

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Бережний Кирило Юрійович

УДК 681.2.082:681.586.773:532.133:532.137

ДИСЕРТАЦІЯ
МОДЕЛІ ТА ЗАСОБИ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ
ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНОВИХ
ТЕХНІЧНИХ РІДИН

05.13.05 - комп'ютерні системи і компоненти

Подається на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

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



К.Ю. Бережний

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор В. В. Нікольський

ОДЕСА - 2018

АНОТАЦІЯ

Бережний К.Ю. Моделі та засоби побудови комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти. – Національний університет «Одеська морська академія», 2018.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової задачі – розробці моделей, методів і засобів визначення реологічних характеристик суднових рідин комп'ютерними системами для підвищення ефективності роботи та зменшення шкідливих викидів у довкілля судновими мало обертовими двигунами.

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, яка підкреслює її актуальність, відповідність науковим темам, наукову новизну та практичне значення, визначено предмет та об'єкт дослідження, сформульовано мету та задачі дослідження.

У **першому розділі** (*Стан предмету дослідження та формулювання вирішеної задачі*) проведено аналіз існуючих систем визначення коефіцієнтів в'язкості та реологічних характеристик суднових технічних рідин (важке паливо та мастило). Розглянуто особливості їх використання в малообертових двигунах, які працюють на двох сортах палива. В результаті проведеного аналізу методів визначення в'язкості та реологічних характеристик встановлено, що в останні роки набувають поширення ультразвукові системи на базі п'єзотрансформаторів з в'язкопружним зв'язком, недоліком яких є невідповідність процесів у вимірювальному зонді реальним процесам у вузлах паливної апаратури та системи змащування. Крім того відсутні гнучкі адаптаційні алгоритми в їх роботі. Також виявлено відсутність уніфікованої інформаційної моделі, що відповідає всім сучасним вимогам інтегративності та ефективності роботи. Це й визначило один з подальших напрямів дослідження. Проведено класифікацію віскозиметрів та реометрів з п'єзоелектричним приводом, в результаті якої встановлено, що найбільш відповідним до процесів у реальних вузлах паливної апаратури є вимірювальні

зонди на співвісних циліндрах з лінійним приводом. У зв'язку з цим висунуто пропозицію в створенні нових інтегрованих підходів до управління процесом визначення реологічних характеристик важкого палива та мастила, а також вдосконалення методу співвісних циліндрів для визначення реологічних характеристик і розробці систем для їх визначення, як в лабораторних умовах, так і в потоці в реальному часі. Сформульовано основні задачі дослідження.

У **другому розділі** (*Розробка моделі та методу побудови комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин*) проводяться дослідження по створенню інформаційних моделей, на основі яких у подальшому розробник матиме змогу здійснити програмно-апаратну розробку комплексу автоматизації визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин. Зокрема, виконані дослідження показали можливість побудови комп'ютерних систем визначення характеристик суднових технічних рідин та їх оперативного контролю для подальшої побудови на її базі автоматизованих систем дослідження суднових технічних рідин, а також контролю їх підготовки перед подачею в паливну апаратуру. Розроблено розгорнуту інформаційну модель системи визначення та контролю реологічних характеристик суднових технічних рідин, яка дозволяє в автоматичному режимі здійснювати вимірювання реологічних характеристик та передавати до інтелектуального модуля збору даних та керування для подальшого автоматизованого прийняття рішення на основі наявних технічних даних щодо режимів роботи паливної апаратури та відповідності характеристик суднових технічних рідин для корекції параметрів роботи системи їх підготовки. Запропоновано метод автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин, що дозволяє використовувати його в комп'ютерних системах з можливістю зміни параметрів роботи системи в режимах реального часу та онлайн, підвищити ефективність підготовки палива та зменшити кількість шкідливих викидів у довкілля. На базі створеної розгорнутої інформаційної моделі системи визначення та контролю реологічних характеристик суднових технічних рідин розроблено інформаційну модель лабораторної дослідної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин, що

дозволить без запуску двигуна внутрішнього згоряння здійснити симуляцію роботи паливної апаратури та провести вимірювання характеристик пального відповідно до прогнозованого частотно-температурного режиму роботи двигуна. Отримані дані дозволять в подальшому здійснювати ефективне керування якістю підготовки палива перед подачею до форсунок двигуна внутрішнього згоряння. Розроблено блок-схеми алгоритмів визначення та регулювання реологічних параметрів судових технічних рідин на базі запропонованого методу автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик судових технічних рідин, які забезпечують виконання всіх передумов до апаратно-програмної реалізації комп'ютерної системи визначення та регулювання реологічних параметрів судових технічних рідин.

У **третьому розділі** (*Розробка моделі вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик судових технічних рідин*) приводиться розробка кінематичної та структурної схем вимірювального зонду з вертикальним розташуванням із приводом на реверсивному лінійному п'єзоелектричному двигуні, що дозволяє врахувати сили тяжіння, які діють на рухомий циліндр. При побудові моделі враховані процеси, які відбуваються в п'єзорезонаторі з поперечною поляризацією, фрикційному контакті та триботехнічному вузлі. Це дозволило дослідити, як впливають властивості п'єзокераміки та лінійні розміри п'єзоелементу, вплив його притиску до рухомої частини двигуна, розмірів поверхні тертя та матеріалу рухомого циліндру на часові діаграми роботи вимірювального зонду. Розроблено методику визначення реологічних характеристик, в основу якої покладено вимір часу пересування рухомої частини вимірювального зонду, який порівнюється з часом лінійного п'єзоелектричного двигуна на холостому ході при фіксованій відстані пересування. В наслідок чого перед початком роботи є обов'язковим прогін лінійного п'єзоелектричного двигуна на холостому ході. Надалі всі наступні вимірювання відбуваються тільки під навантаженням з боку триботехнічного вузлу. Встановлено, що вимірювальний зонд дозволяє визначати коефіцієнти динамічної в'язкості в діапазоні 0,1 – 30 Па·с. Проведено дослідження методів управління лінійними

п'єзодвигунами, а саме амплітудного, та широтно-імпульсної модуляції. В результаті було підтверджено можливість використання широтно-імпульсної модуляції, яка дозволяє в 2-3 рази знизити витрати на схему перетворення сигналу управління п'єзодвигуном.

У четвертому розділі (*Апаратно-програмне забезпечення системи визначення реологічних характеристик*) викладено результати апаратної та програмної реалізації розроблених теоретичних положень, які отримано в розділах 2 та 3. Так, на основі виконаних досліджень та розроблених моделей комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик та вимірювального зонду у її складі створено систему визначення реологічних характеристик в лабораторних умовах, що полягає в використанні реверсивного лінійного п'єзоелектричного двигуна в якості рушія рухомого циліндру вимірювального зонду. Розроблено програмно-апаратний комплекс, що дозволяє в режимі реального часу відслідковувати за реологічними характеристиками судових технічних рідин. При розробці апаратної частини визначено доцільність відмови від розробки системи регулювання в'язкості важкого палива, оскільки затрачений час на розробку та сертифікаційні вимоги до системи накладуть невиправдані фінансові витрати. Тому основні елементи системи реалізовані з використанням розвиненої лінійки промислових контролерів виробництва компанії Phoenix Contact. Програмний комплекс повністю функціональний та забезпечує адекватне відображення даних, які передаються від пристроїв збору інформації. Проведений комплекс досліджень змащувального мастила до заправки мастильної системи малообертового двигуна та після 2000 годин роботи, важкого палива, та порівняльні дослідження дизельного палива без домішок та з домішками на базі алюмосилікатів підтвердив вплив маси вимірювального зонду на час пересування рухомого циліндру.

Ключові слова: тиксотропна рідина; реологічна характеристика; співвісні циліндри; триботехнічний вузол; лінійний п'єзоелектричний двигун; реометр; комп'ютерна система; програмований контролер; система реального часу.

Основні результати дисертаційного дослідження здобувача опубліковані в наступних наукових працях

Наукові праці в спеціалізованих виданнях з переліком наукометричних баз, де вони проіндексовані:

1. Никольский М.В., Бережной К.Ю. Пьезоэлектрический вискозиметр // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 275. – Т. 287. – Миколаїв, 2016. – С. 78–81; **внесок автора:** розроблено класифікацію вісозиметрів, які використовують п’єзоелектричний привод; **база(и):** Ulrich’s Periodical Directory.

2. Никольский В.В., Оженко Е.М., Лысенко В.Е., Никольский М.В., Бережной К.Ю.. Использование пьезопривода в судовой энергетике / Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 295. – Т. 307. – Миколаїв, 2017. – С. 82–91; **внесок автора:** запропоновано використання лінійного п’єзоелектричного двигуна для приводу клапану подачі газу та отримано передавальну функцію для осцилятора; **база(и):** Index Copernicus, Ulrich’s Periodical Directory, Google Scholar.

3. Никольский М.В., Бережной К.Ю. Програмне забезпечення для визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2017. – Вип. 23. Одесса: НУ «ОМА». – С. 70 – 76; **внесок автора:** створено програмне забезпечення комп’ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин, яке реалізоване на базі першого навчального модуля «Програмовані контролери та Profinet» SmartLab (TEMPUS 544010-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPHES TATU).

4. Никольский В.В., Бережной К.Ю., Никольский М.В., Лысенко В.Е., Блошенко О.О., Алгоритм работы и программное обеспечение реометра с пьезоэлектрическим преобразователем // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 296. – Т. 308. – Миколаїв, 2017. – С. 131–138; **внесок автора:** запропоновано алгоритм роботи комп’ютерної системи та перший фрагмент функціонального блоку Main, проведення експериментів з мастилом; **база(и):** Index Copernicus, Ulrich’s Periodical Directory, Google Scholar.

5. Бережний К.Ю., Метод побудови комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик технічних рідин // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2018. – Вып. 24. Одесса: НУ «ОМА». – С. 3-18.

6. Нікольський В.В., Бережний К.Ю., Модель вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин // Вісник Черкаського державного технологічного університету - Серія: технічні науки – Черкаси, Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018. - №3. - С. 56 – 66; **внесок автора:** запропоновано кінематичну та структурну схеми вимірювального зонду, субмоделі п'єзрезонатору та фрикційного контакту.

7. Пат. 119814 Україна МПК G01N 11/10, Віскозиметр / Нікольський М.В. Нікольський В.В., Бережний К.Ю. - № u 2017 03735, Заявл. 18.04.2017; Опубл. 10.10.2017. Бюл. № 19. – 6 с.; **внесок автора:** запропонована конструкція приводу вимірювального зонду.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

8. Никольский В.В., Бережной К.Ю., Никольский М.В. Пьезоэлектрический реометр // XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. – С. 253; **внесок автора:** проведений аналіз методів виміру в'язкості, запропоновано використання лінійних п'єзоелектричних двигунів для приводу співвісних циліндрів.

9. Никольский В.В., Бережной К.Ю. Компьютерная система определения реологических характеристик судовых технических жидкостей. // Тези VI Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади та системи – 2017» / Голов.ред. Ю.Ю. Бондаренко. – Черкаси: Видавець Третьяков О., 2017 – С. 37-38; **внесок автора:** запропоновано структурну схему комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин.

10. Нікольський В.В., Бережний К. Ю., Нікольський М.В. Комп'ютерна система визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 15-20 травня 2017 року. – Івано-

Франківськ: п. Голіней О.М.: 2017 – С. 261 – 264; **внесок автора:** запропоновано функціональну схему комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик.

11. Nikolskyi V. A system for determining the rheological characteristics of marine technical liquids / Vitalii Nikolskyi, Kyrylo Bereznyi, Mark Nikolskyi, Oleg Bloshenko // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 14-18 травня 2018 року. – Івано-Франківськ: вид. Супрун В.П., 2018 – С. 18 – 23; **внесок автора:** запропоновано функціональну схему комп'ютерної системи з безконтактним регулятором температури, модернізований другий та третій фрагмент блоку Main програмного забезпечення та схема перетворення інформації, яка надходить з програмованого контролера до MsExcel.

12. Nikolskyi V. Fuzzy logic positioning system of ship's diesel generators actuating mechanisms // Vitalii Nikolskyi, Yevgen Ozhenko, Kyrylo Bereznyi, Viktor Lisenko // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 14-18 травня 2018 року. – Івано-Франківськ: 2018 – С. 211 – 215; **внесок автора:** запропоновано модель лінійного п'єзодвигуна для управління газовим клапаном .

13. Нікольський В.В., Бережний К.Ю., Модель вимірювального зонду реометру Тези VII Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади та системи – 2018» / Голов.ред. Ю.Ю. Бондаренко. – Черкаси: Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018 – С. 18-21; **внесок автора:** запропоновано модель вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин.

14. Бережний К.Ю., Нікольський В.В. Інформаційна модель системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин // Матеріали науково-технічної конференції «Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт», 22.03.2018-23.03.2018. – Одеса: НУ «ОМА», 2018. – С. 246-248; **внесок автора:** запропоновано UML діаграму комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик та інформаційну модель процесів, які відбуваються в контролері.

15. Віскозиметр з лінійним п'єзоелектричним приводом вимірювального зонду:

звіт з НДР: ДР № 0117 У 000318 / кер. роботи В.В. Нікольський, виконавець К.Ю. Бережний. К.: УКРНТЕІ, 2018 – 63 с.; **внесок автора:** проведено аналіз сучасних методів вимірювання в'язкості, віскозиметрів та систем регулювання в'язкості важкого палива, запропоновано застосування реверсивного лінійного п'єзоелектричного двигуна для переміщення рухомого циліндру віскозиметру; розроблено модель вимірювального зонду та методику розрахунку коефіцієнтів динамічної в'язкості по механічним характеристикам лінійного п'єзоелектричного двигуна; синтезовано структурну схему комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик важкого палива, створено інформаційну модель процесів, які відбуваються в системі; розроблено діючий макет віскозиметру, за допомогою якого проведено дослідження важкого палива, та визначено сімейство реологічних характеристик.

ABSTRACT

Berezhnyi K. Models and tools for constructing a computer system for determining the rheological characteristics of technical fluids. - Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

The thesis for a Degree of Candidate of Science (Engineering) in specialty 05.13.05 – Computer systems and components. – National University “Odessa Maritime Academy”, 2018.

The dissertation research is devoted to solving an actual scientific and practical problem - creation of a computer system for determining the rheological characteristics of ship's technical fluids with increased performance. The introduction provides a general description of the work, which emphasizes its relevance, relevance to scientific themes, scientific novelty and practical significance, the object and object of the research are defined, the purpose and objectives of the research are formulated.

In the first section (*The state of the subject of research and the formulation of solvable problems*) an analysis of existing systems for determining the viscosity coefficients and rheological properties of marine technical fluids (heavy fuel oil and

lubricant) was conducted. The peculiarities of their use in low-turning engines, which operate on two types of fuel, are considered. As a result of the analysis of methods for determination of viscosity and rheological characteristics, it has been established that in recent years ultrasonic systems on the basis of piezoelectric transducers with visco-elastic bundle are becoming widespread, the disadvantage of which is the discrepancy of processes in the measuring probe with the actual processes at the nodes of the fuel system and lubrication system. In addition, there are no flexible adaptation algorithms in their work. Also found lack of a unified information model that meets all modern requirements of integrity and efficiency of work. This determined one of the further directions of research. The classification of viscometers and rheometers with a piezoelectric drive has been carried out, as a result of which it has been established that the most suitable for the processes in the real units of the fuel equipment are the measuring probes on coaxial cylinders with linear drive. In this connection, the proposal was made to create new integrated approaches to manage the process of determining the rheological characteristics of heavy fuel oil and lubricants, as well as to improve the method of coaxial cylinders to determine the rheological characteristics and to develop systems for their determination, both in laboratory conditions and in the flow in real time. The main tasks of the research are formulated.

In the second section (*Development of the model and method for constructing a computer system for determining the rheological characteristics of marine technical fluids*), research is carried out on the creation of information models, on the basis of which, in the future, the developer will be able to implement software and hardware development of the automation complex for determining the rheological characteristics of marine technical fluids. In particular, the performed studies have shown the possibility of constructing computer systems for determining the characteristics of marine technical fluids and their operational control for the further construction on its basis of automated systems for the investigation of ship technical liquids, as well as control their preparation before being supplied to fuel equipment. A detailed information model of the system for determining and controlling the rheological characteristics of marine technical liquids has been developed, which allows to automatically measure rheological characteristics in an

automatic mode and transfer it to the intelligent data acquisition and control module for further automated decision making based on available technical data on the operating modes of the fuel equipment and the compliance of the characteristics ship technical liquids for correction of parameters of the system of their training. The method of automatic determination and regulation of the rheological characteristics of ship's technical liquids is proposed, which allows it to be used in computer systems with the possibility of changing the parameters of the system in real-time and on-line modes, to improve fuel preparation efficiency and reduce the amount of harmful emissions into the environment. On the basis of the developed detailed information model of the system of determination and control of the rheological characteristics of marine technical fluids, an information model of the laboratory research system for determining the rheological characteristics of ship's technical fluids has been developed, which will enable the internal combustion engine to be simulated to simulate the operation of the fuel equipment and measure the fuel characteristics in accordance with the predicted frequency- temperature mode of the engine. The obtained data will allow to carry out effective control of the quality of fuel preparation before feeding to the injectors of the internal combustion engine. The block diagrams of algorithms of determination and regulation of rheological parameters of ship technical liquids on the basis of the proposed method of automatic determination and regulation of rheological characteristics of ship technical fluids, which ensure implementation of all prerequisites for the hardware and software implementation of a computer system for the determination and regulation of rheological parameters of ship technical liquids, is developed.

In section three, (*Development of the model of the measuring probe of the computer system for determining the rheological characteristics of ship's technical fluids*), the development of kinematic and structural schemes of a measuring probe with a vertical arrangement with an actuator on a reversible linear piezoelectric motor, allows considering the gravity forces acting on the moving cylinder.

When constructing the model, we consider the processes that occur in the cavity with transverse polarization, frictional contact and tribotechnical unit. This allowed us to investigate how the properties of the piezoelectric ceramic and the linear dimensions of the

piezoelectric cell affect the impact of its clamping on the moving part of the engine, the size of the friction surface and the material of the moving cylinder on the time diagram of the operation of the measuring probe. The method of determining the rheological characteristics, based on which the measurement of the travel time of the moving part of the measuring probe is made, which is compared with the time of a linear piezoelectric motor at idling speed at a fixed distance of travel, is developed. As a consequence, before the start of the work is a compulsory run of a linear piezoelectric motor at idle speed.

In the future, all subsequent measurements occur only under load from the tribotechnical node. It is established that the measuring probe allows to determine the coefficients of dynamic viscosity in the range 0,1 - 30 Pa/s. The research of methods of control of linear piezo motors, namely amplitude, and pulse-width modulation, is carried out. As a result, the possibility of using pulse-width modulation was confirmed, which allows 2-3 times to reduce the cost of the scheme of transformation of the control signal by a piezoelectric motor.

Section four (*Development of hardware and software of the system for determining rheological characteristics, analysis and synthesis of research results*) is devoted to presenting the results of hardware and software implementation of the developed theoretical provisions in sections 2 and 3. Thus, based on the performed researches and developed models of the computer system for determining the rheological characteristics and the measuring probe in its composition, a system for determining the rheological characteristics in the laboratory was created, which consists in the use of a reverse linear piezoelectric motor as a moving cylinder of the measuring probe. The software-hardware complex is developed, which allows to monitor in real time the rheological characteristics of ship's technical liquids. The development of the hardware part has identified the expediency of refusing to develop a system for regulating the viscosity of heavy fuel, since the time spent on development and certification requirements in the system will impose unnecessary financial costs. Therefore, the main elements of the system are implemented using the advanced line of industrial controllers manufactured by Phoenix Contact. The software package is fully functional and ensures an adequate display of data transmitted from information gathering devices. The complex of research of lubricating oil for

refueling of the lubricating system of a low-revolution engine and after 2000 hours of work, heavy fuel, and comparative research of diesel fuel without impurities and with additives on the basis of aluminosilicates confirmed the influence of the mass of the measuring probe on the movement time of the moving cylinder.

Key words: thixotropic fluid; rheological characteristic; coil cylinders; tribotechnical unit; linear piezoelectric motor; rheometer; computer system; PLC; real-time system.

The basic results of dissertation research of bread-winner are published in the following scientific labors:

Basic scientific results of dissertation.

1. Никольский М.В., Бережной К.Ю. Пьезоэлектрический вискозиметр // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 275. – Т. 287. – Миколаїв, 2016. – С. 78–81; **внесок автора:** розроблено класифікацію вісозиметрів, які використовують п’єзоелектричний привод; **база(u):** Ulrich’s Periodical Directory.

2. Никольский В.В., Оженко Е.М., Лысенко В.Е., Никольский М.В., Бережной К.Ю.. Использование пьезопривода в судовой энергетике / Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 295. – Т. 307. – Миколаїв, 2017. – С. 82–91; **внесок автора:** запропоновано використання лінійного п’єзоелектричного двигуна для приводу клапану подачі газу та отримано передавальну функцію для осцилятора; **база(u):** Index Copernicus, Ulrich’s Periodical Directory, Google Scholar.

3. Нікольський М.В., Бережний К.Ю. Програмне забезпечення для визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ «ОМА». – С. 70 – 76; **внесок автора:** створено програмне забезпечення комп’ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин, яке реалізоване на базі першого навчального модуля «Програмовані контролери та Profinet» SmartLab (TEMPUS 544010-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPHES TATU).

4. Никольский В.В., Бережной К.Ю., Никольский М.В., Лысенко В.Е., Блошенко О.О., Алгоритм работы и программное обеспечение реометра с пьезоэлектрическим преобразователем // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 296. – Т. 308. – Миколаїв, 2017. – С. 131–138; **внесок автора:** запропоновано алгоритм роботи комп’ютерної системи та перший фрагмент функціонального блоку Main, проведення експериментів з мастилом; **база(и):** Index Copernicus, Ulrich’s Periodical Directory, Google Scholar.

5. Бережной К.Ю., Метод побудови комп’ютерної системи визначення реологічних характеристик технічних рідин // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2018. – Вып. 24. Одесса: НУ «ОМА». – С. 3-18.

6. Нікольський В.В., Бережной К.Ю., Модель вимірювального зонду комп’ютерної системи визначення реологічних характеристик судових технічних рідин // Вісник Черкаського державного технологічного університету - Серія: технічні науки – Черкаси, Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018. - №3. - С. 56 – 66; **внесок автора:** запропоновано кінематичну та структурну схеми вимірювального зонду, субмоделі п’езорезонатору та фрикційного контакту.

7. Пат. 119814 Україна МПК G01N 11/10, Віскозиметр / Нікольський М.В. Нікольський В.В., Бережной К.Ю. - № u 2017 03735, Заявл. 18.04.2017; Опубл. 10.10.2017. Бюл. № 19. – 6 с.; **внесок автора:** запропонована конструкція приводу вимірювального зонду.

Publications which certify approbation of materials of dissertation.

8. Никольский В.В., Бережной К.Ю., Никольский М.В. Пьезоэлектрический реометр // XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. – С. 253; **внесок автора:** проведений аналіз методів виміру в’зкості, запропоновано використання лінійних п’езоелектричних двигунів для приводу співвісних циліндрів.

9. Никольский В.В., Бережной К.Ю. Компьютерная система определения реологических характеристик судовых технических жидкостей. // Тези VI Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади та системи – 2017» /

Голов.ред. Ю.Ю. Бондаренко. – Черкаси: Видавець Третьяков О., 2017 – С. 37-38; **внесок автора:** запропоновано структурну схему комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин.

10. Нікольський В.В., Бережний К. Ю., Нікольський М.В. Комп'ютерна система визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 15-20 травня 2017 року. – Івано-Франківськ: п. Голіней О.М.: 2017 – С. 261 – 264; **внесок автора:** запропоновано функціональну схему комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик.

11. Nikolskyi V. A system for determining the rheological characteristics of marine technical liquids / Vitalii Nikolskyi, Kyrylo Berezhnyi, Mark Nikolskyi, Oleg Bloshenko // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 14-18 травня 2018 року. – Івано-Франківськ: вид. Супрун В.П., 2018 – С. 18 – 23; **внесок автора:** запропоновано функціональну схему комп'ютерної системи з безконтактним регулятором температури, модернізований другий та третій фрагмент блоку Main програмного забезпечення та схема перетворення інформації, яка надходить з програмованого контролера до MsExcel.

12. Nikolskyi V. Fuzzy logic positioning system of ship's diesel generators actuating mechanisms // Vitalii Nikolskyi, Yevgen Ozhenko, Kyrylo Berezhnyi, Viktor Lisenko // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 14-18 травня 2018 року. – Івано-Франківськ: 2018 – С. 211 – 215; **внесок автора:** запропоновано модель лінійного п'єзодвигуна для управління газовим клапаном .

13. Нікольський В.В., Бережний К.Ю., Модель вимірювального зонду реометру Тези VII Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади та системи – 2018» / Голов.ред. Ю.Ю. Бондаренко. – Черкаси: Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018 – С. 18-21; **внесок автора:** запропоновано модель вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин.

14. Бережний К.Ю., Нікольський В.В. Інформаційна модель системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин // Матеріали науково-технічної конференції «Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт», 22.03.2018-23.03.2018. – Одеса: НУ «ОМА», 2018. – С. 246-248; **внесок автора:** запропоновано UML діаграму комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик та інформаційну модель процесів, які відбуваються в контролері.

15. Віскозиметр з лінійним п'єзоелектричним приводом вимірювального зонду: звіт з НДР: ДР № 0117 У 000318 / кер. роботи В.В. Нікольський, виконавець К.Ю. Бережний. К.: УКРНТЕІ, 2018 – 63 с.; **внесок автора:** проведено аналіз сучасних методів вимірювання в'язкості, віскозиметрів та систем регулювання в'язкості важкого палива, запропоновано застосування реверсивного лінійного п'єзоелектричного двигуна для переміщення рухомого циліндру віскозиметру; розроблено модель вимірювального зонду та методику розрахунку коефіцієнтів динамічної в'язкості по механічним характеристикам лінійного п'єзоелектричного двигуна; синтезовано структурну схему комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик важкого палива, створено інформаційну модель процесів, які відбуваються в системі; розроблено діючий макет віскозиметру, за допомогою якого проведено дослідження важкого палива, та визначено сімейство реологічних характеристик.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	19
ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1 СТАН ПРЕДМЕТУ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ВИРШЕНОЇ ЗАДАЧІ.....	26
1.1 Особливості використання технічних рідин в МОД.....	26
1.2 Аналіз технологічного процесу спалення палива в мод.....	28
1.3 Методи і засоби контролю в'язкості суднових технічних рідин.....	36
1.4 Узагальнення результатів аналізу. Обґрунтування напрямків досліджень.....	48
1.5 Висновки до розділу 1.....	53
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ТА МЕТОДУ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІДИН.....	54
2.1 Розробка структури інформаційної моделі системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин.....	54
2.2 Розробка розгорнутої інформаційної моделі системи визначення та контролю реологічних характеристик суднових технічних рідин.....	62
2.3 Розробка методу автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин.....	65
2.4 Інформаційна модель лабораторної дослідної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин.....	73
2.5 Розробка алгоритмів визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин.....	77
2.6 Висновки до розділу 2.....	80
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ЗОНДУ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІДИН.....	82
3.1 Розробка кінематичної схеми вимірювального зонду.....	82

3.2	Процеси в п'єзореzonаторі.....	84
3.3	Дослідження процесів в лінійному п'єзоелектричному двигуні.....	93
3.4	Процеси в вимірювальному зонді та складання моделі.....	102
3.5	Метод управління лінійним п'єзоелектричним двигуном	107
3.6	Методика проектування та визначення коефіцієнта в'язкості вимірювального зонду на співвісних циліндрах з ЛПД.....	110
3.7	Висновки до розділу 3.....	111
РОЗДІЛ 4. АПАРАТНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ		
ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....		
4.1	Апаратне забезпечення системи	113
4.2	Розробка алгоритму роботи та структура програмного забезпечення.....	120
4.3	Можливі варіанти реалізації блоків моделі.....	123
4.4	Програмне забезпечення комп'ютерної системи	127
4.5	Результати експериментальних досліджень.....	135
	Висновки до розділу 4.....	143
ВИСНОВКИ		
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		
	ДОДАТОК А1. Відомості про апробацію результатів дисертації.....	160
	ДОДАТОК А2. Technical passport Linear Piezoelectric Motor LPM-5.....	164
	ДОДАТОК А3. Таблиця результатів випробувань важкого палива.....	165
	ДОДАТОК А4. Таблиця результатів випробувань дизельного палива.....	166
	ДОДАТОК А5. Oil analysis results.....	167
	ДОДАТОК А6. Fuel analysis report.....	168
	ДОДАТОК А7. Патент на корисну модель.....	170
	ДОДАТОК А8. Список публікацій здобувача та відомості про апробацію результатів дисертації.....	172

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВЗ – вимірювальний зонд;

ВМТ – верхня мертва точка;

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;

ЛПД – лінійний п'єзоелектричний двигун;

НМТ – нижня мертва точка;

МОД – малообертовий двигун;

ПА – паливна апаратура;

ПЕ – п'єзоелектричний елемент;

ПЕД – п'єзоелектричний двигун;

ПК – персональний комп'ютер;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПП – п'єзоелектричний привід;

ПР – п'єзорезонатор;

СІФУ – система імпульсно – фазового управління;

ТЕП – термо – електричний підігрівач;

ФБ – функціональний блок;

ФК – фрикційний контакт;

ЦПГ – циліндро-поршнева група;

ШІМ – широтно – імпульсна модуляція.

UML – (англ. Unified Modeling Language) – уніфікована мова моделювання, використовується у парадигмі об'єктно-орієнтованого програмування.

ВСТУП

Актуальність теми. Тенденція безупинного коливання світових цін на нафту і відповідно ціни на паливо для двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), а також непередбачуваність завантаження суден внаслідок торгових війн та санкцій вимагає рішення ряду задач по ефективному використанню паливних ресурсів, перехід з номінальних режимів роботи на часткове навантаження ДВЗ, модернізація конструкції корпусу судна тощо. Крім того, все жорсткішими стають вимоги до шкідливих викидів судових малообертових двигунів (МОД), які працюють на «важкому» паливі або на суміші різних фракцій.

Зменшення експлуатаційних витрат і впливу на екосистему судових двигунів внутрішнього згорання і, зокрема, дизелів, які працюють на «важкому» паливі, можливо за допомогою конструктивних змін (ступені стиснення за рахунок пастелі, що рухається), а також застосування електронного управління упорскуванням палива. Поряд з цими заходами постійно йде вдосконалення систем регулювання в'язкості «важкого» палива, яке відноситься до судових технічних рідин та може мати різні коефіцієнти динамічної в'язкості при однаковій температурі для ідентичних марок, а також мають властивості «неньютонівських» рідин з ефектом тиксотропії при знаходженні в триботехнічних вузлах ДВЗ.

«Неньютонівські» властивості різних видів палив та мастил полягають в зменшенні їх в'язкості при збільшенні швидкості зсуву, а тиксотропні – в зменшенні їх в'язкості з часом при постійній швидкості деформації.

Так, збільшення в'язкості при інших рівних умовах призводить до погіршення якості розпилювання палива і умов роботи прецизійних пар паливних насосів, більш інтенсивного утворення нагару на елементах циліндро-поршневої групи (ЦПГ) та газо-повітряного тракту, зміни раніше встановлених моментів подачі палива. При зменшенні в'язкості збільшується кут розпилювання палива і зменшується довжина факела, що при даній конструкції форсунки і камери згорання призводить до погіршення утворення суміші (нестачі повітря в глибині факела) і, як наслідок, до збільшення витрати палива.

Поряд з в'язкістю палива існує проблема регулювання в'язкості мастильних

циркуляційних масел. Специфічні особливості «неньютонівських» тиксотропних рідин в вузлах тертя тягнуть за собою недостатній рівень мастила вузлів ЦПГ, збільшення коефіцієнта тертя та зменшення моторесурсу і виникнення аварійної ситуації в роботі механізмів.

Але, якщо автоматичні системи регулювання в'язкості палива набули широкого поширення на суднах, то автоматичні системи регулювання в'язкості мастильних циркуляційних мастил належного розвитку не отримали. В даний час головним робочим параметром регулювання циркуляційного мастила є його температура. Точна відповідність параметрів температури і в'язкості мастила визначається за допомогою номограм, що містять фізичні характеристики. Використання циркуляційного мастила в суднових ДВЗ відбувається протягом декількох років і тому через його «вироблення» визначити точну в'язкість по його температурі неможливо навіть в умовах спокою рідини, не кажучи вже про його поведінку при зміні швидкостей зсуву і часу.

Робота присвячена подальшому вдосконаленню відомих первинних перетворювачів, створенню нової системи визначення реологічних характеристик та регуляторів в'язкості технічних рідин для судового МОД.

Розвитком теорії та практики компонентів комп'ютерних систем займалися такі провідні вчені, як Джагупов Р.Г., Єрофєєв А.А., Шарапов В.М., Алексєєв А.Н., Бансевічус Р.Ю., Васильєв П.Е., Грибовський П.О., Євмененко В.В., Іванов Є.А., Ісупов В.А., Курило Р.Е., Плужніков В.М., Сильченкова В.В., Смоленський Г.А., Трофімов А.И., Барфут Дж., Берлінкур Д., Катц Г., Кеді У., Кауфман А., Мезон У., Окадзакі К., Холанд Р., Нікольський В.В., Мусієнко М.П., комп'ютеризованих систем визначення реологічних характеристик та регуляторів в'язкості технічних рідин – Овчинніков П.Ф., Алтоїз Б.А., Ханмамедов С.А., п'єзоелектричного приводу – Вишневський В.С., Лавриненко В.В., Нікольський О.А., Петренко С.Ф. та інші.

Тому, дослідження специфічних властивостей судових технічних рідин і розробка нових засобів їх визначення є актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Дослідження відповідає основним принципам Транспортної стратегії України на період до 2030

року, зокрема, “Безпечний для суспільства, екологічно чистий та енергоефективний транспорт”, “Підвищення рівня екологічної безпеки на транспорті” (розп. КМУ № 430-Р від 30.05.2018 р.) та планом виконання науково-дослідних робіт Національного університету «Одеської морської академії» за темами: «Віскозиметр з лінійним приводом вимірювального зонду» (№ ДР 01117U000318); «Автоматизація технологічних та адміністративних процесів на транспорті» (№ ДР 0115U003577), в розробці яких автор брав участь як виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є створення та поліпшення теоретичної та програмно-технічної бази комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин, яка має високі функціональні та експлуатаційні якості та забезпечує безпечну експлуатацію суднових МОД і зменшення викидів шкідливих речовин у довкілля, шляхом розробки та вдосконалення первинного перетворювача на основі методу співвісних циліндрів та апаратно-програмного комплексу цієї системи.

В роботі поставлені та вирішені такі задачі:

- аналіз науково-технічного рівня сучасних комп'ютерних систем та їх компонентів, оцінка переваг та недоліків застосування первинних перетворювачів на основі методів визначення в'язкості та реологічних характеристик;

- розробка моделі та методу побудови комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин;

- розробка моделі вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин;

- розробка апаратно-програмного забезпечення системи визначення реологічних характеристик, аналіз і узагальнення результатів досліджень.

Об'єкт дослідження – процеси визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин.

Предмет дослідження – моделі, методи та засоби створення комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин.

Методи дослідження. У дисертації для вирішення наукових завдань використані наступні методи досліджень: дедукції – при виборі напрямків

дисертаційного дослідження; експертної оцінки – при виборі теми і постановці мети дослідження та аналізі результатів; системного аналізу – при розробці технології наукових досліджень; теорії автоматичного керування, теорії фрикційного контакту – при дослідженні лінійних п'єзоелектричних двигунів; схемотехнічного і математичного моделювання – при розробці моделей вимірювального зонду; фізичні експерименти на макеті і дослідних зразках.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні моделей та засобів створення комп'ютерної системи визначення реологічних властивостей суднових технічних рідин на базі лінійного п'єзоелектричного двигуна, який входить до складу вимірювального зонду, що дозволяє підвищити якість роботи паливної апаратури та вузлів тертя ЦПГ. Відмінність запропонованої системи від існуючих на судах полягає в можливості проведення лабораторних досліджень технічних рідин, які знаходяться в триботехнічному зазорі у робочих діапазонах швидкостей пересування рухомих частин паливної апаратури та температур.

Вперше створено інформаційну модель комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин, яка відрізняється можливістю дослідити тиксотропні рідини та визначити їх реологічні характеристики в умовах, які наближені до прогнозованого частотно-температурного режиму роботи суднового МОД, що дозволяє здійснити ефективне керування якістю підготовки палива перед подачею до форсунок МОД.

Удосконалено математичну модель вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик, яка відрізняється урахуванням властивостей реверсивного лінійного п'єзоелектричного двигуна та триботехнічного вузла, що дозволяє врахувати процеси в осциляторі та фрикційному контакті п'єзодвигуна, сили тяжіння та тертя.

Отримав *подальшого* розвитку метод автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин, які відрізняються від відомих рішень можливістю зміни параметрів роботи комп'ютерної системи у режимах реального часу та онлайн, що дозволяє підвищити ефективність підготовки палива та зменшити кількість шкідливих викидів у

довкілля.

Практичне значення одержаних результатів.

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень розроблено комп'ютерну систему визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин на базі програмованого контролера та вимірювального зонду, в роботу якого покладено метод співвісних циліндрів, яка дозволяє отримати реологічні характеристики рідин в реальному часі та запровадити їх паралельне випробування для оцінки та прогнозу стану як їх самих, так і триботехнічних вузлів паливної системи та системи змащення МОД.

