 0 & S_{\Delta \Delta} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$S'_{\zeta x_1} = (S'_{u_0 x_1}, S'_{\Delta x_1}). \quad (5)$$

4. Визначення матриці взаємних спектральних щільностей $S_{\Delta x_1}$ через вихідні дані. Для цього, враховуючи матриці $S'_{\zeta x_1}$, $S'_{\zeta \zeta}$ та проводячи деякі перетворення, отримуємо рівняння зв'язку

$$S_{x_1 \Delta} S_{\Delta \Delta}^{-1} S_{\Delta x_1} = S_{x_1 x_1} - S_{x_1 u_0} S_{u_0 u_0}^{-1} S_{u_0 x_1}.$$

Для відшукування функції $S_{\Delta x_1}$ необхідно факторизувати матрицю $S_{x_1 \Delta} S_{\Delta \Delta}^{-1} S_{\Delta x_1}$, враховуючи специфіку вектора Δ як вектора одиничних білих шумів [8].

5. Визначення першої варіації функціоналу якості ідентифікації δJ , при умові мінімізації на класі стійкої та фізично реалізованої матриці Φ ;

$$\delta J = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr} \left[R_0 \left(-R_0 S'_{\zeta_1} D_*^{-1} + R_0 \Phi D \right) D_* \delta \Phi_* + R_0 \left(-S'_{x_1 \zeta} R_0 D^{-1} + S'_{\zeta \zeta} \Phi_* R_0 D_* \right) \delta \Phi D \right] ds, \quad (6)$$

де δJ , $\delta \Phi$ – варіації відповідних функцій; R_0 – результат факторизації матриці R , $R = R_0 R_0$.

6. Визначення комплексної змінної матриці D , як результат вінеровської факторизації:

$$D D_* = S'_{\zeta \zeta}. \quad (7)$$

7. Розрахунок $T_0 + T_+$ в результаті сепарації:

$$T = T_0 + T_+ + T_- = S'_{\zeta_1} D_*^{-1}. \quad (8)$$

де T_0 – елементи матриці полінома s ; T_+ – елементи матриці, правильні дроби з полюсами тільки в лівій півплощині.

8. Обчислення блоків матриці Φ (оптимальні структури матриць передатних функцій об'єкта ідентифікації Φ_{11} і фільтра Ψ , який формує динамічні характеристики збурення, приведенного до виходу системи - Φ_{12}):

$$\Phi = [\Phi_{11} \quad \Phi_{12}] = R_0^{-1} [T_0 + T_+] D^{-1}. \quad (9)$$

9. Визначення динамічних властивостей матриці P застосовуючи операцію однобічного видалення полюсів матриць Φ_{11} і Φ_{12} , після цього знаходиться матриця M :

$$M = \check{P} \Phi_{11}, \quad (10)$$

10. Обчислення матриці спектральних щільностей збурюючого впливу:

$$S'_{\psi \psi} = \check{P} \Phi_{11} \Phi_{21} \check{P}_*. \quad (11)$$

Обґрунтований вище алгоритм дозволяє запропонувати інформаційну технологію ідентифікації моделі динаміки багатовимірного рухомого об'єкта, до складу якої повинні входити процедури додавання та множення поліноміальних та дробово – раціональних матриць, вінеровської факторизації, вінеровської сепарації дробово – раціональних матриць, знаходження дисперсійних інтегралів.

Для створення інформаційної технології ідентифікації використано прикладне середовище Stateflow Matlab, яка показала високу ефективність [9] при вирішенні задач проектування багатовимірних систем автоматичного керування. Stateflow є інтерактивним інструментом розробки в області моделювання складних, керованих подіями систем, що характеризуються складною поведінкою. Програмний засіб Stateflow є розширенням системи Matlab Simulink та забезпечує можливість формування кінцевих автоматів шляхом побудови ієрархічних моделей у вигляді підсистем.



В системі Stateflow створена відповідна діаграма потоків, що реалізує інтерактивний процес ідентифікації моделі динаміки платформи Стюарта (рис. 2).

Блок Ratchet в Stateflow включено в модель системи Simulink.

Відмінною рисою інформаційної технології виконання етапів ідентифікації моделі динаміки багатовимірного рухомого об'єкта є підвищена точність та надійність виконання обчислень, які досягнуті за

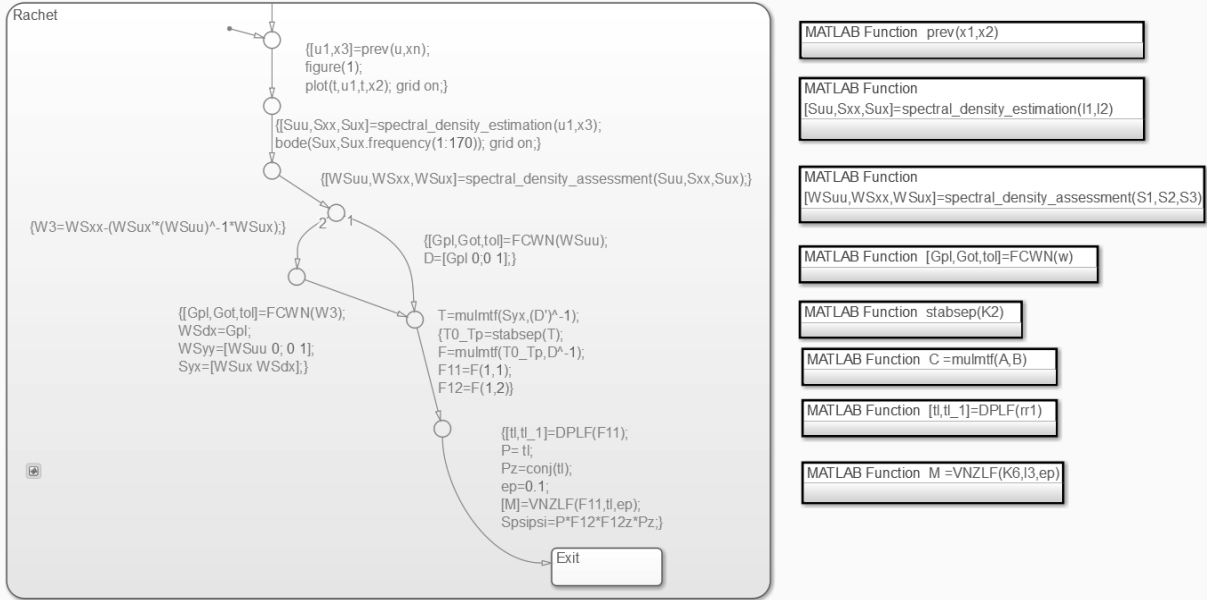


Рис. 2 – Діаграма потоків, яка реалізована в Stateflow
Fig. 2 – Flowchart implemented in Stateflow

рахунок впровадження нового підходу до процесів факторизації поліноміальних матриць (функція FCWN (рис. 2)) та обчислювального алгоритму, побудованого на його основі, удосконалення алгоритмів множення поліноміальних матриць (функція Mulmtf (рис. 2)) з системи розрахунків Stateflow Matlab для зменшення втрати вірних значущих цифр за рахунок відповідного впорядкування і ранжирування елементарних операндів (функція Stabsep (рис. 2)), множення дробово-раціональних матриць (функція Mulmtf (рис. 2)) для зменшення зростання порядків результатів на основі використання операцій видалення відповідних полюсів праворуч та ліворуч (функції DPRT та DPLF (рис. 2)) та вводу відповідних нулів праворуч та ліворуч (функції VNZRT та VNZLF (рис. 2)).

2. Динаміка штанги платформи Стюарта за результатами структурної ідентифікації

При виконанні дослідження було створено програмно-технічну систему збору експериментальних даних, для ідентифікації моделі динаміки штанги, що використовуються в платформі Стюарта [10].

Штанга платформи Стюарта (рис. 3) прикріплена до столу через карданний підвіс 1 з електродвигуном та кульково-гвинтовою парою (КГП), гвинт 2 якої прикріплено до каретки з навантаженням 3, що встановлена на рейки. Каретка 3 має кулькові передачі, які зменшують тертя ковзання. Гайка 4 КГП жорстко закріплена до порожнистого валу 5, що обертається у підшипниках корпусу 6. На гайку 4 жорстко встановлено магнітне кільце 7 з нанесеними радіально магнітними полюсами довжиною 2 мм, інкрементального магнітного кільцевого енодера LM13 (фірми RLS Merilna Tehnika d.o.o.) [11], в комплекті якого є компактна зчитуюча головка 8. У корпусі 6 запресовані вісі 9, які мають можливість обертатися у голкових підшипниках, розміщених у отворах карданного підвісу 1. Таким чином, карданний підвіс має дві взаємно перпендикулярні осі обертання, які перетинаються у точці, що знаходиться на осі гвинта. До корпусу 6 прикріплений кронштейн 10 з електродвигуном 11, на валу якого закріплений шків 12 зубчато-пасової передачі, яка передає обертання порожнистому валу 5 і гайці 4 гвинтової передачі. В якості електропривода використовується багатофункціональний сервопривод змінного струму серії EP2 з серводвигуном 80ST-M04025 фірми HANGZHOU MIGE ELECTRIC CO., LTD.

Програмно-технічна частина системи збору експериментальних даних була побудована на LabVIEW з використанням модулів FPGA, SoftMotion та Real-Time. В якості апаратної частини було взято персональний комп'ютер з багатofункціональним реконфігурованим пристроєм I/O на базі ПЛІС (FPGA) NI PCI-7833R з Virtex-II 3M Gate FPGA, який приєднується до сервоприводу та енодеру LM13 да допомогою Spring-Screw Terminals - SCB-68.

Експеримент був побудований наступним чином, генератор білого шуму з програми в LabVIEW формує вхідний сигнал керування сервоприводу. Діапазон цього сигналу обмежено діапазоном переміщення гвинта КГП.

За допомогою сигналу керування здійснюється рух гвинта КГП з кареткою та навантаженням, а енодер LM13 вимірює обертання гайки КГП (тобто переміщення гвинта КГП) та передає інформацію до програми в LabVIEW. В результаті отримано два масиви точок вхідного сигналу та реакції штанги платформи Стюарта на цей сигнал, які були введені в програму MATLAB. Ці сигнали є вхідними параметрами блоку Ratchet в Stateflow.