Наведено практичні рекомендації щодо розрахунку, конструювання та експлуатації розробленої системи.

Розроблено та запатентовано конструкцію вимірювального зонду, до складу якого залучено триботехнічний вузол на базі розпилювачу форсунки та лінійний п'єзоелектричний двигун (ЛПД) для пересування рухомого циліндру, що дозволило проводити дослідження суднових технічних рідин як в потоці так і в лабораторних умовах з дотриманням температурного режиму МОД.

Запропоновано методику побудови реологічних характеристик рідин, які залежать від часу проходження рухомого циліндру між його крайніми положеннями всередині нерухомого циліндру, та визначати на їх основі коефіцієнти динамічної в'язкості суднових технічних рідин.

Результати роботи використовуються в навчальному процесі Національного університету «Одеська морська академія» кафедр автоматизації дизельних і газотурбінних установок і теорії автоматичного управління та обчислювальної техніки.

Особистий внесок здобувача. У дисертаційній роботі викладено авторський підхід до вирішення важливої наукової-технічної задачі – створення моделей комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин та вимірювального зонду на основі методу співвісних циліндрів з лінійним п'єзоприводом. Теоретичні визначення, які подані в роботі та виносяться на захист, одержані автором особисто й викладені у його наукових працях. Із наукових праць,

що написані у співавторстві, в дисертації використано тільки ідеї та концепції, конструктивні рішення та програмна реалізація, які є результатом самостійного дослідження здобувача. Особистий внесок автора у колективних наукових працях конкретизовано у переліку опублікованих праць.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях:

«Суднові комп'ютерно – інтегровані технології» (НУ «ОМА», Одеса, 2016, 2018 р.р.);

«Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт» (НУ «ОМА», Одеса, 2017-2018 р.р.);

«Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання» (м. Івано-Франківськ, 2017-2018 р.р.);

XXIV – та з автоматичного управління «Автоматика – 2017» (Київ, 2017);

«Датчики, прилади та системи – 2017-2018 (ДПС, 2017-18)» (Черкаси – Миколаїв – Херсон – Лазурне, 2017-18 р.р.).

Публікації. Результати дисертаційного дослідження опубліковані в 15 наукових роботах. З них: 6 статей – у фахових наукових журналах, які затверджені МОН України та індексуються у наукометричній базі Index Copernicus тощо, 7 праць – у збірниках матеріалів міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференцій, 1 патент України на корисну модель, 1 звіт з НДР.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури з 132 найменувань і додатків. Загальний обсяг становить 176 сторінок (з них 126 – основного тексту). У роботу входять також 73 рисунки й 9 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПРЕДМЕТУ ДОСЛІДЖЕННЯ І ФОРМУЛЮВАННЯ РОЗВ'ЯЗУВАНОЇ ПРОБЛЕМИ

1.1 Особливості використання технічних рідин в МОД

Суднові двигуни внутрішнього згорання, які застосовують суднобудівники, представлені п'ятьма групами: малообертові (МОД); середньообертові (СОД) дизеля; високообертові (ВОД); газотурбінні установки (ГТУ); газопарові установки.

Історично склалося так, що ГТУ використовують на судах, які здійснюють швидкісні перевезення, та кораблях ВМС України.

Усі інші судна використовують дизельні енергетичні установки (СЕУ), які відрізняються від інших енергетичних установок високою енергетичною ефективністю, завдяки якій вони дістали саме широке застосування на судах будь-якого типу.

Сучасні перевезення потребують поряд з економічною доцільністю враховувати екологічні аспекти, а саме норми викидів шкідливих газів. Усі вони залежать від ефективного використання палива. Більш 30 років для зменшення затрат на паливо суднобудівники застосовують дизелі, які здатні працювати на декількох сортах палива. Перш за все, це важке паливо, яке має саму низьку ціну, та дизельне паливо. В останні десять років спостерігається додаткове використання газу. Але оскільки його потребується по об'єму більше, ніж звичайного палива, то його використання економічно доцільне тільки на судах, які перевозять скраплений газ (LNG та LPG).

Застосування електричних пропульсивних комплексів все одно вимагає використання дизелів при генеруванні електроенергії.

Широке поширення дизельних установок на судах пояснюється їхніми наступними перевагами.

1. На сьогодні дизельні установки (ДУ) є енергетично самим економічним двигуном ($\eta_e=0,40 - 0,45$), особливо при розвинутій утилізації теплових втрат.

2. На відміну від турбінних установок висока економічність ДУ не залежить від агрегатної потужності головного двигуна (ГД).

3. Широкий діапазон типорозмірів дизелів з циліндровою потужністю від 5 до 4000 кВт дозволяє створювати ДУ практично для будь-яких суден.

4. ДУ можуть працювати на різних сортах палива: легкому, важкому (зі змістом 3 % і більш сірки) і газоподібному.

5. Наявність великого числа типорозмірів дизелів і відносна простота устрою ДУ дозволяє легко автоматизувати, агрегатувати і уніфікувати енергетичне устаткування.

6. Застосування МОД дозволяє максимально спростити установку, використовуючи пряму передачу енергії на гвинт, а застосування дизель - редукторної установки - досягти найбільшого ККД гвинта за рахунок наближення його частоти обертання до оптимального.

7. Мінімальні витрати часу на підготовку дизелів до пуску, що забезпечує постійну готовність до дії, а також можливість швидкого доведення навантаження до номінального.

Подальші перспективи застосування на суднах дизельних установок зв'язані з поліпшенням економічних показників установок за рахунок зниження питомих витрат палива й олії, застосування дешевих палив, пристосування до спалювання нових найменш дефіцитних і недорогих сортів, застосування комплексної глибокої утилізації теплових втрат і забезпечення високої експлуатаційної надійності СЕУ шляхом широкого впровадження автоматизації (перехід на електронне управління упорскуванням палива, що забезпечує більш якісне його згоряння), передових методів технічного обслуговування зі збільшенням міжремонтних періодів, підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Крім того, на ефективність роботи ДВЗ впливають змащувальні мастила, які в процесі експлуатації накопичують домішки різної природи, від органічних до таких, що утворилися в процесі хімічної реакції масла з поверхнями тертя.

В багатьох роботах доведено, що технічні рідини, до яких належать важке паливо та мастило, відносяться до «тиксотропних» рідин.

1.2 Аналіз технологічного процесу спалення палива в МОД

У суднових дизелях використовуються різні сорти палива (від дизельного палива до мазуту), причому порівняно широке застосування знаходять моторні палива, що становлять суміш мазуту з гасовими фракціями. Так у СРСР застосовувалися три сорти моторного палива марок ДТ-1, ДТ-2 і ДТ-3, в'язкість яких при 50 °С відповідно не вище 36; 55,3 і 66,6 сст.

Економічність процесу спалювання палива в ДВЗ, що працюють на важких паливах, залежить від якісного розпилювання палива у форсунках. Це обумовлюється правильно обраною в'язкістю палива, що спалюється. Для кожного сорту якого існує певна залежність між його в'язкістю і температурою, що не є строго однозначною. Вона може істотно змінюватися після декількох циклів нагрівання й охолодження, а також у процесі збереження палива в танках через поділ його по фракціях.

Крім згоряння в камері циліндру, паливо здійснює змащення елементів паливної апаратури. Неналежна в'язкість може призвести до заклинювання паливної апаратури у разі низьких коефіцієнтів, а при їх збільшенні зростають сили протидії елементам ПА, що, в свою чергу, призводить до енергетичних втрат для їх подолання.

Важке паливо уявляє суміш залишків чи перегонки крекінгу нафти з дистиллятом, яка повинна зберігати гомогенність і стабільність навіть після тривалого збереження і не повинна робити корозійної дії на паливну апаратуру. Задля цього застосовують системи регулювання в'язкості, які мають високу швидкодію, надійність, низьку собівартість, конструктивно простоті. Також вони здійснюють регулювання в'язкості віскозиметрами по безпосередньому виміру в'язкості. Тобто для ефективної експлуатації ДВЗ безупинно здійснюється контроль і регулювання в'язкості палива. Існує декілька способів забезпечення необхідної в'язкості. На думку одразу ж припадає спосіб приготування суміші палив за допомогою міксеру. Однак це доволі громіздкий спосіб. Другий спосіб, який набув найбільшого поширення – це непряме регулювання в'язкості, яке полягає в

регулюванні температури палива на виході з підігрівника. Але цьому способу притаманні наступні недоліки [1]: необхідність зміни настроювання регулятора для кожного нового сорту суміші чи сортів палива; велика інерція чутливих елементів регуляторів температури.

У процесі подачі паливо нагрівається як за рахунок тепла двигуна, так і за рахунок роботи опорів. Крім того, підвищення температури обумовлене і стиском палива. Тому під час експлуатації можливі істотні зміни значення в'язкості палива.

На рис. 1.1 [126, 127] представлено структурну схему загальноприйнятої системи регулювання в'язкості палива, яка дозволяє працювати на двох сортах палива: дизельне (marine diesel oil) та важке паливо (heavy fuel oil). Це необхідно для забезпечення роботи ДВЗ в прибережних зонах на дизельному паливі для істотного зменшення викидів в атмосферу шкідливих речовин (сірки) та газів. Ця схема відрізняється від схем упорскування для ВОД лише додатковою системою прогріву, яка виключається при роботі на легких сортах палива, а саме дизельному.

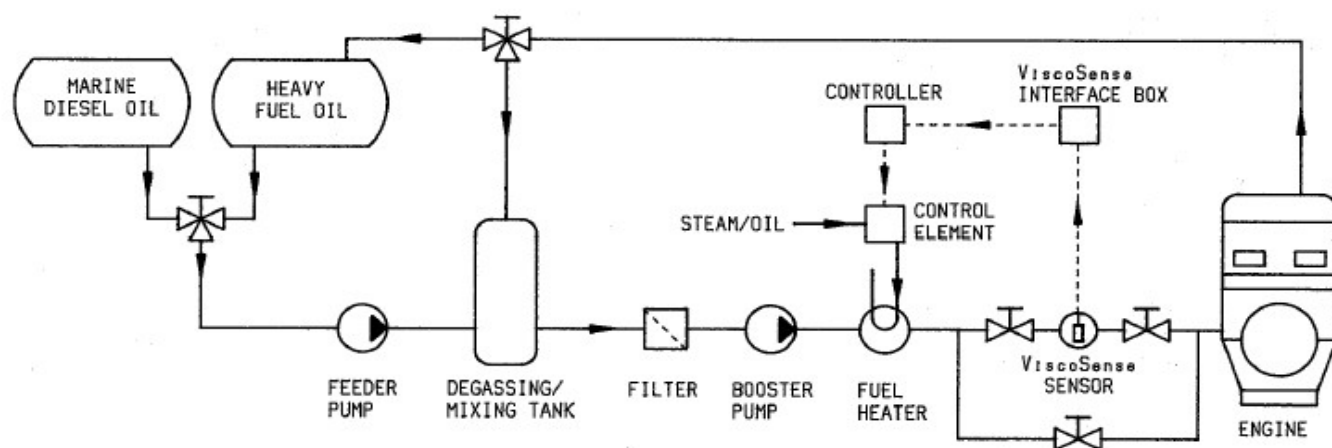


Рисунок 1.1 – Структурна схема загальноприйнятої системи регулювання в'язкості палива

Як видно з рис. 1.1, система регулювання в'язкості палива складається з первинного перетворювача (Sensor, в данному випадку від компанії ViscoSense), контролеру (Controller), виконавчого механізму – клапану (Control element), який подає в підігривач (Fuel heater) теплоносії (Steam/oil). Обігрів палива здійснюється на всьому його шляху проходження від цистерн (Mixing tank) до форсунок ДВЗ

(Engine) за допомогою спеціальних підігрівачів палива, у всіх цистернах розміщуються змійовики обігріву, чи обігріваються чи ізолюються всі трубопроводи; часто обігрів мають і фільтри (Filter). Обігрів палива в трубопроводах звичайно здійснюється паровим трубопроводом, покладеним рядом з паливним і разом ізольованими, або нагнітальний трубопровід розміщується усередині парового трубопроводу.

До паливної апаратури двигунів, що працюють на важкому паливі, часто пред'являються деякі специфічні вимоги [12, 40], а саме інтенсифікація охолодження розпилювача форсунки; забезпечення рівномірного прогріву плунжерних пар паливних насосів високого тиску (ПНВТ) у період переведення двигуна з дизельного палива на важке; збільшення діаметральних зазорів у прецизійних парах плунжер - втулка і голка - напрямна; забезпечення відводу витоків палива з ПНВТ і форсунки.

Щоб проаналізувати, які процеси відбуваються у вимірювальному зонді віскозиметру слід зазначити, що важке паливо, як і мастило, відноситься до тиксотропних рідин, структури яких здатні зворотно відновлювати чи руйнувати надмолекулярні зв'язки під впливом різних факторів [1], а саме механічних впливів, якими супроводжується транспортування палива від танку до форсунки МОД. Для таких рідин в умовах стаціонарного стійкого ламінарного плину існують реологічні криві ефективної в'язкості [52, 65], які наведені на рис. 1.2, і які є залежністю градієнту швидкості зсуву шарів рідини $\Delta V/\Delta h$ від напруги однорідного зсуву F/S , де ΔV – зміна величини швидкості, Δh – товщина зазору в триботехнічному вузлі, F – сила деформації, S – площа контакту поверхонь. Реологічна крива є паспортною характеристикою для рідини.

Аналіз кривих 2 та 3 вказує на те, що при визначених значеннях деформацій зсуву, значення коефіцієнтів в'язкості різко відрізняються від «ньютонівських» рідин. Це дозволяє зробити висновок, що одна й та ж рідина у різних випадках застосування буде мати різні коефіцієнти в'язкості. Так, якщо розглядати змащувальне мастило, то у випадку застосування в підшипниках ковзання інтерес представляє радіальний коефіцієнт в'язкості, а у випадку застосування у плунжерних

парах – усереднений коефіцієнт, до складу якого входять як радіальний, так і поступальний. Тому при переході з однієї фракції на іншу і зміні режиму роботи ДВЗ, для впливу на коефіцієнт в'язкості застосовують додатково введення присадок, ультразвукову обробку поряд зі зміною температури.

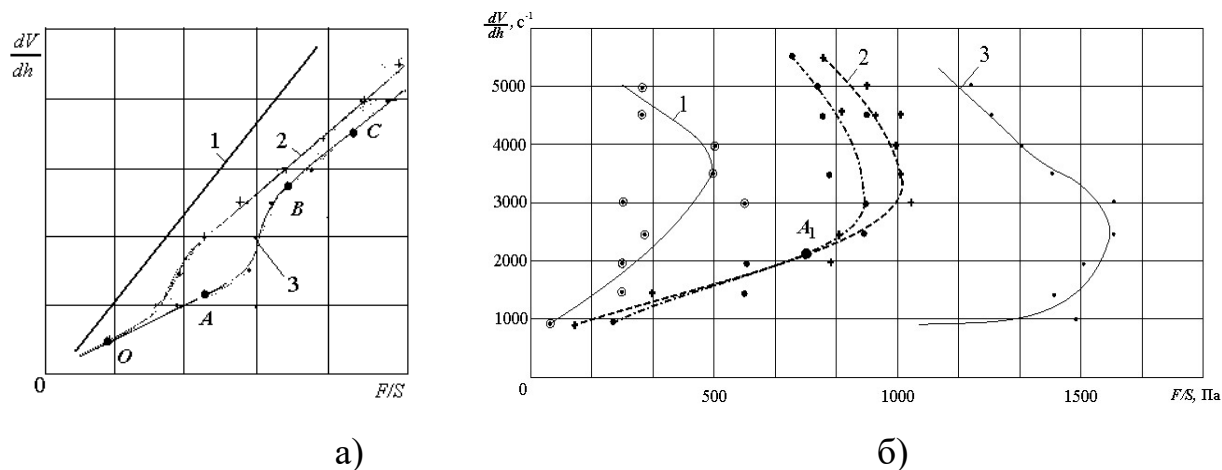


Рисунок 1.2 – Залежність коефіцієнту динамічної в'язкості від градієнту швидкості зсуву шарів рідин: а – загальний вигляд (1 – “ньютонівські”; 2, 3 – тиксотропні); б – метод співвісних циліндрів [65]

На рис. 1.2 [18] для кривої 3 ділянка OA відповідає коефіцієнтам в'язкості палива, з яким воно подається з танка по паливопроводу низького тиску до паливного насоса високого тиску. Ділянка BC характеризує стан паливної суміші на виході розпилювача форсунки в камері згорання, коли забезпечується повне згорання.

Як вже відзначалося раніше, при частковому навантаженні (пуск та маневри) ДВЗ коефіцієнти в'язкості мають широкий діапазон зміни. В той же час сучасні віскозиметри здійснюють вимір коефіцієнтів в'язкості тільки для умов роботи МОД у номінальному режимі. А це не дає уявлення про властивості і поведіння тиксотропних рідин, якими є моторні палива та мастила.

Тому і виникла необхідність визначення реологічних характеристик палива та мастила синхронно з роботою елементів ПА МОД.

Проведемо аналіз процесів, які відбуваються в елементах ПА.

Важливе значення грають безпосередньо процеси тертя в плунжерних парах та

розпилювача форсунок (рис. 1.3) [14], а саме спостерігається два режими тертя: рідинне тертя і тертя при граничному змащенні [117].

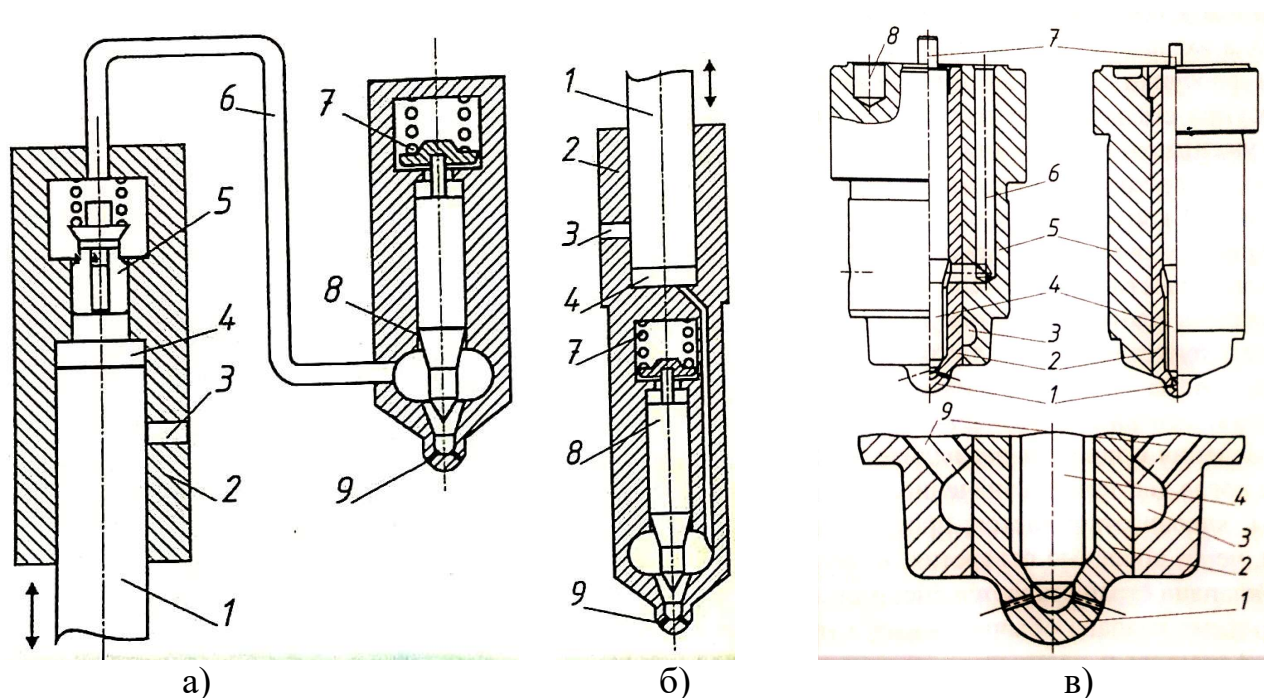


Рисунок 1.3 – Схема паливної системи з роздільним (а) і нероздільним (б) виконанням основних елементів, розпилювачі струменевого типу (в)

На рис. 1.3, а та б зображено: 1 – плунжер; 2 – втулка плунжера; 3 – наповнювальний отвір; 4 – надплунжерний простір; 5 – зворотний (нагнітальний) клапан; 6 – паливопровід високого тиску; 7 – пружина голки форсунки – голка форсунки; 9 – сопловий наконечник; в: 1 – кінчик розпилювача з сопловими отворами; 2 – направляюча вставка голчастого клапану; 3 – порожнина для охолоджувальної рідини; 4 – голчастий клапан; 5 – корпус розпилювача; 6 – канал підведення палива в порожнину розпилювача; 7 – хвостовик голчастого клапану; 8 – отвір для установчого штифта; 9 – канал підведення рідини охолодження.

Тертя при рідинному змащенні [117] виявляється в досить товстій плівці речовини, що поділяє контактні поверхні. В наслідок чого здійснюється зменшення опору тертя та швидкості зношування поверхні. Сила тертя при рідинному змащенні не залежить від природи поверхонь, що сполучаються. Рідинне змащення є оптимальним для вузла тертя з погляду втрат енергії, довговічності і зносостійкості.

Однак, його реалізація на всіх режимах роботи при таких жорстких умовах експлуатації не можлива. Так у роботах [28, 52, 29] доведено, що зношування

елементів ПА обумовлено наявністю в процесі їхньої контактної взаємодії граничного режиму змащення.

При терті в режимі граничного змащення рідинна плівка мастильного матеріалу не розділяє поверхні тертя, а здібність мастильного матеріалу знижувати тертя і знос, перешкоджати заїданню трибосполучення визначається його можливістю утворювати на робочих поверхнях міцні граничні шари адсорбційного чи хімічного походження, у порівнянні з основним матеріалом.

Режим граничного тертя характерний для цілого ряду вузлів (підшипники, плунжерні пари і т.д.) ДВЗ. В ряді досліджень [117] було доведено, що реологічні характеристики тонких прошарків рідини відрізняються від цих характеристик рідини в «об'ємі». Зв'язано це з тим, що на поверхнях пар тертя ці рідини утворюють структуровані шари.

Поряд з цим, матеріалі, які контактують, схильні до схоплювання на ряді фактичних мікро нерівностей, на яких може бути зруйнований граничний шар змащення. Це призводить до виникнення сухого тертя окисних плівок чи навіть ювенільних поверхонь, а сила тертя залежить від молекулярного схоплювання (адгезії) поверхонь і є функцією тиску. Граничний шар, який утворюється в результаті взаємодії активних елементів мастильного матеріалу з металом поверхонь тертя, може бути модифіковано за допомогою спеціально введених в нього присадок.

Тому, при визначенні вимог вимірювальних зондів реометрів і віскозиметрів виходять [65] з умови аналогії процесів, які в них проходять, до процесів у триботехнічних вузлах МОД із зазорами $10\div 25$ мкм.

- зазор між співвісними циліндрами у вимірювальному зонді – $10\div 25$ мкм;
- діапазон зміни лінійної швидкості рухомого циліндра – $0\div 0,8$ м/с або частоти його обертання – $0,33\div 4,16$ с⁻¹;
- робочий діапазон температур паливної суміші – $+50\div +200$ °С;
- діапазон напруг зрушення однорідного шару паливної суміші – $0\div 2500$ Па.

Оскільки прецизійні деталі паливної апаратури виготовляються з високою точністю і незначною шорсткістю поверхонь: $Ra = 0,02$, $Rz = 0,05$, а у сполученні

плунжер - втулка допускається зазор $1\div 4$ мкм і коефіцієнт тертя $f=0,05\div 0,12$, тому можливе використання конструктивних елементів цих вузлів ПА для створення вимірювальних зондів реометрів та віскозиметрів.

У [34] наведено, як впливає перепад тиску палива та деяких конструктивних параметрів деталей на порушення їхньої співвісності, а саме для випадку, якщо спостерігається перекручування циліндричної форми плунжера і втулки. Внаслідок цих процесів спостерігається нерівномірний тиск палива на плунжер, що викликає зсув і перекіс плунжера в отворі втулки. В [117] доведено, що на шток діє сила P_d , яка обумовлена стиском палива і яка не лежить на одній осі з рушійною силою P_T , що приводить до порушення співвісності штока і виникненню невідновжених радіальних сил P , що викликають його підвищений знос (рис. 1.4, а). На рис. 1.4, б наведено більш досконалу модель триботехнічного вузла [117]. Під натиском дії поза центрових сил, шток випробує дію деформації вигину. Внаслідок чого, стріла прогину штока, якщо він перебуває у хиткому положенні, може приймати різні конфігурації в залежності від його довжини і жорсткості [117, 34, 11].

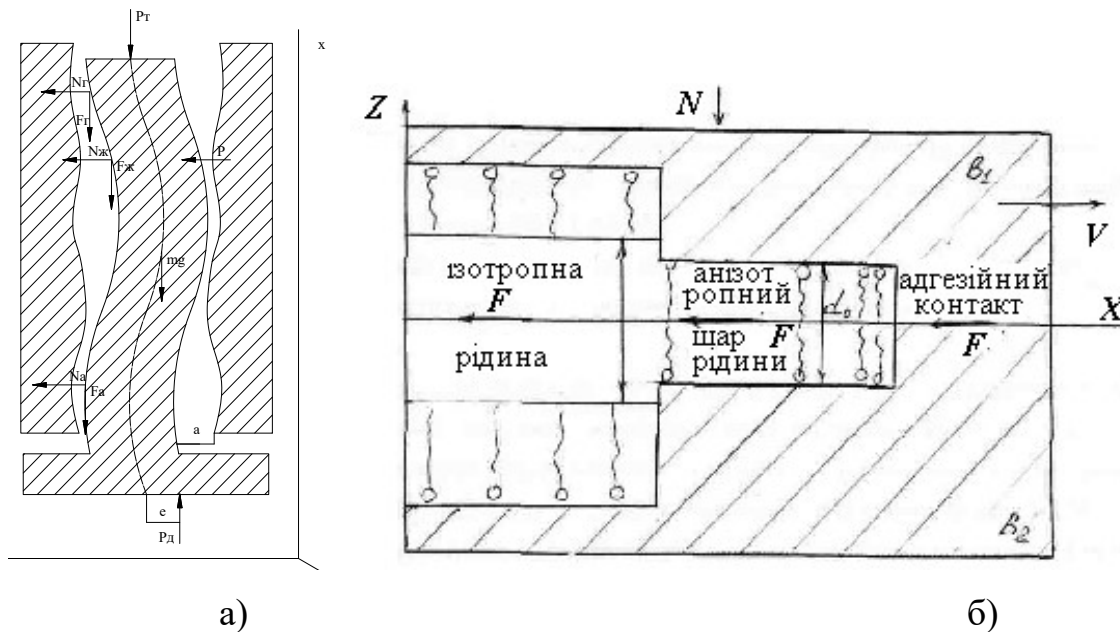


Рисунок 1.4 – Фізична модель: а – типового вузла тертя; б – зони тертя насосного елемента ПА, що працює в режимі граничного змащення

Відповідно до моделі (рис. 1.4, б) весь зазор, який заповнено паливом, уявляє велику кількість областей, у межах яких протікають три однотипних трибопроцеси:

а) процес безпосереднього схоплення контакту робочих поверхонь насосного елемента;

б) процес зрушення в шарі ізотропного палива;

в) процес зрушення в анізотропному шарі палива.

Розподіл шарів розміром 1-100 мкм у зазорі носить випадковий характер. Аналіз діючих сил у вузлі тертя зводиться до спрощеної плоскої задачі (рис. 1.4, б) [149]. На поверхнях утворюються ділянки фактичного контакту, на яких і відбуваються процеси тертя і зносу [34].

Слід зазначити, що і паливо і мастило [56], утворюють на металевих поверхнях граничну фазу квазікристалічної структури товщиною до 0,1 мкм, що володіє міцним зв'язком з поверхнею і подовжньою когезією. При наявності щодо товстого мастильного прошарку між поверхнями тертя перехід від орієнтованої структури змащення до неорієнтованого відбувається стрибком. Це призводить до інтенсивного зносу деталей плунжерних пар і розпилювачів форсунок. Крім того, на знос впливають особливості конструктивних параметрів плунжера і втулки (рис. 1.3), напрям зсуву рідини, величина зазору між елементами, в'язкість палива, перепад тиску, швидкість відносного переміщення тертьових поверхонь, засміченість палива абразивом, його природа і фракційний склад, твердість втулки та й ін.

Тому в [65] було запропоновано для визначення кожного з коефіцієнтів в'язкості використання відповідних конструкцій вимірювальних зондів. Так, для дослідження в'язкості в пристінних шарах необхідні реометри, що забезпечують плавну зміну градієнта швидкості, сили при постійних зазорах і напрямках переміщення. Було запропоновано використання реометрів на співвісних циліндрах і ротаційні реометри на дисках і конусах, бо процеси в них наближені до дійсних процесів у триботехнічних вузлах.

Слід зазначити, що всі перераховані процеси впливають на надійність і термін служби деталей паливної апаратури, а для їхнього продовження необхідно постійно контролювати не тільки в'язкість, але тиск, нерозривність потоку, температуру, ступінь очищення.

1.3 Методи та засоби, системи контролю та визначення в'язкості

Сучасні судна насичені складним енергетичним, електроенергетичним і радіоелектронним навігаційним устаткуванням, а також керуючими контролерами (ПЛК) та комп'ютерами зі СКАДА.

Будь які погрішності в роботі контрольно – вимірювальної апаратури можуть привести до аварійної ситуації, неефективного використання палива та забруднення навколишнього середовища.

Для запобігання цього необхідно удосконалювати системи контролю процесів подачі й упорскування палива.

У [27] приведено параметри ПС і циліндро-поршневих груп, які необхідно реєструвати: тиск палива; хід голки розпилювача, клапанів, плунжера, рейки; оцінки кута повороту вала; безперервності потоку палива; характеристика упорскування і температуру.

Вимоги до суміші палива у потоці:

- можливість зміни температури в широкому діапазоні. Так для легкого палива температура складає $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для важкого – до $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однак у довідковій літературі суднових механіків зустрічається значення $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$, що вступає в протиріччя з фізичними процесами, що відбуваються з паливами при таких температурах. Зокрема відбувається коксування паливної суміші.

Діапазон вимірюваної (кінематичної) в'язкості лежить у діапазоні 18 – 800 сст.

Контроль параметрів здійснюється ще на стадії бункерування судна.

Процедура прийому на судно і контролю якості палива, здійснювана при наявності сертифіката, здійснюється за такою процедурою: відбирають у двох екземплярах контрольну пробу для аналізу або з нафтопроводу, або з верхньої частини цистерни (танка) на глибині 20 см від поверхні [56], а далі проводять експрес аналіз нафтопродуктів за допомогою переносних лабораторій.

Також надається сертифікат (Додаток Е1). Але на судні відсутній прибор, який дозволяє перевірити достовірність цих сертифікатів, а віскозиметри у складі регулятора в'язкості палива працюють тільки на номінальних режимах. Часткове

навантаження ніде не враховується.

Щоб визначити, які складові повинні бути в складі комп'ютерної системи, треба провести аналіз методів виміру в'язкості та систем.

1.3.1 Методи контролю в'язкості суднових технічних рідин

Проведемо аналіз існуючих методів виміру в'язкості рідин з метою оцінки існуючих конструктивних рішень вимірювальних зондів віскозиметрів і реометрів. А також порівняємо процеси у вимірювальному зонді первинних перетворювачів з процесами у вузлах ПА та ЦПГ.

Огляд видань та Інтернету дозволив зробити висновок, що на теперішній час при створенні віскозиметрів використовують сім методів виміру в'язкості [18, 65]: капілярний [20, 110, 111]; ротаційний [12, 13, 21]; співвісних циліндрів [65]; рівнобіжних нерухомих чи рухливих площин; падаючої кульки; крутильних коливань і вібраційний [45].

Аналіз цих методів довів, що на теперішній час в регуляторах в'язкості важкого палива використовують три методи, а саме капілярний; крутильних коливань, вібраційний.

Аналіз систем змащення МОД [65] довів, що можна використовувати шість методів: капілярний; ротаційний; співвісних циліндрів; падаючої кульки; крутильних коливань; вібраційний. Але на практиці використовуються лише три методи для лабораторних випробувань мастил: ротаційний; падаючої кульки; вібраційний.

Таким чином, провівши порівняння методів виміру в'язкості, які використовуються в оцінюванні та вимірі технічних рідин для паливної системи та ЦПГ, можна зробити висновок, що можна використовувати чотири методи, для яких буде проведено надалі порівняльний аналіз.

1. Метод співвісних циліндрів полягає в переміщенні одного циліндра щодо іншого поступально уздовж осі. Процеси в вимірювальному зонді відповідають процесам, які відбуваються в вузлах ПА, наприклад плунжерних парах та

розпилювачів форсунок.

Слід зазначити, що циліндри можуть бути, як обидва рухомими, так і один циліндр нерухомий, а другий – переміщається усередині. В другому випадку привод рухомого циліндра повинен мати водночас високий пусковий момент і високу чутливість до навантаження. Цим умовам відповідає привод на п'єзоелектричних двигунах [65].

2. Ротаційний метод полягає у вимірі в'язкості матеріалу, який розміщено між двома співвісними поверхнями і підданого зрушенню. Вимір в'язкості заснований на законі Ньютона.

Найбільш поширені ротаційні віскозиметри складаються з двох співвісних циліндрів, між якими розташовано досліджуваній матеріал [5, 6]. Циліндри приводяться в обертання відомою парою. В'язкість у цьому випадку визначається з формули:

$$\eta = \frac{M(R^2 - r^2)}{4\pi l(\omega_3 - \omega_B)R^2 r^2},$$

де M – момент, що діє на циліндр (зовнішній чи внутрішній) на певному відрізьку l ; R, r – радіуси зовнішнього і внутрішнього циліндрів; ω_3, ω_B – їхні кутові швидкості. У багатьох віскозиметрах один з циліндрів нерухомий. У деяких віскозиметрах замість циліндрів вибираються системи: конус – конус, конус – площина, диск – диск, диск – кільце, сфера – сфера і т.п. [13]. Діапазон виміру в'язкості на ротаційних віскозиметрах – 10^{-3} - 10^6 Па·с.

Отже, фізичні процеси, які покладено в цей метод, відповідають фізичним процесам, які відбуваються в підшипниках тертя, а саме кривошипно-шатунного механізму.

3. Вібраційний метод [45]. Вимірювальним елементом (датчиком) вібраційного віскозиметра є вібратор (звичайно металевий стрижень), що стикається з досліджуваною рідиною і робить дуже малі коливання з амплітудою в кілька мікрометрів. Опір середовища руху вібратора складається з активного і реактивних. Активний опір обумовлений двома причинами: випромінюванням звукової енергії в довкілля і втратами на грузле тертя. Зі зменшенням розмірів вібратора

випромінювання звукової енергії зменшується настільки, що їм можна зневажити. Активний опір F_a , пропорційний $\sqrt{2\pi\eta\rho}$, де η – в'язкість, ρ – щільність рідини. По виміру активного опору визначається в'язкість матеріалу.

Слід зазначити, що такий віскозиметр придатний до вимірювання в'язкості “ньютонівської” рідини, яка знаходиться в об'ємі, що перевищує розміри зазорів триботехнічних вузлів.

4. Капілярний метод, заснований на вимірі в'язкості при течії рідини в капілярних трубках. В'язкість визначається по уточненій формулі Пуазейля:

$$\eta = \frac{\pi R^4}{8Q} \cdot \frac{\Delta p}{l},$$

де R , l – радіус, довжина капіляра; Δp – перепад тиску в капілярі; Q – секундна витрата рідини щільністю ρ .

Діапазон виміру в'язкості в капілярних віскозиметрах 10^{-1} - 10^4 Па·с.

Вочевидь, що даний метод служить для вимірювання динамічної в'язкості тільки при одному значенні витрати палива, яка відповідає номінальному режиму МОД. Доводка цього методу до режиму, який буде відповідати частковому навантаженню МОД можлива за рахунок застосування насосу перемінної продуктивності, або декількох капілярів. Але процеси в капілярі все одно не будуть відповідати процесам, які відбуваються в вузлах ПА та ЦПГ, тобто не має граничного тертя.

Описані вище методи виміру в'язкості використовуються для виміру не тільки статичної, але і вібраційної в'язкості, тобто в'язкості системи, яку розміщено в посудині, що здійснює коливання [115, 92].

Отже, аналіз перерахованих методів довів, що для проведення лабораторних іспитів палива необхідно забезпечити широкий діапазон швидкостей рухомого циліндру в методах на співвісних циліндрах та ротаційному. Що ж стосується проточних віскозиметрів, то тут немає такої широкої зміни, вимір здійснюється на одній чи двох швидкостях.

Таким чином, аналіз методів виміру в'язкості довів, що найбільше поширення одержали вимірювачі коефіцієнтів в'язкості, засновані на: визначенні перепаду

тиску в капілярі; зусилля на подолання сил тертя між двома співвісними дисками; часу подвійного проходу поршня в циліндрі, через який прокачується рідина (паливо); загасанні механічних чи ультразвукових коливань. А в основу роботи реометрів, віскозиметрів та комп'ютерних систем, до складу яких вони належать, покладені методи виміру в'язкості [84].

Проведемо аналіз реометрів та віскозиметрів, які використовують у теперішній час.

1.3.2 Системи визначення реологічних властивостей тиксотропних рідин та основні принципи їх побудови

Аналіз існуючого ринку реометрів та віскозиметрів, які застосовують в останні 10 років при автоматизації ДВЗ, довів, що найбільшу нішу займають по перепаду тиску і вібраційні віскозиметри.