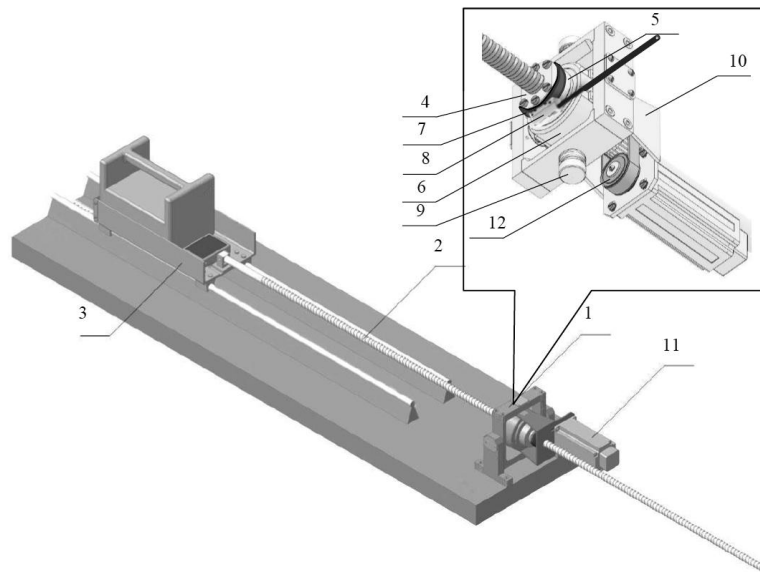


Рис. 3 – Дослідний зразок штанги платформи Стюарта
Fig. 3 – Stewart platform rod prototype

Після попередньої обробки (функція prev (рис. 2)) сигнали керування та реакції представлені на рисунку 4.

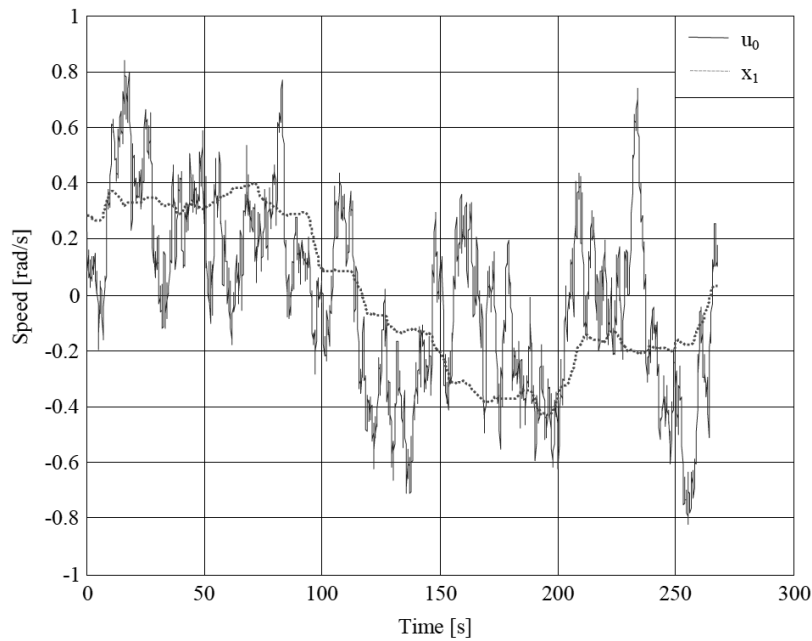


Рис. 4 – Значення вхідного та вихідних сигналів системи
Fig. 4 – The value of input and output signals of the system

Далі за допомогою функції spectral_density_estimation (рис. 2) було визначено: спектральна щільність вхідного сигналу $S_{u_0 u_0}$ за:

$$S_{u_0 u_0} = \frac{-0.016231}{(s + 0.2)(s - 0.2)};$$

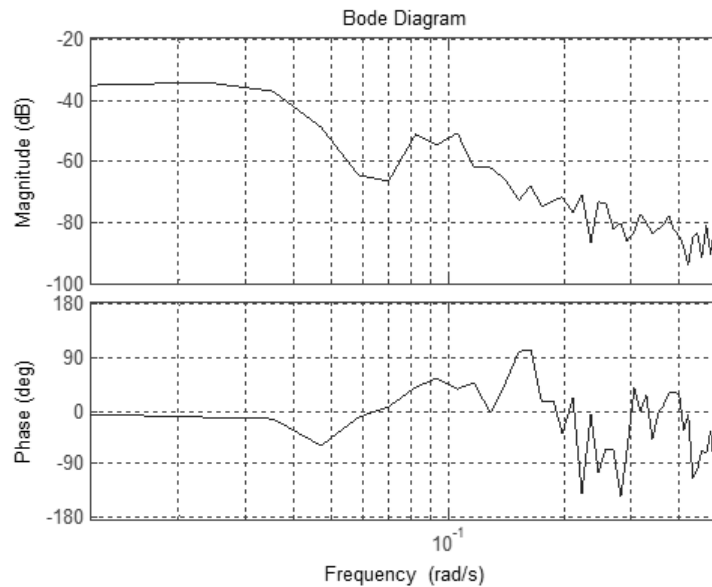
спектральна щільність вихідного сигналу $S_{x_1 x_1}$:

$$S_{x_1 x_1} = \frac{4.7258^{-8}(s + 0.1)(s - 0.1)}{(s - 0.4)(s + 0.4)(s + 0.2)(s - 0.2)};$$

взаємна спектральна щільність сигналу $S_{u_0 x_1}$

$$S_{u_0 x_1} = \frac{-2.769^{-5}}{(s + 0.04)(s + 0.2)(s - 0.2)}$$

яка має вигляд (рис. 5).

Рис. 5 – Взаємна спектральна щільність сигналу $S_{u_0x_1}$ Fig. 5 – Mutual spectral signal density $S_{u_0x_1}$

Завдяки процедурі spectral_density_assessment (рис. 2) були визначені оцінки цих щільностей.

Згідно 3-го пункту алгоритму ідентифікації (4) та відповідних потоків в блоці Ratchet в Stateflow, з використанням вінеровської факторизації поліноміальних матриць (функція FCWN (рис. 2)) при $S_{\Delta\Delta} = 1$, підставивши спектральну щільність вхідного сигналу $S_{u_0u_0}$ отримуємо:

$$S'_{\xi\xi} = \begin{bmatrix} -0.016231 & 0 \\ (s+0.2)(s-0.2) & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Згідно 4-го пункту алгоритму ідентифікації, провівши факторизацію матриці $S_{x_1\Delta} S_{\Delta\Delta}^{-1} S_{\Delta x_1}$, за допомогою функції FCWN (рис. 2), отримали:

$$S'_{\Delta x_1} = \frac{0.00021739s}{(s+0.004)(s+0.02)}.$$

Після цього, підставляється $S'_{\Delta x_1}$ та $S'_{u_0x_1}$ в (5) та отримується:

$$S'_{\xi x_1} = \begin{bmatrix} -2.769 \cdot 10^{-5} & 0.00021739s \\ (s+0.04)(s+0.2)(s-0.2) & (s+0.02)(s+0.004) \end{bmatrix}.$$

Згідно 6-го пункту алгоритму ідентифікації, виконавши факторизацію матриці $S'_{u_0u_0}$, за допомогою функції FCWN (рис. 2), отримали:

$$D = \begin{bmatrix} d_u & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad d_u = \frac{0.1274}{(s+0.2)};$$

Далі згідно 7-го пункту алгоритму ідентифікації (8), маючи дробно-раціональні матриці $S'_{\xi x_1}$ та D , вони перемножуються за допомогою функції Mulmtf (рис. 2), а після цього виконується вінеровська сепарація (функція Stabsep (рис. 2)), в результаті чого отримується матриця:

$$T_0 + T_+ = \begin{bmatrix} 0.00021739 & 0.00021739s \\ (s+0.2)(s+0.04) & (s+0.02)(s+0.004) \end{bmatrix}.$$

Вводячи позначення $R_0=1$, відповідно до 8-го пункту алгоритму ідентифікації (9), перемноживши дробно-раціональні матриці $(T_0 + T_+)$ та D^{-1} за допомогою функції Mulmtf (рис. 2), одержується матриця Φ :

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.0017063 & 0.00021739s \\ (s+0.04) & (s+0.02)(s+0.004) \end{bmatrix}.$$

де Φ_{11} - оптимальна структура матриці передаточної функції об'єкта ідентифікації:

$$\Phi_{11} = \frac{0.0017063}{(s+0.04)},$$

Φ_{12} - оптимальна структура матриці передаточної функції фільтра, який формує динамічні характеристики збурення,



приведеного до виходу системи:

$$\Phi_{12} = \frac{0.00021739s}{(s + 0.02)(s + 0.004)}$$

Далі згідно 9-го пункту алгоритму ідентифікації, застосовуючи операцію однобічного видалення полюсів матриць Φ_{11} і Φ_{12} , за допомогою функції DPLF (рис. 2), одержується поліноміальна матриця P , яка дорівнює:

$$P = (s + 0.04).$$

Після цього знаходиться матриця M :

$$M = 0.0017063.$$

Відповідно до 10-го пункту алгоритму ідентифікації (11), застосували операцію вводу нулів ліворуч за допомогою функції VNZLF (рис. 2), була отримана матриця спектральних щільностей збурюючого впливу:

$$S'_{\psi\psi} = \frac{4.7258 \cdot 10^{-8} s^2 (s + 0.04)(s - 0.04)}{(s + 0.02)(s - 0.02)(s + 0.004)(s - 0.004)}$$

Висновки

В роботі була проведена ідентифікація моделі динаміки штанги платформи Стюарта та визначена її передаточна функція, а також передаточна функція формуючого фільтра, який при вхідному сигналі у вигляді білого шуму має на виході випадковий процес з заданими статичними характеристиками.

На основі відомих частотних алгоритмів структурної ідентифікації отримано нову інформаційну технологію, яка дозволяють знаходити порядок та параметри лінеаризованої системи звичайних диференціальних рівнянь багатовимірного об'єкта та матриці спектральних щільностей збурень, які діють на нього в умовах роботи наближених до реального режиму функціонування дослідного зразка об'єкта.

Відмінною рисою інформаційної технології виконання етапів ідентифікації моделі динаміки багатовимірного рухомого об'єкта є підвищена точність та надійність виконання обчислень, які досягнуті за рахунок впровадження нового підходу до процесів факторизації поліноміальних матриць та обчислювального алгоритму, побудованого на його основі, удосконалення алгоритмів множення поліноміальних матриць з системи розрахунків Stateflow Matlab для зменшення втрати вірних значущих цифр за рахунок відповідного впорядкування і ранжирування елементарних операндів, множення дробово-раціональних матриць для зменшення зростання порядків результатів на основі використання операцій видалення відповідних полюсів праворуч та ліворуч та вводу відповідних нулів праворуч та ліворуч.