Пошук реометрів серед провідних брендів, та систем, які застосовують на суднах, дозволив виявити, що в останні роки набули широкого впровадження віскозиметри та реометри від компанії VAF Instrumet, робота яких заснована на методі крутильних коливань, що відноситься до вібраційного.

На рис. 1.5 приведено схему вмикання віскозиметру Viscosence 2 фірми VAF Instruments [125] та вимірювальний зонд (ВЗ).

Роботи по створенню віскозиметру, призначеного для визначення в'язкості палива в судових енергетичних установках, почалися ще у 2000 році. В нього були закладені технології, що раніш не використовувалися в цій області [105].

Вимір в'язкості базується на загасанні вібрації тіла, що знаходиться в рідині. В основу теорії закладена залежність інтенсивності загасання коливань від в'язкості рідини. Чим вище інтенсивність, тим вище в'язкість рідини.

У приборі використовується чутливий елемент – тіло циліндричної форми, що коливально обертається навколо своєї осі з великою частотою. Ці коливання створюють хвилі зсуву в рідині.

Характеристика сенсору: діапазон в'язкості 0 ... 25/50 mPa.s (інші діапазони за

запитом); максимальна робоча температура 180 °С; температура ± 1 °С; діапазон вимірювання 0-200 °С; матеріал сенсору – нержавіюча сталь 316L; покриття – Teflon®.

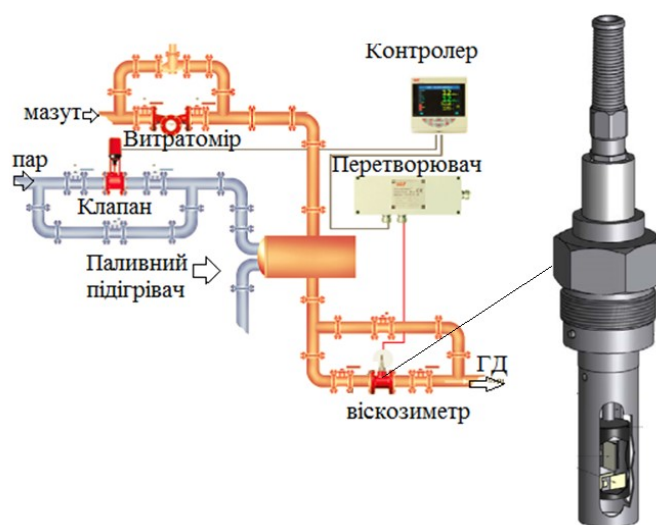


Рисунок 1.5 – Схема вмикання віскозиметру Viscosense 2 фірми VAF Instruments

Параметри блоку інтерфейсу: напруга живлення 115/230 В, 50/60 Гц; споживана потужність 17 ... 25 Вт; активна вихідна потужність 4 ... 20 мА; вихідна в'язкість 0 ... 25/50 мПа·с (залежно від діапазону ViscoSense®2); максимальне навантаження 400 Ом; активний вихід 4 ... 20 мА; діапазон температури 0...200 °С; час відгуку менше 1 хвилини; вага 2,9 кг; Температура навколишнього середовища - 20 ... + 55 °С.

Система суднова регулювання в'язкості палива ViscoSense 2 призначена для використання в паливних системах для отримання точного вимірювання та контролю в'язкості палива.

Комп'ютерна система ViscoSense-II виробництва VAF складається з наступних елементів [126]: датчик для вимірювання в'язкості (VAF 97971), блок перетворення сигналу (ViscoMeter Interface Box M 003138), електронний контролер (E5EN-H Omron), моторний паровий клапан (VUG025F304 Sauter), трубний адаптер (0401-1735-D), електропривод (AVM234SF132 Sauter за наступними параметрами - напруга: 24 В; потужність: 10 Вт; тривалість: 2/4/6 с/мм; сила закриття: 2500 N; вага: 4,6 кг), кріпильна планка.

Вимірювальний зонд віскозиметру складається з описаного вище чутливого елемента (п'єзотрансформатору з в'язкопружним зв'язком), що керує і блоку, що вимірює. Взаємозв'язок різних компонентів системи показано на структурній схемі (рис. 1.6, а), та схема чутливого елемента [127].

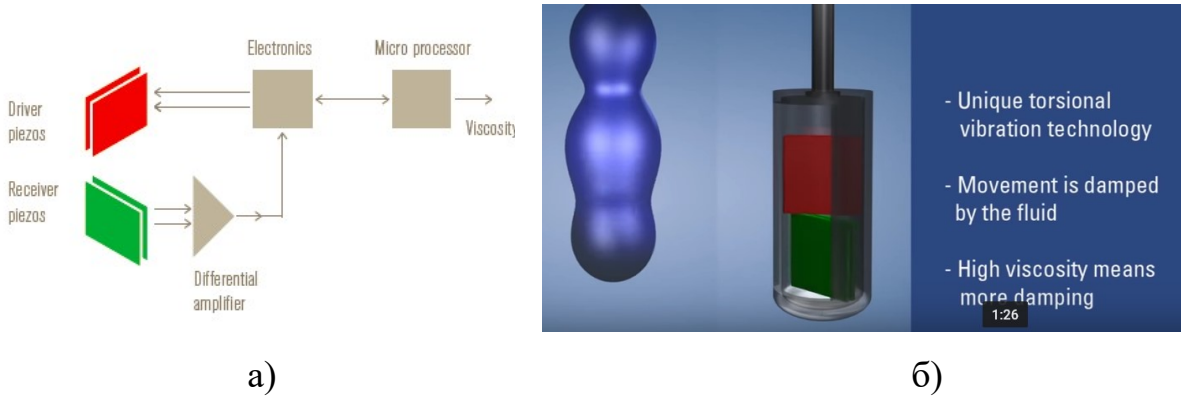


Рисунок 1.6 – Структурна схема віскозиметру (а) та схема чутливого елемента (б)

Метод, на якому засноване проведення вимірів коефіцієнтів в'язкості рідини, використовує зміну резонансної кривої чутливого елемента.

Зі збільшенням в'язкості рідини резонансна крива стає менш вираженою, причому максимум кривої зміщується у бік менших частот. При цьому зміна резонансної частоти виявляється пропорційною кореню квадратному зі значення в'язкості досліджуваної рідини (рис. 1.7).

Процедура настроювання і калібрування віскозиметра є надзвичайно простою і швидкою. Для визначення експериментальної кривої віскозиметра досить провести тільки один контрольний вимір.

Основним недоліком цієї системи є невідповідність процесів у вимірювальному зонді з елементами ПА, а саме, розміру зазору 10-25 мкм, та переміщенню циліндрів один відносно іншого.

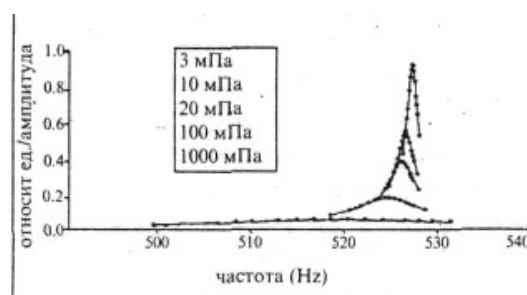


Рисунок 1.7 – Метод проведення вимірів

Наступний вимірювальний зонд від компанії Cambridge Viscosity [128], яка створила модельний ряд віскозиметрів на співвісних циліндрах (рис. 1.8, *a*).

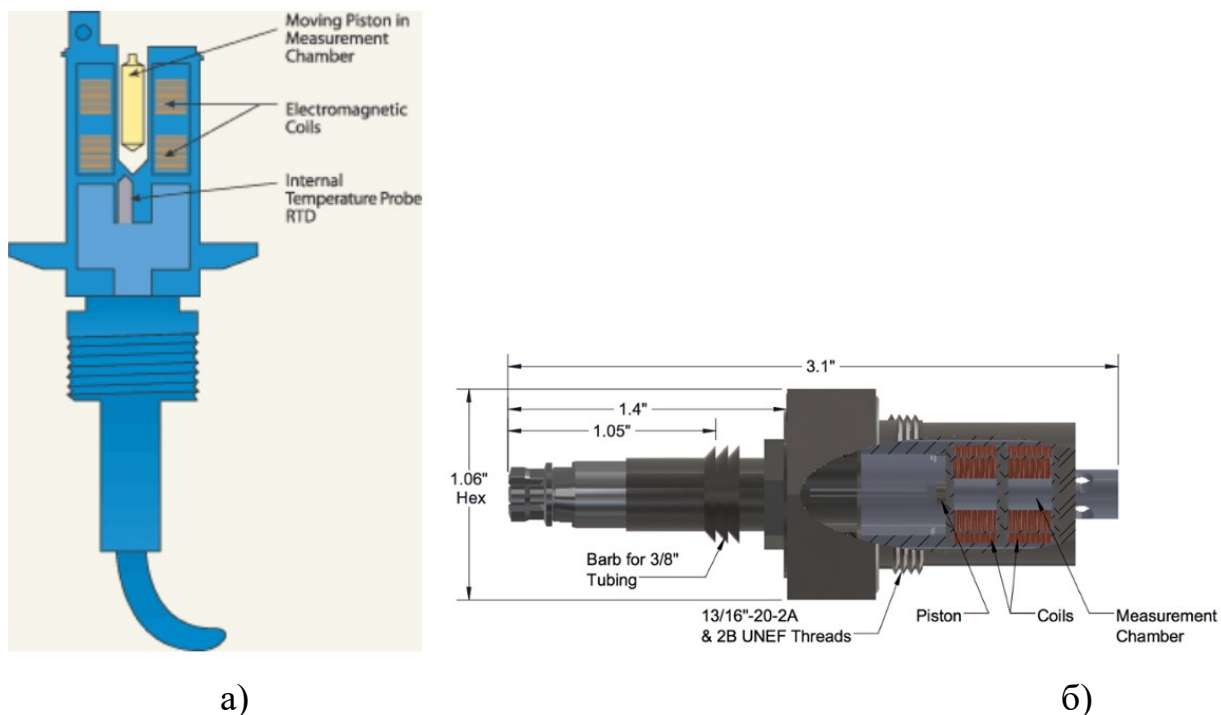


Рисунок 1.8 – Конструкції вимірювального зонду віскозиметрів фірми Cambridge Viscosity: *a* – загальна; *б* – модель Lube Oil Viscometer 571

В якості рухомого циліндру використовується капсула, яка переміщується у вимірювальній камері за допомогою електромагнітної системи, що складається з двох котушок. Ці ж котушки є датчиками положення капсули. Вихідним параметром є час переміщення капсули у вимірювальній камері, що зв'язано з в'язкістю певною залежністю.

Представником цілої «лінійки» віскозиметрів для лабораторних досліджень і контролю в'язкості мастила є Lube Oil Viscometer 571, конструкція якого наведена на рис. 1.8, *б*.

Технологія виміру, застосовувана в цьому приборі, заснована на електромагнітній концепції. Дві котушки переміщують поршень назад і вперед при постійному зусиллі. Власна електронна схема аналізує час подвійного проходу поршня для виміру абсолютної в'язкості. Вбудований датчик температури (RTD) визначає фактичну температуру в камері добору проб. Рідина протікає через трубку. В'язкість може бути обмірювана при невеликих витратах рідини чи в статичних

умовах. Система вимірює в'язкість, температуру і в'язкість з компенсацією температури.

Комп'ютерна система виміру в'язкості є закінченим пристроєм і складається з блоку електроніки та датчика в'язкості.

Однак, наряду з перевагами, система має наступні недоліки:

- при вимірі в'язкості важкого палива можливе коксування, утворення лаку на поверхні деталей. Виробник же рекламує, що немає необхідності в обслуговуванні даного датчика;

- зусилля переміщення поршня постійне, але для ДВЗ характерні види зусиль, що змінюються, і навантаження, особливо в момент пуску двигуна і на реверсах – моментах інтенсивного зносу і поломок;

- використання магнітної системи приводить до «брязкоту».

Альтернативою цьому віскозиметру становлять віскозиметри, в яких для руху циліндру застосовано п'єзоелектричні двигуни – роторний неререверсивний та лінійні [65, 66, 78, 75]. На рис. 1.9 приведено розроблену класифікаційну схему п'єзоелектричних віскозиметрів, які дозволяють одержувати реологічні криві тиксотропних рідин за рахунок можливої зміни лінійної або кутової швидкості в широкому діапазоні без редукторів та додаткових насадок, а також на базі п'єзотрансформатору [80]. На рис. 1.9 товстими лініями виділені блоки, які були запропоновані вперше.

Аналіз особливостей роботи п'єзоелектричних віскозиметрів з безпосереднім контактом рідини і ПЕ при досить спрощеній реалізації конструкції дозволив виявити наступні недоліки:

- при температурах від $+45^{\circ}$ до $+150^{\circ}$ відбувається значна зміна характеристик ПЕ, що при тривалій експлуатації приводить до відшаровування електродів, і, відповідно, до зміни площі ПЕ. Це, в свою чергу, змінює ємність і частоту коливань ПЕ. А, як відомо, ПЕ досягають максимального ККД на частоті резонансу;

- режими роботи ПЕ (швидкість коливань і діапазон переміщень) відрізняються від режимів роботи елементів паливної апаратури;

- генераторний режим роботи ПЕ [41, 96] не дозволяє використовувати його у

всьому діапазоні лінійних швидкостей, відповідних елементам паливної апаратури. Частота резонансу ПЕ істотно відрізняється від частот роботи вузлів паливної апаратури і підшипників тертя. Спроба установки ПЕ на обертовий зонд [105] не дозволила реалізувати подобу процесів ПА.

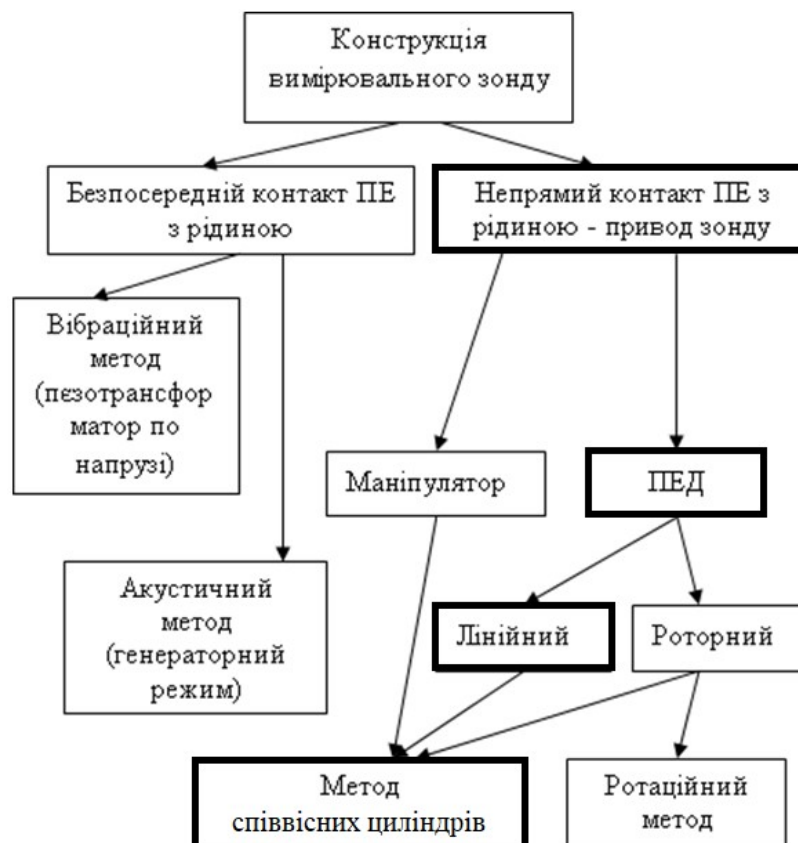


Рисунок 1.9 – Класифікація віскозиметрів, що використовують п'єзоелектричні перетворювачі

Наступна велика група – віскозиметри з приводом, що використовують маніпулятори і двигуни. У цих віскозиметрах вдалося реалізувати подобу процесів в вимірювальному зонді аналогічні процесам в паливній апаратурі. Температурний режим роботи ПЕ знаходиться в допустимих межах, не вище $+60^{\circ}\text{C}$.

Однак, для отримання переміщень п'єзоелектричними маніпуляторами потрібно послідовне механічне з'єднання ПЕ в складальний пакет, тому що абсолютна зміна товщини п'єзоелектричної монопластини за рахунок поздовжнього п'єзоефекту становить всього 0,05 - 0,3 мкм. У той же час пружні властивості пьезоманіпуляторів в поєднанні зі слабким внутрішнім демпфуванням призводять до їх сильної колевальності в перехідних процесах при зміні керуючого поля і

механічного навантаження.

Тому в [79] був задіяний роторний п'єзоелектричний двигун ДЕП-28 [100, 1] в якості приводу вимірювального зонда, який до того моменту вже мав досконалу конструкцію. В [76, 77] запропоновані конструкції віскозиметрів на співвісних циліндрах з лінійними пьезодвигунами (ЛПД). Однак в той період лінійні двигуни за ціною і ресурсу поступалися роторним двигунам (ПЕД). У той же час в [74] було висловлено припущення, що при певному рівні розвитку лінійних п'єзоелектричних двигунів, можливе створення віскозиметрів з співвісними циліндрами за прийнятною ціною і з достатнім терміном експлуатації.

Останні досягнення лабораторії під керівництвом С.Ф. Петренко зі створення ЛПД відкрили широкі можливості в цьому напрямку. Була розроблена універсальна конструкція ПЕ [104], яка дозволила застосувати його як в ЛПД LPM-5-SP, так і в роторних двигунах РМ - 1124R.

Нами пропонується використання перерахованих вище двигунів при побудові віскозиметрів ротаційних і на співвісних циліндрах. В якості вимірювального зонду буде використаний розпилювач паливної форсунки для забезпечення аналогії процесів у вимірювальному зонді процесам в паливній апаратурі.

Однак на відміну від ПЕД попереднього покоління, для управління використовують широтно-імпульсну модуляцію [100], що потребує розробки алгоритму управління і використання промислових контролерів, які працюють в «жорсткому» реальному часі .

На рис. 1.10 наведено структурну схему реометру (а) з роторним ПЕД на співвісних циліндрах (1 – вимірювальний зонд; 2 – вимірювальна камера; 3 – рухомий циліндр; 4 – штуцер; 5 – ПЕД; 6 – диск; 7 – штанга; 8 – магніт; 9 – тахометр). Цю конструкцію відрізняють простота, наближеність процесів у вимірювальній камері до реальних процесів у плунжерних парах, можливість плавної зміни кутової швидкості амплітудним методом з малим кроком зміни, безшумність, маса і габаритні розміри.

Технічні характеристики: зазор у триботехнічному вузлі – 10 мкм; частота обертання – $0 \div 5 \text{ c}^{-1}$; робочий діапазон температур – $+50 \div +200 \text{ }^\circ\text{C}$; діапазон напруги

зсуву однорідного шару - $0 \div 3000$ Па.

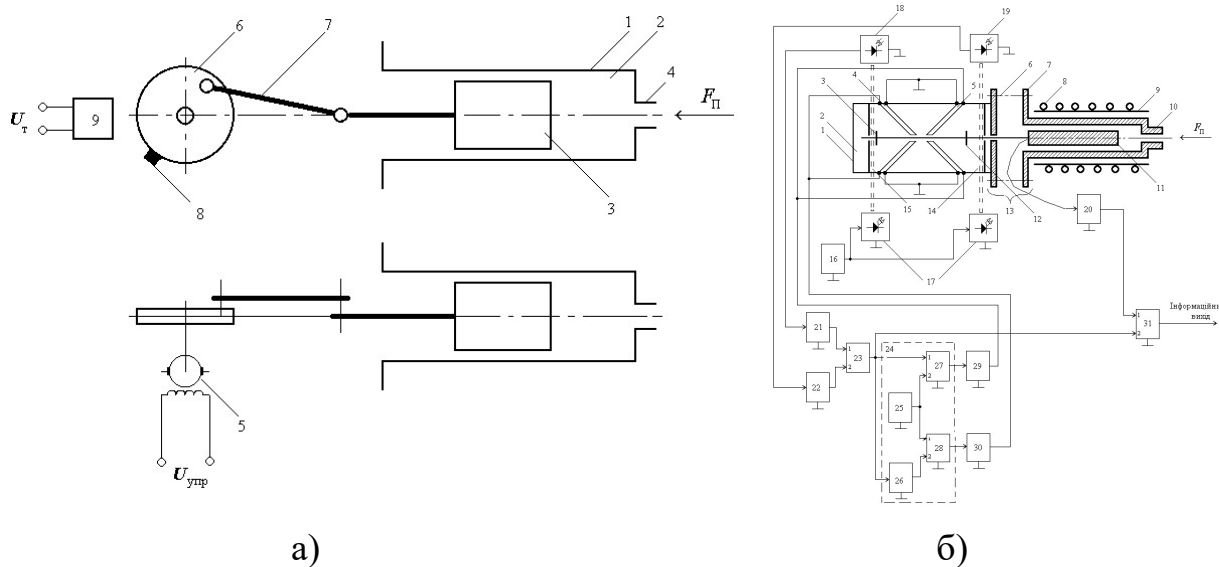


Рисунок 1.10 – Структурна схема вимірювального зонду на співвісних циліндрах:

а – з ПЕД; б – з ЛПД

Відмінною рисою макету є кривошипний механізм, який вносить нелінійність.

Подальший розвиток конструкції цього реометру, коли ПЕД був замінений на ЛПД.

Оцінювання в'язкості здійснювалось по вимірам часу проходження рухомого циліндру в трибо технічному зазорі між крайніми точками нерухомого зазору.

В [65] запропоновано вимірювальний зонд на співвісних циліндрах з приводом рухомого циліндру реверсивним ЛПД (рис. 1.10, б).

Однак застосувати ці двигуни не вдалося попри високу ціну (700 євро) ЛПД на той час (2005 рік), які виготовлялися тільки в Німеччині, та надійність конструкції не задовольняла термінам безаварійної роботи.

В розробленому макеті та запропонованих конструкціях вимірювального зонду не було передбачено підігрів рідини. Тому для досліджень були залучені наступні рідини: дизельне паливо, масло в автоматичну КПП DEXRON III, мастила 90,54 і 153,9 стокс, трансформаторне і вазелінове, які мають в'язкість, аналогічну в'язкості важкого палива при температурах від 75 до 130°C.

Слід зазначити, що на той час ще не набули широкого застосування програмовані контролери (ПЛК), які працюють в «жорсткому» реальному часі по

причині високої ціни. Тому для вимірювання інтервалів часу між двома точками здійснювалися за допомогою цифрових пристроїв виробництва 90-х років минулого століття.

1.4 Узагальнення результатів аналізу. Обґрунтування напрямків досліджень

Враховуючи тему дисертаційного дослідження, було сформульовано мету роботи – створення та поліпшення теоретичної та програмно-технічної бази системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин, яка має високі функціональні та експлуатаційні якості, які забезпечують як безпеку експлуатації МОД, так зменшення викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище.

Гіпотеза наукового дослідження полягає в тому, що при використанні МОД на часткових навантаженнях відбувається зміна градієнтів зусиль, які відбуваються в вузлах паливної апаратури. Рідина, яка знаходиться в триботехнічному сполученні, в такому випадку змінює коефіцієнт динамічної в'язкості, який не є лінійною залежністю. Це може призвести до підвищеного зносу або заклинювання апаратури, що приводить до неповного згорання палива.

Об'єктом дослідження обрані процеси визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин за допомогою комп'ютерної системи.

Предметом дослідження є моделі, методи та засоби створення комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин.

Головне завдання дисертаційного дослідження полягає в створенні комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин, яка дозволяє підвищити ефективність функціонування системи управління МОД.

Для вирішення головного завдання необхідно вирішити наступні задачі, а саме:

- провести аналіз науково-технічного рівня сучасних комп'ютерних систем та їх компонентів, оцінити переваги та недоліки застосування первинних перетворювачів на основі методів визначення в'язкості та реологічних характеристик;

- розробити модель та метод побудови комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин;
- розробити модель вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин;
- розробити апаратно-програмне забезпечення системи визначення реологічних характеристик, провести аналіз і узагальнення результатів досліджень.

Вирішення головного завдання дисертаційного дослідження виконано шляхом синтезу наукових результатів вирішення допоміжних задач.

Системний аналіз і системний підхід до вирішення наукової задачі дозволяє оцінити всі фактори, що сприяють досягненню поставленої мети, і визначити оптимальні способи їх досягнення [8, 17]. Визначення «система» відноситься до філософської категорії наукового пізнання, а комплекс допоміжних завдань, що вирішуються в будь-якому дисертаційному дослідженні, переводить це поняття в категорію складних систем. При вирішенні науково-прикладних задач розглядаються складні системи, що складаються з великого числа окремих елементів, які знаходяться між собою у взаємозв'язку і взаємодії.

З урахуванням викладеного в дисертаційному дослідженні був розроблений замкнутий цикл наукового дослідження, який системно представлений у вигляді технологічної карти дослідження, наведеної на рис. 1.11.

Тема дисертаційної роботи формується на основі «запиту практики» про необхідність пошуку нових шляхів зниження викидів у довкілля, та підвищення безаварійності експлуатації МОД.

Тезою вирішення головного завдання є науковий прогноз про те, що зниження аварійності та викидів у довкілля може бути досягнуто за рахунок створення комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик важкого палива та мастила, яка дозволяє оперативно змінювати режим підготовки рідин або в лабораторних умовах проводити оцінку їх властивостей.

В якості практичного значення отриманих результатів дисертаційного дослідження отримано наступне:

- проведені дослідження і побудована інформаційна модель системи визначення

реологічних характеристик;

- удосконалено математичну модель вимірювального зонду, що дозволяє наблизити процес в приводі рухомої частини до процесів в реальних вузлах паливної апаратури (плунжерні пари та розпилювач форсунки);

- розроблений алгоритм роботи комп'ютерної системи;

- наведені практичні рекомендації щодо розрахунку, конструювання та експлуатації пропонованої системи;

- запропонований і запатентований вимірювальний зонд з лінійним п'єзоелектричним двигуном, який дозволяє перекрити весь діапазон швидкостей елементів паливної апаратури без редукторів та додаткових механізмів, а також має високу чутливість до зміни в'язкості;

- розроблено програмне забезпечення для зібраного програмно-технічного комплексу системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин, що дозволяє визначати непрямим методом коефіцієнти динамічної в'язкості і передавати інформацію оперативному персоналу для коригування режиму роботи МОД.

Основні експериментальні дослідження, виконані в роботі, проводились в лабораторних умовах.

Значущість дисертаційного дослідження полягає в створенні комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин для зниження аварійності та поліпшення роботи паливної системи.

Практична цінність – запропоновано і запатентовано вимірювальний зонд, розроблена система визначення реологічних характеристик шляхом застосування ЛПД у вимірювальному зонді.

У дисертаційному дослідженні висунуто і підтверджено наукове положення: вдосконалення паливної системи МОД.

В результаті вибору теми дисертаційного дослідження за ознаками актуальності, наукової новизни, практичної значущості, робота відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти за формулою спеціальності:

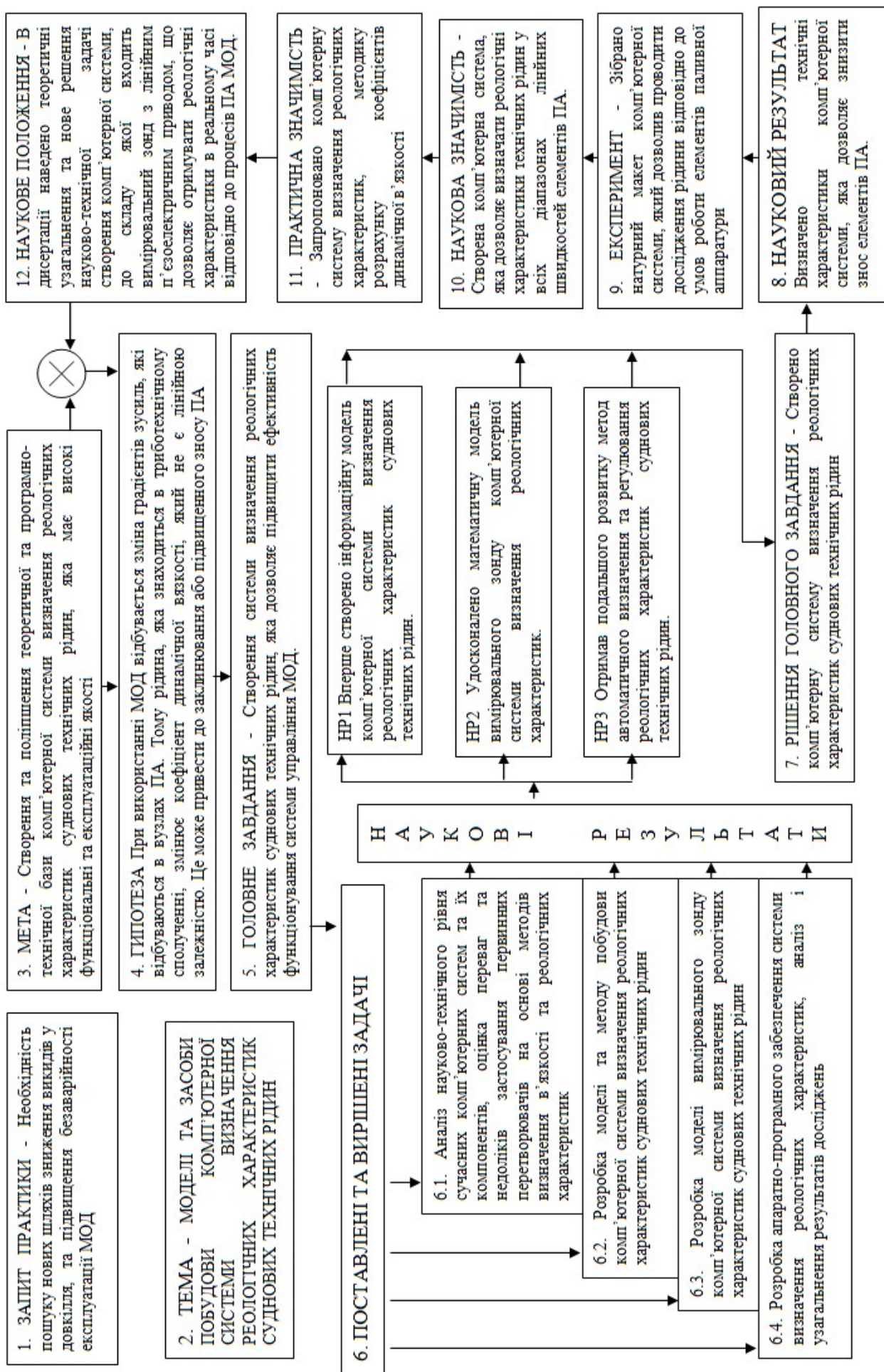


Рисунок 1.11 – Технологічна карта дисертаційного дослідження

організацію принципово нових і вдосконалення існуючих комп'ютеризованих та комп'ютерних систем і мереж, їх апаратних і програмних засобів, розподілених комп'ютерних систем, методів та засобів реалізації комунікацій в них;

науково-технічні дослідження та розробки в галузі первинних і вторинних системних перетворень інформації, аналогових, гібридних та цифрових компонентів комп'ютерних систем, методів та засобів опрацювання знань та природомовних інформаційних об'єктів;

створення алгоритмічного, апаратно-програмного, контрольного-діагностичного та інформаційно-вимірювального забезпечення процесів утворення, збору, зберігання, захисту, обробки, передачі, вводу, виводу та перетворення інформації у комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних системах і мережах.

Значення розв'язання наукових і технічних проблем даної спеціальності для народного господарства полягає у створенні та вдосконаленні теоретичної та програмно-технічної бази засобів комп'ютерних систем, мереж та їх компонентів, що мають високі функціональні, структурні та експлуатаційні якості і забезпечують зростання ефективності їх використання у всіх сферах народного господарства.

Та основними напрямками досліджень:

методи й засоби забезпечення ефективності, надійності, контролю, діагностики, визначення параметрів, відлагодження, випробування, а також проектування високоефективних, надійних, додаткових для контролю та діагностики комп'ютерних систем та мереж, їх пристроїв та компонентів;

теоретичні засади, методологічні, алгоритмічні та програмно-апаратні засоби опрацювання інформації, представлені формалізованими знаннями та природомовними об'єктами;

теоретичні основи аналізу, синтезу, інтелектуалізації, підвищення ефективності, оптимізації та застосування інформаційно-вимірювальних систем, орієнтованих на різні предметні області, а також комп'ютеризованих систем діагностування та контролю параметрів процесів і середовищ, систем для вимірювання параметрів випадкових процесів та полів, систем ідентифікації

сигналів, систем автоматичного контролю технологічних процесів тощо.

1.5 Висновки до розділу 1

1. Проведено аналіз сучасних систем визначення коефіцієнтів в'язкості та реологічних характеристик суднових технічних рідин, до яких належать важке паливо та мастило. Розглянуто особливості їх використання в МОД, які працюють на двох сортах палива. Встановлено, що в останні десять років набули поширення ультразвукові системи на базі п'єзотрансформаторів з в'язкопружним зв'язком, недоліком яких є невідповідність процесів у вимірювальному зонді реальним процесам у вузлах ПА та системи змащування.

2. Комп'ютерні системи не забезпечені гнучкими адаптаційними алгоритмами роботи, що не дозволяє здійснювати швидку пере настрійку системи.

3. Виявлена відсутність уніфікованої інформаційної моделі комп'ютерної системи, що відповідає всім сучасним вимогам інтегративності та ефективності роботи.

4. Висунуто пропозицію в створенні нових інтегрованих підходів до управління процесом визначення реологічних характеристик важкого палива та мастила.

5. Запропоноване вдосконалення методу співвісних циліндрів для визначення реологічних характеристик і розробці систем для їх визначення в лабораторних умовах і в потоці в реальному часі.

6. Проведена класифікація ВЗ з п'єзоелектричним приводом, яка дозволила зробити висновок, що на сьогодні відсутні вимірювальні зонди з лінійним приводом рухомого циліндру, процеси в яких аналогічні реальним вузлам паливної апаратури

7. Сформульована головна задача дослідження.

8. Для усунення недоліків пропонується використання комп'ютерної системи, до складу якої входять вимірювальний зонд на базі методу співвісних циліндрів з зазором, відповідним зазорам ПА, та лінійний п'єзоелектричний привод, що забезпечує високу чутливість до навантаження, можливість плавної зміни лінійної швидкості переміщення рухомої частини ВЗ відповідно до технологічних процесів.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ТА МЕТОДУ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІДИН

2.1 Розробка структури інформаційної моделі системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин

На основі попередньо проведених досліджень, визначено високу актуальність дотримання технологічних умов підготовки палива різних сортів для спалювання у суднових ДВЗ. Головна характеристика пального – його в'язкість, яка може змінюватися в різних сортів палива на всьому діапазоні робочих температур в досить широкому інтервалі. На сьогодні основна форма контролю (зняття основних реологічних характеристик) – це дослідні лабораторії бункерних компаній, що вноситься у відповідний сертифікат і передається на судно при завантаженні палива, а також може бути проведено експрес аналіз нафтопродуктів за допомогою переносних лабораторій. Віскозиметри, які входять до складу регулятора в'язкості важкого палива, працюють тільки на номінальних режимах і також не дозволяють підтримувати точний контроль параметрів в'язкості палива на всіх режимах роботи паливної апаратури та ЦПГ. Подібна ситуація призводить до того, що паливо не повністю згоряє, призводячи до перевищення шкідливих викидів у довкілля. А оскільки паливо виконує і функцію змащення елементів паливної апаратури, може статися їх заклинювання, яке призводить до повної зупинки двигуна. Тому оптимальним рішенням описаної ситуації є розробка моделей автоматичних комп'ютерних систем визначення реологічних характеристик суднових технічних речовин як в лабораторному режимі, так і в якості регулятора в'язкості палива

При аналізі існуючих подібних систем визначено найбільш близьку за своїм складом та призначенням, що приведено в розділі 1 (рис. 1.1). Приведена структурна схема загальноприйнятої системи регулювання в'язкості палива дозволяє працювати на двох сортах палива: дизельне та важке паливо. Це необхідно для забезпечення

роботи ДВЗ в прибережних зонах на дизельному паливі для істотного зменшення викидів у довкілля шкідливих речовин (сірку) та газів (CO_x , NO_x). Ця схема вже обладнана системою підігріву, яка виключається при роботі на легких сортах палива, а саме, дизельному паливі. Для регулювання в'язкості важкого палива система має автоматизовану систему регулювання в'язкості, до складу якої входять віскозиметри та теплорегулюючі клапани, що автоматично забезпечують задану температуру палива. Проте система не відповідає всім поставленим вимогам і потребує подальшого вдосконалення, шляхом введення до неї функцій визначення реологічних властивостей на всіх режимах роботи паливної апаратури, зборі даних дослідження для побудови реологічних кривих та можливостей автоматичного регулювання в'язкості технічних рідин в залежності від отриманих даних дослідження.

Як показує практика використання дизельних ДВЗ, підтримка оптимальної температури технічних рідин не дозволяє точно підтримувати їх потрібний рівень в'язкості, оскільки вони належать до класу «тиксотропних» рідин, властивості яких залежать від градієнту швидкості та зусиллях зсуву. Тому при побудові моделі системи потрібно розглянути всі можливі зв'язки з усіма судовими підсистемами та ДВЗ, що можуть мати вплив на реологічні характеристики технічних рідин судна.