Перелік використаних джерел

- [1].Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации: Монография / В.Н. Азарсков та ін.; за заг. ред. Блохина Л.Н. К.: Книжное издательство НАУ, 2006. 440с.
- [2].Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.2: Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2004.640с.
- [3].Технологи конструирования современных конкурентоспособных комплексов управления стохастическим движением объектов: Монография / Л.Н. Блохин, С.И. Осадчий, А.К. Дидык и др. – Кировоград: издатель-Лисенко В.Ф., 2015. 284с.
- [4].Осадчий С.И. Автоматизация динамического проектирования оптимальных багатовимірних робастних систем стохастичної стабілізації. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кировоград, 2010. ч.1 (№40). С.25-34.
- [5].Осадчий С.И. Нерекурсивный комбинированный алгоритм факторизации полиномиальных матриц. Научно-технический журнал «Авиационно-космическая техника и технология». 2009. №6(63). С. 54-59.
- [6].Osadchy Sergei I., Zozulia Valerii A. Passive identification of multivariable stabilization system elements' dynamics. Automation of Technological and Business Processes. 2020. Vol. 12, Issue 1. pp. 32 – 40. <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i1.1701>
- [7].Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). Пер. с англ. И.Г. Абрамовича и др. М.: Наука, 1977. 831с.
- [8].Алиев Ф.А., Бордюг В.А., Ларин В.Б. Временные и частотные методы синтеза оптимальных регуляторов. Баку: Ин-т физики АН Азербайджанской ССР, 1988. 46с.
- [9].Дэбни Дж., Харман Т.Л. Simulink 4. Секреты мастерства. Пер. с англ. М.Л. Симонова. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. 403 с.
- [10].Розробка фізичної моделі верстата на основі механізму паралельної структури з системою керування приводами переміщення робочого органа: Звіт по НДДКР Кировоградський національний технічний університет. № ДР 0109U00210, облік. № 0211U005056. – Кировоград, 2011. 176с.
- [11].Брошюра по бесконтактным энкодерам L-9517-9494-01-А. URL: http://www.koda.ua/download/Brosura_Enkodery_Renishaw_Azyk_-_russskiy.pdf (дата звернення: 11.12.2021)

References

- [1]. Azarskov V.N., Blokhin L.N., Zhitetskiy L.S. Metodologiya konstruirovaniya optimal'nykh sistem stokhasticheskoy stabilizatsii: Monografiya. K.: Knizhnoye izdatel'stvo NAU, 2006. 437s.



- [2]. Metody klassicheskoy i sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya: Uchebnik v 5-i tt.; 2-ye izd., pererab. i dop. T.2: Statisticheskaya dinamika i identifikatsiya sistem avtomaticheskogo upravleniya / Pod red. K.A. Pupkova and N.D. Egupova. – M.: Izdatel'stvo MGTU im. Baumana, 2004. 640s.
- [3]. Tekhnologi konstruirovaniya sovremennykh konkurentosposobnykh kompleksov upravleniya stokhasticheskim dvizheniyem ob"yektov: Monografiya / L.N. Blokhin, S.I. Osadchyy, A.K. Didyk i dr. – Kirovograd: izdatel'-Lisenko V.F., 2015. 284s.
- [4]. Osadchyy S.I. Avtomatyzatsiya dynamichnoho proektuvannya optymal'nykh bahatovymirnykh robastnykh system stokhastychnoyi stabilizatsiyi. Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya sil's'kohopodars'kykh mashyn: Zahal'noderzhavnyy mizhvidomchyy naukovo-tekhnichnyy zbirnyk, vypusk 40. ch.1 - Kirovohrad, 2010. S.25-34.
- [5]. Osadchyy S.I. Nerekursivnyy kombinirovannyi algoritm faktorizatsii polinomial'nykh matrits. Nauchno-tekhnicheskyy zhurnal «Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya» №6(63). 2009. S. 54-59.
- [6]. Osadchy Sergei I., Zozulia Valerii A. Passive identification of multivariable stabilization system elements' dynamics. Automation of Technological and Business Processes. – 2020. Vol. 12, Issue 1. pp. 32 – 40. <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i1.1701>
- [7]. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike (dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov). Per. s angl. I.G. Abramovicha i dr. M.: Nauka, 1977. 831s.
- [8]. Aliyev F.A., Bordyug V.A., Larin V.B. Vremennyye i chastotnyye metody sinteza optimal'nykh regulyatorov. Baku: In-t fiziki AN Azerbaydzhanskoj SSR, 1988. 46s.
- [9]. Debni Dzh., Kharman T.L. Simulink 4. Sekrety masterstva. Per. s ang. M.L. Simonova. M.: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2003. 403 s.
- [10]. Rozrobka fizychnoyi modeli verstata na osnovi mekhanizmu paralel'noyi struktury z systemoyu keruvannya pryvodamy peremishchennya robochoho orhana: Zvit po NDDKR Kirovohrads'kyy natsional'nyy tekhnichnyy universytet. № DR 0109U00210, oblik. № 0211U005056. Kirovohrad, 2011. 176s.
- [11]. Broshyura po beskontaktnym enkoderam L-9517-9494-01-A. URL: http://www.koda.ua/download/Brosura_Enkodery_Renishaw_Azyk_-_russkiy..pdf (data zvernennya: 11.12.2021)

Отримана в редакції 08.11.2021. Прийнята до друку 29.11.2021. Received 08 November 2021. Approved 29 November 2021. Available in Internet 04 December 2021.

УДК 004.925.4

MIP MAPPING THE VIRTUAL ENVIRONMENT FOR COMPUTER GAMES

Mykhaylov P.¹, Chekhmestruk R.Y.², Romanyuk O.N.³, Kotlyk S.V.⁴

¹CEO 3D GNERATION GmbH, Dortmund, Germany, ²3D GENERATION UA, Vinnytsia, Ukraine, ³Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ⁴Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
 ORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0001-5861-5970>, ²<https://orcid.org/0000-0002-5362-8796>, ³<https://orcid.org/0000-0002-2245-3364>, ⁴<https://orcid.org/0000-0001-5365-1200>
 E-mail: ¹pm@3dgeneration.com, ²Rc.ua@3dgeneration.com, ³rom8591@gmail.com, ⁴sergknet@gmail.com

Copyright © 2021 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: 10.15673/atbp.v13i4.2220

Abstract. The paper describes how MIP-mapping and paging can be used to represent not only terrain imagery, but also terrain elevation. Previously the only things missing to implement Earth coverage were computing power, input/output bandwidth, graphics processing units (GPUs) and techniques to deal with large data sets. The article describes the rendering method that uses the GPU for most of the calculations. Modern graphics accelerators for personal computers allow you to solve problems that require the generation of images of the visual environment of photographic quality in real time. High-quality visualization of large continuous spaces of 3D vegetation is one of the requirements when creating most land transport simulators, as well as many virtual reality applications. Representation of large forest spaces in the form of free-standing tree models that have an acceptable visual quality for close-up display from the observer, it is impossible due to the huge number of primitives required for visualization. The article proposes use parallel calculations in GPU to accelerate rendering. We successfully integrated proposed visualization method into the standard rendering pipeline. For considered tests the



application with GPU average ten times faster, than the version using only CPU. The proposed method takes into account the features of the architecture of modern GPUs and allows you to distribute the load on the display between the CPU and GPU. In this case, the method does not require significant resources for visualization. The implementation of the method showed that received speed in most cases is sufficient for the effective application of the method in computer games. The paper also proposes a method for high-quality visualization of large continuous spaces of 3D vegetation.

Анотація. У статті описується, як MIP-текстурування та пейджинг можуть бути використані для представлення не тільки зображень місцевості, але й висоти рельєфу місцевості. Раніше для реалізації покриття землі не вистачало лише обчислювальної потужності, пропускну здатності введення/виведення, графічних процесорів (GPU) і методів роботи з великими наборами даних. У статті описується метод візуалізації, який використовує графічний процесор для більшості обчислень. Сучасні графічні прискорювачі для персональних комп'ютерів дозволяють вирішувати задачі, що вимагають генерування зображень візуального середовища фотографічної якості в режимі реального часу. Якісна візуалізація великих безперервних просторів 3D рослинності є однією з вимог при створенні більшості симуляторів наземного транспорту, а також багатьох додатків віртуальної реальності. Представлення великих лісових просторів у вигляді окремо стоячих моделей дерев, які мають прийнятну візуальну якість для відображення з боку спостерігача крупним планом, неможливо через величезну кількість примітивів, необхідних для візуалізації. У статті пропонується використовувати паралельні обчислення в GPU для прискорення візуалізації. Ми успішно інтегрували запропонований метод візуалізації в стандартний конвеєр візуалізації. Для розглянутих тестів програма з GPU в середньому в десять разів швидше, ніж версія, що використовує тільки CPU. Запропонований метод враховує особливості архітектури сучасних графічних процесорів і дозволяє розподілити навантаження на дисплей між CPU і GPU. У цьому випадку метод не потребує значних ресурсів для візуалізації. Реалізація методу показала, що отриманої швидкості в більшості випадків достатньо для ефективного застосування методу в комп'ютерних іграх. Також у роботі запропоновано метод якісної візуалізації великих безперервних просторів 3D рослинності.

Keywords: mip-mapping, height maps, irregular mesh, vegetation.

Ключові слова: MIP-текстурування, карти висот, нерегулярна сітка, рослинність

1. Introduction

There have been remarkable advances in image generation since paper “Pyramidal Parametrics” [1] – or have there been? Although paper [1] is best remembered for its introduction of texture MIP-mapping, a method intended to increase image-generation speed and reduce rendering artifacts; it also introduced pyramidal data structures, parametric interpolation, highlight anti-aliasing and levels of detail in surface representation. MIP is an acronym for multum in parvo – Latin for “much in little”.

The paper [1] planted the seeds and set everything in place to allow image generators to process and render the entire Earth’s surface, imagery and terrain skin. At the time the paper was written, the only things missing to implement Earth coverage were computing power, input/output bandwidth, graphics processing units (GPUs) and techniques to deal with large data sets.

One such technique was put forth in paper [2]. The paper proposed a method to structure very large textures such that an image generator could page –in– only the visible portion of the texture’s entire MIP-map, simplifying the texture paging process and enabling the creation of large, geospecific-imagery-based terrain databases.

Modern graphics accelerators for personal computers allow you to solve problems that require the generation of images of the visual environment of photographic quality in real time. High-quality visualization of large continuous spaces of 3D vegetation is one of the requirements when creating most land transport simulators, as well as many virtual reality applications. Representation of large forest spaces in the form of free-standing tree models that have an acceptable visual quality for close-up display from the observer, it is impossible due to the huge number of primitives required for visualization. The representation of large areas of the forest, in the form of a textured surface, which is acceptable for visualizing a forest located far from the observer, becomes unacceptable as you approach it. Thus, it is necessary to have a continuous representation of the 3D vegetation visual model, which allows, on the one hand, displaying them in real time using modern graphics accelerators, and having, on the other hand, an acceptable visual quality at all levels. the visualization space. As well in this paper, we present a method for high-quality visualization of large continuous spaces of 3D vegetation, which allows you to evenly distribute the visualization load between the CPU and GPU.

2. Triangulated Irregular mesh

Most GPU-s have used MIP-mapping and derived techniques only to texture terrain and three-dimensional models. They also offer various paging schemes allowing the efficient rendering of large, high fidelity, geospecific-imagery-based terrain databases. Most do not, however, use MIP-mapping techniques to create and render terrain skins. There are two major reasons for this: First, it is often believed that image-generator performance is directly proportional to the number of polygons in a rendered scene; second, to enhance the accuracy of the terrain, 2-D features such as roads, rivers and lakes are integrated in the terrain.

To reduce the number of rendered polygons, current state-of-the-art visual databases are built using a tiled triangulated irregular network to represent their terrain skin. Triangulated irregular network are created using digital elevation maps constrained by 2-D vector information in the form of point features, lineal features and aerial features. In those databases, terrain is usually stored as tiled blocks with few levels of detail – typically, three or four. Triangulated irregular network have



the advantage of accurately positioning terrain peaks and valleys. They also allow fine resolution and coarser resolution features, such as winding rivers on rolling hill terrain, to coexist while maintaining a low polygonal count.

Triangulated irregular network has major drawbacks, however. It is difficult to seamlessly connect the different terrain levels of detail without creating cracks in the terrain. Some terrain creation techniques force the terrain to “pop” between levels of detail. Other techniques have the levels of detail blend in through transparency gradation. These techniques drastically increase the polygonal count and create unsightly artifacts, such as sudden terrain shifts and imagery blur, in the rendered scene. Constrained triangulated irregular network terrain is created using algorithms derived from Delaunay triangulation [3]. These triangulation techniques are computationally intensive and cannot be performed at runtime as part of an image-generator operation.

3. MIP-mapped Terrain

Today, most image generators are built using commercially available GPUs, which can process polygons at a rate exceeding hundreds of millions of polygons per second. There is a catch, however. These extreme rates can be sustained only if the texture, color and material are the same for all polygons – that is, if all polygons are rendered within the same graphic state. The rendering rate is reduced to 100,000 polygons per second if each polygon is rendered in its own graphic state. Thus, the limiting factor is no longer the polygon but the graphic state. To take advantage of GPU polygonal processing capabilities, the number of graphic states must be reduced at the expense of higher polygonal count. Future GPU development will also increase polygonal rendering rates faster than graphic state switching rates.

One method to handle rendering terrain while optimally feeding the graphics pipeline was described in [4]. The author exploits the ideas set non-polygonal terrain. Terrain generation follows a technique similar to texture MIP-map generation. High-frequency content is removed as coarser terrain resolutions are generated, resulting in smoother transitions between levels of detail.

Flight training and, more specifically, helicopter flight training require high-resolution terrain and imagery. Terrain grid post spacing and imagery texels spanning less than 0.027 arc-seconds (about one foot) will become more and more common. To efficiently use GPUs to render terrain elevation and terrain imagery at those fine resolutions, we have to use methods to generate extremely large grids of terrain skin and extremely large terrain imagery textures in a structure that allows an image generator to seamlessly load portions of the textured skin around the viewpoint. We need a virtual MIP-map of the terrain elevation and a virtual MIP-map of the imagery.

Using the techniques discussed in [4] – creating non-polygonal MIP-map terrain – will reduce rendering artifacts and will allow us to render visual databases at finer resolutions than could previously be done.

4. Polygonal terrain

Regular grid could be square, hexagonal, or triangular and so on. For Cartesian coordinate system most natural is square grid with axis collinear cell sides and grid-aligned origin. Let us call this grid regular and all other – irregular. “Most” an irregular is grid with randomly spaced nodes. Others could have other kind of irregularity: square grid rotated, or shifted relatively to coordinate system, or with independently shifted nodes. Some properties of these grids are “regular”, and we can use them for irregular grids evaluation. Generally, to achieve higher compression it takes more processing resources (time, memory), including decompression. In our case, compression factor is a number of IG input triangles under irregular grid model with respect to that of regular grid terrain model.

Regular grid has fixed sampling rate for each LOD. In this case, LOD_i is a set of triangles, which approximates terrain so as the maximum error is not higher than appropriate constant.

Irregular grid has fixed bandwidth, and LOD with the same maximum error could have fewer nodes in this case. Here LOD_i is represented by set of triangles, organized in clusters so as for each of them, maximum approximation error is between current LOD maximum and next LOD maximum.

Irregular grid bandwidth wideness has two consequences. Each LOD can have “built-in” (implicit) surface roughness [5] and therefore database volume could be reduced.

For regular grid, the maximum amount of memory also could be specified, because of limited mountain's height. If this limit is 300m for 10m space frequency then regular and irregular grids will introduce the same error at regular cell size 8 times less than that of irregular. The later gives us a difference in triangles number about 64 times. This is in accordance with [12].

Rendering photo-realistic, complex terrain features at interactive rates requires innovative techniques. A polygonal model and geometric pipeline can be used but this introduces massive storage requirements and, ideally, a parallel implementation of the algorithm. However, features with high spatial frequency context (ridgelines and canyons) require large numbers of polygons to meet a specified level of terrain accuracy. Using traditional polygonal representation for the example complex surface give rise to a range of problems such as visible surface determination, depth complexity handling, controlling levels of details, clipping polygons by viewing frustum, geometry transformations of large number of polygons [7-15].

Numerous methods for rendering height-based terrain surfaces have been developed [16]. Databases for terrain use DEM (digital elevation model) models. This standard is designed by U.S. Geological Survey and, on essences, is a table of heights terrain with counting out through 7.5 or 15 minutes. DEM model consists of two files, binary file of data in which recorded heights in the manner of 16-bit fixed numbers, and head file which describes a format of record of numbers used in the file of data (BigEndian or SmallEndian), but in the same way area on terrestrial surface which describe heights in the file of data. The continuous level of detail algorithm takes a two-part approach in which terrain is first divided into blocks for which a detail level can be selected at a coarse granularity [17]. The real-time optimally adapting meshes algorithm builds upon the algorithm [17] by organizing terrain meshes into a triangle bintree structure [18]. Geomorphing to the continuous level of



detail algorithms described in [19]. The progressive mesh technique was extended to height-based terrain, and it enables smooth view-dependent terrain rendering with geomorphs [20].

The terrain relief shown in Fig. 1.



Fig. 1. – Top view of the landscape

5. 3D vegetation visualization

The method consists of two views: a forest view in the foreground, a forest view in the foreground, and a transition from one view to another.

In the distance, a forest can be represented as a 3D model of the earth, textured with a corresponding texture, but this representation does not have the necessary volume, which is typical for a forest. To add volume, the method proposed in [21] was used to visualize the fur. In this case, the forest is represented by a set of layers that repeat the geometry of the earth, and are shifted relative to it either up or in the direction of the normal for the corresponding distances. In order not to drill down on the geometry of the forest layers at the same time as detailing the geometry of the earth, and in order

to avoid excessive growth of the database volume, the geometry of the layers was generated using Vertex Shader from the earth geometry when displayed. Each of the layers is textured with a special

texture representing a horizontal slice of one or more trees. To add more volume, the textures of the lower layers are darkened. To achieve greater visual diversity, the forest layers are also textured with another texture T_G , which uses RGB channels to color the trees, and A channel to "cut out" the glades.

In addition, the same texture, with the same texture coordinates as on the layers, is also used to visualize the earth. The final color of the i -th layer of trees is calculated using the formula

$$C = 2T_C T_G \quad (1)$$

$$C_A = T_A T_{GA} \quad (2)$$

The spatial distribution of trees can be set using the formula

$$D = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} C_A \quad (3)$$

However, when using this method on the silhouettes of mountains, as well as when the direction of view is parallel to the forest layers, visual artifacts appear.

In order to hide most of these artifacts, it was proposed to use a system of vertical fences. Fences are a set of vertical two-sided faces generated on edges 3D models of terrain and trees with a characteristic height. Fences are textured with the T_E texture, which is a vertical cut of one or more trees. To reduce

visual differences between the layers of the forest and vertical fences on fence superimposed with the same texture coordinates on the earth and on layers of the forest, T_G texture and texture coordinates T_E for the texture's selected in order as accurately as possible to match the texture of the spatial distribution trees. In addition, to avoid visual differences in the lighting of the fences, the normal to the fences used for lighting is either directed vertically upwards or perpendicular the terrain on which the fence is located. The final color of the vertical fences is calculated using the formula

$$C = 2T_E T_G \quad (4)$$

$$C_A = T_E T_{GA} \quad (5)$$

In order to reduce the number of faces forming a system of vertical fences, fences are generated only on those edges of the terrain where the angle between the faces containing this edge is less than the critical angle. The critical angle is chosen empirically depending on the nature of the terrain for which the fence system is generated. Also from the system completely



transparent fences are excluded, i.e. those fences that completely fall into the clearing. When using a vertical fence system, when the orientation of the fence is parallel to the direction of view, visual artifacts associated with trilinear texture filtering appear. In order to get rid of such artifacts, the dependence of the transparency of vertical fences on the angle between the tangent to the fence and the direction to the observer is introduced.

The transparency is calculated at each vertex of the fence using the Vertex Shader and interpolated inside the face. By combining fences with close tangents into groups and preserving the tangent cone for each of the groups, you can perform early rejection of completely transparent groups of fences.

The described representation of large forest spaces, in the form of a combination of a system of layers and vertical fences, is only applicable for displaying distant plans, so it is necessary to smoothly control the transparency of this representation of the forest, depending on distances to the observer. In addition, to reduce the artifacts associated with clipping the geometry of the far clipping plane, the transparency of the forest layers, the vertical fence system, and the ground increases as you approach the far clipping plane.

To represent the forest near the observer, a set of three-dimensional models of trees placed on the terrain is used [22]. The transition to the view in the background is carried out through a smooth change in the transparency of three-dimensional trees. In this case, the transparency changes as follows

$$A = \begin{cases} 0 & \text{if } d > d_e \\ 1 & \text{if } d < d_s \end{cases} \quad (6)$$

where d is the distance to the observer, d_s is the distance between start and layers fence, d_e is the distance between the layers and fence fully appeared.

For additional optimization, the system of layers and vertical fences is divided into spatial groups, and if this group is completely transparent, it is not visualized grouping is used to discard faces that are not in the viewport.

Moreover, since the area of disappearance of three-dimensional models of trees, and the area of appearance of forest layers and vertical fences overlap, the number of visual artifacts that appear when the observer moves is minimal.

To reduce the visual artifacts associated with the transition from one view to another

, the tree models are arranged according to the distribution texture, the color of the tree is determined by the T_G texture , and the tree itself is illuminated according to the normal to the terrain at the point at which the tree is placed.