Для побудови зв'язних інформаційних систем необхідно провести систематизацію та аналіз технологій, обладнання, вимог та норм, що пред'являються до інформаційної системи контролю та регулювання реологічних характеристик. Також варто передбачити можливість віддаленого моніторингу параметрів чи проведення циклу досліджень характеристик технічних рідин для судовласників чи нештатних ситуацій.

Загалом, описане завдання можна представити у вигляді спрощеної блок-схема рішення задачі проектування об'єднаної комп'ютерної системи контролю реологічних характеристик судових технічних речовин, що представлено на рис. 2.1 [15].

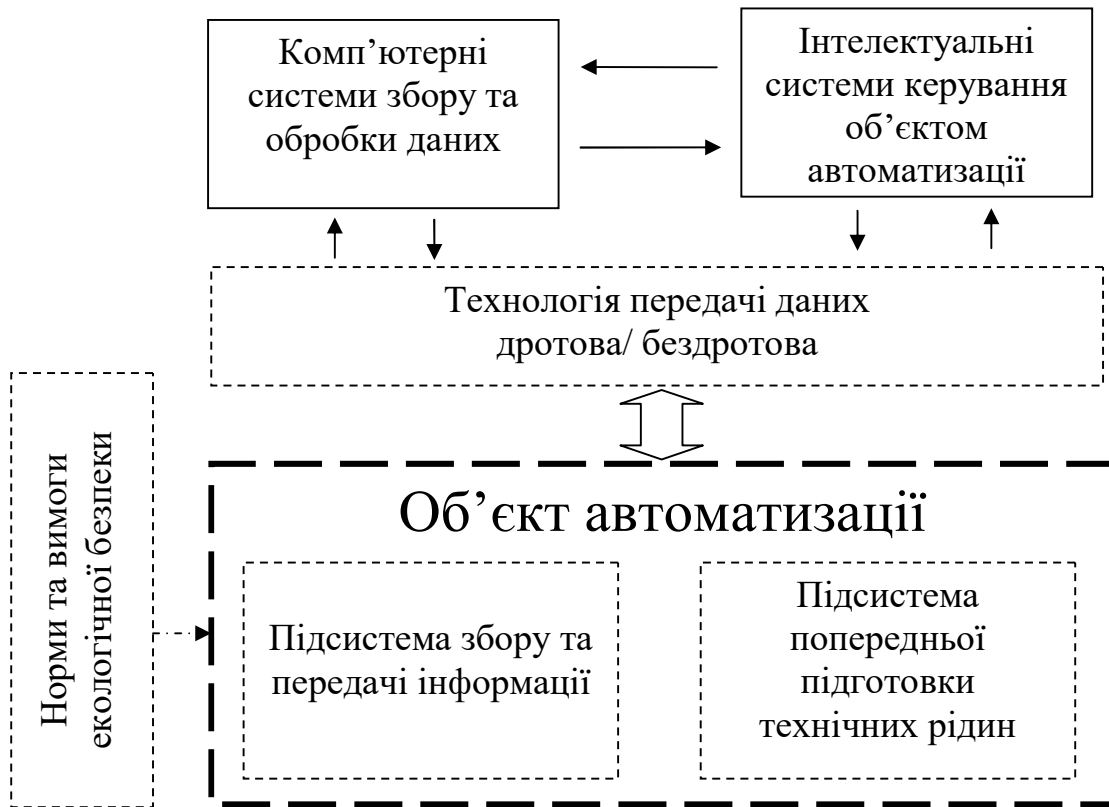


Рисунок 2.1 – Блок-схема рішення задачі проектування об'єднаної гетерогенної комп'ютерної системи визначення та контролю реологічних характеристик

Найбільш придатними методами для розв'язання подібних завдань є методи системного аналізу. Оскільки модель має бути придатною для застосування на різномісних суднах, використовувати в ній конкретні типи вузлів є недоцільним. Тому варто зупинитись на використанні логічної схеми проектування, що базується на формалізованих елементах (M, S, A, C, R, T), а також – графи (для наочності при топологічному аналізі) [114, 1, 22, 35, 48, 53, 53, 59, 96, 106, 113, 109, 119, 120].

Тут M – модель об'єкта проектування;

S – непорожня множина. Елементи множини – завдання проектування;

A – кінцева множина. Елементи множини – початкові дані;

C – кінцева множина. Елементи множини – обмеження, вимоги або інші залежності;

T – кінцева множина. Елементи множини – проектні рішення;

R – відображення, яке ставить кожній парі виду (a_{si}, c_{si}) , $a_{si} \in A$, $c_{si} \in C$ у

відповідність непорожню підмножина множини T , що позначається як $R(a_{si}, c_{si})$

Вся множина завдань проектування S вважається повністю вирішеною, якщо $|R(a_{si}, c_{si})|=|S|$. При цьому повинно виконуватися рівняння 2.1 [114, 30, 33].

$$|R(a_{si}, c_{si})| = 1 \quad (2.1)$$

Система визначається у вигляді $S = \{X, R\}$, де X – множина всіх елементів; R – вказівник відношення між двома елементами. Для множини всіх відносин R між елементами будується матриця інцидентності r , яка будується за принципом «керуючий – підлеглий» [59, 53, 120, 22].

Якщо певний елемент матриці має перевагу перед іншими, або другий передає інформацію першому, тобто відношення R виконується, в клітку (i, j) записується 1; якщо ж відношення R не виконується – в клітку (i, j) записується 0 [5, 35, 59, 106]. Таким чином, матриця інцидентності побудована з нулів та одиниць (табл. 2.1). Елементи матриці в табл. 2.1 підібрані на основі проведеного аналізу систем визначення реологічних характеристик, визначених вузлів паливної системи, які потребують безпосереднього контролю та новітніх тенденцій в сфері автоматизації процесів керування.

Для візуального представлення взаємозв'язку елементів системи, можна побудувати блок-схему. Проте в силу відсутності її якісного опису, систему на початковому етапі можна зобразити виключно у вигляді неструктурованого графу (рис. 2.2) [15]. На рис. 2.2 введені наступні позначення:

- 1 – Локальний контролер керування;
- 2 – Віскозиметр;
- 3 – Датчик температури нагрівача;
- 4 – Датчик температури двигуна;
- 5 – Датчик частоти обертів двигуна;
- 6 – Підігрівач;
- 7 – Банк даних паспортних характеристик;
- 8 – Банк даних дослідних характеристик;
- 9 – Інтелектуальний модуль збору даних та керування;

- 10 – Судновий механік;
- 11 – Віддалений модуль обробки інформації;
- 12 – Суперінтендант з судноплавної компанії;
- 13 – Паливна апаратура.

Таблиця 2.1 – Матриця інцидентності r для комп'ютерної системи визначення та контролю реологічних характеристик

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 Локальний контролер керування							1	1	1	1	1	1	
2 Віскозиметр	1						1	1	1				
3 Датчик температури нагрівача	1						1	1	1				
4 Датчик температури двигуна	1						1	1	1				
5 Датчик частоти обертів двигуна	1						1	1	1				
6 Підігрівач	1								1				
7 Банк даних паспортних характеристик									1	1	1	1	
8 Банк даних дослідних характеристик									1	1	1	1	
9 Інтелектуальний модуль збору даних та керування										1		1	
10 Судновий механік												1	
11 Віддалений модуль обробки інформації												1	
12 Суперінтендант з судноплавної компанії													
13 Паливна апаратура	1								1	1	1	1	

Базуючись на неструктурованому графі (рис. 2.2), побудувати інформаційну модель системи можливо лише після структуризації елементів за допомогою топологічного аналізу [113, 35, 30].

Топологічний аналіз проводиться покроково, на кожному кроці якого визначається приналежність кожного з елементів системи до певного рівня ієрархії, починаючи з найвищого [48, 2, 5, 33]. В ході аналізу, при виявленні приналежності елементів до певного рівня, вони будуть виключатися з множини можливих рішень, що спрощує подальший аналіз.

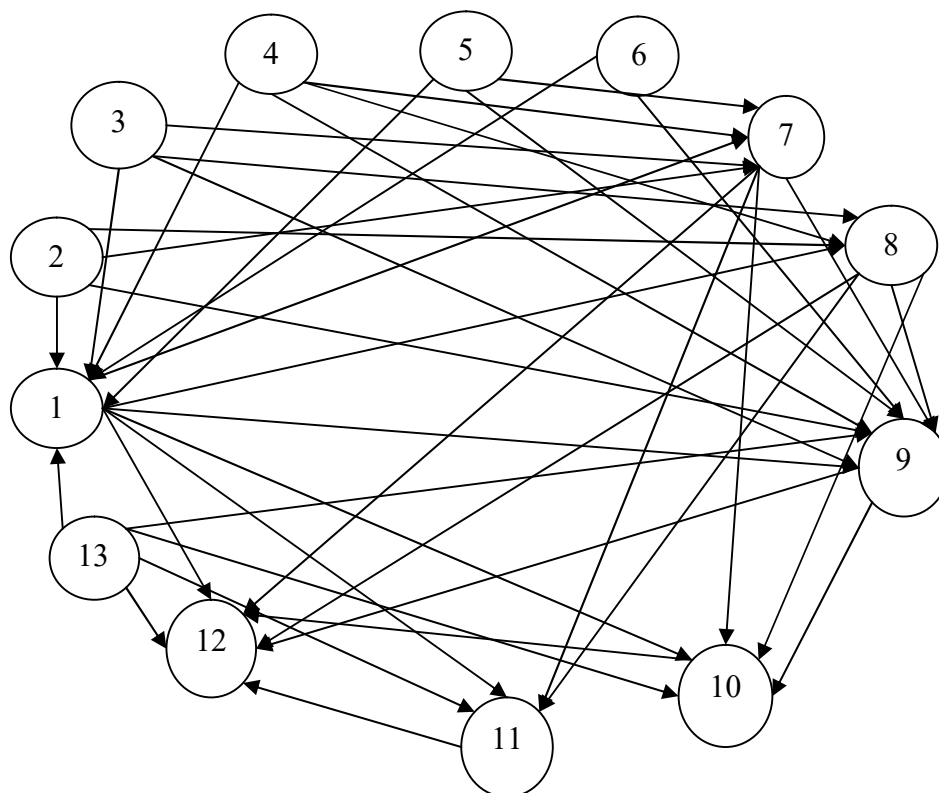


Рисунок 2.2 – Неструктурований граф взаємозв'язку елементів комп'ютерної системи визначення та контролю реологічних характеристик

Крок 1. Визначаються елементи, що входять до найнижчого, нульового рівня ієрархії, оскільки мають найменшу перевагу. Для цього складається вектор-рядок A_0 , елементами якого є сума рядків вихідної матриці r : $A_0 = (6\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 5\ 5\ 9\ 5\ 4\ 7\ 0)$. Елементи вектора-рядка A_0 , що дорівнюють нулю утворюють порядковий рівень N_0 . У даному випадку це група вимірювальних та виконавчих пристроїв: $\{PBBIT\}$ – віскозиметр, датчик температури нагрівача, датчик температури двигуна, датчик частоти обертів двигуна, підігрівач, паливна апаратура (в табл.2.2 закреслено хвилястою лінією).

Крок 2. Для визначення елементів наступного рівня потрібно вектор-рядок A_0 перетворити, замінивши попередні нулі знаком «X» та виключивши з рядка A_0 новоутворені «нульові» елементи. В результаті отримаємо рядок $A_1 = (0\ X\ X\ X\ X\ X\ 1\ 1\ 3\ 4\ 3\ 6\ X)$. Нульовий елемент в рядку A_1 показує, які елементи мають більшу перевагу перед елементами з рівня A_0 , проте меншу, в порівнянні з іншими, що лишилися. Локальний контролер керування $\{ЛКК\}$ (в табл.2.2 закреслено

штриховою лінією) утворює наступний порядковий рівень $N1$.

Таблиця 2.2 – Матриця інцидентності r для комп'ютерної системи визначення та контролю реологічних характеристик (розв'язок)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 Локальний контролер керування	—	—	—	—	—	—	1	1	1	1	1	1	—
2 Віскозиметр	1	—	—	—	—	—	1	1	1	—	—	—	—
3 Датчик температури нагрівача	1	—	—	—	—	—	1	1	1	—	—	—	—
4 Датчик температури двигуна	1	—	—	—	—	—	1	1	1	—	—	—	—
5 Датчик частоти обертів двигуна	1	—	—	—	—	—	1	1	1	—	—	—	—
6 Підігрівач	1	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—
7 Банк даних паспортних характеристик	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1	1	1
8 Банк даних дослідних характеристик	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1	1	1
9 Інтелектуальний модуль збору даних та керування	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	1	—
10 Судновий механік	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
11 Віддалений модуль обробки інформації	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—
12 Суперінтендант судноплавної компанії	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13 Паливна апаратура	1	—	—	—	—	—	—	—	1	1	1	1	—

Крок 3. Аналогічним чином здійснюється перетворення нового отриманого вектора-рядка $A1$. Після сумування залишкових елементів отримуємо рядок $A2 = (X X X X X 0 0 2 3 2 5 X)$. Новоутворені нулі відповідають елементам банк даних паспортних характеристик та банк даних дослідних характеристик $\{БДПХ, БДДХ\}$, (в табл.2.2 викреслено суцільними лініями), що створює наступний порядковий рівень $N2$.

Крок 4. Знову нульові елементи замінюються на ікс та формується новий вектор-рядок $A3 = (X X X X X X X 0 1 0 3 X)$. Нові нулі відповідають елементам інтелектуальний модуль збору даних та керування та віддалений модуль обробки інформації $\{ІМЗдтК, ВМОІ\}$ (закреслено штрих-пунктирними лініями).

Крок 5. Після повторення процедури перетворення $A3$, отримано: $A4 = (X X X X X X X X 0 X 1 X)$, що формує новий рівень $N4$ (в табл.2.2 закреслено двома суцільними лініями): судновий механік $\{СМ\}$.

Крок 6. Остаточне перетворення рядка $A4$ дає $A5 = (X X X X X X X X X X 0 X)$, звідки отримуємо заключний рівень $N5$: суперінтендант з судноплавної компанії $\{ССК\}$.

За результатами дослідження отримано розподіл множини всіх елементів рівні порядку, що розташовані від найнижчого (рівень $N0$) – до найвищого рівня – $N5$.

Результати перетворень можна представити в наступний спосіб:

$\{РВВП\}$,	$\{ЛКК\}$,	$\{БДПХ, БДДХ\}$,	$\{ІМЗДmК, ВМОІ\}$,	$\{СМ\}$,	$\{ССК\}$
$N0$	$N1$	$N2$	$N3$	$N4$	$N5$

Кінцевий результат перетворення неструктурованого графа з рис. 2.2 можна представити, на основі отриманого розподілу на лінії порядку, у вигляді структурованого графа (рис. 2.3) [15].

На рис. 2.3 позначення елементів відповідає позначенням до рис. 2.2.

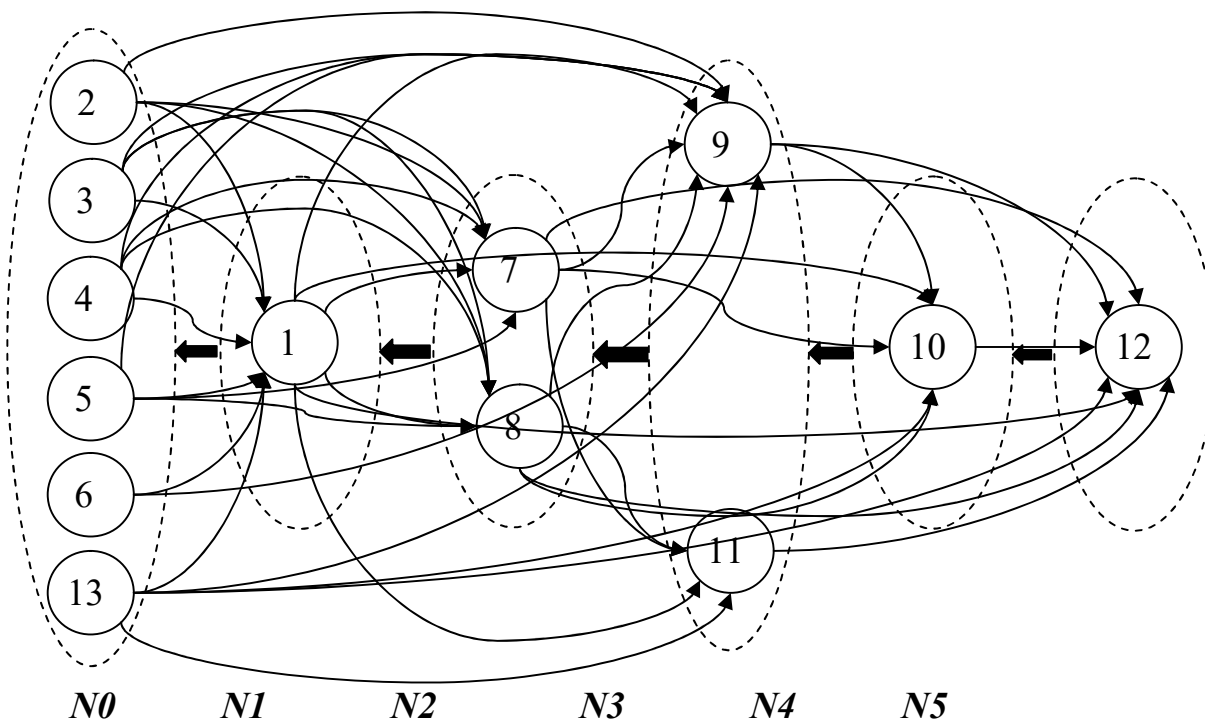


Рисунок 2.3 – Структурований граф взаємозв'язку елементів комп'ютерної системи визначення та контролю реологічних характеристик

Проаналізувавши отриманий граф (рис. 2.3) зрозуміло, що всі елементи системи

розподілені на 6 структурних рівнів, відповідно до класу вирішуваних завдань. Модель придатна в якості основи для подальшої побудови на її базі автоматизованих систем дослідження суднових технічних рідин, а також контролю їх підготовки перед подачею в паливну апаратуру.

2.2 Розробка розгорнутої інформаційної моделі системи визначення та контролю реологічних характеристик суднових технічних рідин

На основі розробленої структури інформаційної моделі системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин в п.2.1 можна розробити реальну модель і представити її у вигляді UML-діаграм (рис. 2.4), що полегшує її подальшу практичну реалізацію [15].

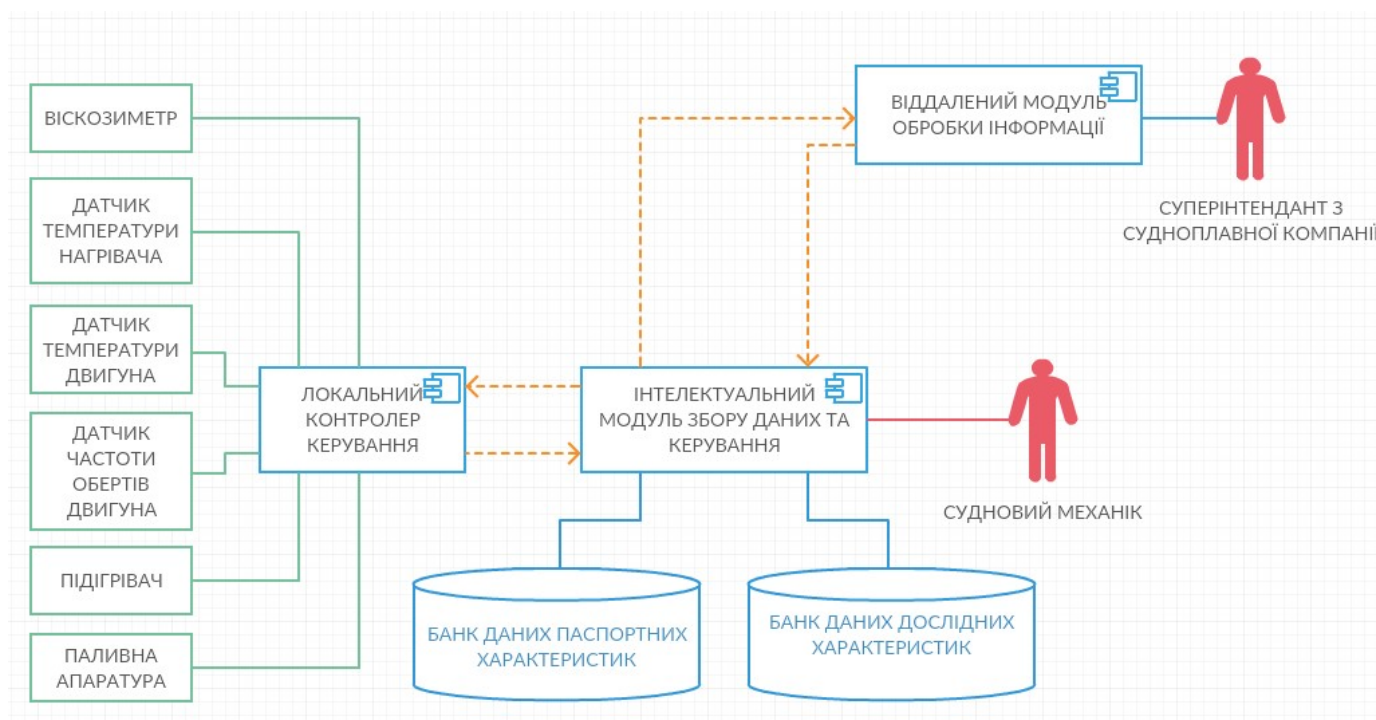


Рисунок 2.4 – UML-діаграма моделі інформаційної моделі системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин

В даній моделі локальний контролер керування повинен бути встановлений безпосередньо біля об'єкту автоматизації – паливної апаратури та контрольно-вимірювальних приладів. В його функції входить контроль режимів роботи паливної апаратури та нагрівача, збір даних з датчиків, їх відправка на інтелектуальний

модуль збору та обробки даних, що встановлений в рульовій рубці, де також містяться банк даних паспортних характеристик технічних рідин та банк даних дослідних характеристик. Все це є судновою підсистемою і управляється судновим механіком. Інтелектуальний модуль, через засоби супутникового зв'язку, обмінюється даними з віддаленим модулем обробки інформації, де суперінтендант з суднової компанії може контролювати роботу всіх агрегатів, перевіряти якість підготовки палива та здійснювати оперативне втручання в роботу системи в нештатних ситуаціях.

Наступним кроком є інтеграція розробленої моделі в загальну структуру функціонування судна. Оскільки реальні моделі оперують не тільки віртуальними об'єктами, то попередньо-розроблена модель мусить бути доповнена реальними модулями, що забезпечить повноцінну інтеграцію інформаційної моделі в системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин у функціонування судна в цілому. До додаткових модулів можна віднести паливні бункери, система очистки палива – фільтри, насос для нагнітання палива в паливну систему, автоматичні клапани для регулювання потоків палива в системі.

На судні, як правило, міститься два паливних бункери – для дизеля та важкого палива. При транспортуванні палива від бункерів до форсунок ДВЗ здійснюється його попередня підготовка та вимірювання основних показників. Підготовка палива зазвичай полягає в попередній очистці та підігріві за допомогою парового трубопроводу, прокладеним поряд з паливним та об'єднані спільним ізолятором. Регулювання температури підігріву паливного трубопроводу здійснюється за допомогою теплорегулюючих клапанів, що пропускають нагрітий пар. Тому з моделі рис. 2.4 елемент «Підігрівач» в дійсності представляє з себе «Теплорегулюючий клапан».

Відповідно до внесених доповнень, розгорнуту інформаційну модель системи визначення та контролю реологічних характеристик суднових технічних рідин можна представити у вигляді результуючої UML-діаграми – рис. 2.5.

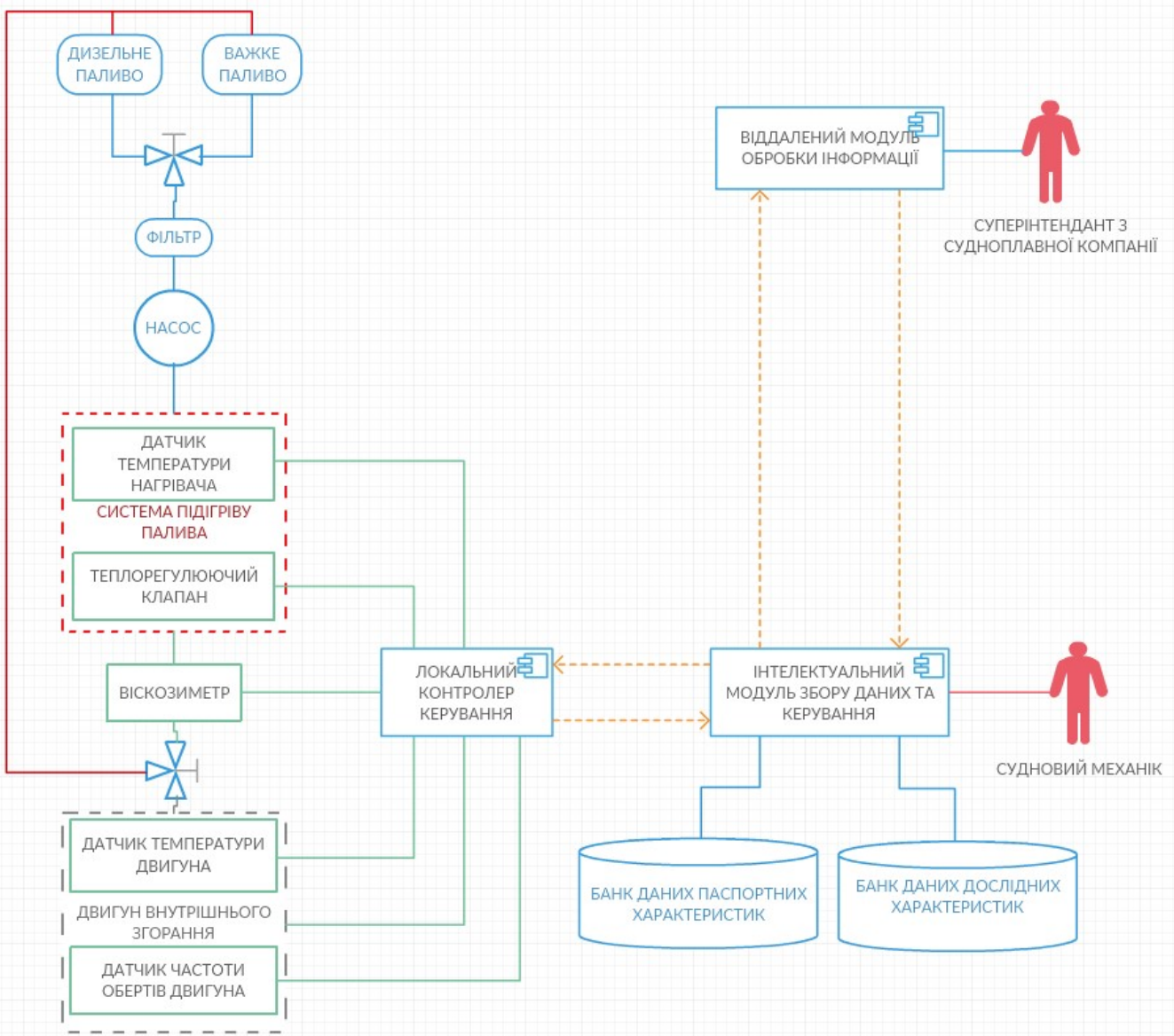


Рисунок 2.5 – UML-діаграма розгорнутої інформаційної моделі системи визначення та контролю реологічних характеристик суднових технічних рідин

Таким чином, розроблена система дозволяє в автоматичному режимі здійснювати вимірювання реологічних характеристик та передавати їх у відповідну базу даних. Інтелектуальний модуль збору даних може здійснювати їх перевірку на відповідність паспортним характеристикам. Також в модуль надходить інформація про температурні режими кожного з вузлів системи та частоти обертів двигуна. Відповідно до отриманих даних та базуючись на технічній інформації про режими роботи двигуна та потрібні значення в'язкості палива, модуль автоматично приймає рішення по потрібним змінам в режимі роботи системи підігріву для оперативного

втручання та приведення параметрів палива до відповідних норм. В системі також передбачено лінію бай пас (на рис. 2.4 позначено червоною суцільною лінією), що дозволить без запуску двигуна здійснювати попередній прогін палива та здійснити контрольний замір його характеристик.

2.3 Розробка методу автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин

Існуючі комп'ютерні системи автоматичного регулювання не обходяться без устаткування збору і обробки інформації, кількість якого перевищує десятки і сотні одиниць в рамках однієї системи. Середньостатистичний комплекс сьогодні, як правило, налічує близько півтора тисячі таких точок збору і обробки інформації. Правильно організована модель передачі інформації в комп'ютерній системі автоматичного регулювання підвищує швидкість її роботи та надійність експлуатування об'єкта автоматизації, в даному випадку – паливної апаратури. Будь якому циклу експлуатації, як правило, передують цикл досліджень, на основі якого будуються припущення про способи регулювання параметрів. Зазвичай, у випадку регулювання в'язкості паливних матеріалів, все зводиться до встановлення певної температури нагрівника, що є прийнятною в широкому діапазоні режимів роботи паливної апаратури. Проте практика використання суднових дизельних агрегатів та важкого палива, яке є тиксотропною рідиною, показує значну залежність параметрів в'язкості палива не тільки від температури, а й від частоти обертів двигуна, міри його зносу та інше... Тому неприпустимо використання для вирішення завдань контролю та регулювання реологічних параметрів суднових технічних рідин застарілих суб'єктивних методів, що призводить до збільшення шкідливих викидів у довкілля.

Перспективною є розробка спеціальних методів, що дозволяють в автоматичному режимі керувати роботою паливної апаратури, особливо при роботі на важкому паливі. У першому розділі розглядалися технологічні процеси спалювання палива в мало обертових дизелях, методи й засоби контролю в'язкості

палива, на підставі яких можна визначити їх можливості та перспективні напрямки дослідження. Визначено, що вони не володіють достатньою автономністю та гнучкістю автоматичних алгоритмів керування, потрібна постійну участь суднового механіка. Для уявлення методу, визначимо основні функціональні елементи, які необхідні для побудови системи автоматичного визначення та контролю параметрів технічних суднових рідин.

Для спрощення опису методу спростимо систему шляхом об'єднання баз даних паспортних характеристик та баз даних дослідних характеристик, об'єднання суднового механіка та суперінтенданта з судноплавної компанії в одну функціональну одиницю, так як їх дії ідентичні. Також при керуванні роботою паливної апаратури потрібен модуль завдання технічних вхідних даних і генератора документації. Так як віддалений модуль обробки інформації в контролі та керуванні участі не приймає, то він розглядатися не буде.

Для скорочення завантаженості механіків і збільшення швидкості обробки даних, пропонується ввести інтелектуальний модуль збору даних та керування. У функції даного модуля покладено можливості роботи в автономному режимі, без участі механіка, керуючись дослідними і загальновідомими технічними даними та командами від стернового чи капітана про потрібний режим роботи на даний момент часу. Також модуль передає всі дані до бортового журналу для документування всіх здійснених дій та прийнятих рішень.

Реалізацію методу пропонується здійснити в такий спосіб [15]:

– на початковому етапі механік ініціалізує роботу інтелектуального модуля збору даних та керування, який запускає процеси підготовки паливної апаратури до роботи;

– на другому етапі є можливість вибору режиму роботи – 1. Дослідження реологічних характеристик технічних суднових рідин; 2. Контроль параметрів суднових технічних рідин згідно отриманих дослідних даних. При виборі режиму роботи 1, інтелектуальний модуль збору даних та керування на підставі алгоритму проведення дослідження надсилає запити до локального контролера керування про поступову зміну параметрів нагрівника та інших вузлів, що впливають на

характеристики рідин і отримавши у відповідь вимірні показники з датчиків, записують їх до відповідної бази даних. При виборі режиму 2, інтелектуальний модуль збору даних та керування на підставі закладеного алгоритму і відповідно до отриманих запитів від модуля завдання технічних вхідних даних генерує керуючі запити до локального контролера керування.

Для опису взаємозв'язку між модулями на логічному рівні найкраще користуватися діаграмами класів.

Діаграма класів – основний спосіб опису структури системи. На діаграмі класів застосовуються один основний тип сутностей: класи (включаючи численні окремі випадки класів: інтерфейси, типи, класи – асоціації і багато інших), між якими встановлюються такі основні типи відносин:

- асоціація між класами (з безліччю додаткових подробиць);
- узагальнення між класами;
- залежності (різних типів) між класами і інтерфейсами [42, 19].

Таким чином, узагальнену систему можна представити у вигляді діаграми класів (рис. 2.6).

Розробники використовують діаграми класів для реального створення класів. Існує значна кількість інструментальних засобів, які генерують основу коду класів, яку програмісти заповнюють деталями на обраній ними мові. За допомогою цих діаграм аналітики можуть показати деталі системи, а менеджери проектів – зрозуміти всю суть проекту. Якщо, наприклад, який-небудь клас несе занадто велике функціональне навантаження, це буде видно на діаграмі класів, і розробник зможе перерозподілити її між іншими класами. За допомогою діаграми можна також виявити випадки, коли між сполученими класами не визначено ніяких зв'язків. Діаграма класів слід створювати, щоб показати взаємодіючі класи в будь-якому вигляді використання. Можна будувати також більш загальні діаграми, що охоплюють всі системи або підсистеми [42, 53, 19].

Наявність інтелектуального модуля збору даних та керування дозволяє істотно спростити систему. В даному випадку на нього покладаються завдання проведення автоматизованих досліджень та на основі отриманих даних здійснювати ефективний

контроль характеристик суднових технічних рідин в реальному часі за наявними інтелектуальним алгоритмом, який дозволяє гнучко контролювати показники в'язкості палива, що робить систему більш універсальною в порівнянні з попередніми розробками.



Рисунок 2.6 – Діаграма класів узагальненої системи автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин

Для більшої деталізації процесів обміну інформації між класами та розподілу їх в часі використовують діаграми послідовності.

Діаграма послідовності – це спосіб описати поведінку системи «на прикладах». Фактично, діаграма послідовності – це запис протоколу конкретного сеансу роботи системи (або фрагмента такого протоколу). В об'єктно-орієнтованому програмуванні самим істотним під час виконання є відправлення повідомлень взаємодіючими об'єктами [53, 19]. Саме послідовність відправки повідомлень відображається на даній діаграмі, звідси і назва. На діаграмі послідовності застосовують один основний тип сутностей – об'єкти (екземпляри взаємодіючих класів і дійових осіб), і один тип відносин – повідомлення, якими обмінюються взаємодіючі об'єкти. Передбачено кілька типів повідомлень, які в графічній нотації розрізняються видом

стрілки, відповідної відношенню. Важливим аспектом діаграми послідовності є явне відображення плину часу. На відміну від всіх інших типів діаграм, на діаграмі послідовності має значення не тільки наявність графічних зв'язків між елементами, але і взаємне положення елементів на діаграмі [53]. А саме, вважається, що є (невидима) вісь часу, за замовчуванням спрямована зверху вниз, і те повідомлення, яке відправлено пізніше, намальовано нижче.

Діаграма послідовності системи автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин представлена на рис 2.7.

На діаграмі введено наступні позначення:

ІМЗДтК – інтелектуальний модуль збору даних та керування;

БД – бази даних (база даних паспортних характеристик та база даних дослідних характеристик);

МЗТВД – модуль завдання технічних вхідних даних;

ЛКК – локальний контролер керування;

ГД – генератор документації.

Діяльність діаграми можна пояснити на прикладі процесу керування.

Перший етап – підготовка.

Особливої уваги потребує підготовка важкого палива. Перед використанням, паливо відповідним чином готують. Процедура підготовки має першочергове значення для забезпечення безперебійної, надійної та економічної роботи паливної апаратури. Для нормальної роботи системи пальне в запасних, відстійних і витратних цистернах, перед фільтрами, сепараторами і форсунками підігрівають до температури, що забезпечує необхідну в'язкість [106]. Гранична температура обігріву пального в ємностях, що сполучені з атмосферою, повинна бути більш ніж на 15 ° нижче температури спалаху в закритому тиглі.

В'язкість, що забезпечує легкість прокачування пального – основна характеристика суднових технічних рідин. Міра вимірювання в'язкості – умовна в'язкість (ВУ) в віскозиметрах Енглера, виражають її в градусах Енглера (Е), або ВУ. Середні показники в'язкості на робочих режимах повинні бути 57–120°ВУ. Обігрів має здійснюватися по всім робочим ємностям. Тому у відстійних і витратних

цистернах температура пального з часом підвищується до 50–65°C [101].