Three-dimensional tree models can be visualized in n calls to the GPU, where n is proportional to the number of trees that need to be displayed at a given time. Since the number of trees to display is large enough, this approach leads to a significant performance decrease. On the other hand, at the preparation stage, you can combine three-dimensional tree models into groups to visualize them in a single call to the graphics accelerator, but this approach leads to a significant increase in the volume of the database.

Therefore, at the preparation stage, the forest is spatially divided into kd-tree, so that the leaf of the tree is either empty, i.e. does not contain any trees, or contains as many trees as possible. Each non-empty leaf contains several trees, defined by their position relative to the borders of the leaf, the normal to the surface at a given point, the color of the tree, and the number of the three-dimensional model in the list of all tree models. Moreover, to save disk space, the position and normal were set with reduced accuracy. At the mapping stage, the kd-tree is recursively traversed, and if a node does not fall within the scope, then it and its descendants are not traversed. All three-dimensional tree models from visible and non-empty nodes kd-tree, collected, sorted in the order " from depth to yourself" and are rendered in a single call to the GPU.

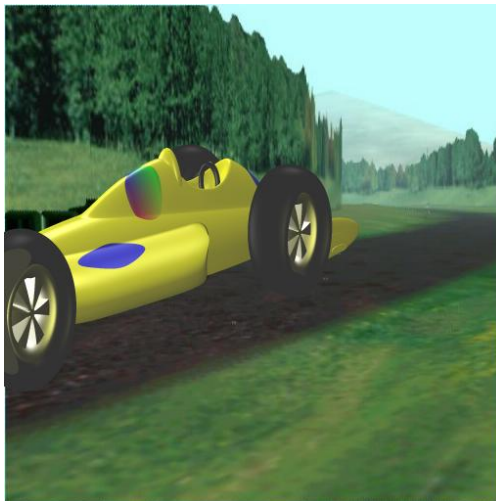


Fig. 2. – Mountain road with forest

Conclusion

The main merits of proposed approach are the following: reduction of the load on the CPU and decrease of data flow from it to the GPU. The corresponding traversing of the scene and the set of masks provide the right priority order. Rendering



method, described above, uses a GPU for most of the calculations. We can use parallel calculations in GPU to accelerate rendering. We successfully integrated proposed visualization method into the standard rendering pipeline. Verify the performance for the different scenes. For considered tests the application with GPU average ten times faster, than the version using only CPU.

A method of continuous detailing of three-dimensional vegetation models in virtual reality systems has also been developed, which has an acceptable visual quality at any distance from the observer.

The proposed method takes into account the features of the architecture of modern GPUs and allows you to distribute the load on the display between the CPU and GPU. In this case, the method does not require significant resources for visualization.

The implementation of the method showed that the visualization of a wooded surface area is 10000x10000 on an Intel Core 2 CPU E8400 3.0 GHz, and a GeForce 8800 GTX it was happening at a speed of ≈ 60 frames per second. This speed in most cases is sufficient for the effective application of the method in computer games.

References

- [1]. Lance Williams, Pyramidal Parametrics, Computer Graphics (SIGGRAPH '83 Proceedings), pp. 1-11, July, 1983. <https://doi.org/10.1145/964967.801126>
- [2]. Vyatkin S. I., Romanyuk A. N. Compression of graphic information using thematic textures. Scientific works of Donetsk national technical University. Series "Informatics, Cybernetics and computer engineering", 2010, Donetsk: DonNTU, vol. 12 (165). P. 82–86.
- [3]. <https://www.ti.inf.ethz.ch/ew/Lehre/CG13/lecture/Chapter%206.pdf>
- [4]. Vyatkin Sergey I. Three-dimensional modeling of the Volcano Bandai using shape texture // International Journal of Natural Sciences Research. – 2015. – V.3. - № 2. – pp. 21-29. <https://doi.org/10.18488/journal.63/2015.3.2/63.2.21.29>
- [5]. R. Ferguson, R. Economy, W. Kelly, and P. Ramos. "Continuous Terrain Level of Detail for Visual Simulation", *Proceedings of Image V Conference*, June, 1990. pp. 144-151.
- [6]. L.L. Scarlatos "A Refined Triangulation Hierarchy for Multiple Levels of Terrain Detail", *Proceedings of Image V Conference*, June, 1990. pp. 115-122.
- [7]. L.L. Scarlatos. Adaptive Terrain Models for Real-Time Simulation, *Proceedings of the Digital Electronic Terrain Board Symposium*, Wichita, KS, October 1989, pp. 219-229.
- [8]. L.L. Scarlatos (1989). A Compact Terrain Model Based On Critical Topographic Features, *Proceedings of Auto Carto 9*, Baltimore, MD, April 1989, pp. 146-155.
- [9]. L. Scarlatos and T. Pavlidis. Adaptive Hierarchical Triangulation, *Proceedings of Auto-Carto 10*, Baltimore, MD, March 1991, pp. 234-246.
- [10]. L. Scarlatos and T. Pavlidis. Hierarchical Triangulation Using Terrain Features, *Proceedings of Visualization '90*, San Francisco, CA, October 1990, pp. 168-175.
- [11]. L.L. Scarlatos. An Automated Critical Line Detector for Digital Elevation Matrices, *Technical Papers of 1990 ACSM-ASPRS Annual Convention*, Volume 2, Denver, CO, March 1990, pp. 43-52.
- [12]. L. Scarlatos and T. Pavlidis. Adaptive Hierarchical Triangulation, *Proceedings of Auto-Carto 10*, Baltimore, MD, March 1991, pp. 234-246.
- [13]. L. Scarlatos and T. Pavlidis. Hierarchical Triangulation Using Cartographic Coherence, *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, 54 (2), March 1992, pp. 147-161. [https://doi.org/10.1016/1049-9652\(92\)90062-3](https://doi.org/10.1016/1049-9652(92)90062-3)
- [14]. L.L. Scarlatos and T. Pavlidis. "Real Time Manipulation of 3D Terrain Models", *1993 ACSM/ASPRS Annual Convention & Exposition Technical Papers*, Volume 3, New Orleans, LA, February 1993, pp. 331-339.
- [15]. L.L. Scarlatos and T. Pavlidis. Techniques for Merging Raster and Vector Features with 3D Terrain Models in Real Time, *1993ACSM/ASPRS Annual Convention & Exposition Technical Papers*, Volume 1, New Orleans, LA, February 1993, pp. 372-381.
- [16]. R. Pajarola, and E. Gobbetti. Survey on Semi-Regular Multiresolution Models for Interactive Terrain Rendering. *The Visual Computer: International Journal of Computer Graphics*, Volume 23, Number 8, 2007, pp. 583–605. <https://doi.org/10.1007/s00371-007-0163-2>
- [17]. P. Lindstrom, D. Koller, W. Ribarsky, L. F. Hodges, F. Nick, and G. A. Turner. Real-Time, Continuous Level of Detail Rendering of Height Fields. *Proceedings of SIGGRAPH 1996*, pp. 109–118. <https://doi.org/10.1145/237170.237217>
- [18]. M. Duchaineau, M. Wolinsky, D. E. Sigesti, M. C. Miller, C. Alrich, and M. B. Mineev-Weinstein. ROAMing Terrain: Real-time Optimally Adapting Meshes. *Proceedings of the 8th Conference on Visualization '97*, pp. 81–88.
- [19]. S. Rottger, W. Heidrich, P. Slusallek, and H-P. Seidel. Real-Time Generation of Continuous Levels of Detail for Height Fields. *Proceedings of WSCG '98*, pp. 315–322.
- [20]. H. Hoppe. Smooth View-Dependent Level-of-Detail Control and its Application to Terrain Rendering. *Proceedings of the Conference on Visualization '98*, pp. 35–42.
- [21]. J. Lengyel, P. Emil, F. Adam, H. Huges. Real-Time Fur over Arbitrary Surfaces. ACM Symposium on Interactive 3D Graphics 2001, pp. 227-232. <https://doi.org/10.1145/364338.364407>
- [22]. K. Pelzer, P. Bytes. Rendering Countless Blades of Waving Grass. GPU Gems, Addison Wesley, 2004, pp.

Отримана в редакції 19.11.2021. Прийнята до друку 30.11.2021. Received 19 November 2021. Approved 30 November 2021. Available in Internet 04 December 2021.



УДК 004.415.2.031.43

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ТА РОЗРОБКА ПРОТОТИПНОЇ МОДЕЛІ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ШЛЯХУ КАРЕТ ШВИДКОЇ ДОПОМОГИ

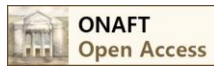
Балинський В.В.¹, Бодюл О.С.²

Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, Україна

E-mail: ¹vadym.ex@gmail.com, ²bodyulolena@ukr.netORCID: ²<https://orcid.org/0000-0001-9925-434X>

Copyright © 2021 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

DOI: 10.15673/atbp.v13i4.2221

Анотація. Безумовно одною з найважливіших галузей впровадження інформаційних технологій є така, що тісно пов'язана з забезпеченням повсякденних потреб людини та її безпеки. Особу увагу привертають розробки, які спрямовані допомогти людині в екстреній ситуації. Прикладом може бути програмний продукт, який дозволить користувачам викликати швидку допомогу одним натисканням кнопки і відслідковувати її місцезнаходження в дорозі у разі погіршення стану здоров'я людини. Важливою функцією для користувача-пацієнта є забезпечення безперервного відстеження карети швидкої допомоги впродовж всього шляху пересування карети швидкої допомоги. Реалізація такого рішення потребує забезпечення надійної роботи, цілісності внутрішніх компонентів, легку доступність і зручне використання. Метою даної роботи є створення програмного продукту, який допомагає водіям бригад швидкої допомоги прокладати оптимальний маршрут до місця виклику, а, також, дозволяє пацієнтам спостерігати за пересуванням карети та визначати час прибуття медиків. В системі розроблено надійно-працюючий, виділений сервер, який обробляє дані, такі як: інформацію про користувачів, виклики, бригади, карети. Реалізовано можливість в режимі реального часу отримувати інформацію про місце перебування карети, яка знаходиться в дорозі до пацієнта. Положення об'єкта обчислюється завдяки використанню розміщеного на ньому GPS-приймача, який приймає та обробляє сигнали супутників космічного сегменту GPS – системи глобального позиціонування. Для реалізації була використана мова програмування C#, фреймворк ASP.NET Core, система управління базами даних PostgreSQL, середовище розробки JetBrains Rider, платформа для тестового хостингу сервера Heroku. Результатом розробки є мобільний додаток, який дозволить користувачу викликати швидку допомогу і відстежувати свою карету. Для водіїв карет забезпечується зручна робота при виконанні своїх обов'язків. Взаємодія між мобільними додатками здійснюється за допомогою серверу, яких працює з усіма користувачами мобільних додатків, забезпечуючи швидку і своєчасну передачу даних.

Abstract: Undoubtedly, one of the most important areas of information technology implementation is closely related to the provision of everyday human needs and security. Special attention is drawn to developments that are designed to help people in an emergency. An example is a software product that allows users to call an ambulance at the touch of a button and track its location on the road in the event of deteriorating human health. An important function for the patient-user is to ensure continuous tracking of the ambulance throughout the movement of the ambulance. The implementation of such a solution requires reliable operation, integrity of internal components, easy accessibility and ease of use. The aim of this work is to create a software product that helps ambulance crew drivers to plan the optimal route to the place of call, as well as allows patients to monitor the movement of the carriage and determine the time of arrival of medics. The system has developed a reliable, dedicated server that processes data such as: user information, calls, crews, carriages. The possibility of receiving real-time information about the location of the carriage on the way to the patient has been implemented. The position of the object is calculated by using a GPS receiver placed on it, which receives and processes signals from satellites of the GPS space segment - the global positioning system. The C # programming language, the ASP.NET Core framework, the PostgreSQL database management system, the JetBrains Rider development environment, and the Heroku server test hosting platform were used for implementation. The result of the development is a mobile application that will allow the user to call an ambulance and track their carriage. For drivers of carriages convenient work at performance of the duties is provided. Interaction between mobile applications is carried out by means of the server which works with all users of mobile applications, providing fast and timely data transfer.



Ключові слова: додаток в режимі реального часу, швидка допомога, база даних, технологія «клієнт-сервер», інформаційна модель.

Key words: real-time application, ambulance, database, client-server technology, information model.

Вступ

Перспективи комп'ютерних технологій, їх розвиток мають величезний потенціал, який не обмежується нашим баченням напрямів сучасного прогресу. Розвиток технологій відбувається настільки швидко, що в недалекому майбутньому ІТ може постати перед нами в такому виді, в якому ми собі даже і не уявляли б. В теперішній час безумовно важливим є розвиток інформаційних технологій і галузей, які тісно пов'язані з забезпеченням повсякденних потреб людини та її безпеки. Величезне значення в нашому житті посіли мобільні пристрої. Вони є практично у кожній людині. У повсякденному житті смартфони допомагають нам спілкуватися з людьми, переглядати інформацію в інтернеті, користуватися зручними гаджетами і завантажувати додатки, які у деяких випадках стають незамінними для забезпечення комунікації. Розробка мобільних додатків набрала гігантських обертів. Каталог таких додатків налічує величезну кількість розроблених концепцій. У своїй більшості вони мають розважальний характер, але деякі програми можуть навіть допомогти людині в екстреній ситуації, прикладом якої є потреба у наданні швидкої медичної допомоги.

Швидкість реагування на виклик людини є найважливішим чинником роботи невідкладної швидкої допомоги. У свою чергу, людині потрібно мати інформацію про карету, що виїхала до неї, таку як її місцезнаходження та час прибуття. У такій ситуації не можна недооцінювати психологічний стан людей, який точно покращиться, якщо надати їм можливість бачити карету, що рухається до їх місця розташування. Можливість переглянути цю інформацію на підсвідомому рівні буде заспокоювати людину завдяки можливості спостерігати за місцем знаходження карети у додатку в реальному часі.

Теоретична частина

Основним завданням швидкої допомоги є своєчасна реакція на виклик і швидке надання допомоги людині, яка зробила виклик. Для обробки викликів від людей існують оператори. Вони обробляють всі дзвінки та передають інформацію бригадам швидкої допомоги. Бригади, в свою чергу, приступають до виконання, виїжджаючи на кареті з підстанції до пацієнта. Однією з організаційних проблем надання невідкладної допомоги є те, що на прийняття виклику від людини витрачається деякий час. Оператор повинен взяти трубку, записати виклик, повідомити бригаду про місцезнаходження людини, яка викликала швидку. Все це займає певний час і може мати непередбачені наслідки, коли мова йде про порятунок людини. У таких ситуаціях будь-яке зменшення витраченого часу може врятувати людині життя. Аналізуючи цю проблему, скорочення часу на обробку викликів можливе за допомогою виклику швидкої допомоги через мобільний додаток. Досить відкрити його і натисканням однієї кнопки викликати карету. Потрібно прийняти до уваги те, що швидкість роботи сервера в таких випадках є найважливішим фактором, тому що виклик повинен бути отриманий та оброблений негайно без будь-якої можливої затримки. Також важливою проблемою при виконанні своїх обов'язків бригадою є те, що маршрут, яким вони направляються до людини, може бути далеко не оптимальним. Рішенням такої проблеми є автоматичне прокладання шляху для карети швидкої допомоги від станції до пацієнта, який її викликає. В такому випадку, водій карети може дуже швидко дістатися до людини, витративши набагато менше часу.

Дане рішення дозволяє реалізувати також іншу функцію – відстеження карети швидкої допомоги в мобільному додатку. Людина, яка викликала швидку, може в режимі реального часу відслідковувати місце знаходження карети, що прямує до неї. Пацієнт також матиме можливість бачити оптимальний шлях та спостерігати за пересуванням карети в дорозі. В цьому допомагатиме GPS, сукупність радіоелектронних засобів, що дозволяє визначати положення та швидкість руху об'єкта на поверхні Землі або в атмосфері. Положення об'єкта обчислюється завдяки використанню розміщеного на ньому GPS-приймача, який приймає та обробляє сигнали супутників космічного сегменту системи глобального позиціонування GPS. Таким чином, людина володіє інформацією про реальний час прибуття карети швидкої, що може допомогти їй, як в психологічному плані, так і в рішенні самостійного усунення проблем.

Ще однією важливою особливістю є реалізація асинхронних методів для роботи програми в декількох потоках. Асинхронність в програмуванні – виконання процесу в неблокуючому (для головного потоку) режимі системного виклику, що дозволяє додатковим потокам програми продовжити обробку. Питання в тому, як реалізувати взаємодію пацієнта і водія карети, обмін даними між ними. Рішенням є створення так званих умовних кімнат – хабів (англ. hub) на стороні сервера, в яких знаходяться пацієнт і водій. Пацієнт отримує в режимі реального часу дані від водія швидкої. Таких хабів може бути скільки завгодно, по одному на пацієнта і водія. Самі по собі хаби існують окремо і не взаємодіють один з одним, тому робота потоків даних на такому сервері повинна проходити асинхронно, не зупиняючи інші потоки. Асинхронний код виносить операцію з основного потоку програми в додатковий потік, який відпрацьовує в паралельному режимі не зупиняючи при цьому основний послідовний процес обробки коду.

Якщо описати процес роботи таких хабів покроково, то він буде виглядати наступним чином:

- пацієнт викликає швидку допомогу в мобільному додатку;
- на сервері створюється новий хаб з поточним пацієнтом і чекає прийняття персоналом швидкої допомоги даного виклику;
- коли виклик приймається, в хаб додається водій карети;



- хаб обробляє дані місця розташування пацієнта і водія, тим самим створюючи оптимальний шлях за допомогою маршрутних даних *OpenStreetMap* або *GoogleDirectionsApi*;
- маршрут відображається як у водія швидкої допомоги, так і у пацієнта, для того щоб він бачив процес пересування карети швидкої допомоги;
- дані у пацієнта на екрані обробляються в режимі реального часу для постійного оновлення місця знаходження карети;
- коли карета прибуває, хаб на сервері видаляється.

Практична частина

Для вирішення поставленої проблеми були визначені наступні задачі:

- розробити архітектуру real-time мобільного додатку;
- розробити повнофункціональний сервер для взаємодії з мобільним додатком;
- створити зручну реєстрацію та авторизацію користувачів;
- забезпечити можливість зручного виклику швидкої допомоги через додаток;
- реалізувати можливість відстеження карети швидкої допомоги;
- надати користувачеві особистий профіль.

На рисунку 1 наведена інформаційна модель системи. На ній зображені модулі та їх взаємодія. Модулі розподілені на Сервер, API та Клієнт.

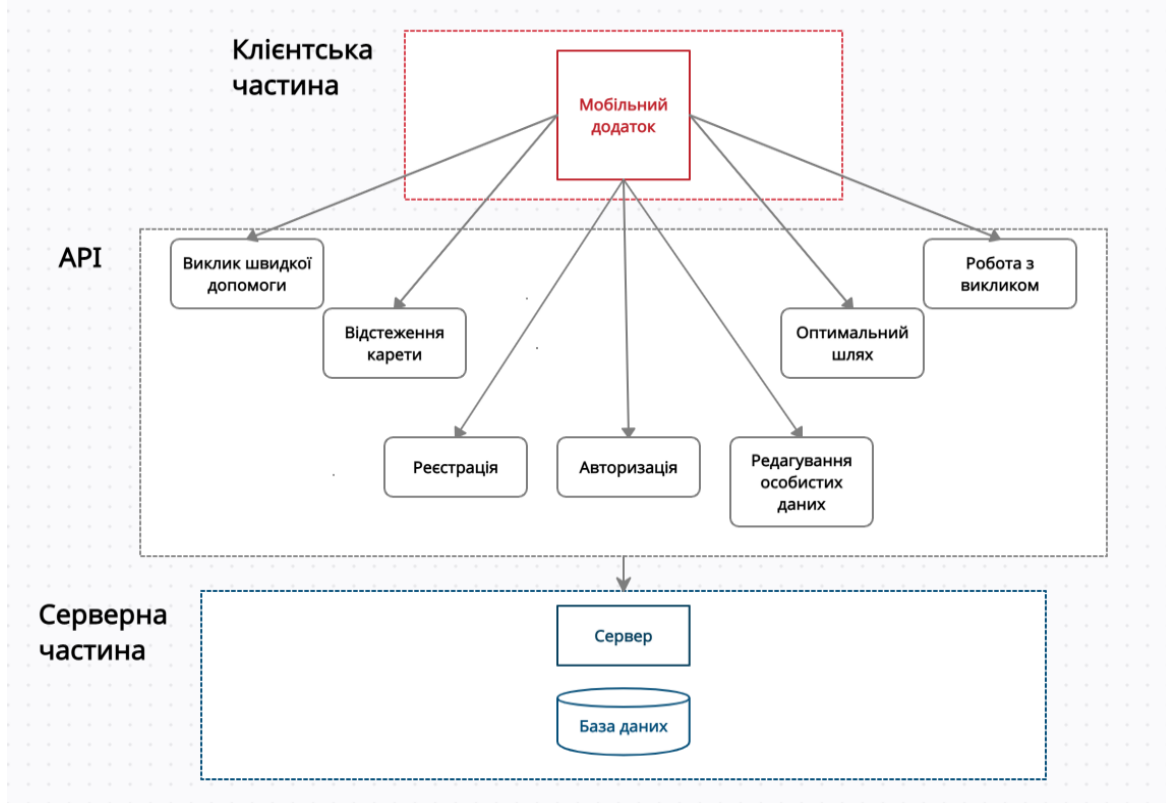


Рис. 1 – Інформаційна модель системи

В основі реалізації даного програмного продукту лежить архітектура клієнт-сервер. Клієнт-серверну архітектуру можна означити як концепцію інформаційної мережі, в якій основна частина її ресурсів зосереджена в серверах, які обслуговують своїх клієнтів. Модель клієнт-серверної взаємодії визначається перш за все розподілом обов'язків між клієнтом та сервером. Така архітектура має наступні компоненти: набір серверів, які обслуговують інформацією програми, які до них звертаються; набір клієнтів, які звертаються до сервісів, що надаються серверами; мережу, яка забезпечує зв'язок між цими компонентами.