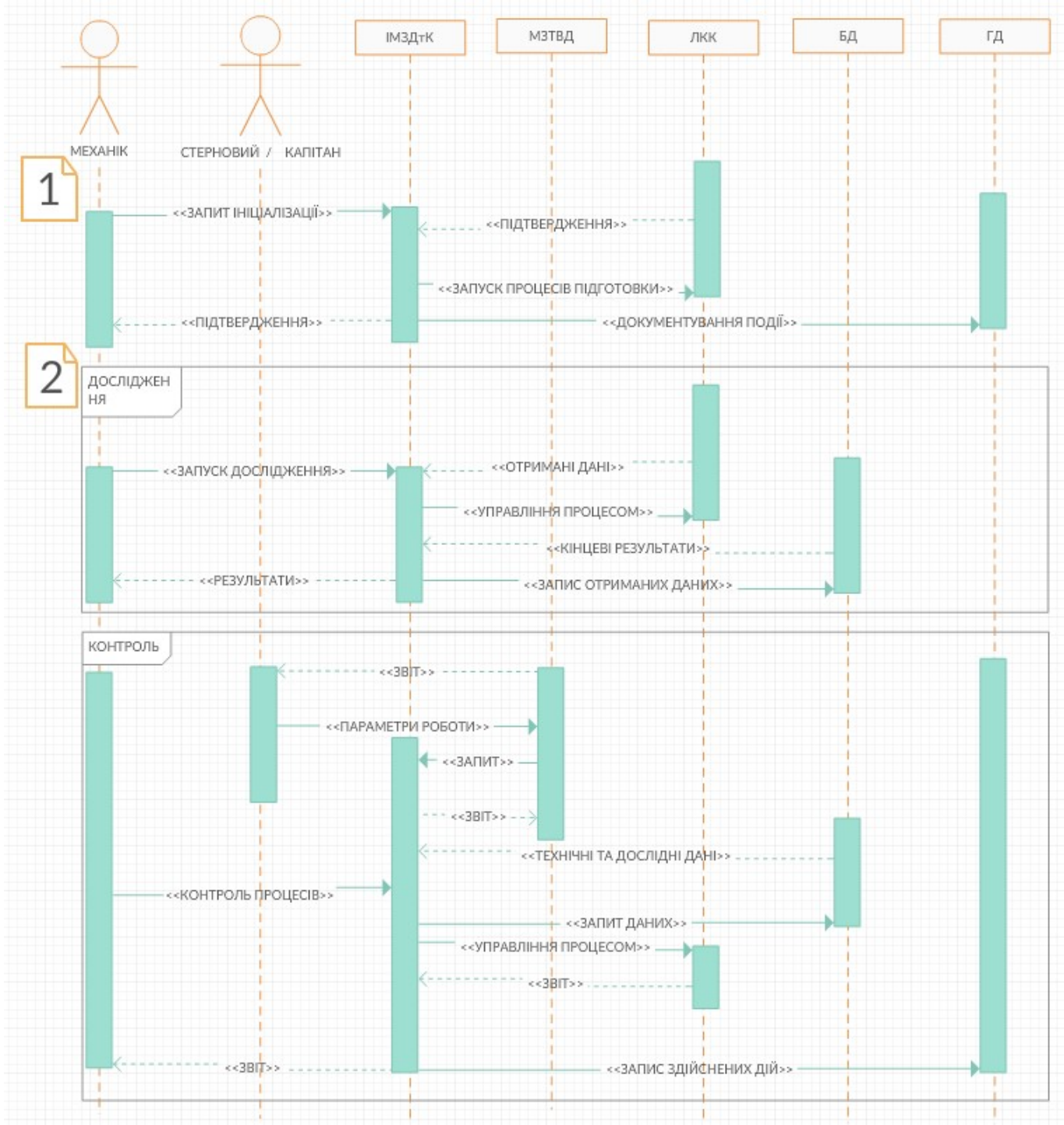


Рисунок 2.7 – Діаграма послідовності роботи системи автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин

Перед надходженням в сепаратор дизельне чи важке паливо додатково підігрівають для зниження його в'язкості до 2–6°ВУ. Все суднове електричне обладнання, зокрема й сепаратора, повинно мати спеціалізований захист від випарів

палива. В'язкість очищеного палива, що надходить до форсунок паливної апаратури, повинна бути не вище $3,5\text{--}4^\circ\text{ВУ}$, що є максимально допустимою. При більш високих показниках в'язкості надміру збільшується тиск в системі розпилювання палива, що призводить до пошкодження деталей паливної апаратури. Оптимальним значенням в'язкості перед форсунками є $2\text{--}2,5^\circ\text{ВУ}$, при якій умови розпилювання важкого пального стають приблизно такими ж, як при роботі на дистильованому дизельному паливі [59].

Паливна апаратура, що працює на важкому паливі, зазвичай передбачає два варіанти роботи головного дизеля: запуск і роботу на важкому паливі; запуск на дизельному пальному з наступним переключенням на важке пальне.

Запуск мало обертових судових дизелів можна створювати на дизельному паливі середньої в'язкості типу ДТ або дизельному, середньообертових судових дизелів – лише на дизельному. У всіх випадках при заході судна до порту за 1 – 1,5 год паливна апаратура повинна бути переведена на дизельне паливо для повної очистки системи упорскування від важкого палива [101].

Перед запуском паливної апаратури на важкому паливі підігрівач, фільтр і трубопроводи, що з'єднують трубопровід з паливним насосом високого тиску, прогрівають. Після прогрівання запускають автономний паливний насос для створення циркуляції палива з змішувача через елементи системи подачі палива назад в змішувач.

Час між моментом пуску і ввімкнення навантаження для прогрітої паливної апаратури залежить зазвичай від потужності і становить близько 50 секунд для апаратури до 50 кВт, 60 секунд для апаратури від 500 до 1000 кВт з повітряним пуском, і 80 секунд для апаратури потужністю понад 1000 кВт [59, 106].

При пуску й прогрівання паливної апаратури всі автоматичні операції здійснюються при безперервному моніторингу показників датчиків, що контролюють в'язкість палива, температуру охолоджуючої води і мастила, частоту обертання двигуна, тиск пускового повітря, наявність палива, рівня технічних рідин та інші параметри.

Загалом, технологічна послідовність операцій при пуску включає наступні

передпускові операції:

- попереднє прокачування системи мастила (при цьому контролюється час прокачування і тиск масла);
- попереднє прокачування системи подачі палива;
- попереднє включення свічок розжарювання (на двигунах з внутрішньо-камерним сумішоутворенням) [106, 101, 59].

Пускові операції починаються після завершення передпускових. По імпульсу, що надходить в блок управління від локального контролера та датчиків, що контролюють закінчення передпускове прокачування мастила, вмикається стартер.

Для двигунів з стартерним пуском, метод передбачає декілька спроб розкрутки з часовими проміжками між ними.

У разі вдалого пуску модуль керування починає відлік часу прогрівання та здійснює загальний контроль показників температури паливної апаратури.

Паливна апаратура після пуску виходить на режим прогріву на холостому ходу і зниженій частоті обертання. Реле контролю температури мастила може ввімкнути двигун до навантаження лише після прогрівання мастила до температури 35 – 40°C [101, 59].

Другий етап – контроль та експлуатація.

На другому етапі механік здійснює лише контроль за станом обладнання та слідкує за показниками вимірюваних параметрів. Стерновий чи капітан, отримавши підтвердження готовності паливної апаратури, можуть переходити до управління судном. Сюди відноситься вибір однієї з 6 швидкостей, один з 12 температурних діапазонів роботи паливної апаратури, інтенсивність подачі палива до форсунок та інше.

Інтелектуальний модуль збору даних та керування отримавши потрібні параметри роботи надсилає запит до бази даних паспортних характеристик та бази даних дослідних характеристик, щоб визначити необхідні вимірювані значення, дотримання яких забезпечить очікувані параметри в'язкості. Наступний запит модуль посилає до локального контролера керування для отримання реальних показників у всіх точках вимірювання.

Отримавши всі дані, модуль проводить їх детальний аналіз та передає команди керування до локального контролера керування, який задіює вбудований ПД-регулятор виконавчими пристроями для точного дотримання потрібних параметрів.

Таким чином, запропонований метод системи автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин може працювати повністю автономно, що дозволяє використовувати його в комп'ютерних системах з можливістю зміни параметрів роботи системи в режимах реального часу та онлайн. Даний метод дозволив підвищити ефективність підготовки палива та зменшити кількість шкідливих викидів у довкілля. Відпала необхідність залучення судового механіка до контролю параметрів на всіх етапах експлуатації паливної апаратури.

2.4 Інформаційна модель лабораторної дослідної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин

Ефективний контроль роботи дизельних двигунів та параметрів підготовки палива може здійснюватись лише на основі попередньо здійснених випробовувань. Такий підхід забезпечить безперебійну роботу паливної апаратури, повноцінне змащення рухомих частин двигуна та спалення паливної суміші, зменшення екологічно небезпечних викидів у довкілля.

Особливої уваги потребує вимірювання характеристик важкого палива та дотримання вимог щодо його підготовки перед подачею до форсунок ДВЗ. Важке паливо та мастило, які застосовують в суднових дизелях, відносяться до тиксотропних рідин і потребує більш ґрунтовних лабораторних досліджень.

В сучасних судах широко використовуються системи автоматичного регулювання в'язкості палива, які вимірюють точкові коефіцієнти динамічної в'язкості. Важкі моторні палива та масла належать до тиксотропних рідин, тобто таких, в яких напруга зсуву зменшується в часі при сталій швидкості деформування. Тому даний метод не дає уявлень про їх реальні властивості та поведінку. До того ж, застосування віскозиметрів без задіяного ДВЗ неможливе, оскільки процеси в вимірювальних зондах використовуваних віскозиметрів не подібні процесам в

триботехнічних вузлах паливної апаратури [73, 74].

Поступово популярності починає набувати метод співвісних циліндрів через подібність процесів у вимірювальному зонді віскозиметра і в триботехнічних вузлах паливної апаратури. Раніше встановлено [2, 65], що результати досліджень, представлені у вигляді реологічних кривих, за якими визначається коефіцієнт динамічної в'язкості, на ротаційному віскозиметрі і віскозиметрі на співвісних циліндрах, істотно відрізняється для однієї і тої ж рідини. Процеси, що відбуваються в вимірювальному зонді співвісного віскозиметра, ідентичні процесам, що протікають в вузлах паливної апаратури.

Для того, щоб попередньо розроблену систему можна було також застосовувати для лабораторних вимірювань, в лінію бай пас потрібно додати елемент, що створить навантаження для віскозиметра і симулюватиме роботу ДВЗ. В [65] запропонована система визначення реологічних властивостей для лабораторних досліджень, до складу якої входять вимірювальний зонд на співвісних циліндрах з приводом на реверсивному лінійному п'єзоелектричному двигуні (ЛПД). Для візуального представлення елементів системи та процесів, які в ній відбуваються, технологій та взаємозв'язків з різними системами передачі інформації від контролера до судового механіка, базуючись на структурі розроблених моделей (рис. 2.4, 2.5), побудовано UML - діаграму системи лабораторних досліджень (рис. 2.8) [89].

В моделі додано OPC-сервер. Технологія взаємозв'язку і впровадження об'єктів для систем промислової автоматизації OPC (OLE for Process Control), яка призначена для забезпечення уніфікованого механізму обміну даними між виконавчими механізмами, датчиками, контролерами, пристроями зв'язку з системами візуалізації технологічної інформації, можливості оперативного диспетчерського управління, а також в системах управління базами даних [121].

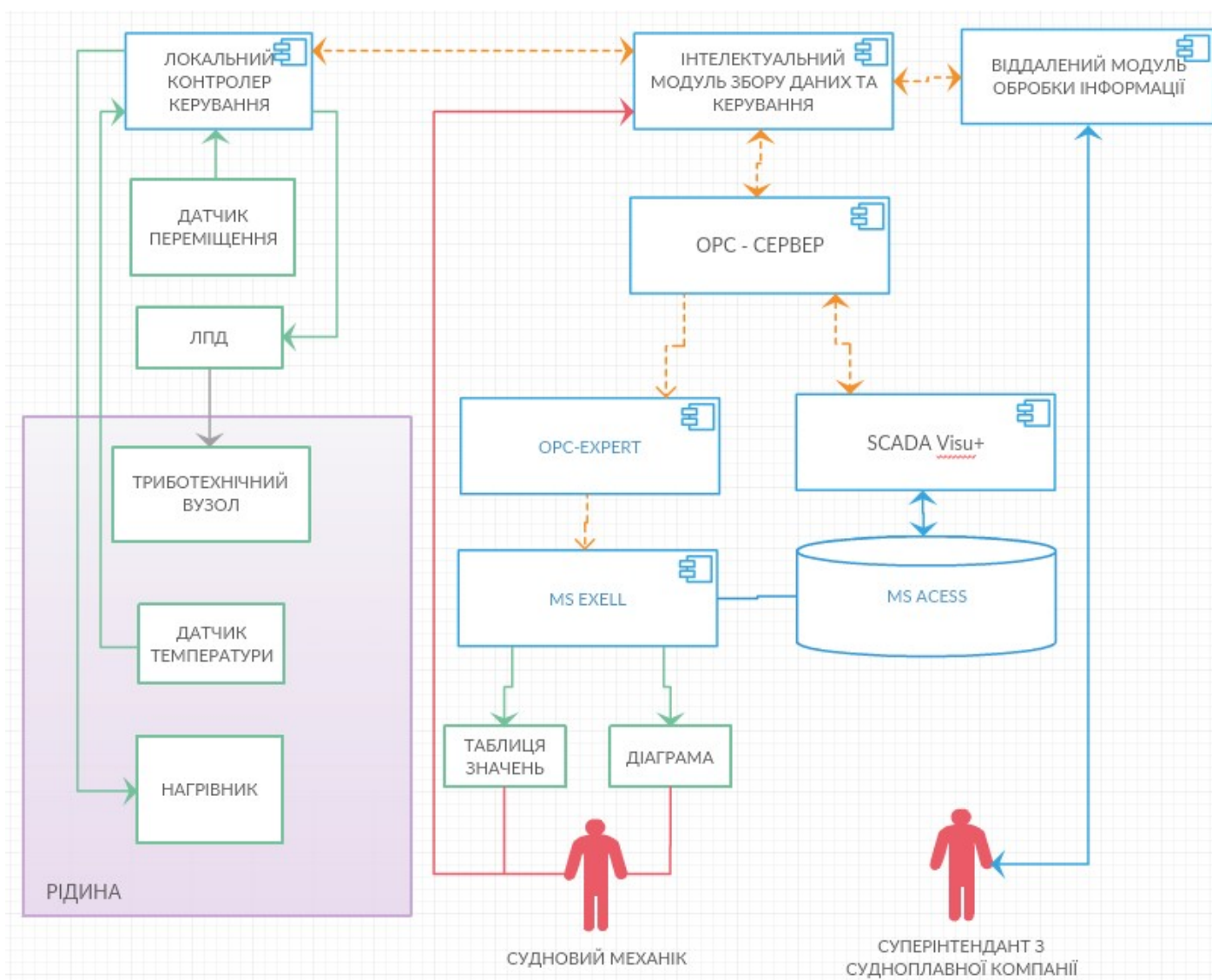


Рисунок 2.8 – UML - діаграма лабораторної комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик

Використовуючи за основу об'єктну технологію COM / DCOM, стандарт OPC фіксує певну модель взаємодії між клієнтом і сервером. Базовим поняттям цієї моделі є елемент даних (Item). Кожен елемент даних має значення, час останнього поновлення (timestamp) і ознаку якості, що визначає ступінь достовірності значення. Значення може бути практично будь-якого типу – булеве, ціле чи з плаваючою точкою і т.п. або текстовим (так званий OLE VARIANT). Часові інтервали задаються з 100-наносекундною точністю (FILETIME Win32 API). Реальна точність вимірювання часу зазвичай є дещо гіршою та залежить від апаратно-програмної реалізації сервера. Якість значень, які зберігаються, – це код, що містить в собі

грубу оцінку UNCERTAIN, GOOD та BAD (не визначене, гарне і погане). У випадку ідентифікації поганої якості даних код містить також розшифровку, наприклад QUAL_SENSOR_FAILURE – помилка датчика. Наступним поняттям в ієрархії елементів є OPC Group. OPC - сервер створює групу на вимогу клієнта, який потім може користуватися нею та додавати в неї елементи (Items) [121]. Для кожної групи клієнт самостійно може задавати частоту оновлення даних. В такому випадку сервер намагається оновлювати всі дані в групі і передавати клієнту із вказаною частотою. Для клієнта також існує можливість створити на сервері кілька груп, що можуть відрізнятися між собою необхідною частотою оновлення. При створенні нового клієнта, для нього завжди створюється своя група, навіть якщо перелік елементів та частоти оновлення збігаються. Від'єднання клієнта веде за собою знищення групи. Найвищим в ієрархії поняття знаходиться сам OPC - сервер. З усіх вище перерахованих елементів (OPC - група, OPC - елемент), OPC - сервер єдиний є COM - об'єктом, в той час як всі інші об'єкти доступні лише через його інтерфейси, які він надає клієнту як сервіс [121].

Інші вказані блоки, такі як SCADA Visu+, MsExcel, MsAccess в даному випадку вибрані виключно з розрахунку на перевагу автора і в інших реалізаціях можуть відрізнятися, оскільки інструментальних засобів для роботи з базами даних на сьогоднішній день існує досить значна кількість і єдиної думки про перевагу якоїсь однієї з них не існує.

На рис. 2.9 наведена інформаційна модель програмного забезпечення локального контролера керування і інтелектуального модуля збору даних та керування зі складу UML - діаграми, в якій зображені взаємозв'язки з зовнішніми пристроями (датчиками переміщення рухомої частини ЛПД та температури рідини, виконавчими механізмами – ЛПД та підігрівачем рідини) та внутрішні зв'язки між функціональними блоками [89].

Отримана інформаційна модель дозволяє створити програмне забезпечення комп'ютерної системи визначення реологічних властивостей судових технічних рідин на будь якій мові [25], які входять до стандарту Міжнародної електротехнічної комісії 61131-3, прийнятого в 2012 році, а також застосувати любі наявні контролери

провідних фірм.

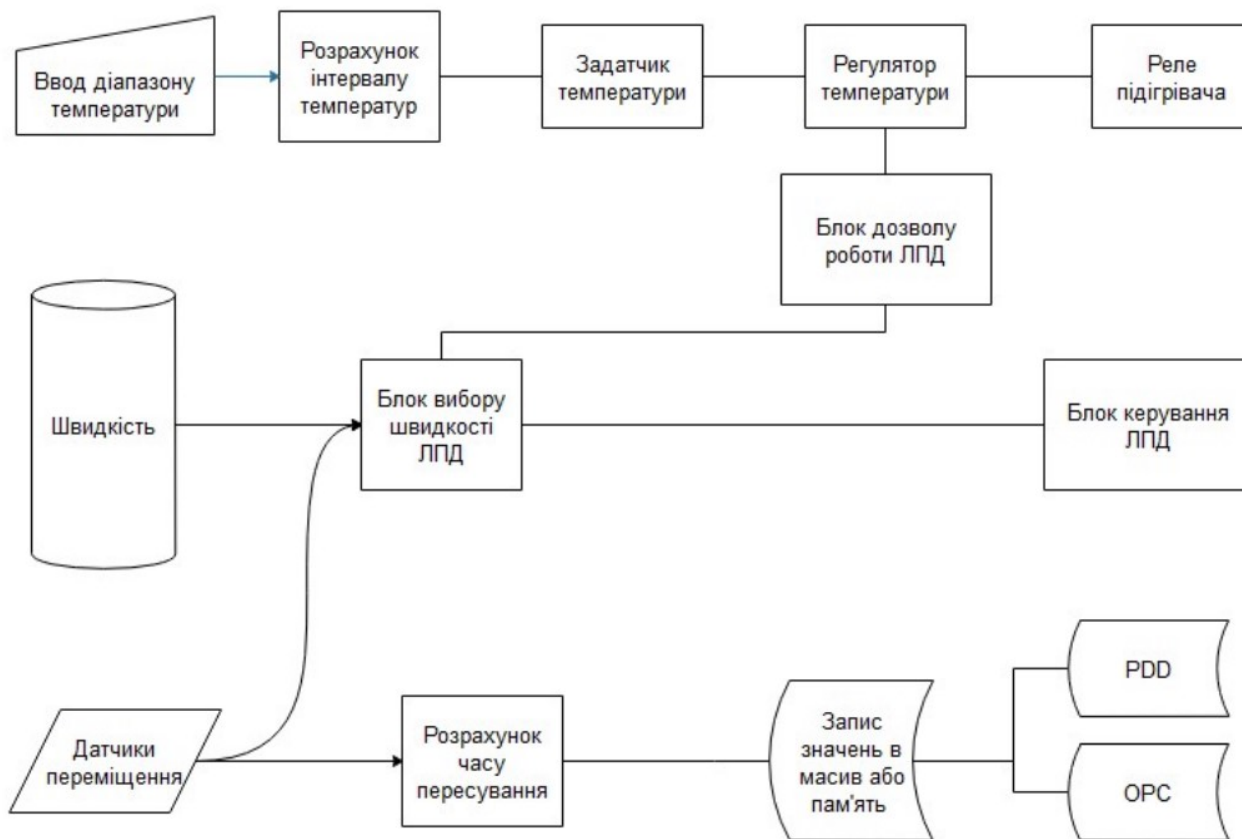


Рисунок 2.9 – Інформаційна модель процесів, які відбуваються у контролері

2.5 Розробка алгоритмів визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин

Для забезпечення всіх передумов до апаратно-програмної реалізації комп'ютерної системи визначення та контролю реологічних характеристик суднових технічних рідин, базуючись на основі розробленої діаграми послідовності потрібно розробити узагальнені алгоритми визначення реологічних характеристик та алгоритму його контролю в процесі експлуатації паливної апаратури. Блок-схему алгоритму роботи лабораторної комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик представлено на рис. 2.10. Блок-схема алгоритму роботи комп'ютерної системи регулювання реологічних характеристик зображена на рис. 2.11.



Рисунок 2.10 – Блок-схема алгоритму роботи лабораторної комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик

Для кожного з алгоритмів початковий етап є спільним, оскільки він заключається в попередній підготовці технічних рідин – прогріванні їх до робочої температури і встановлення температури мастила близько 40°C.

Починаючи з цього моменту запускається подвійний програмний цикл, в якому температура палива поступово збільшується на всьому проміжку робочого діапазону

температур. При цьому на кожному кроці ітерації циклу по збільшенню температури запускається ще один, внутрішній цикл, в якому плавно нарощується частота обертів триботехнічного вузла, який в даному випадку слугує в якості навантаження на паливну систему та симулює роботу реального двигуна. При цьому, на кожному кроці внутрішнього циклу здійснюється опит всіх вимірювальних приладів, та отримані дані записуються до бази даних дослідних характеристик.

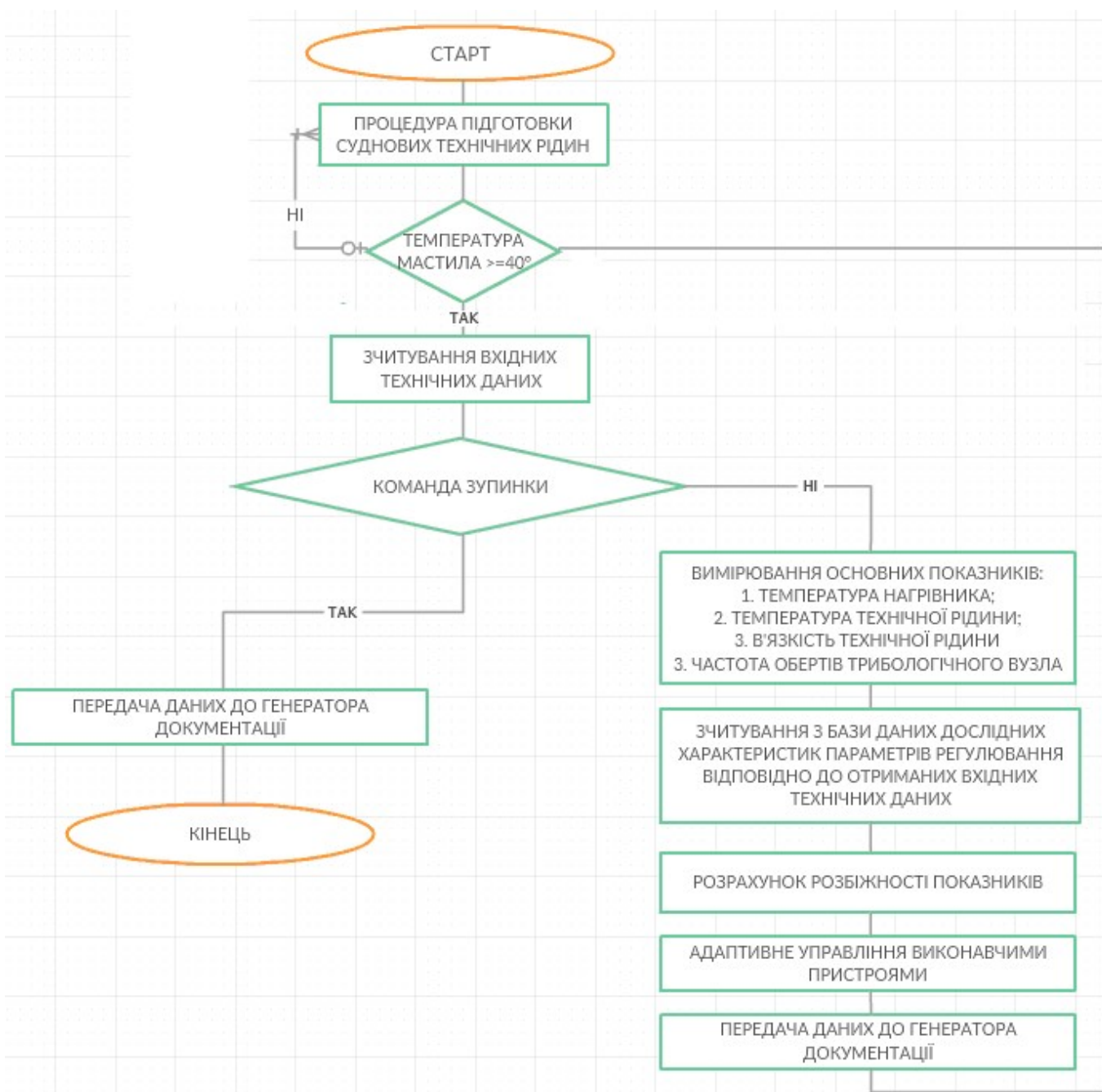


Рисунок 2.11 – Блок-схема алгоритму роботи комп'ютерної системи регулювання реологічних характеристик

У випадку використання системи для регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин під час експлуатації паливної апаратури, алгоритм буде здійснюватися наступним чином:

Після завершення процедур попередньої підготовки технічних рідин, інтелектуальний модуль збору даних та керування очікує команди від модуля завдання технічних вхідних даних. Отримавши завдання, модуль здійснює вимірювання всіх можливих показників параметрів системи. На наступному кроці модуль звертається до баз даних дослідних характеристик, де здійснює пошук характеристик, які відповідають завданому режиму роботи паливної апаратури та оптимальному показнику в'язкості за даного режиму роботи. Для знайдених даних з отриманих залежностей визначається оптимальна температура нагрівника, після чого проводиться розрахунок розбіжності показників параметрів та проводиться адаптивне управління виконавчими пристроями, що забезпечить дотримання технологічних умов підготовки палива та експлуатації паливної апаратури.

При надходженні від модуля завдання вхідних технічних даних команди зупинки двигунів, здійснюється завершення роботи безкінечного програмного циклу та перехід до коректного завершення програми.

Таким чином, розроблені алгоритми можна використовувати при розробці програмного забезпечення для інтелектуального модуля збору даних та керування.

2.6 Висновки до розділу 2

1. В результаті проведених систематизованих досліджень, розроблено структуру інформаційної моделі системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин. Виконані дослідження показали можливість побудови комп'ютерних систем визначення характеристик суднових технічних рідин та їх оперативного контролю. Модель може бути використана для подальшої побудови на її базі автоматизованих систем дослідження суднових технічних рідин, а також контролю їх підготовки перед подачею в паливну апаратуру.

2. Проведена інтеграція розробленої моделі в загальну структуру

функціонування судна, на основі чого розроблено розгорнуту інформаційну модель системи визначення та контролю реологічних характеристик суднових технічних рідин. Розроблена система дозволяє в автоматичному режимі здійснювати вимірювання реологічних характеристик та передавати до інтелектуального модуля збору даних та керування для подальшого автоматизованого прийняття рішення на основі наявних технічних даних щодо режимів роботи паливної апаратури та відповідності характеристик суднових технічних рідин для корекції параметрів роботи системи їх підготовки.

3. Запропоновано метод автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин, що дозволяє використовувати його в комп'ютерних системах з можливістю зміни параметрів роботи системи в режимах реального часу та онлайн. Даний метод дозволив підвищити ефективність підготовки палива та зменшити кількість шкідливих викидів у довкілля. Відпала необхідність залучення суднового механіка до контролю параметрів на всіх етапах експлуатації паливної апаратури.

4. На базі створеної розгорнутої інформаційної моделі системи визначення та контролю реологічних характеристик суднових технічних рідин розроблено інформаційну модель лабораторної дослідної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин, що дозволить без запуску ДВЗ здійснити симуляцію його роботи та провести вимірювання характеристик пального відповідно до прогнозованого частотно-температурного режиму роботи двигуна. Отримані дані дозволять в подальшому здійснювати ефективне керування якістю підготовки палива перед подачею до форсунок ДВЗ.

5. Розроблено блок-схеми алгоритмів визначення та регулювання реологічних параметрів суднових технічних рідин, що базуються на запропонованому методі автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин, що забезпечує виконання всіх передумов до апаратно-програмної реалізації комп'ютерної системи визначення та регулювання реологічних параметрів суднових технічних рідин.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ЗОНДУ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІДИН

Метою створення моделі вимірювального зонду (ВЗ) комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин є встановлення зв'язків його складових і їх впливу на вимірювальні характеристики. Для досягнення цієї мети слід розв'язати наступні задачі та їх дослідити:

- створити кінематичну та структурну схеми;
- які процеси відбуваються в лінійному п'єзоелектричному двигуні (ЛПД);
- вплив приєднаної маси, а саме триботехнічного вузлу на роботу ЛПД;
- вплив динамічної в'язкості рідини на роботу ВЗ;
- здійснити вибір способу управління ЛПД;
- розробити методику проектування та визначення коефіцієнта в'язкості ВЗ на співвісних циліндрах з ЛПД.

3.1 Розробка кінематичної схеми вимірювального зонду

В [65] наведено кінематичну схему можливої конструкції ВЗ на співвісних циліндрах, що складається з триботехнічного вузлу та приводу, яка дозволяє здійснювати визначення реологічних характеристик в потоці рідини. Особливістю цієї схеми та конструкції є горизонтальне розташування рухомого та нерухомого циліндрів. Це породило наступні конструктивні недоліки:

- протікання рідини, яка досліджується;
 - неможливість здійснювати лабораторне дослідження проби рідини;
 - неможливістю локальної зміни температури вимірювального зонду з рідиною.
- Слід зазначити, що основним недоліком були саме протікання рідини.

Для усунення цього недоліку виявилось достатнім розгорнути ВЗ в порівнянні з [65] на 90° . Тобто, рухомий та нерухомий циліндр прийняли вертикальне

розташування, що дало змогу погрузити ВЗ в ємність з досліджуваною рідиною, а також забезпечити її локальний підігрів.

На рис. 3.1 наведено кінематичну схему ВЗ на співвісних циліндрах. Можливість приєднання до конструкції ВЗ стакану 8 запобігає протіканню рідини [83, 87].

Однак, в порівнянні з конструкцією ВЗ з [65], де рухомий циліндр утримувався в нерухомому за рахунок клину рідини, то в запропонованій структурній схемі на рухомий циліндр буде діяти сила тяжіння, яка обумовлена приєднаними масами рухомого циліндру (5) зі штоком (3). Це призводить до скозання означеного циліндру в крайнє нижнє положення.

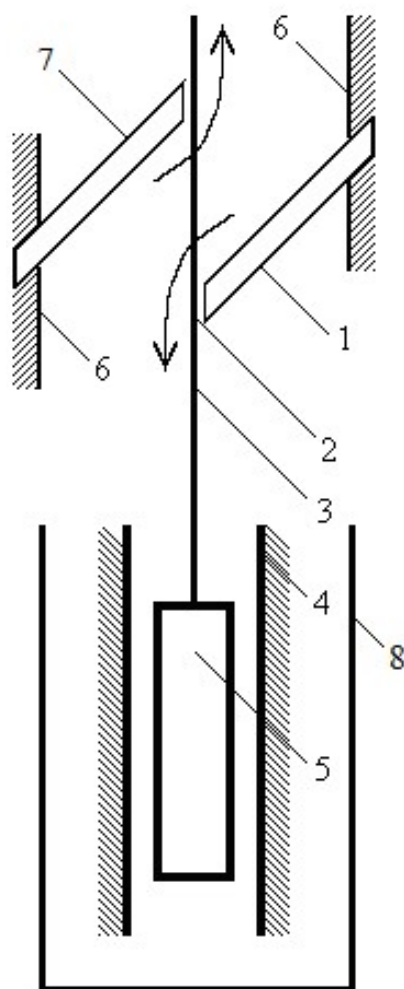


Рисунок 3.1 – Кінематична схема ВЗ на співвісних циліндрах: 1, 7 – п'єзорезонатор (ПР); 2 – точка торкання; 3 – шток; 4 – нерухомий циліндр; 5 – рухомий циліндр; 6 – основа, до якої кріпляться ПР; 8 – стакан з рідиною

Вочевидь, що зусилля, яке буде потрібно для переміщення циліндру (5) з крайніх нижнього у верхнє положення, більше ніж в зворотному напрямку. Але потрібно з'ясувати: чи зможе сила тертя, яка буде виникати за рахунок рідини між рухомим і нерухомим циліндрами, утримувати нерухомий циліндр у фіксованому положенні; які повинні бути розміри та матеріал, з якого виготовлено циліндр; можливо утримати, чи зафіксувати положення рухомого циліндру, або той буде постійно сковзати в крайнє нижнє положення і можливо це реалізувати за допомогою *осцилятора* (цей термін застосовується у фаховій літературі для ПР), якщо він в неробочому стані буде заклинений до циліндру.

Усі ці питання буде досліджено надалі.

В першу чергу потрібно розглянути процеси, які відбуваються в п'єзореzonаторі.

3.2 Процеси в п'єзореzonаторі

Традиційний математичний апарат, який використовують для опису процесів у п'єзоактивній середі з різними способами перетворення енергії, має як об'єкт ПР, який, в основному, складається з однієї пари електродів для ЛПД [3, 43, 47, 59, 62 і ін.]. При цьому підході механічні зсуви описуються однорідним хвильовим рівнянням, на основі рішення якого складається схема заміщення. Для кожного конкретного випадку перетворення енергії електричні параметри (коефіцієнт передачі, вплив навантаження і т.п.) визначаються на основі аналізу схеми заміщення ЛПД. В [10, 94] доведено, що ефективним є аналіз роботи ЛПД, заснований на використанні методів теорії чотиріполюсників. Для застосування ЛПД у складі ВЗ необхідні всебічні теоретичні, експериментальні дослідження їхньої статичної і динамічної характеристик.

Розгляд процесів електромеханічного перетворення енергії в ЛПД важливий не тільки з позицій оцінки енергетичних можливостей, але і з погляду створення адекватної їм структурної та математичної моделей.

Дослідження і розрахунок стаціонарних режимів у ЛПД дозволяє оцінити

якісно і кількісно експериментальні залежності ЛПД і їхні аналітичні вирази в умовах дії сильних збурень, оцінити багатомірні статичні моделі (схеми заміщення) ЛПД.

Дослідження динамічних властивостей п'єзоприводів дозволяє визначити функціональні принципи побудови ВЗ на їхній основі в силу багатомірного характеру фізичних процесів у них, що зв'язані з особливостями п'єзоелектриків [31, 37, 38, 39, 98]. При цьому основну роль грають динамічні властивості, що зв'язані з частотними обмеженнями і визначаються кінцевою швидкістю поширення зовнішніх впливів у приводі, таких як процеси тертя в триботехнічних вузлах, що проходять при особистій участі тиксотропних рідин.

Параметри ЛПД у динамічних режимах, у загальному випадку, є нелінійними і визначаються не тільки параметрами п'єзоматеріалу, топологією і станом (поляризацією) ПР, типом коливань і способом перетворення електромеханічної енергії, але й амплітудою і швидкістю зміни вхідних впливів [31]. Аналіз процесів у п'єзоприводі в динамічних режимах середі, розподілення, нелінійності і багато зв'язаності його параметрів становить значних математичних труднощів.

В [44, 55, 108] процеси в п'єзоелектриках описують за допомогою матричних п'єзоелектричних рівнянь (фундаментальних рівнянь елементарного об'єму п'єзоелектричної середі) і рівняння руху (хвильового рівняння). Їхні рішення справедливі в режимі стаціонарних резонансних коливань для одномірного випадку, а саме у вузькому діапазоні частот різних чи близьких резонансній частоті f_p . Складні (двох - і тривимірні) задачі з додатковими граничними умовами практично вивчені мало [47]. У роботах [47, 59, 98] в основному приводяться ряд загальних положень. Наприклад, у роботі [98] розглянуті в загальній формі динамічні властивості керованого п'єзоефекту в п'єзоелектрику, обумовлені інерцією його вхідного ланцюга, часом встановлення електричного поля в п'єзоелектрику, часом установа стану поляризації, інерцією процесів на перемінному струмі.

Таким чином, складність (ЛПД являє собою нелінійну систему з розподіленими параметрами і нестаціонарними властивостями) і мала вивченість процесів у п'єзоприводах обумовлює необхідність використання експериментальних методів

визначення їхніх динамічних характеристик.

Процеси в ЛПД, як у всіх типах п'єзоприводу (ПП) характеризуються сукупністю величин, що відображають ступінь взаємодії різних фізичних ефектів (в основному, зворотного і прямого п'єзоєфектів, а в цілому первинних ефектів і ефектів більш високого порядку) [31, 37, 43, 59]. За кордоном для характеристики якості ПК використовують такі основні параметри [24, 81, 103]:

K_{33}^T ($\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$) – відносна діелектрична проникність;

$\operatorname{tg} \delta$ – тангенс кута діелектричних утрат при частоті 1 кГц у слабких полях;

T_c (T_k) – температура точки Кюрі;

K_p , K_{33} , K_{31} , K_{15} – коефіцієнти електромеханічного зв'язку;

d_{33} , d_{31} , d_{15} – п'єзоелектричні модулі;

g_{33} , g_{31} , g_{15} – електричні коефіцієнти по напрузі;

Y_{11}^E , Y_{33}^E – модулі Юнга;

N_L , N_T , N_R – частотні постійні;

S_{11}^E , S_{33}^E – параметр еластичності;

ρ – щільність;

Q_m – механічна добротність.