Оскільки розробка сервера є важливою частиною будь-якої клієнт-серверної архітектури, для реалізації було використано фреймворк ASP.NET Core, якій надає відмінну функціональність для розробки високонавантажених серверів. Фреймворк побудований з набору незалежних компонентів і дає можливість або використовувати вбудовану реалізацію цих компонентів, або розширити їх за допомогою механізму спадкування, або створити і застосовувати свої компоненти зі своїм функціоналом. Також використовується ряд бібліотек: SignalR – для реал-тайм реалізації клієнт-серверної архітектури, Newtonsoft.Json – для роботи з json-форматом, JwtBearer – для роботи з токенами та інші компоненти.

Клієнтська частина програмного продукту являє собою мобільний додаток. У ньому користувач може зареєструватися, авторизуватися, редагувати свої персональні дані та викликати швидку допомогу. Якщо користувач



має роль водія карети, то він може бачити місцезнаходження пацієнта на мапі. Надають весь цей функціонал так звані API – програмний інтерфейс додатку для звернення до сервера. Через методи цього інтерфейсу відбувається взаємодія між сервером і клієнтом. У свою чергу на сервері знаходиться база даних, яка працює зі збереженням, редагуванням даних.

Для реалізації програмного продукту була використана мова програмування С#, система управління базами даних – PostgreSQL, середовище розробки – JetBrains Rider, платформа для тестового хостингу сервера Heroku, мобільний додаток використовує фреймворк Xamarin.Forms.

Для зв'язку бази даних PostgreSQL з сервером використовується технологія ORM під назвою Entity Framework Core. За допомогою даної ORM класи, описані програмним кодом можна зіставляти з таблицями в базі даних.

```
services.AddDbContext<AmbulanceSystemContext>(options =>
{
    var connUrl = Environment.GetEnvironmentVariable("DATABASE_URL");
    connUrl = connUrl.Replace("postgres://", string.Empty);
    var pgUserPass = connUrl.Split("@")[0];
    var pgHostPortDb = connUrl.Split("@")[1];
    var pgHostPort = pgHostPortDb.Split("/")[0];
    var pgDb = pgHostPortDb.Split("/")[1];
    var pgUser = pgUserPass.Split(":")[0];
    var pgPass = pgUserPass.Split(":")[1];
    var pgHost = pgHostPort.Split(":")[0];
    var pgPort = pgHostPort.Split(":")[1];
    string connStr = $"Server={pgHost};Port={pgPort};User
    Id={pgUser};Password={pgPass};Database={pgDb};sslmode=Prefer;Trust Server Certificate=true";
    options.UseNpgsql(connStr);
});
```

У даній ділянці коду, спочатку зчитується змінна навколишнього середовища системи, на якому сервер розгортається. Потім парсингом з цієї змінної зчитуються дані про порти і хости. На основі цих даних створюється рядок для підключення до бази даних. Параметр `sslmode` дозволяє підключатися до бази з різних адміністративних панелей для роботи з базою даних безпосередньо. Готовий контекст бази може працювати і взаємодіяти з даними за допомогою класів. Для зміни структури бази даних використовуються міграції. Вони створюються після зміни класів, які описують таблиці і їх атрибути. Міграції складаються з назви і версії Entity Framework Core, та за допомогою `migrationBuilder` послідовно описують всі зміни, які необхідно застосувати до бази.

Нижче представлені основні функції та процедури програмного продукту, із застосуванням яких реалізовано систему швидкої допомоги.

Реалізація одноразового пароля для підтвердження пошти. Даний метод обробляє створення і відправлення одноразових паролів. Він є асинхронним і на виході має строковий тип даних, який містить згенерований одноразовий пароль. Параметрами методу є пошта і логічне значення того, чи є це реєстрація або авторизація. Далі відбувається пошук користувача за поштою. Якщо логічне значення дорівнює `true`, але користувач не знайдений, метод видає «виняток». В іншому випадку, якщо змінна дорівнює `false` і користувач знайдений в системі, також буде видано «виняток». Далі конструктор `MimeMessage()` створює повідомлення, яке і буде відправлено як одноразовий пароль. За допомогою `SmtClient()` створюються конфігурації для конекту. В результаті метод поверне згенерований пароль.

Логіка створення одноразового пароля винесена в окремий метод. Вказано масив всіх цифр, і за допомогою цього масиву створюється 6-значний одноразовий пароль. Сортування відбувається в циклі, а на виході створюється рядок з випадково відсортованих цифр.

```
public string GenerateOtp()
{
    var chars = "1234567890";
    var stringChars = new char[6];
    var random = new Random();
    for (int i = 0; i < stringChars.Length; i++)
    { stringChars[i] = chars[random.Next(chars.Length)];
    }
    var str = new String(stringChars);
    return str;
}
```

Створення та робота хабів. Хаби – це умовні кімнати, які містять з'єднання деякої кількості користувачів для обміну між ними даними в режимі реального часу. Хаби створюються на сервері, приймаючи всі повідомлення від одного користувача цього хаба і транслюючи це повідомлення іншим користувачам хаба.



```

public class HubContextGps : HubContext
{
    // checking status
    public static bool ReadyForConnect { get; set; }
    public static bool IsConnection { get; set; }
    public HubContextGps()
    {
        HubConnection = new HubConnectionBuilder()
            .WithUrl(Url + "gps")
            .Build();
    }
    public async Task EnterToGroup(int callId)
    {
        await HubConnection.InvokeAsync("Enter", callId);
    }
    public async Task SendToServer(int callId, double latitude, double longitude)
    {
        await HubConnection.InvokeAsync("SendGPS", callId, latitude, longitude);
    }
}

```

Контекст хаба: змінні *ReadyForConnect* і *IsConnection* вказують стан підключення до хабу. Конструктор *HubContextGps()* за допомогою *HubConnectionBuilder()* створює фактично підключення до хабу. Метод *EnterToGroup(int callId)* додає користувача до групи в хабі. Назва хаба визначається ідентифікатором виклику. На сервері хаб створює групу з такою назвою. Група визначається ідентифікатором виклику, а дані про широту та довготу транслюються учасникам групи хабу.

Транслює дані користувач ролі «водій». Після прийняття виклику, в хабі знаходяться два учасники: користувач, який викликав швидку і водій карети, який виконує цей виклик. Дані про місцезнаходження карети водія транслюються потерпілому в режимі реального часу. Таким чином реалізується можливість відстеження карети швидкої допомоги в мобільному додатку.

На сервері використовується бібліотека *SignalR*, яка забезпечує роботу з хабами, групами і підключеннями.

```

public class GpsHub : Hub
{
    public async Task Enter(int idCall)
    {
        await Groups.AddToGroupAsync(Context.ConnectionId, $"group{idCall}");
    }
    public async Task SendGPS(int idCall, double latitude, double longitude)
    {
        await Clients.OthersInGroup($"group{idCall}").SendAsync("ReceivingGPS", latitude, longitude);
        await Clients.All.SendAsync("ReceivingGPS", latitude, longitude);
    }
}

```

Новий хаб створюється за допомогою класу *Hub*. Асинхронні методи *Enter* та *SendGPS* забезпечують роботу хабу з клієнтами мобільного додатка. *Groups.AddToGroupAsync* додає нові підключення в хаб, а *SendAsync* транслює повідомлення іншим підключеним клієнтам. *SignalR* сам надає кращий механізм для взаємодії для конкретних випадків. Найбільш оптимальним є *WebSockets*. У деяких випадках, коли *WebSockets* не підтримується, використовується *Server-Side Events* або *Long Polling*.

Реалізація програмного продукту

Методологія розробки. Було поставлено важливе завдання створення максимально точного, зручного та завершеного програмного забезпечення. Тому обрана методологія розробки передбачала побудову прототипної моделі системи, що дозволило в короткі терміни реалізувати мобільний додаток для пацієнтів та працівників швидкої допомоги. Оскільки програмний продукт мав проходити численні стадії перегляду та доопрацювання, обрана методологія виявилась вкрай ефективною та дозволила оперувати найзатребуванішими інструментами розробки.



Рис. 2 – Прототипна модель розробки додатку



Функціональні можливості та опис програмного продукту. Користувач може зареєструватися і увійти в мобільний додаток, щоб мати можливість викликати карету швидкої допомоги. Після виклику карети, користувач може відстежувати її місцезнаходження в режимі реального часу. На мапі показаний оптимальний шлях від місця виклику до поточного знаходження карети, а також відображається зміна положення карети під час її руху. Для користування мобільним додатком необхідно мати доступ до мережі і включений GPS. При першому вході відкривається форма входу в додаток. На рисунку 3 наведено сторінку авторизації користувача в додатку.

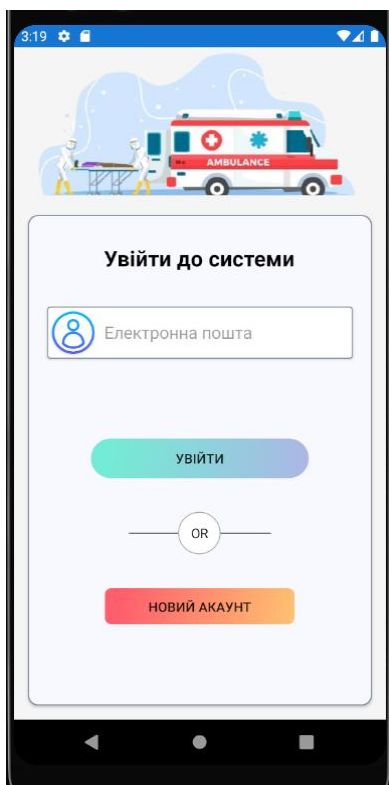


Рис. 3 – Сторінка авторизації

Для реєстрації нового користувача передбачено кнопку «Новий акаунт» після натискання якої відкриється нова сторінка, де створюється новий акаунт. Користувач повинен ввести свої дані і натиснути на кнопку «Підтвердити». Після цього на пошту, яку було вказано, надсилається одноразовий пароль для підтвердження. Після введення одноразового пароля на сторінці реєстрації, система зареєструє користувача, вносить його дані. Далі відбувається перехід на головну сторінку програми. На рисунку 4 наведено меню користувача-пацієнта мобільного додатку.