Різноманіття форм зв'язків ефектів між собою, їхня нелінійність і складність утрудняють аналітичний опис процесів у ПП у повній області зміни зовнішніх впливів. З урахуванням відомих допущень [43, 59] для ПР ПП у залежності від їхньої конструктивної особливості складаються лінійні п'єзоелектричні рівняння, за допомогою яких можна описати стаціонарні режими гармонійних коливань ПР у вузькій області частот поблизу резонансу. Наприклад, для ПР з поперечною поляризацією системи п'єзоелектричних рівнянь у загальному випадку мають вид [43, 59]:

$$S=S^E T+d_t E; D=d T+\epsilon^T E,$$

де S^E – постійна пружності; ϵ^T – діелектрична постійна; верхній індекс (E , T) означає вимір константи при постійному значенні величини, зазначеної в індексі; нижній індекс t означає транспоновану матрицю; константи між собою взаємозалежні [43].

Рішення цього рівняння для ПР із поперечною поляризацією (уздовж осі Z)

розглядають при наступних обмеженнях: усі механічні напруги, крім T_1 , дорівнюють нулю на вільних поверхнях; електричне поле E рівномірне по ($E_1=E_2=0$) всьому об'єму, тому що товщина a і ширина b малі в порівнянні з довжиною l . З урахуванням цих особливостей (матеріалу і конструкції ПР) можна одержати:

$$S_1 = S_{11}^E T_1 + d_{31} E_3; \quad D_3 = d_{31} T_1 + \varepsilon_{33}^T E_3,$$

де S_1 , T_1 , E_3 , D_3 – компоненти вектора, відповідно, деформації, механічної напруги, електричного поля і зсуву.

В основі всіх ПР, які застосовують в ЛПД лежать п'єзоелементи з поперечною поляризацією (рис. 3.2).

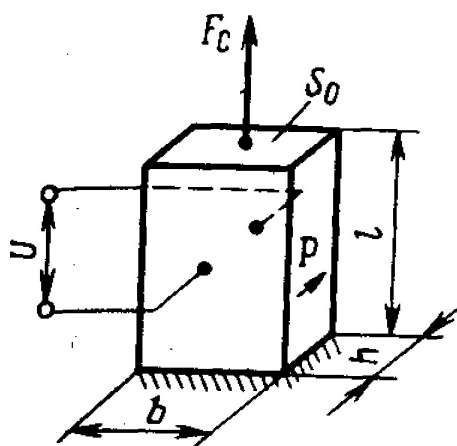


Рисунок. 3.2 – П'єзрезонатор пластинчастого типу з поперечною поляризацією

Для попереднього (оціночного) розрахунку основних конструкцій ПР із метою визначення деформації і зусилля, що розвивається, у залежності від геометричних розмірів і властивостей використовуваної кераміки надалі будемо використовувати наступні співвідношення [64]:

$$\Delta_E = d_{31} E l = d_{31} U \frac{l}{h} \text{ – деформация під дією керуючого поля } \Delta_E, \text{ м;}$$

$$\Delta_F = F_C l / (S_0 Y_{11}) \text{ – деформация під дією зовнішнього навантаження } \Delta_F, \text{ м;}$$

$$K_y = S_0 Y_{11} / l = Y_{11} b h / l \text{ – коефіцієнт пружності } K_y, \text{ Н/м;}$$

$$K_{\Pi} = K_3 = Y_{11} d_{31} l_2 \text{ – коефіцієнти прямого і зворотного п'єзо ефектів } K_{\Pi} \text{ і } K_3, \text{ Н/В;}$$

$$C_0 = \varepsilon_0 \varepsilon_{33} (1 - ((d_{31})^2 Y_{11} / (\varepsilon_0 \varepsilon_{33}))^2) l_1 l_2 / l_3 \text{ – електрична ємність } C_0, \text{ Ф;}$$

$$m_{\Sigma} = m_0 + 0,382 \cdot m_K \text{ – еквівалентна приведена маса } m_{\Sigma}, \text{ кг;}$$

$$\omega_M = \frac{1,58}{l} \sqrt{\frac{Y_{11}}{\rho_M}} - \text{власна частота (при } m_0=0; U=0) \omega_M, \text{ с}^{-1}.$$

Слід зазначити, що прямий п'єзоефект утрудняє формування поля керування, особливо при реалізації динамічних процесів, які швидко протікають. При аналізі динаміки ПР малої ємності не зважають на електростатичну постійну часу $T_E=R_{BT}C_0$ попри її незначності. При керуванні ж ПР великої ємності для компенсації явищ, зв'язаних із прямим п'єзоефектом, застосовуються спеціальні технічні міри, такі, як організація спеціальних швидкодіючих контурів регулювання керуючого поля, включення в схему підсилювача додаткових діодів, що утворюють ланцюги замикання наведених токів. Зазвичай, це стосується, перш за все, п'єзоактуаторів (маніпуляторів).

Для випадку ВЗ з ЛПД враховують, що, якщо робочі частоти в системі лежать значно нижче частоти першого механічного резонансу, розподілення параметрів триботехнічного вузлу і самого ЛПД у першому наближенні можуть не прийматися в увагу. Однак у ВЗ з ЛПД є практична можливість реалізації керованих рухів, спектри яких містять частоти, що перевищують частоту резонансу комплексу осцилятор – виконавчий орган, особливо, коли необхідно дістати переміщення більш 1 мм. А це вимагає обережності в питаннях зневаги розподілення параметрів і при використанні спрощеної моделі.

При складанні динамічних моделей ПР з розподіленими параметрами враховують швидкість поширення звукової хвилі в п'єзоматеріалі, яка в загальному випадку залежить від граничних умов на «електричній» стороні. Відомо, наприклад, що швидкість звуку в п'єзопластині, що працює на поперечному п'єзоефекті, при наявності на бічних гранях суцільних електродів, що вирівнюють потенціал поля уздовж пластини, завжди визначається модулем Юнга Y для випадку коротко замкнутої пластини незалежно від того, розімкнуті її електроди чи замкнуті між собою в дійсності. У міжелектродному просторі окремих п'єзопластин, що працюють на подовжньому п'єзоефекті, швидкість поширення звукової хвилі трохи вище і визначається модулем Юнга $Y^D > Y$ для режиму холостого ходу пластини.

Тому при дослідженні просторово протяжних динамічних систем у механіці

дістав поширення метод кінцевих елементів [35], при якому об'єкт дослідження розбивається на ряд дискретних вузлів із зосередженими параметрами. Сукупність рівнянь динаміки усіх вузлів з додаванням граничних і початкових умов цілком описує поведінку об'єкта. П'єзоелементи в режимі прямого п'єзоефекту реалізують в основному переміщення, що з достатньою точністю можуть бути зведені до одномірних, що дозволяє в більшості випадків з успіхом використовувати одномірні моделі ПР, у яких кожен вузол зв'язаний тільки з двома найближчими сусідніми: попереднім і наступним.

У [45, 120, 121] доведено, що при певних обмеженнях ЛПД можуть бути зведені до одномірної механічної моделі.

Аналіз методів, які використано при побудові моделей ВЗ на однорідних плоских ПР довів, що при побудові моделей з одним однорідним ПР доцільніше використовувати метод кінцевих елементів. Хвильова теорія використовується при побудові моделей зі складальними пакетами. Це реалізовано в програмному середовищі COMSOL Multiphysics [60].

Аналіз сучасних конструкцій ЛПД провідних фірм розробників Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG і ТОВ «Лілея» довів, що у якості осцилятора реверсивних ЛПД використовують осцилятор, зовнішній вигляд якого зображено на рис. 3.3. Це дозволяє зменшити кількість елементів підтримки осцилятора.

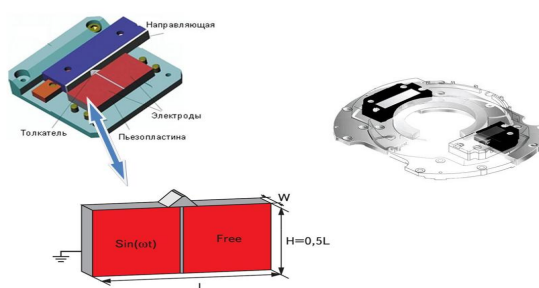


Рисунок 3.3 – Конструкція осцилятора ЛПД

Основною частиною ЛПД є п'єзокерамічна пластина, поляризована вздовж напрямку W (рис. 3.3). На одну сторону пластини нанесені два позитивних електрода, інша сторона заземлена. При русі вліво або вправо на відповідний електрод подається керуючий синусоїдальний сигнал високої частоти (в діапазоні

від 50 до 200 кГц). Під дією прикладеної напруги, п'єзокерамічним пластина деформується (рис. 3.4), змушуючи переміщатися прикріплений до неї штовхач.

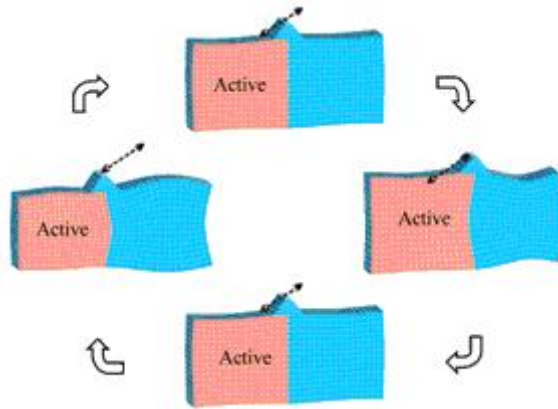


Рисунок 3.4 – Схема деформації п'єзопластини під впливом синусоїдальної напруги (один цикл коливання п'єзопластини)

На рис. 3.3 площі областей Sin(out) та Free рівні між собою. Для полегшення розрахунків кожна область (позначено червоним кольором) є квадратом. І якщо зробити прив'язку до рис. 3.2, то $b=l$. Тому співвідношення приймуть наступний вигляд:

$$\Delta_E = d_{31}El = d_{31}U \frac{l}{h}; \Delta_F = F_C l / (S_0 Y_{11}); K_y = Y_{11}h;$$

$$K_{II} = K_3 = Y_{11}d_{31}l_2; C_0 = \epsilon_0 \epsilon_{33} (1 - ((d_{31})^2 Y_{11} / (\epsilon_0 \epsilon_{33}))^2) l^2 / h.$$

В [117] запропоновано каскадну модель п'єзоелектричного приводу (рис. 3.5), яка враховує гістерезисну нелінійність, де враховані наступні параметри: переміщення; параметр, який коректує; частота системи; коефіцієнт затухання; напруга, яка подається; нормалізована зовнішня сила, яка подається на привод.

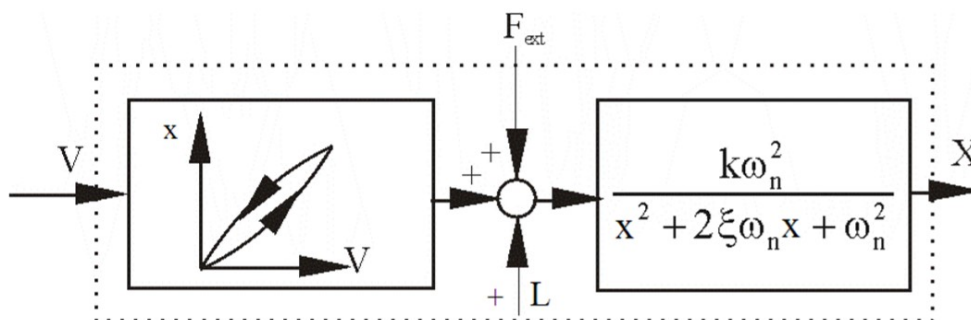


Рисунок 3.5 – Каскадна модель п'єзоелектричного приводу

Однак, ця модель не дозволяє оцінити процеси в осциляторі. В [64, 65, 121] було запропоновано універсальну модель осцилятора, яку може бути застосовано для ПЕ з подовжньою та поперечною поляризацією, що дозволяє описати процеси як в ЛПД так і в маніпуляторах.

Для розробки моделі осцилятора ЛПД було застосовано програмне забезпечення від компанії SimInTech. (Модуль: SimInTech control systems simulator; DLL: C:\SimInTech64\bin\mbtylib.dll. Інформація о реєстрації: Безлімітна ліцензія. Користувач: Нікольський Віталій. Організація: НУ «ОМА». Серійний номер: D63B30FDA70).

На вибір цього програмного забезпечення вплинули результати порівняння часу розрахунку моделі однополуперіодного випрямляча конкуруючими продуктами, які наведені в таблиці 3.1. У тесті використовувалися два методи завдання рівнянь: у вигляді тексту на вбудованій мові програмування і у вигляді схеми [156].

Таблиця 3.1 – Порівняння результатів часу розрахунку однополуперіодного випрямляча

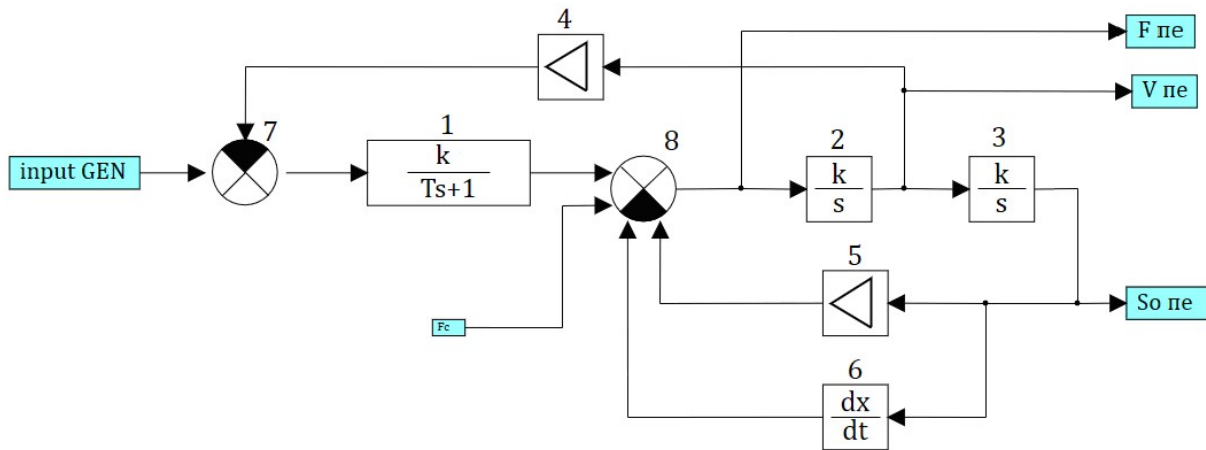
Найменування продукту	На мові програмуванні, мс	Схема, мс
VisSim	150	40
MATLAB Simulink	125	136
SimInTech	25	31

В субмоделі було застосовано ПР SP-4 [131, 116], який виготовлено з сегнетожорсткої кераміки, з наступними параметрами: $\varepsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; $\varepsilon_{33}=1250$; $h=8,9 \cdot 10^{-3}$ кг/с; $g_{31}=-11 \cdot 10^{-3}$ Н/м; $\rho=7600$ кг/м³; $Y_{11}=8,3 \cdot 10^{10}$ Па; $d_{31}=-11,5 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н; $R_{sm}=50$ Ом; $K_{П}=K_3=0,6$. При розмірах ПР $b=11,3 \cdot 10^{-3}$ м, $l=11,3 \cdot 10^{-3}$ м, $h=4 \cdot 10^{-3}$ м, $m_s=0,0039$ кг.

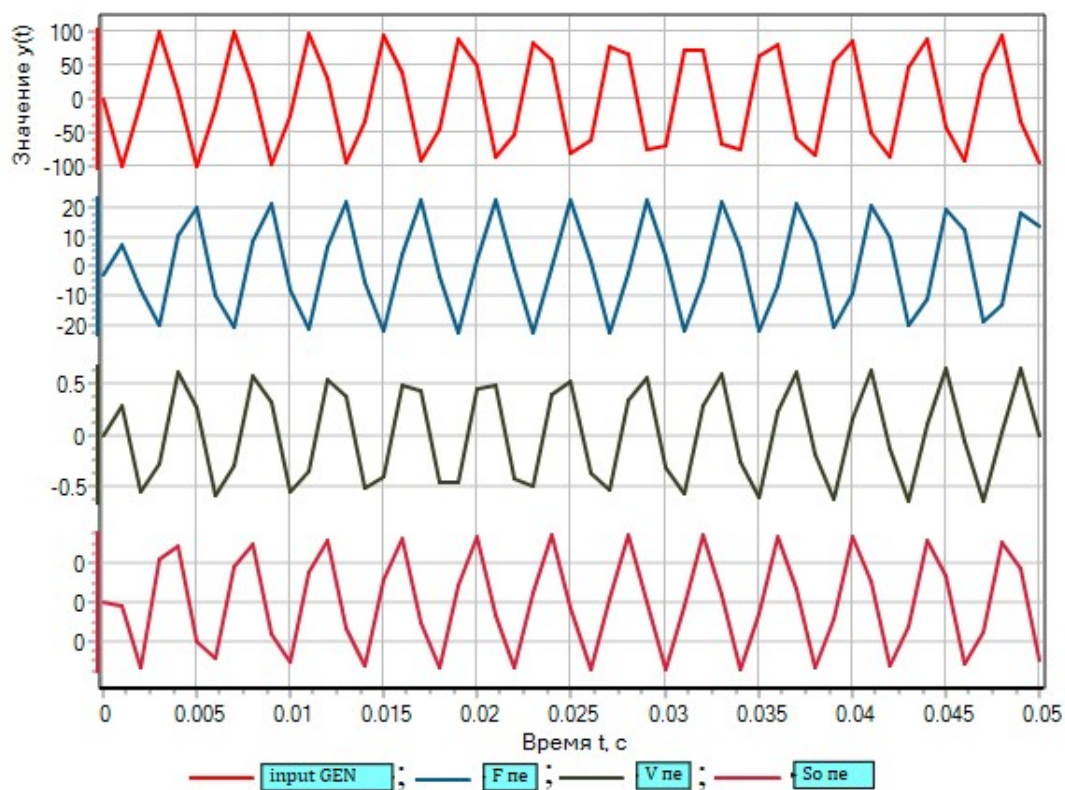
На рис. 3.6, а позначені наступні блоки 1 – інерційно – диференційна ланка; 2, 3 – інтегратори; 4, 5 – підсилювачі; 6 – похідна; 7, 8 – порівняльні пристрої – суматори [83].

Параметри для цих блоків складають: (1) – $k=0.6$, $T=1.75203E-11$; (2) – $k=257.6$;

(3) – $k=1$; (4) – $k=30$; (5) – $k=2.6495675E9$; (6) – $k=0.0089$.



а)



б)

Рисунок 3.6 – Субмодель ПР (а) та графіки вхідного та вихідних сигналів (б)

Аналіз результатів моделювання довів, що при частоті вхідного сигналу (input GEN) 1305357.13 рад/с и амплітуді 100 В осцилятор розвиває миттєві силу $F_{\text{пе}}$ 20 Н, швидкість $V_{\text{пе}} = 0,5$ м/с та переміщення вільного кінця ПР $So_{\text{пе}} = 33$ мкм.

При розрахунках було застосовано метод діагонально неявний (DIRK2), який задається таблицею Бутчера та має 2-й порядок. Його інтерпретують як послідовне застосування правила трапецій і формули диференціювання назад другого порядку, тому він отримав назву TR-BDF2. Цей метод реалізований також і в системі

MATLAB / Simulink під назвою Ode23tb. Як зазначає сам розробник програмного забезпечення, реалізація цього методу в SimInTech і в MATLAB розрізняються, внаслідок чого можуть трохи відрізнятись і результати його застосування в цих системах.

3.3 Дослідження процесів в лінійному п'єзоелектричному двигуні

Специфічні особливості п'єзоприводу, взаємозв'язок процесів керування (наявність природних і перехресних зв'язків) приводить до розгляду ЛПД, як об'єкту керування з багатьма зв'язками [44, 59], який уособлює структурну схему приводу у виді одного еквівалентного динамічного об'єкту керування з x_i на вході і $\Delta(V)$ на виході. $f_k(t)$ позначає вплив зовнішніх збурень (зміни навантаження ΔF_C – в'язкості палива, температури $\Delta\theta$ [22, 49], напруги живлення U_C , механічні впливи і впливи інших параметрів середі). $f_{вн}(t)$ – дія внутрішніх збурень (шуми, старіння [22, 49], зміна зусиль притиску F_{Π} і кута притиску φ ПР до штовхальника ЛПД).

При роботі ЛПД можлива поява низькочастотних акустичних шумів чи скрипів які аналогічні шумам і скрипам в ПЕД. В [49] з'ясовано, що поява скрипів залежить від погоджених розмірів ПР ПЕД, резонансних частот пластини ПР (по ширині і товщині), кріплення ПР, а також від матеріалу і зони контакту ПР із ротором ПЕД [49]. Тому можна зробити висновок, що по цим причинам і в ЛПД всі ці процеси відбуваються. Необхідно відзначити, що найбільш повно (з погляду процесів у ПР) внутрішні збурювання досліджені в роботах [98, 44].

Усі ці впливи, тобто електричний, тепловий і механічний впливи, являють собою керуючі чи зовнішні впливи, що збурюють. Вони є головними і визначають основні і зв'язані з ним ефекти і явища в п'єзорезонаторах [43, 37, 98]. Але при складанні моделей ВЗ приймемо наступні обмеження:

а) градієнт температури $\Delta\theta=0$, тому що підтримувана температура роботи ПР повинна бути постійною;

б) електричний вплив є постійним.

Тому переважне значення мають механічні впливи з боку ЛПД на

триботехнічний вузол в наслідок дії зворотного п'єзоефекту і з боку триботехнічного вузлу на привод в наслідок прямого п'єзоефекту. Адже саме величина прямого п'єзоефекту дозволяє оцінити навантаження ЛПД з боку триботехнічного вузлу, яке проявляється в уповільненні лінійної швидкості рухомої частини ЛПД. А це, в свою чергу, дозволяє здійснити перехід від конструкції двох рухомих співвісних циліндрів до конструкції з рухомим і нерухомих циліндрами. Розрахунок ПР ЛПД дає змогу забезпечити підвищену чутливість до зміни навантаження в широкому діапазоні.

В [26] доведено, що при малих впливах як ПЕД, так і ЛПД є квазілінійною ланкою, а при великих – нелінійна ланка з перемінними розподіленими параметрами.

Нами запропоновано використання ЛПД з осцилятором від ТОВ «Лілея», м. Київ (рис. 3.3) в структурній схемі ВЗ (рис.3.7) [83, 87].

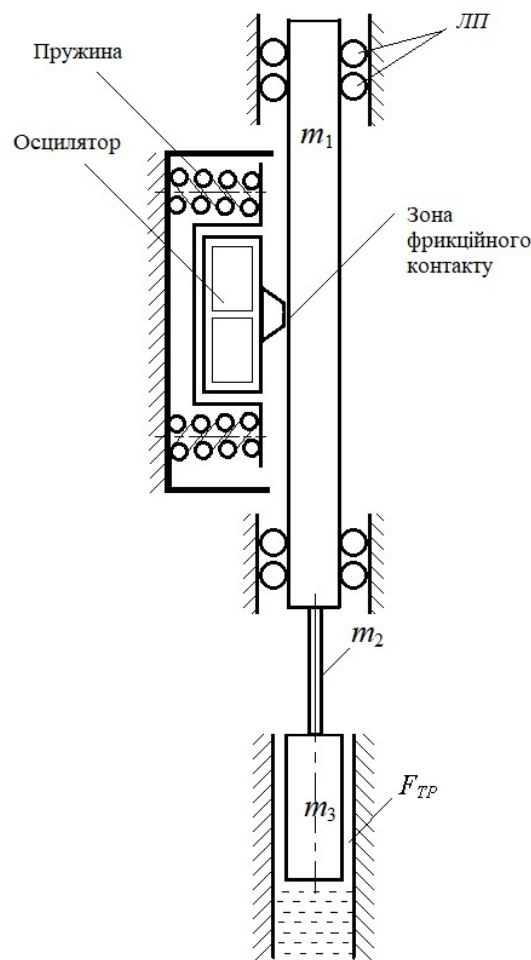


Рисунок 3.7 – Структурна схема ВЗ з одним осцилятором

Слід зазначити, що математичний опис поведінки цих осциляторів відсутній. В усіх роботах зазначається, що моделювання здійснюється для одновірних моделей.

Теорія фрикційного контакту була розроблена Лавриненко В.В. [50], відповідно до якої було висунуто припущення, що коефіцієнт тертя k є величиною постійною і не залежною від напрямку прямивання, вираз для сили тертя у фрикційній парі приймає вид:

$$F_{TP} = k \cdot F_n F_{CT},$$

де F_{CT} – східчаста (ступінчаста) функція, що має три значення: 0; +1; -1.

А також у [50] розглянуто чотири можливих стани фрикційного контакту (ФК): I – зона розгону тіла $T2$; II – зона гальмування; III – зона порушення фрикційного контакту; IV – зона гальмування. Усі чотири зони в сумі дорівнюють періоду коливань тіла $T1$.

Нами було прийняте припущення, що всі чотири зони мають рівний час. Тоді простий підрахунок доводить, що зона розгону тіла $T2$ становить 90° від усього періоду коливань. На рисунку 3.8 наведено, як здійснюється розподіл по зонах.

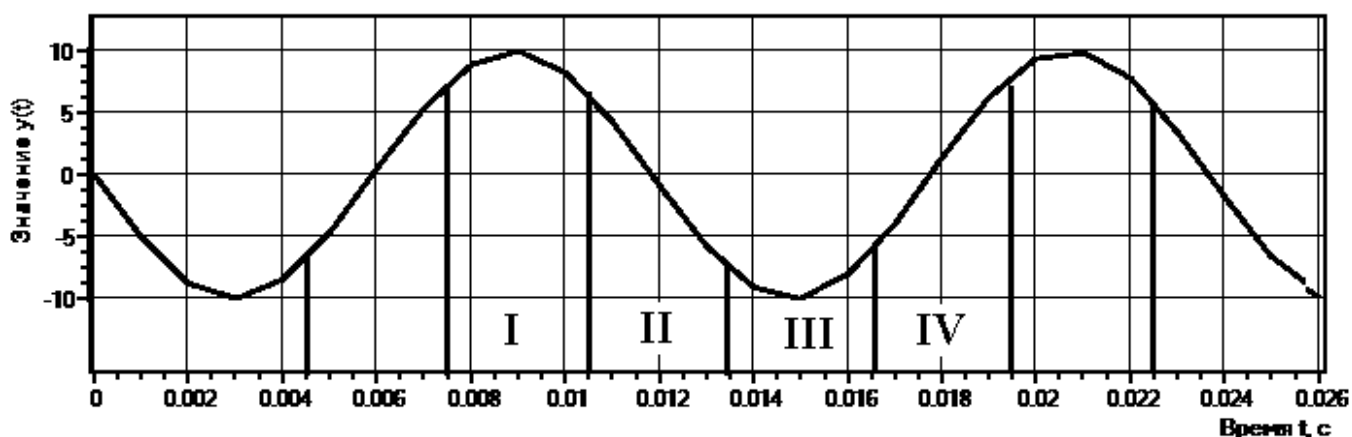
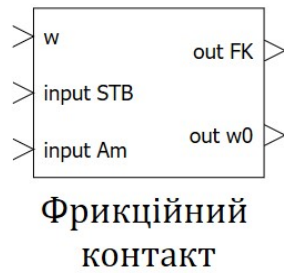


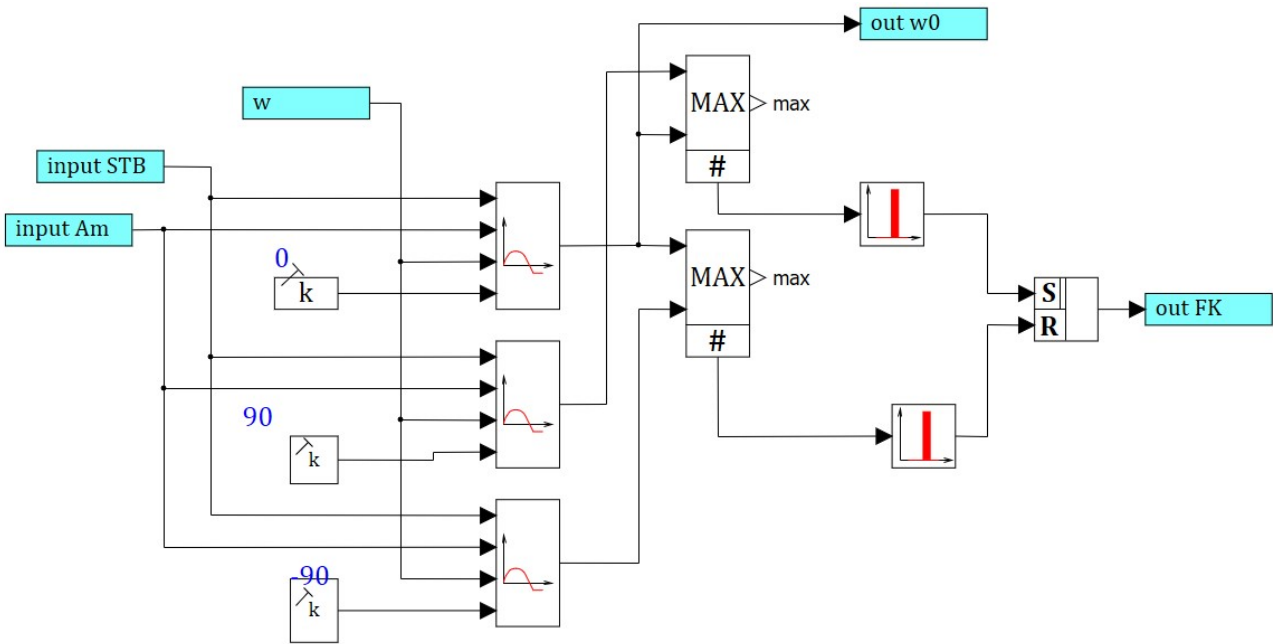
Рисунок 3.8 – Зони фрикційного контакту

Було розроблено блок та субмодель фрикційного контакту (рис. 3.9)



Фрикційний
КОНТАКТ

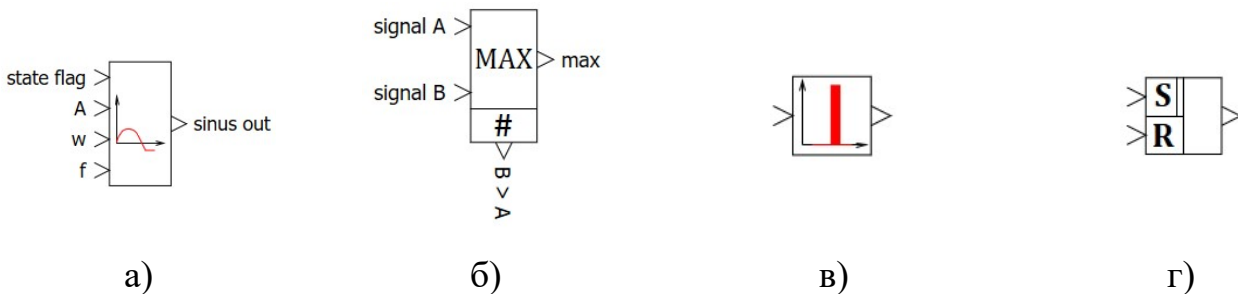
а)



б)

Рисунок 3.9 – Блок (а) та субмодель фрикційного контакту (б)

При створенні субмоделі фрикційного контакту були задіяні базові блоки з бібліотеки SimInTech (рис. 3.10, а - г).



а)

б)

в)

г)

Рисунок 3.10 – Функціональні блоки зі стандартної бібліотеки

На рис. 3.10, а наведено керований синусоїдальний генератор. Блок векторизований, являє собою кероване джерело синусоїдальної напруги. Мас

керуючий вход (StateFlag) та входи для завдання параметрів сигналу зовні блоку:

- StateFlag – керуючий вхід. «1» на вході відповідає нормальна робота блоку. «0» – блок відключений, вихід SinusOut дорівнює 0. «2» – пауза, вихід SinusOut зберігає останнє значення;

- A – амплітуда синусоїдального сигналу;
- W – частота синусоїдального сигналу, рад/сек;
- f – зсув фази сигналу, рад..

Виходи блоку:

- SinusOut – основний вихід блоку, має поточне значення синусоїдального сигналу в залежності від модельного часу, а також параметрів, заданих на вході блоку:

$$y(t) = A \sin(W \cdot t + f);$$

- CYCLETIME – додатковий вихід, що включається у властивостях блоку. Має значення поточного часу циклу синусоїди. Змінюється від нуля до T , де T – період синусоїди.

Наступний блок – виділення максимуму з формуванням ознаки (рис. 3.10, б). Блок пропускає на аналоговий вихід максимальний з двох аналогових вхідних сигналів або повторює значення сигналу, якщо воно однаково для обох входів. Дискретний вихід ознаки дорівнює «1», якщо максимальним є значення на другому вході. В іншому випадку ознака дорівнює «0».

Імпульсна функція (рис. 3.10, в) повертає на виході імпульс заданої тривалості при виконанні зазначеної умови на вході блоку. Амплітуда імпульсу дорівнює:

$$|y_i(t)| = \frac{1}{\tau},$$

де τ_i – тривалість імпульсу для i -ого елементу вихідного вектору, $y_i(t)$ – елемент вихідного векторного сигналу. Таким чином, інтеграл від значення одного імпульсу (за час, що дорівнює його тривалості) дорівнює одиниці.

Входи: input – вхідний сигнал. Виход: output – вихідний імпульсний сигнал.

На рис. 3.10, г наведено RS-тригер з пріоритетом зі встановлення. Блок реалізує RS-тригер з пріоритетом по установці, тобто якщо рівень логічної одиниці присутній

на входах R і S , то вихід приймає значення логічної одиниці:

$$y(t) = \begin{cases} y(t - \Delta t), & \text{если } x_S(t) = 0, \text{ и } x_R(t) = 0 \\ 1, & \text{если } x_S(t) = 1 \\ 0, & \text{если } x_S(t) = 1, \text{ и } x_R(t) = 0 \end{cases}$$

де $y(t)$ – вихідний сигнал блоку, $y(t-\Delta t)$ – значення вихідного сигналу на попередньому часовому кроці інтегрування, $x_S(t)$, $x_R(t)$ – перший і другий вхідні сигнали блоку. Входи: S – вхід S тригера; R – вхід скидання R . Виходи: Y – вихід тригера.

Робота субмоделі полягає в наступному. Оскільки зона ФК становить 90° , тому були задіяні три базові блоки керованих синусоїдальних генераторів (див. рис. 3.10, а), які працюють зі здвигом фаз 90° , сигнали з яких поступають на блоки виділення максимуму (рис. 3.10, б), з виходів яких формуються сигнали перевищення сигналу з фазою 0° над сигналом із запізненням на 90° та сигналом, який поступає з упередженням на 90° . З виходів блоків виділення сигнали поступають на блоки імпульсної функції (рис. 3.10, в), а далі одиничні сигнали надходять на RS – тригер (рис. 3.10, г). Таким чином, RS – тригер зводиться, коли основний сигнал переходить через фазу 45° , та скидається, коли сигнал нульової фази проходить через фазу 135° . На рисунку 3.11 наведено часові графіки роботи субмоделі фрикційного контакту.

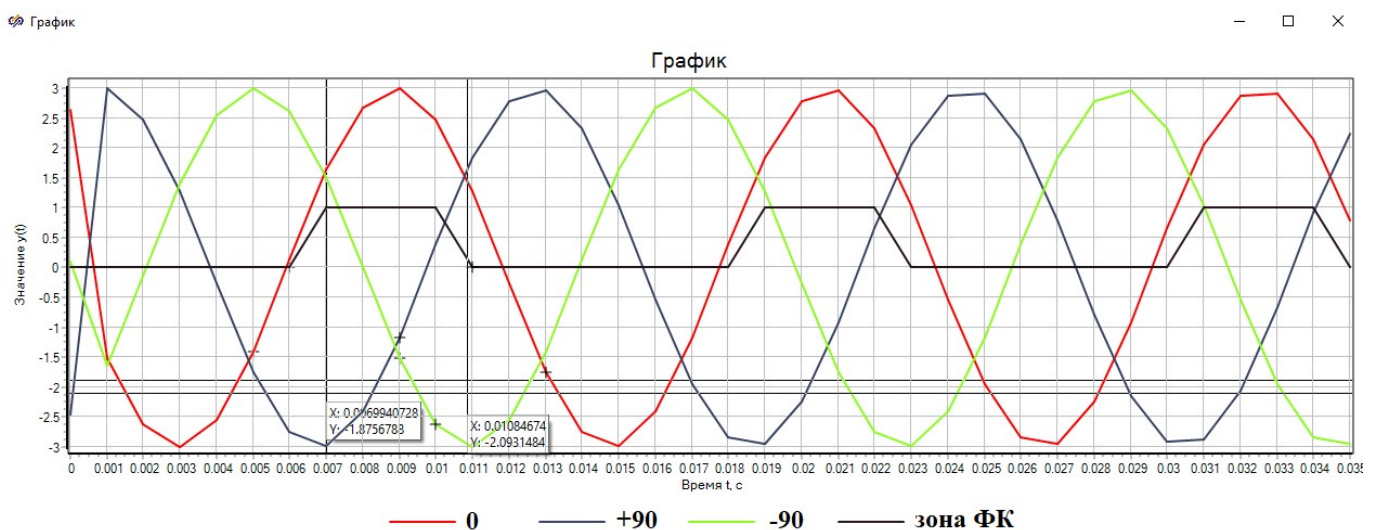


Рисунок 3.11 – Часові графіки роботи субмоделі фрикційного контакту

Слід зазначити, що у субмоделі ФК вхідні сигнали керованих генераторів

StateFlag, A , W об'єднані по групах, та підключені до входів субмоделі. Тобто вони є керованими зовні.