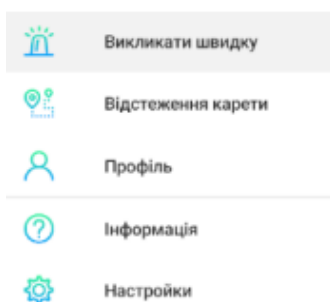


Рис. 4 – Меню користувача

На головній сторінці додатку можна відразу викликати швидку допомогу. Для цього є три опції: вибрати причину виклику і натиснути кнопку «Викликати швидку»; самому описати причину виклику і натиснути кнопку «Викликати швидку»; не вказувати нічого і натиснути кнопку «Викликати швидку». Далі користувач має можливість відстежувати свою карету, яка прямує до нього в даний момент. Для цього необхідно перейти на сторінку «Відстеження карети». На рисунку 5 наведено вікно додатка, де відображається шлях, місцезнаходження пацієнта та місцезнаходження карети в реальному часі. Маршрут також відображається у додатку водія швидкої, завдяки чому він витрачає набагато менше часу для того, щоб дістатися пункту призначення. Таким чином вирішується дуже важлива проблема економії часу, що може бути дуже важливим фактором для порятунку людини. В свою чергу людина також витрачає мінімальну



кількість часу для виклику швидкої допомоги через мобільний додаток. Користувач, який знаходиться в стані, коли він навіть не в змозі повідомити про свою проблему, одним кліком може здійснити виклик.

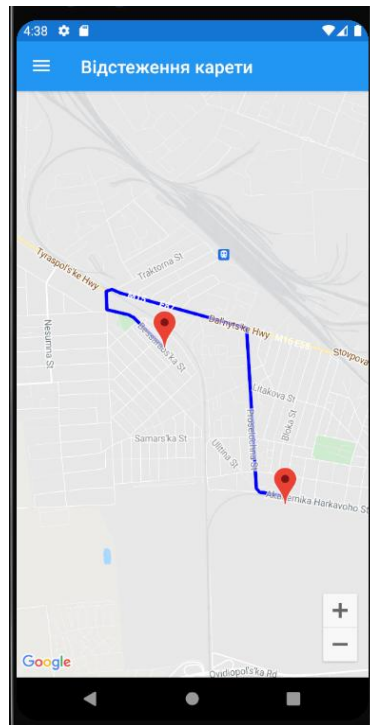


Рис. 5 – Вікно відстеження місця знаходження карети швидкої допомоги

Також мобільний додаток має сторінку особистого профілю пацієнта. У ньому користувач може переглядати свої дані, введені під час реєстрації. За потребою користувач може змінювати інформацію натиснувши кнопку «Оновити дані». Після цього запит, в тілі якого містяться нові значення полів, відправляється на сервер. Після обробки даних і збереження їх в базі даних, інформацію буде оновлено. Підчас кожного входу в додаток авторизація зберігається. Натискання кнопки «Вийти з системи» призводить до зміни користувача.

В разі використання додатку користувачем – водієм карети швидкої допомоги, реалізовано наступний алгоритм дій. При виклику швидкої допомоги пацієнтом водієві карети приходить повідомлення про те, що в систему надійшов новий виклик. Після узгодження зі станцією водій приймає виклик у додатку, де одразу відобразиться точка на мапі – місце знаходження пацієнта та буде прокладено маршрут за цією адресою. В момент прибуття за місцем призначення користувачеві приходить повідомлення про те, що карета швидкої допомоги прибула за адресою.

Розроблений додаток протестовано на різних версіях Android. Доведена стабільна робота додатку на мобільних пристроях різних виробників.

Висновки

Важливою частиною даної роботи є реалізація мобільного додатку і серверу. Завдяки обраній методології розробки, а саме побудові прототипної моделі, мобільний додаток створено в короткі терміни, його роботу досліджено, швидко виявлені недоліки окремих модулів, внесено відповідні зміни до програмного коду. Розробка і врахування всіх нюансів роботи програми в режимі реального часу вимагає заздалегідь грамотного проектування всієї системи, оскільки додаток повинен моментально реагувати на зміни в координатах карети швидкої допомоги, а сервер додатку повинен мати високу стійкість до будь-яких навантажень. Ще однією важливою особливістю є реалізація асинхронних методів для роботи програми в декількох потоках. Поставали питання, як реалізувати взаємодію пацієнта і водія карети, обмін даними між ними. Рішенням стало створення умовних кімнат – хабів на стороні сервера, в яких знаходяться пацієнт і водій. Хаби існують окремо і не взаємодіють один з одним, тому робота потоків даних на сервері проходить асинхронно, не зупиняючи інші потоки. Для відправки на сервер місця розташування пацієнта автоматично використовується система глобального позиціонування (GPS) в мобільному телефоні. Дані місця розташування карети можуть передаватися або таким же шляхом за допомогою телефону водія, або через навігатор GPS, розташований в кареті швидкої допомоги

Список використаних джерел

- [1]. Інформаційна технологія [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sites.google.com/site/suchasniinftechnology/home/1-1-so-take-informacijna-tehnologia>. Дата звернення: 15.02.2021
- [2]. GPS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/GPS>. Дата звернення: 22.02.2021



- [3]. Visual Studio [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/visualstudio/get-started/visual-studio-ide?view=vs-2019>. Дата звернення: 05.02.2021
- [4]. Rider [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/rider/>. Дата звернення: 18.02.2021
- [5]. SQL Server [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://metanit.com/sql/sqlserver/1.1.php>. Дата звернення: 17.03.2021
- [6]. Сервер баз даних SQLServer [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://hsbi.hse.ru/articles/server-baz-dannykh-sql-server/>. Дата звернення: 15.03.2021
- [7]. Клієнт-серверна архітектура [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://static-course-assets.s3.amazonaws.com/ITE50UK/course/module6/6.2.1.7/6.2.1.7.html> Дата звернення: 01.04.2021
- [8]. ASP.NET Core [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://metanit.com/sharp/aspnet5/1.1.php>. Дата звернення: 12.02.2021
- [9]. Mark J. P. C# 8.0 and .NET Core 3.0. – Modern Cross-Platform Development: Build applications with C#, .NET Core, Entity Framework Core, ASP.NET Core, and ML.NET using Visual Studio Code, 4th Edition. Packt Publishing, 2020. 818 p.
- [10]. Jon Skeet. C# in Depth: Fourth Edition. Manning Publications, 2019. 528p.
- [11]. Andrew Troelsen and Philip Japikse. Pro C# 7: With .NET and .NET Core. Apress, 2017. 1437 p.
- [12]. Joseph Albahari and Ben Albahari. C# 7.0 in a Nutshell: The Definitive Reference. O'Reilly Media, 2017. 1088 p.
- [13]. Adam Freeman. Pro ASP.NET Core 3 (Develop Cloud-Ready Web Applications Using MVC 3, Blazor, and Razor Pages). Apress, 2020. 1109 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5440-0>
- [14]. Andrew Lock. ASP.NET Core in Action, Second Edition. Manning Publications, 2021. 832 p.
- [15]. Ed Snider. Mastering Xamarin.Forms: App architecture techniques for building multi-platform, native mobile apps with Xamarin.Forms 4, 3rd Edition. Packt Publishing, 2019. 200 p.
- [16]. Dan Hermes, Nima Mazloumi. Building Xamarin.Forms Mobile Apps Using XAML: Mobile Cross-Platform XAML and Xamarin.Forms Fundamentals. Packt Publishing, 2019. 454p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4030-4>
- [17]. Neil Middleton, Richard Schneeman. Heroku: Up and Running: Effortless Application Deployment and Scaling. O'Reilly Media, 2013. 100 p.

References

- [1]. Information Technology [Electronic resource] – Available at: <https://sites.google.com/site/suchasniinftehnology/home/1-1-so-take-informacijna-tehnologia>. Accessed: 15.02.2021
- [2]. GPS [Electronic resource] – Available at: <https://uk.wikipedia.org/wiki/GPS>. Accessed: 22.02.2021
- [3]. Visual Studio [Electronic resource] – Available at: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/visualstudio/get-started/visual-studio-ide?view=vs-2019>. Accessed: 05.02.2021
- [4]. Rider [Electronic resource] – Available at: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/rider/>. Accessed: 18.02.2021
- [5]. SQL Server [Electronic resource] – Available at: <https://metanit.com/sql/sqlserver/1.1.php>. Accessed: 17.03.2021
- [6]. Database server SQLServer [Electronic resource] – Available at: <https://hsbi.hse.ru/articles/server-baz-dannykh-sql-server/>. Accessed: 15.03.2021
- [7]. Client-server architecture [Electronic resource] – Available at: <https://static-course-assets.s3.amazonaws.com/ITE50UK/course/module6/6.2.1.7/6.2.1.7.html> Accessed: 01.04.2021
- [8]. ASP.NET Core [Electronic resource] – Available at: <https://metanit.com/sharp/aspnet5/1.1.php>. Accessed: 12.02.2021
- [9]. Mark J. P. C# 8.0 and .NET Core 3.0. – Modern Cross-Platform Development: Build applications with C#, .NET Core, Entity Framework Core, ASP.NET Core, and ML.NET using Visual Studio Code, 4th Edition. Packt Publishing, 2020. 818 p.
- [10]. Jon Skeet. C# in Depth: Fourth Edition. Manning Publications, 2019. 528p.
- [11]. Andrew Troelsen and Philip Japikse. Pro C# 7: With .NET and .NET Core. Apress, 2017. 1437 p.
- [12]. Joseph Albahari and Ben Albahari. C# 7.0 in a Nutshell: The Definitive Reference. O'Reilly Media, 2017. 1088 p.
- [13]. Adam Freeman. Pro ASP.NET Core 3 (Develop Cloud-Ready Web Applications Using MVC 3, Blazor, and Razor Pages). Apress, 2020. 1109 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5440-0>
- [14]. Andrew Lock. ASP.NET Core in Action, Second Edition. Manning Publications, 2021. 832 p.
- [15]. Ed Snider. Mastering Xamarin.Forms: App architecture techniques for building multi-platform, native mobile apps with Xamarin.Forms 4, 3rd Edition. Packt Publishing, 2019. 200 p.
- [16]. Dan Hermes, Nima Mazloumi. Building Xamarin.Forms Mobile Apps Using XAML: Mobile Cross-Platform XAML and Xamarin.Forms Fundamentals. Packt Publishing, 2019. 454p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4030-4>
- [17]. Neil Middleton, Richard Schneeman. Heroku: Up and Running: Effortless Application Deployment and Scaling. O'Reilly Media, 2013. 100 p.

Отримана в редакції 19.11.2021. Прийнята до друку 30.11.2021. Received 19 November 2021. Approved 30 November 2021. Available in Internet 04 December 2021.