Однак фрикційний контакт можна реалізувати іншим шляхом. В такому випадку застосовано два типи блоків (рис. 3.12, а): більш або рівно; інтегратор. Блок логічної операції більше або рівно описується, як:

$$y(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } x_1(t) \geq x_2(t) \\ 0, & \text{если } x_1(t) < x_2(t) \end{cases}$$

де $y(t)$ – вихідний сигнал блоку, $x_1(t)$, $x_2(t)$ – вхідні сигнали.

Інтегратор – блок векторизований, реалізує математичну модель ланки, динаміка якої описується лінійним звичайним диференціальним рівнянням виду:

$$\frac{dy_i(t)}{dt} = k_i x_i(t),$$

де $x_i(t)$ – i -ий елемент вхідного сигналу в блок, k_i – елемент вектору коефіцієнтів підсилення, $y_i(t)$ – елемент вихідного сигналу з блоку. При нульових початкових умовах динаміка блоку може бути представлена наступною передавальною функцією:

$$W(s) = \frac{k}{s}.$$

Тому піктограма даного блоку має вигляд передавальної функції ідеальної інтегруючої ланки. Розмірності сигналів входу, виходу і вектору коефіцієнтів повинні збігатися.

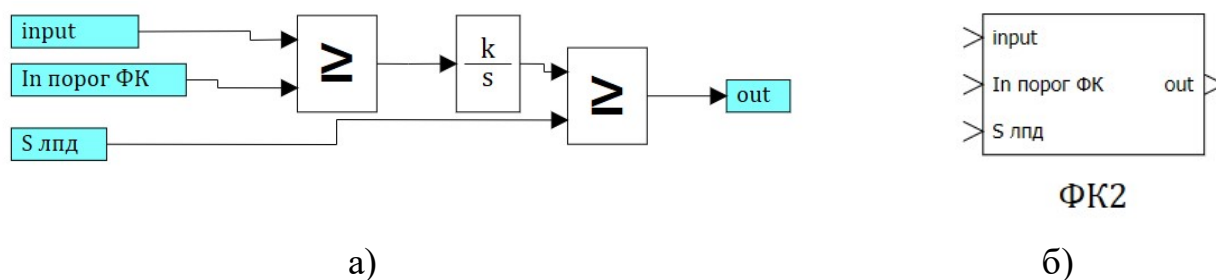


Рисунок 3.12 – Другий варіант субмоделі фрикційного контакту (а) та його зображення (б)

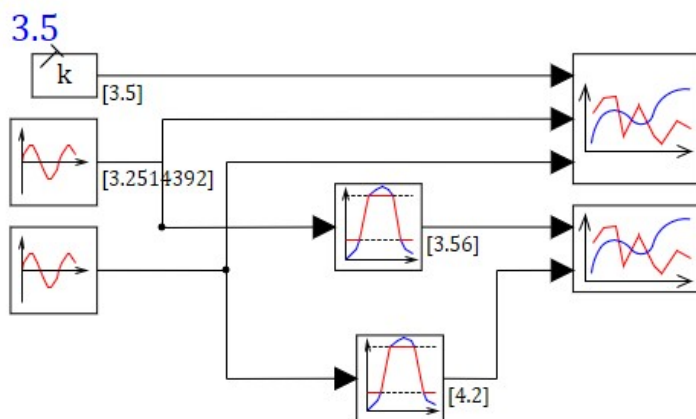
Робота блоку полягає в наступному. На вхід першого блоку порівняння подано два сигнали: $S_{0\text{pe}}$ на вхід Input субмоделі; константа на In порог ФК, яка задає поріг

порівня та визначається, як $2/3$ амплітуди вхідного сигналу. З виходу цього блоку сигнал поступає на інтегратор, призначення якого – підрахунок імпульсів. Слід зазначити, що кожний імпульс у данному випадку – це мінімальний крок ЛПД. Підрахунок інтегратором цих кроків дає відстань, на яку буде переміщено рухомий циліндр. У разі застосування ЛПД (див. додаток Б) відстань, на яку можливо здійснити пересування рухомого циліндру, становить $0,02$ м. Тому наступний за інтегратором блок порівня видає сигнал, коли відстань пересування рухомого циліндру буде порівняно з константою на вході S лпд, в даному випадку $0,02$ м.

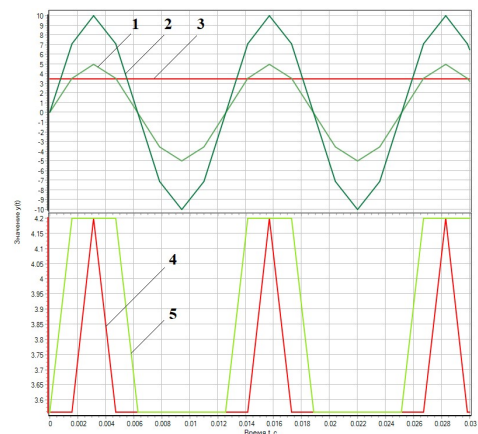
Крім того, аналіз роботи другого варіанту ФК довів, що у разі зміни амплітуди сигналу, який подається на ПР, час зони ФК не змінюється. Тому було запроваджено модернізацію другого варіанту ФК, де блок Порівняння замінений блоком – Обмежувач, який реалізує обмеження вхідної величини:

$$y_i(t) = \begin{cases} x_i^{\min}, & \text{если } x_i(t) < x_i^{\min} \\ x_i(t), & \text{если } x_i^{\min} < x_i(t) < x_i^{\max} \\ x_i^{\max}, & \text{если } x_i(t) > x_i^{\max} \end{cases}$$

де $x_i(t)$ – елемент вектору вхідних сигналів; $y_i(t)$ – елемент вектору вихідних сигналів; u_i^{\min} , u_i^{\max} – i -і елементи векторів мінімальних і максимальних значень блоку.



а)



б)

Рисунок 3.13 – Пояснення використання блоку Обмежувача у другій моделі ФК: а – схема вмикання; б – графіки вхідних та вихідних сигналів

На рис. 3.13, б зображено сигнал (1) меншої амплітуди та реакція на нього (4),

(2) – (5), та сигнал порогового значення (3). Тривалість імпульсу (5) більше тривалості імпульсу (4).

Слід зазначити, що у випадку збільшення амплітуди сигналу S_0 пе, на відміну від прийнятого припущення про однаковий час чотирьох зон ФК (див. рис. 3.8), буде збільшуватися час першої зони ФК за рахунок інших. Внаслідок чого буде зменшуватися час для проходження рухомого циліндру на відстані 0,02 м.

В той же час, при частоті ударів вище 25 Гц настає явище неперервного руху. Зазвичай для досягнення максимального ККД частота осцилятора наближається до резонансної [26]. Оскільки ЛПД працюють в безпосередній близькості від людини, то коливання повинні бути вище 22 кГц. На практиці коливання осцилятора здійснюється на частотах від 50 кГц. Тому можна вважати, що ударні (шагові) коливання перетворюються в квазілінійні.

Тому для отримання середнього значення було застосовано третю модель ФК (рис. 3.14).

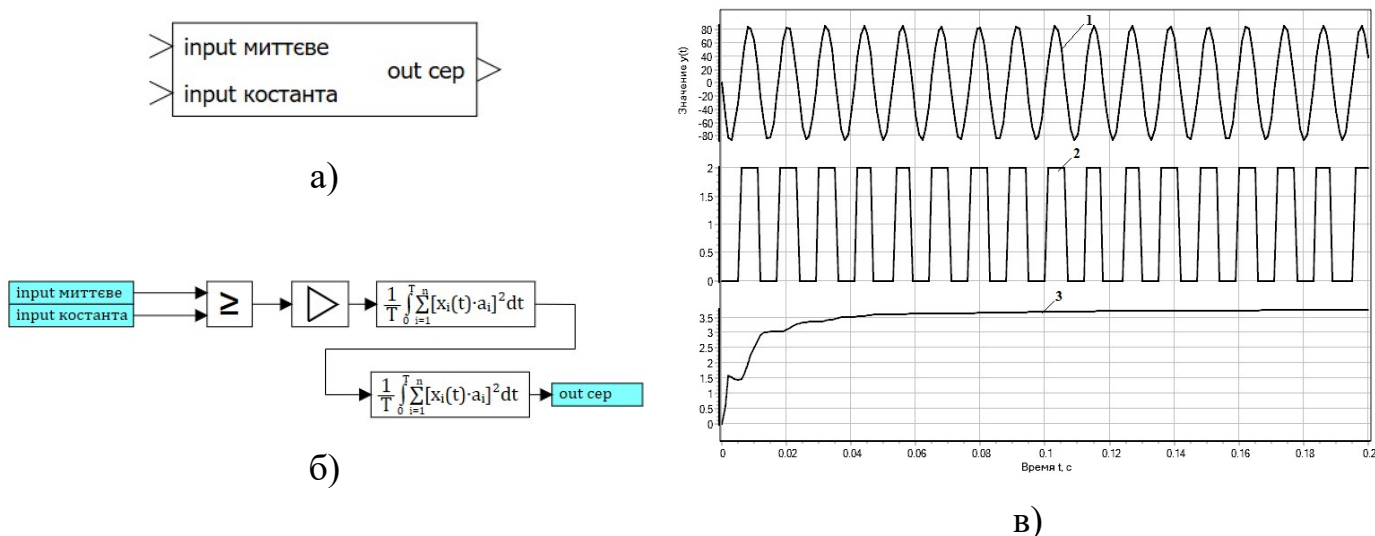


Рисунок 3.14 – Модель третього варіанту субмоделі ФК, та результати моделювання: 1 – вхідний сигнал; 2 – сигнал після підсилювача; 3 – вихідний сигнал (out сер)

В цій моделі застосований блок – Функціонал квадратичний, який реалізує інтегральне перетворення:

$$y(t) = \frac{1}{T} \int_0^T \sum_{i=1}^n [x_i(t) a_i]^2 dt,$$

де $x_i(t)$ – i -ий елемент вхідного сигналу в блок, $T=t$ – поточний час моделювання, a_i – елемент вектору коефіцієнтів ваги, $y(t)$ – вихідний сигнал з блоку.

Проведене моделювання процесів у цій субмоделі при застосуванні для визначення середньої швидкості (рис. 3.14) довело, що при миттєвому значенні амплітуди зусилля 80 Н (1) ЛПД розвиває середнє зусилля (3) 3,55 Н через 10 імпульсів. Тобто на встановившийся режим двигун виходить через 12 мкс. На графіку зображений час t (сек) – це машинний час виконання розрахунків.

3.4 Процеси в вимірювальному зонді та складання моделі

Для створення моделі ВЗ нами запропоновано замінити один ПР (рис. 3.3) на три ПЕ (рис. 3.15, а) з поперечною поляризацією, де $ПР_1$ виконує функцію заклинювання, $ПР_2$ пересуває рухомий циліндр зверху вниз, а $ПР_3$ – знизу вгору. Рухома частина масою m_1 рухається в лінійних підшипниках, до неї приєднані штанга масою m_2 та рухомий циліндр m_3 . Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 – переміщення вільних кінцівок $ПР_1$, $ПР_2$, $ПР_3$ відповідно. Цю модель можна поділити на дві частини в залежності від напрямку руху. На рис. 3.15, б зображено модель при русі вниз, а на рис. 3.15, в – при русі вгору [83, 87].

Моделі на рис. 3.15, б і в можна звести до одномірних механічних моделей.

Для обліку реальних властивостей ВЗ спочатку побудуємо модель ПР із зосередженими параметрами, яка еквівалентна об'єкту з розподіленими параметрами по частоті власних коливань. Такі моделі складаються для триботехнічного вузла з наступним їхнім об'єднанням у спільну модель усієї системи.

Оскільки ЛПД в механічних моделях використовує один ПР, то умови рівноваги сил [64, 40, 75, 81, 90], які прикладені до рухомої границі активної частини ПР при русі вгору, становлять:

$$F_y = F_E - F_d - F_{\text{дин}} - F_C - F_{\text{тяжіння}} - F_{\text{тертя}}. \quad (3.1)$$

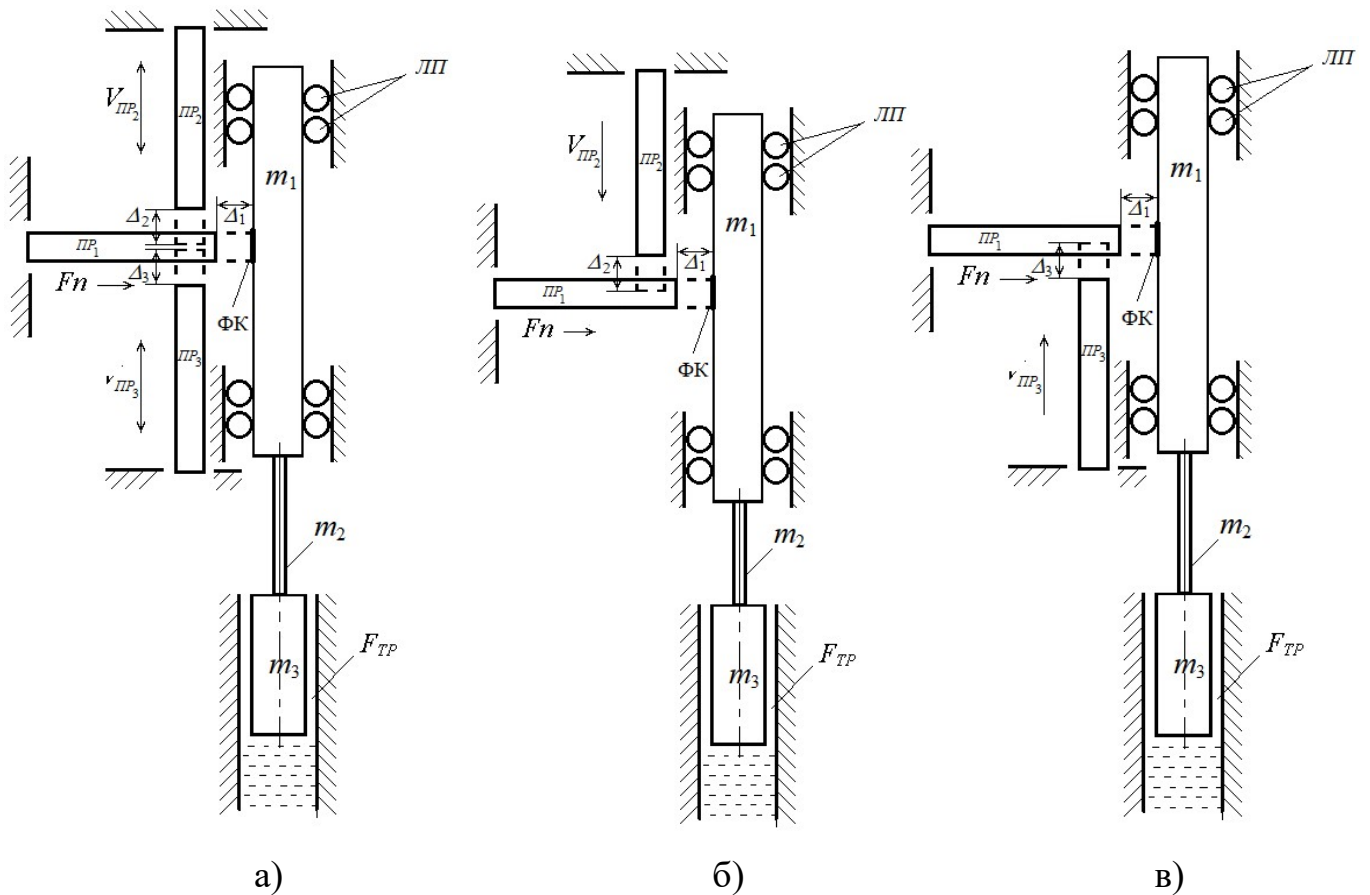


Рисунок 3.15 – Модель В3: а – з трьома ПР; б – з двома ПР при русі вниз; в – з двома ПР при русі вгору

При русі вниз:

$$F_y = F_E - F_d - F_{\text{дин}} - F_C + F_{\text{тяжіння}} - F_{\text{тертя}} \quad (3.2)$$

де $F_y = K_{\text{П}} \Delta$ – зусилля пружної деформації ПР, Н; $F_E = d_{\text{П}} Y_{11} S_0 E$ – зусилля в ПР, викликане прикладеним електричним полем, Н; F_C – статичне зусилля, яке діє з боку триботехнічного вузлу, Н; $F_d = K_d d \Delta / dt$ – зусилля у ПР, що демпфірує, Н; $F_{\text{дин}} = m_{\Sigma} d^2 \Delta / dt^2$ – динамічне зусилля в ПР, яке пропорційне швидкості зсуву поршня і викликаними при цьому процесами дисипації енергії в ПР, Н; $F_{\text{тяжіння}} = (m_1 + m_2 + m_3)g$ – сила тяжіння, Н; $K_{\text{П}} = Y_{11} S_0 / l_0$ – коефіцієнт пружності ПР, Н/м; K_d – коефіцієнт внутрішнього демпфірування ПР, кг/с; $m_{\Sigma} = m_1 + m_2 + m_3$ – еквівалентна приведена сумарна маса рухомих частин, кг; Δ – деформація ПР, мм; l_0 – початкова довжина ПР, мм; σ – механічна напруга, Н/м²; Y – модуль Юнга, Н/м²; $d_{\text{П}}$ – п'єзомодуль, Кл/Н; E – напруга електричного поля, В/м;

$C_0 = \varepsilon_0 \varepsilon_{33} (1 - ((d_{31})^2 Y_{11} / (\varepsilon_0 \varepsilon_{33}))^2) S_0 / l_0$ – ємність ПР, Ф; $K_{\Pi} = K_y d_{\Pi}$ – коефіцієнт прямого п'єзоефекту, К/м; $U = El_0$ – напруга, прикладена до електродів ПР, В; $V = d\Delta / dt$ – швидкість виконавчого органа, м/с; $K_{EM}^2 = d_{\Pi}^2 Y / (\varepsilon_0 \chi)$ – коефіцієнт електромеханічного зв'язку; $K_3 = Y S_0 d_{\Pi} / l_0 = K_y d_{\Pi}$ – коефіцієнт зворотного п'єзоефекту, Н/В. $F_{\text{тертя}} = \eta \cdot S \cdot \Delta V / \Delta h$ – сила тертя, яка виникає в триботехнічному вузлі, Н; η – динамічна в'язкість, Па·с; S – площа рухомого циліндру, м²; $\Delta V / \Delta h$ – градієнт швидкості, с⁻¹.

Відзначимо, що коефіцієнти зворотного і прямого п'єзоефектів рівні між собою.

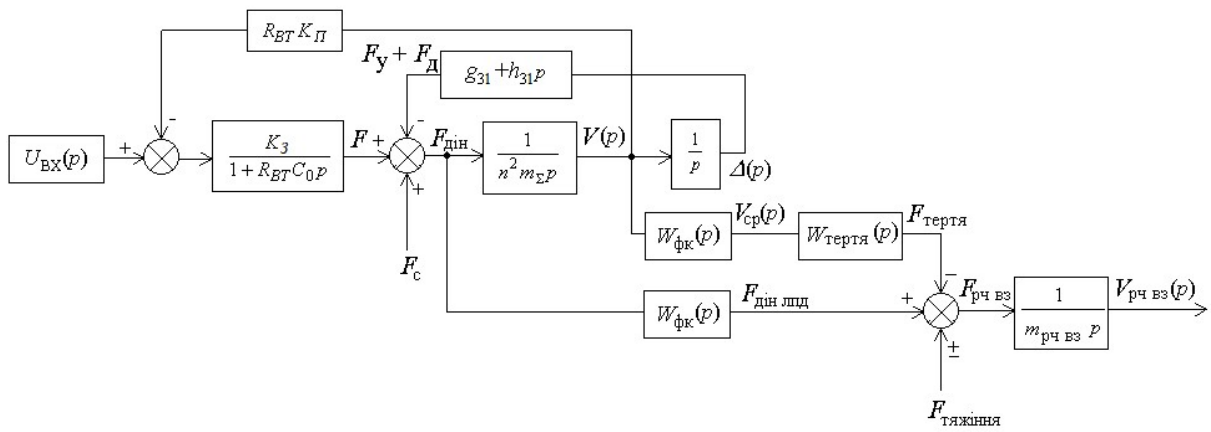
На підставі рівнянь [56] було складено структурну схему ВЗ (рис. 3.16, а), та субмодель в середовищі SimInTech (рис. 3.16, б) [83].

Для ПР із поперечною поляризацією, який застосовано в ЛПД LPM-5 значення основних параметрів кераміки SP-4 [131, 116] складуть: $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; $\varepsilon_{33} = 1250$; $h = 8,9 \cdot 10^{-3}$ кг/с; $g_{31} = -11 \cdot 10^{-3}$ Н/м; $\rho = 7600$ кг/м³; $Y_{11} = 8,3 \cdot 10^{10}$ Па; $d_{31} = -11,5 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н. При розмірах ПР (осцилятора) $b = 10 \cdot 10^{-3}$ м, $l = 10 \cdot 10^{-3}$ м, $h = 5 \cdot 10^{-3}$ м, $m_{\Sigma} = 0,025$ кг, $R_{\text{вт}} = 50$ Ом, $K_{\Pi} = K_3 = 0,6$.

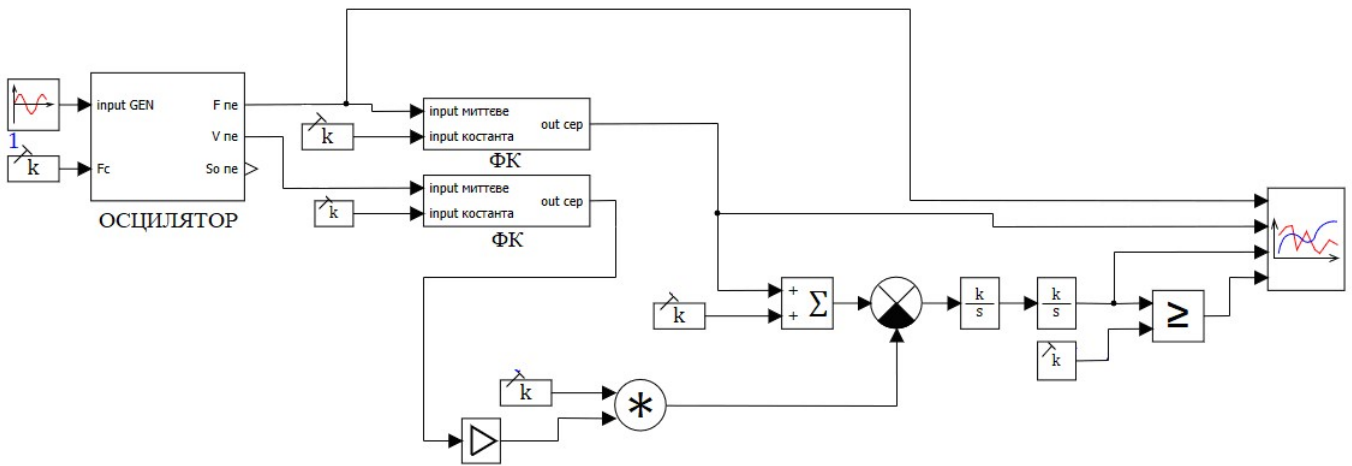
Тоді основні співвідношення коефіцієнтів, які входять до структурної схеми (рис. 3.16, а) будуть мати наступні значення $R_{\text{вт}} K_{\Pi} = 30$ Ом, $C_0 = 2,195 \text{E-}13$, Ф; $R_{\text{вт}} C_0 = 1,098 \text{E-}11$, с; $m_{\Sigma} = 0,0038$, кг; $f_p = 166287$ Гц; $m_k = 0,015$.

На рис. 3.16, в зображено результати моделювання, де 1 – миттєве значення сили; 2 – середня сила; 3 – відстань, на яку може бути переміщений рухомий циліндр; 4 – час переміщення циліндру на відстань 0,02 м.

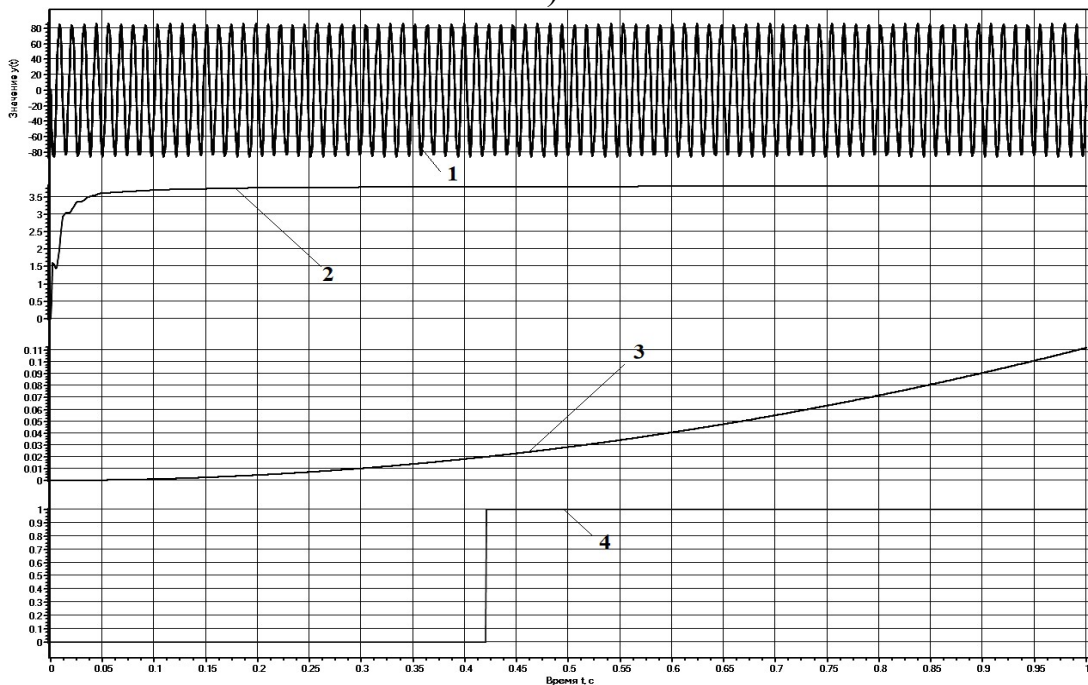
На рис. 3.17 наведені результати дослідження моделі ВЗ при зміні в'язкості, маси рухомого циліндру та напрямку його руху, де (1) (верхні графіки) – відстань 0,02 м, на яку пересувається рухомий циліндр. На нижніх графіках з позначкою '-' зображені імпульси часу відповідно верхнім графікам.



а)

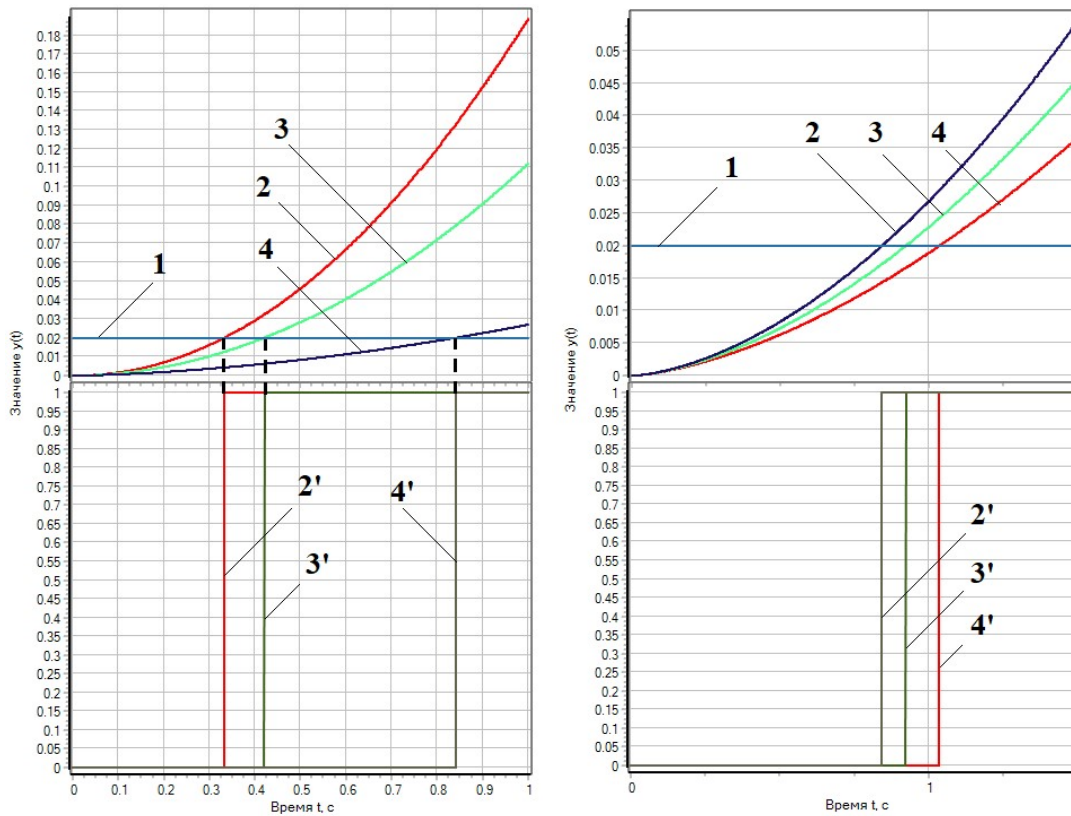


б)



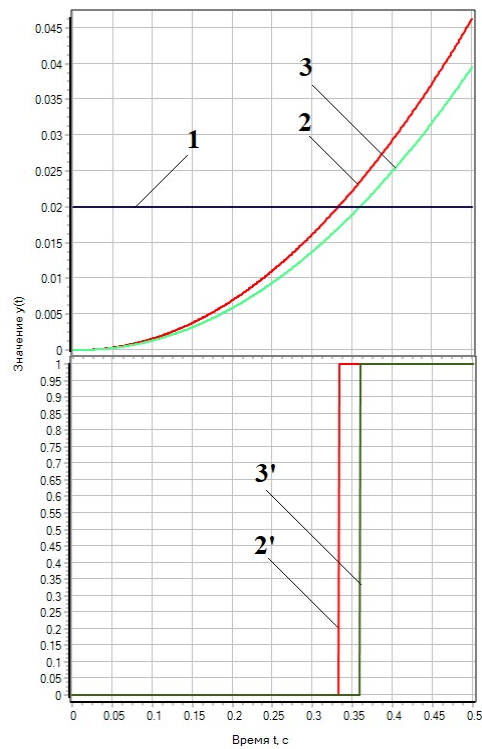
в)

Рисунок 3.16 – Структурна схема (а), модель (б) та результати моделювання (в) ВЗ комп’ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин



а)

б)



в)

Рисунок 3.17 – Результати дослідження: а – при зміні в'язкості (2) – 1 Па·с, (3) – 10 Па·с, (4) – 20 Па·с; б – при зміні ваги рухомого циліндру (2) – 10 г, (3) – 18 г, (4) – 26 г; в – при русі вгору (2 – 2') та вниз (3 – 3'); (1) – час пересування рухомої частини ЛПД на холостому ході

3.5 Метод управління лінійним п'єзоелектричним двигуном

В [30, 37, 49, 26, 100, 104, 45] наведено дані, згідно яких управління п'єзоелектричними двигунами здійснюється наступними методами: амплітудний, частотний, фазовий та широтно-імпульсна модуляція (ШІМ). Слід зазначити, що три перших методи почали застосовуватися з 80-х років минулого сторіччя. Пристрої управління для їх реалізації дуже складні та громіздкі. Найбільш вживаним з них залишився амплітудний метод. Однак з початку 2010 року широкого застосування набула широтно-імпульсна модуляція завдяки поширенню контролерів, які працюють в жорсткому реальному часі та спеціальним додатковим модулям. Це дозволило застосовувати як апаратну, так й програмну реалізацію широтно-імпульсної модуляції.

Крім того, слід зазначити, що схеми перетворювачів постійної напруги в змінну для живлення ЛПД на фіксованих частоті та амплітуді в 2-3 рази дешевше, ніж у випадку застосування амплітудного методу.

Тому нами було проведено доробок моделі на рис. 3.16 шляхом вмикання схеми логічного ключа в ланку між генератором коливань та входом субмоделі ПЕ (рис. 3.18).

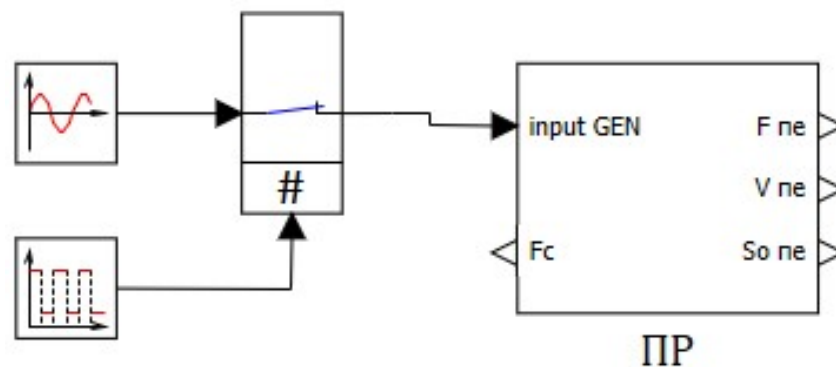


Рисунок 3.18 – Схема організації ШІМ

Блок # реалізує функцію керованого ключу по алгоритму:

$$y(t) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } Керуючий(t) = 1 \\ x(t), & \text{якщо } Керуючий(t) = 0 \end{cases}$$

де $x(t)$ – вхідний сигнал блоку, $y(t)$ — вихідний сигнал блоку. Управляючий сигнал надходить в блок знизу. В процесі розрахунку моделі зображення блока змінюється,

в залежності від наявності сигналу керування: в нормальному положенні ключ замкнутий, при подачі сигналу керування ключ розімкнутий:

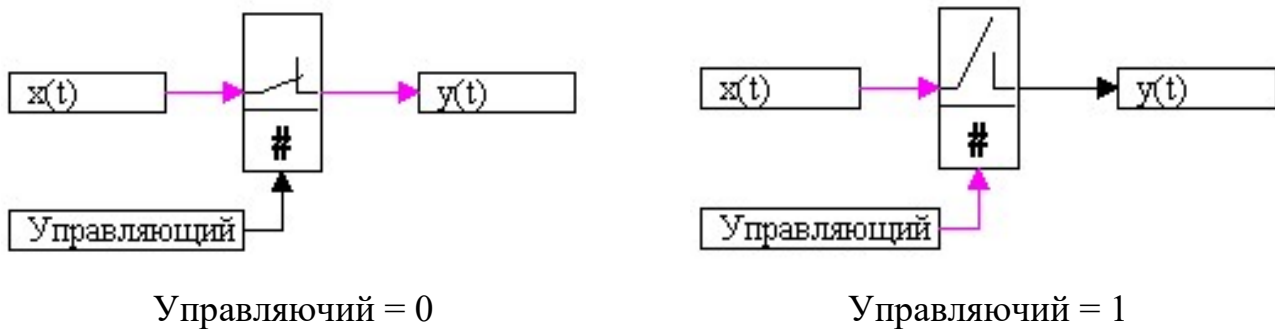


Рисунок 3.19 – Пояснення роботи блоку керованого ключу

Нами були проведені дослідження для трьох режимів роботи в залежності від коефіцієнту заповнення імпульсу керування, а саме: 0,1; 0,5; 0,9 (рис. 3.20).

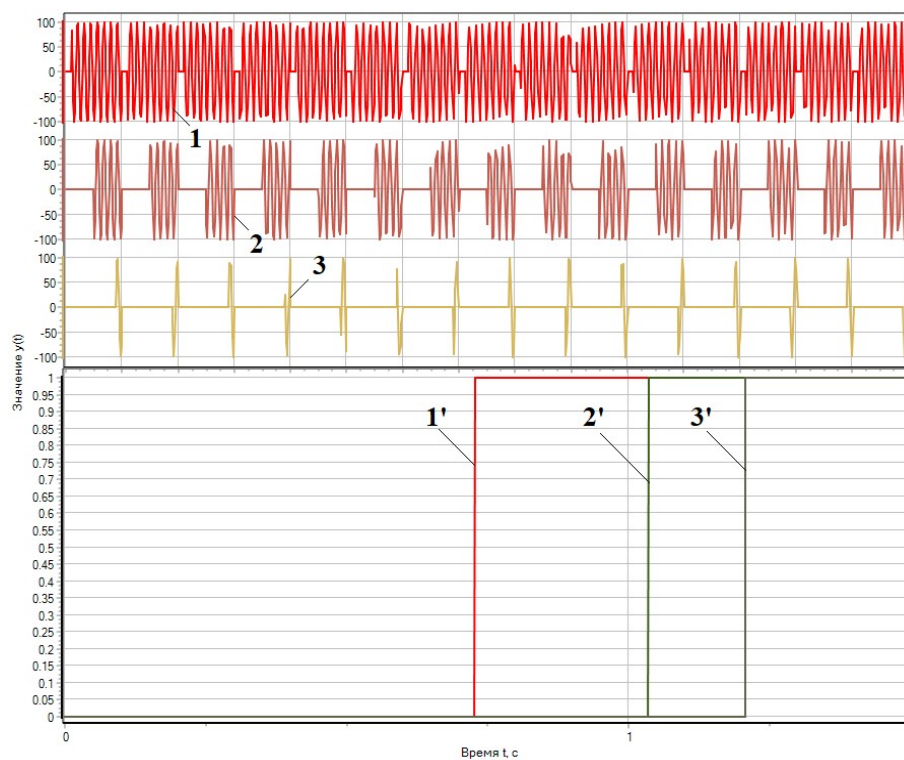
На рис. 3.20, а зображено три графіки ШІМ сигналів при різних коефіцієнтах заповнення: 1 – 0,9; 2 – 0,5; 3 – 0,1, та відповідні їм графіки часу (на рисунку з позначкою '-') проходження рухомого циліндру між крайніми положеннями.

На рис. 3.20, б зображено детальні графіки моделі: 1 – сигнал ШІМ; 2 – сигнали з модулю ФК; 3 – відстань, на яку пересувається рухомий циліндр; 4 – час, за який здійснюється пересування рухомого циліндру.

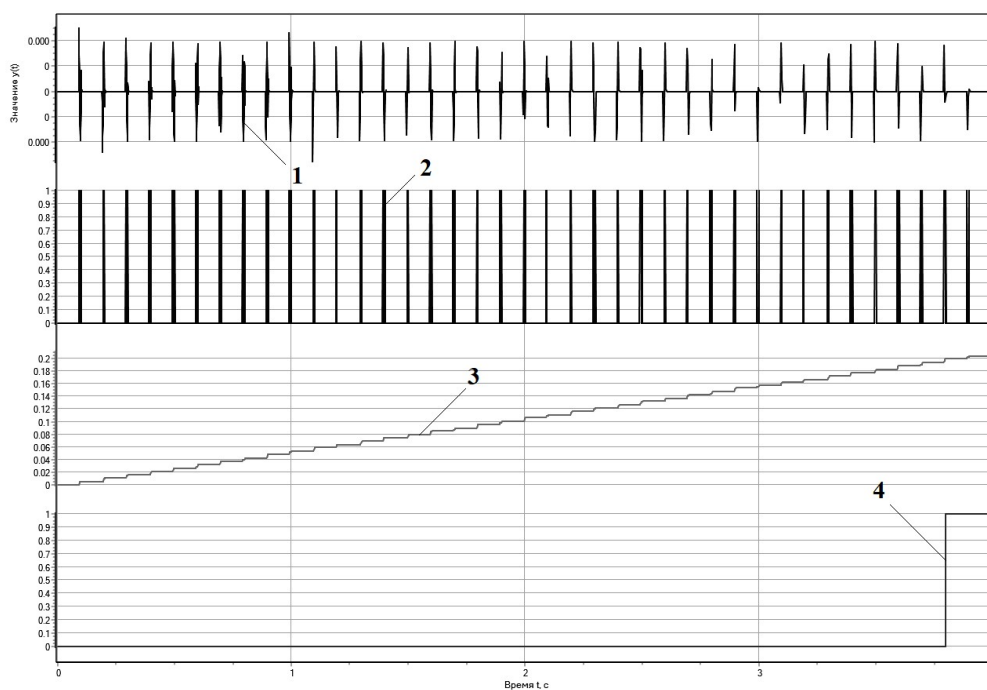
Аналіз результатів підтвердив, що чим більше кількість елементарних кроків ПР, тим менше часу потрібно для пересування рухомого циліндру.

Якщо порівняти перший спосіб з другим, то наявним стає, що друга субмодель дозволяє працювати не тільки з ШІМ, а й з амплітудним методом управління на відміну від першої субмоделі. Але при подальшій розробці моделі ВЗ слід застосовувати третю субмодель ФК. Але, якщо є потреба зміни часу ФК, то пропонується використовувати модернізований другий варіант ФК.

Аналіз отриманих результатів довів, що застосування ШІМ дуже ефективно змінює силу, швидкість та відстань, на яку пересувається рухома частина – циліндр.



а)



б)

Рисунок 3.20 – Часові діаграми роботи моделі ВЗ при застосуванні ШІМ для управління ЛПД: а – при трьох коефіцієнтах заповнення імпульсу управління; б – для одного імпульсу

3.6 Методика проектування та визначення коефіцієнту в'язкості вимірювального зонду на співвісних циліндрах з ЛПД

Отримана модель дозволяє синтезувати методику проектування ВЗ на співвісних циліндрах з ЛПД, який входить до складу комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик, з урахуванням фізико-хімічних властивостей палива, у залежності від розмірів розпилювача форсунки, відповідальних вузлів ПА ($V, F, \Delta h, S$); попереднього вибору лінійних розмірів п'єзоелементів; побудови амплітудно-частотної характеристики; аналізу чутливості й уточнюючого розрахунку осцилятора із метою коректування їх характеристик часу.

1. Визначаються розміри рухомого циліндру ВЗ. Задаються значенням радіуса рухомого циліндру $R_{Ц}$ і знаходиться його довжина $l_{Ц} = S / (2 \cdot \pi \cdot R_{Ц})$.

2. Визначається маса рухомого циліндру та елементів, які з'єднують рухомий циліндр з ЛПД.

3. По максимальній швидкості ЛПД, яка співпадає зі швидкістю елементів паливної апаратури, визначаються розміри осцилятора, для чого попередньо задають розміри ділини, ширини та товщини.

4. Знаходиться частота резонансу осцилятора.

5. Попередньо розраховуються швидкості і зусилля, що розвиваються ЛПД для заданого діапазону зміни напруги керування.

6. Будується графік часу роботи ВЗ.

7. У випадку малої чутливості запроваджується уточнюючий розрахунок шляхом зміни розмірів і властивостей матеріалу осцилятора та конструкції рухомого циліндру.

На основі моделі ВЗ розроблено методику визначення реологічних характеристик і коефіцієнтів динамічної в'язкості від часу проходження рухомого циліндру ВЗ:

1. Визначаємо час проходження рухомого циліндру на холостому ході на фіксованих швидкостях, які співвідносяться з коефіцієнтом заповнення імпульсу

ШІМ.

2. Задаємо момент навантаження ЛПД шляхом приєднання триботехнічного вузла з досліджуваною рідиною та визначаємо часові характеристики для усього діапазону швидкостей, які обрано в попередньому пункті.

3. Будуємо графік залежності часу проходження рухомого циліндру від швидкостей.

4. Змінюємо температуру та проводимо виміри часу для усього діапазону швидкостей.

5. Виконуємо розрахунок часу відносно характеристик ЛПД на холостому ході.

6. Будуємо графік залежності часу від температури.

7. Визначаємо коефіцієнти динамічної в'язкості.

Таким чином, отримав час пересування рухомого циліндру на холостому ході та під навантаженням у вигляді триботехнічного вузлу на основі розпилювачу форсунки, можна розрахувати коефіцієнт динамічної в'язкості, та визначити реологічні характеристики.

3.7 Висновки до розділу 3

В результаті проведених досліджень отримане наступне.

1. Синтезовано кінематичну схему вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик на співвісних циліндрах, які розташовані вертикально, та з приводом на лінійному п'єзоелектричному двигуні, що дозволило позбавитися протікання рідини та визначити реологічні характеристики не тільки в потоці, а й в лабораторних умовах в діапазоні технологічних температур ПА МОД, що, в свою чергу, дає змогу проводити попередні випробування рідини.

2. Набула подальшого розвитку модель фрикційного контакту з ЛПД, яка дозволила розробити модель вимірювального зонду для лабораторних вимірювань та реалізувати електронне моделювання пристроїв для їх ефективного проектування.

3. Доведено, що приєднана маса у вигляді триботехнічного вузлу уповільнює

хід ЛПД при його вертикальному розташуванні, а саме: при русі рухомого поршня з верхнього крайнього положення до нижнього, та протидії при русі в зворотному напрямку.

4. Вдосконалено методику проектування вимірювального зонду на співвісних циліндрах, до складу яких входять лінійний п'єзопривід і триботехнічний вузол, що дозволяє створити пристрої з заданими конструктивними розмірами і чутливістю, які враховують особливості технологічного процесу в паливній апаратурі: швидкості; зазори та відстані пересування.

5. Запропоновано методику побудови реологічних характеристик рідин, які залежать від часу проходження рухомого циліндру між його крайніми положеннями всередині нерухомого циліндру, та визначати на їх основі коефіцієнти динамічної в'язкості суднових технічних рідин.

Достовірність отриманих результатів підтверджена при електронному моделюванні в середовищі SimInTech.

Практична цінність отриманих результатів полягає в можливості проектування вимірювальних зондів віскозиметрів і реометрів на співвісних циліндрах, процеси в яких подібні процесам у реальних триботехнічних вузлах паливної апаратури ДВЗ.

РОЗДІЛ 4

АПАРАТНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

4.1 Апаратне забезпечення системи

Для оцінки результатів електронного моделювання було розроблено комп'ютерну систему визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин в реальному часі [71, 85] на основі обладнання Phoenix Contact та зонд-реометр, що занурюється, з лінійним п'єзоелектричним приводом. Робота зонду заснована на методі співвісних циліндрів. Ця система є складовою частиною автоматичної системи регулювання в'язкості суднових технічних рідин. На рис. 4.1 наведена її структурна схема, де ОУ – об'єкт управління, ЗР – зонд - реометр, ПЗР – привод зонду реометру, ПЛК – контролер, МРЧ – монітор реального часу, ВМ – виконавчий механізм.

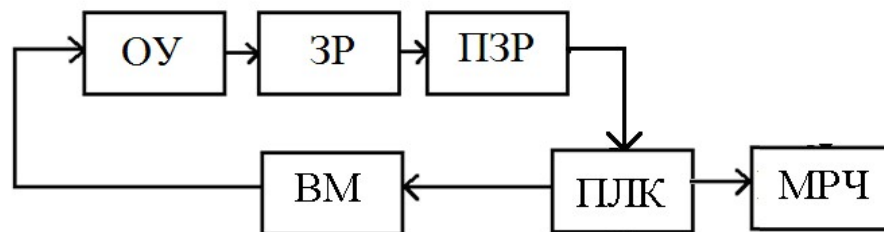


Рисунок 4.1 – Структурна схема комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин

На рис. 4.2 наведено функціональну схему комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин, де: 1 – електричний нагрівач; 2 – стакан, що занурюється; 3 – досліджувана рідина; 4 – вимірювальний зонд; 5 – реверсивний лінійний п'єзоелектричний двигун LPM-5 [Додаток А2]; 6 – датчики фіксації переміщення направляючої двигуна; 7 – контролер (ПЛК) ILC150GSM/GPRS, а також сенсорна WEB-панель WP 04T [132] з призначенням для користувача інтерфейсом, яка використовується як монітор реального часу.

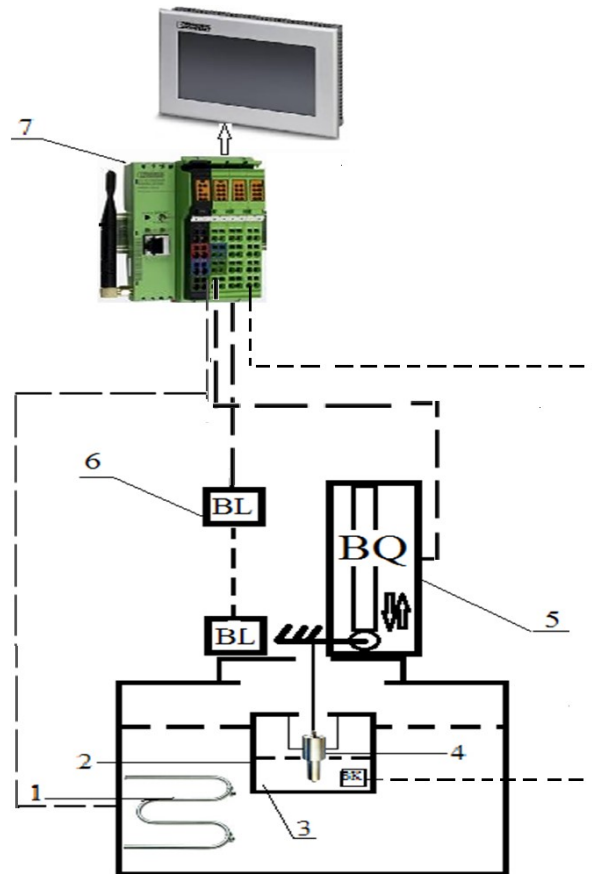


Рисунок 4.2 – Функціональна схема комп'ютерної системи

Нами було розроблено конструкцію ВЗ [70] для виміру в потоці (рис. 4.3), до складу якої входять: 1 – Г – образна основа; 2 – реверсивний ЛПД; 10 та 12 – оптичні датчики; 4 – рухома частина; 3 – осцилятор двигуна; 11 – шторка, яка перетинає оптичний канал; 5 – направляюча; 6 – виимірювальна камера, яка зроблена на базі стандартного розпилювача форсунки P1_20_Б6_04; 7 – рідина в середині вимірювальної камери, 8 – поршень; 9 – штуцер для подачі рідини; 13 – перетворювач напруги; 14 – кабель, який з'єднує перетворювач напруги та осцилятор (3) реверсивного лінійного п'єзоелектричного двигуна.

Робота такого ВЗ складається з двох етапів:

- у вихідному стані при вимкненому живленні у вимірювальній камері (7) поршень (8) знаходиться у будь якому місці. Через штуцер (9) подається рідина, яка проникає в вимірювальну камеру (7) ;

- при вмиканні живлення перетворювач напруги (13) перетворює постійну напругу у височастотні імпульси різної тривалості, які подаються за допомогою

кабелю (14) на осцилятор ЛПД (3), рухома частина (4) якого починає рухатися і за допомогою направляючої (5) рухає поршень (8) всередині вимірювальної камери (7). В'язкість рідини впливає на швидкість переміщення поршня і гальмує рухома частину двигуна (4). Сигнали, що знімаються з виходу оптичних датчиків (10) та (12), є інформаційними сигналами.

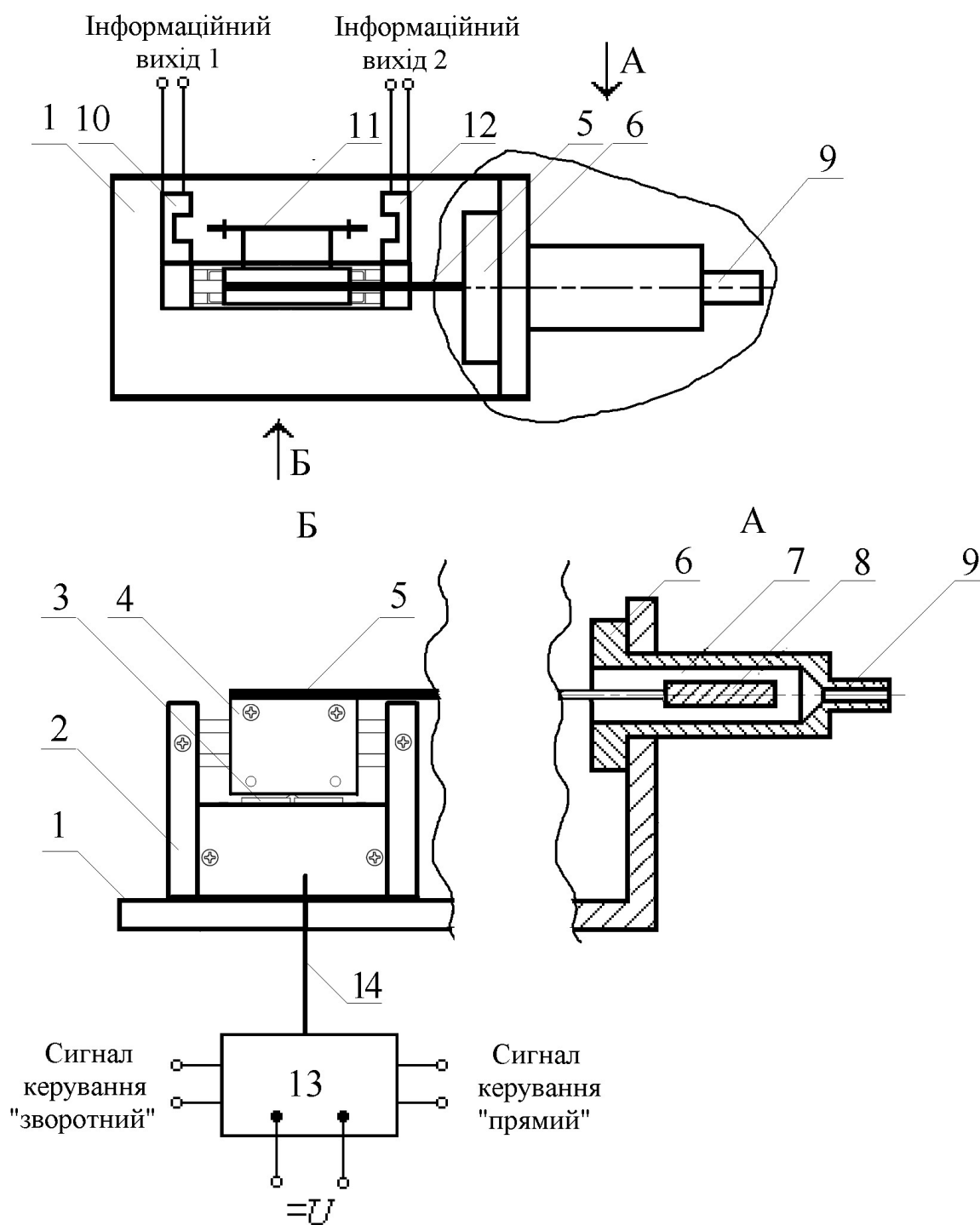


Рисунок 4.3 – ВЗ: А↓ – місцевий вид; Б↑ – додатковий вид

Елементи цієї конструкції реалізовані згідно з відомими схемами: лінійний п'єзоелектричний двигун LPM-5 компанії Small Scientific Production Enterprise "LILEYA" Ltd, м. Київ [48]; оптичні датчики ВБО-М18-76Р-6113-СА Тип R (Повернення променя відбивача) [95]; система керування [100].

Використовуючи таку конструкцію, вимір відстані здійснюється тільки при роботі ПР у прямому напрямку. Але для того, щоб проводити виміри в тупіковій камері, цю конструкцію повернули на 90° праворуч, так, що зонд - реометр занурюється, та складається з прецизійних «підігнаних» один до одного втулки і плунжера з зазором близько 10 мікрон. Зонд фіксується в отворі майданчику, що регулює, та кріпиться до допоміжної кришки склянки, яка занурюється.

Плунжер реометру через металевий шток з'єднаний з п'єзоелектричним двигуном, що здійснює зворотно - поступальні рухи. Положення двигуна в «мертвих» нижній і верхній точках і, відповідно, час між ними фіксується світлодіодними оптичними датчиками. Дана конструкція за допомогою головної кришки вміщується всередині підігрівача, що представляє собою виконавчий механізм, і складається з нагрівального елемента, який обігріває рідину.

Робота системи здійснюється наступним чином. Досліджувана рідина поміщається в стакан (2), що занурюється (рис. 4.2). При попаданні молекул досліджуваної рідини в зазор між рухомим і нерухомим циліндрами (4) виникає опір руху рухомого циліндру залежно від сил в'язкого тертя рідини. Це призводить до зміни лінійної швидкості ЛПД (5). Отримане значення швидкості руху порівнюється з еталонною швидкістю холостого ходу ЛПД ПЛК (7), який обробляє отримані сигнали та обчислює в'язкість. Далі відбувається зміна швидкості двигуна у всьому діапазоні швидкостей елементів ПА малооберткових судових дизелів, а потім будується реологічна характеристика для даного значення температури. На наступному етапі відбувається зміна температури і проводиться вимір в'язкості з наступною побудовою реологічної характеристики. Таким чином, зробивши дослідження «проби» рідини для всього температурного діапазону і швидкостей переміщення, отримуємо еталонну характеристику. А в процесі експлуатації ДВЗ можна синхронізувати режим роботи вимірювального зонду з режимами роботи

вузлів паливної апаратури і отримати реологічні характеристики рідин в «жорсткому» реальному часі. Це і є основною перевагою і новизною розробленої комп'ютерної системи. На рис. 4.4 пояснено, як здійснюється програмування контролеру ILC 150 GSM/GPRS за допомогою інтегрованих середовищ від компанії Phoenix Contact.

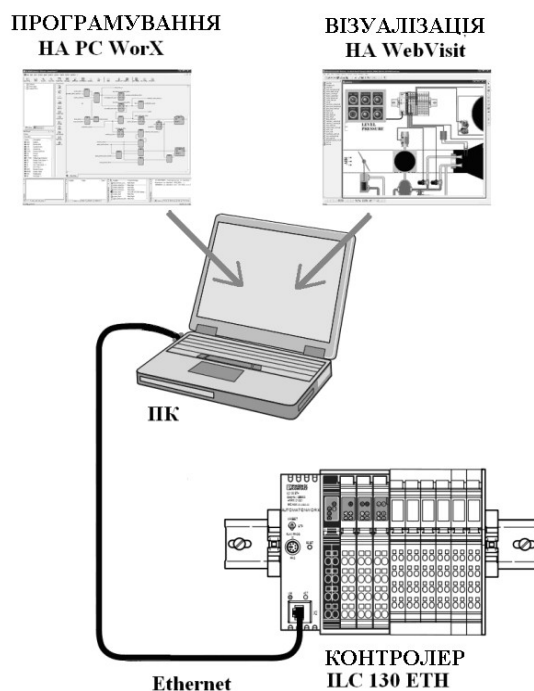


Рисунок 4.4 – Програмне забезпечення Phoenix Contact, яке застосоване при створенні системи

На рисунках 4.5 та 4.6 наведені функціональна схема комп'ютерної системи з безконтактним регулятором температури та діючий макет регулятора температури з СІФУ ТЕП [86].

На рис. 4.5 зображено , де: 1 – електричний нагрівач; 2 – стакан, що занурюється; 3 – досліджувана рідина; 4 – вимірювальний зонд; 5 – реверсивний ЛПД LPM-5 [Додаток А2]; 6 – датчики фіксації переміщення направляючої двигуна; 7 – контролер (ПЛК) ILC150GSM/GPRS; 8 – система імпульсно фазового управління; 9 – реверсивний роторний п'єзоелектричний двигун; сенсорна WEB-панель WP 04T [132] з призначенням для користувача інтерфейсом, яка використовується як монітор реального часу.

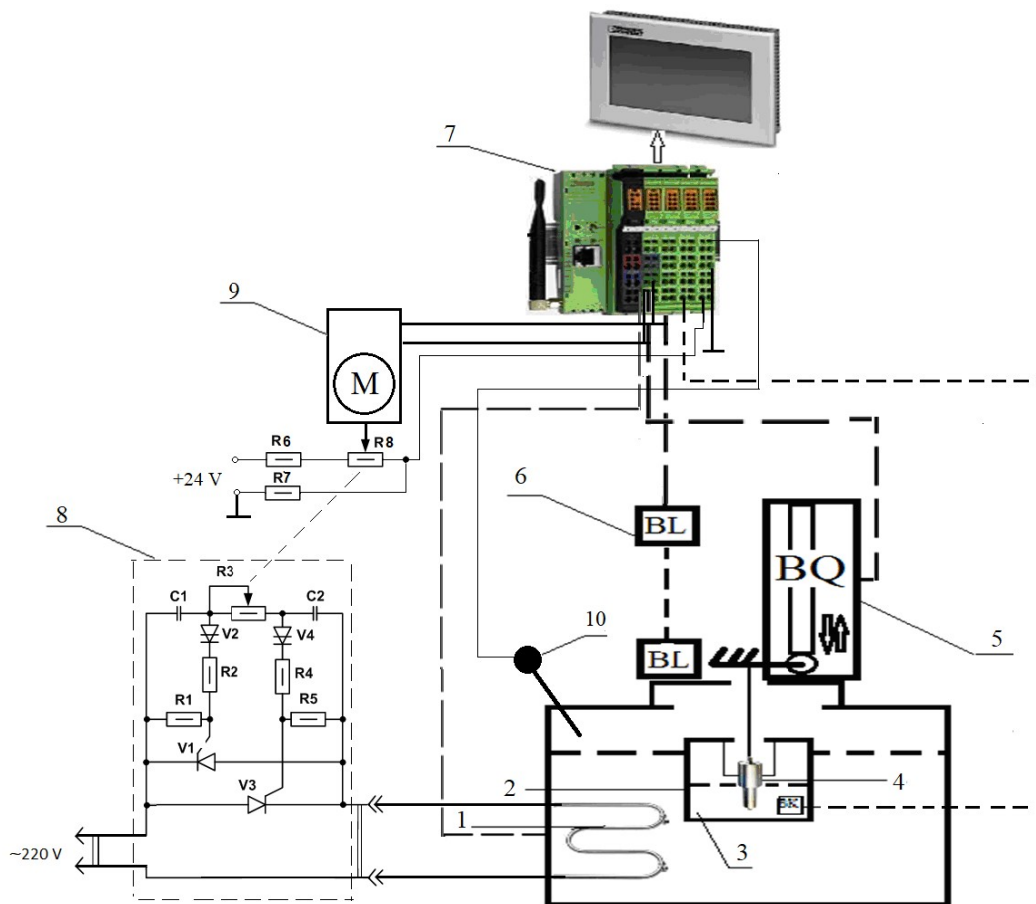


Рисунок 4.5 – Функціональна схема комп'ютерної системи з безконтактним регулятором температури

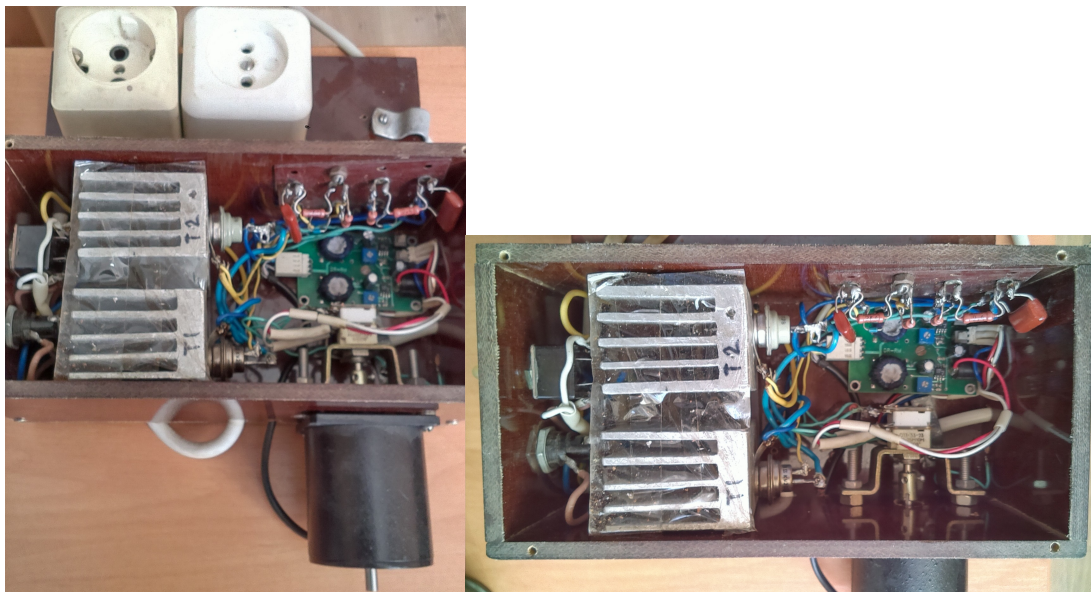
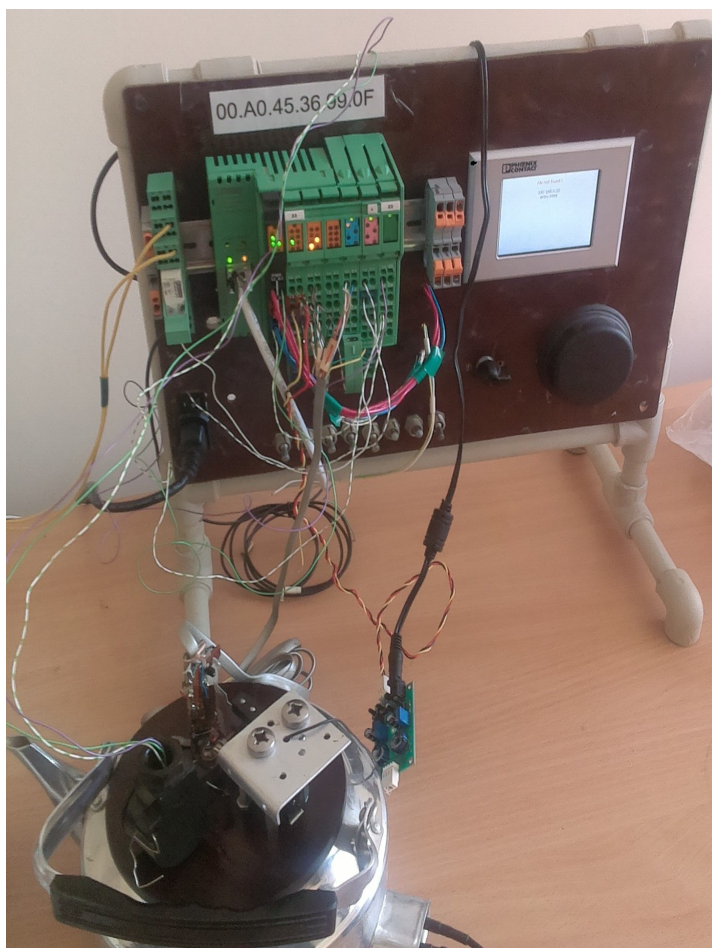
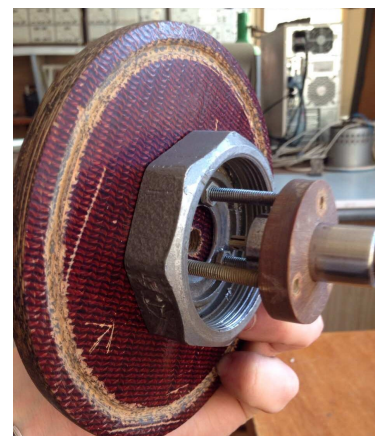


Рисунок 4.6 – Діючий макет регулятора температури з СІФУ ТЕП

На рис. 4.7. наведено діючий макет комп'ютерної системи (а), триботехнічний вузол з внутрішньої сторони (б) та вид на вимірювальний зонд зверху (в).



а)



б)



в)

Рисунок 4.7 – Комп’ютерна система: *а* – діючий макет; *б* – триботехнічний вузол на основі розпилювача форсунки вимірювального зонду; *в* – вид на боці ЛПД з оптичними датчиками

Апаратну реалізацію було виконано на базі першого навчального модуля «Програмовані контролери та Profinet» TATU SmartLab, який було розроблено в рамках проекту TEMPUS 544010-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPHES (рис. 4.8) [25, 124]. Зі складу модуля були задіяні PLC ILC 151 GSM/GPRS та Switch, до якого приєднані персональний комп’ютер та сенсорна Web – панель.

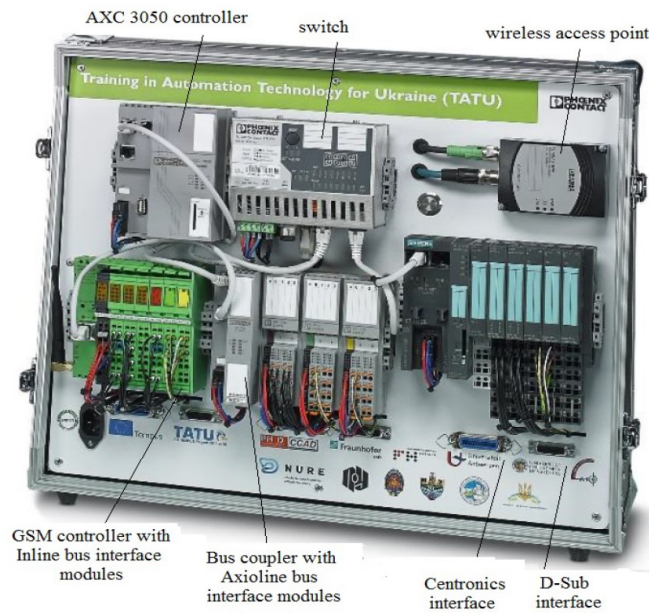


Рисунок 4.8 – Перший навчальний модуль TATU SmartLab

4.2. Розробка алгоритму роботи та структура програмного забезпечення

Надалі був розроблений алгоритм роботи даної системи визначення реологічних характеристик.

1. Визначення температури рідини в ємності нагрівача і положення рухомого циліндру вимірювального зонду.
2. При першому запуску здійснюється прогін ЛПД на холостому ході для його калібровки.
3. Запис даних вимірювання тимчасових інтервалів переміщення рухомої частини ЛПД в масив даних.
4. Під'єднання штанги, що з'єднує двигун і рухомий циліндр вимірювального зонду.
5. Визначення стану рухомого циліндру за станом кінцевих оптичних датчиків.
6. Якщо сигналів з датчиків немає, то подається сигнал на переміщення рухомої частини вимірювального зонду в крайнє положення.
7. Встановлення температури досліджуваної рідини за значеннями з масиву.
8. Запуск двигуна зі швидкостями, які вибираються з масиву.
9. Вимірювання часу проходження рухомого циліндру між крайніми станами.

10. Запис отриманих значень інтервалів часу в масив даних.

11. Перехід на пункт 7.

12. Розрахунок різниці між отриманими інтервалами часу в пунктах 7 - 11 і інтервалом часу холостого ходу (пункт 2).

Розробку програмного забезпечення було проведено за допомогою інтегрованого середовища PC_Worx [25].

На рис. 4.9 представлено дерево проекту, до якого входять наступні функціональні блоки: DIO_PWW, PWM, Select_Speed, GEN_1, Main.

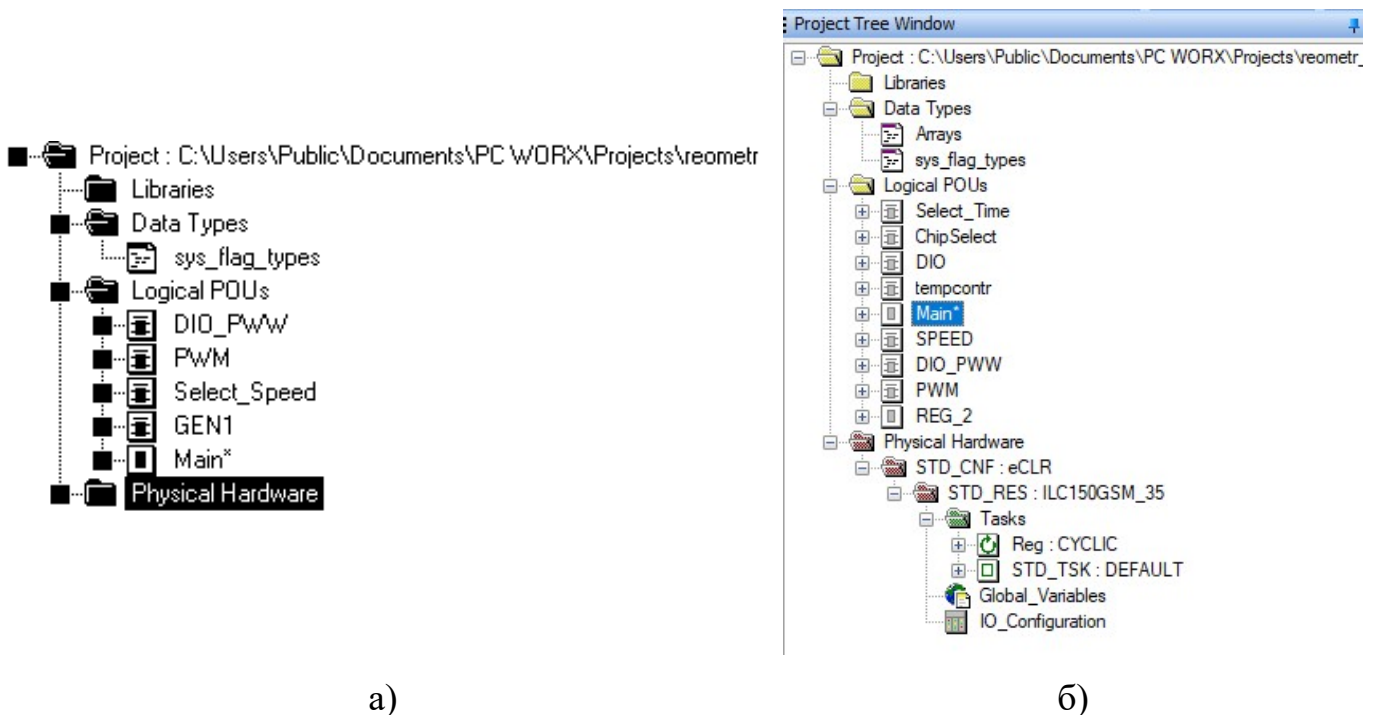


Рисунок 4.9 – Дерево проекту reometr: прототип (а) та модернізована програма (б)

В [71] представлена комп'ютерна система визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин в лабораторних умовах, яка включає в себе:

- вимірювальний зонд, робота якого заснована на методі співвісних циліндрів, з приводом на ЛПД [70];

- промисловий контролер від компанії Phoenix Contact серії ILC 151 зі складу TATU SmartLab [25, 72];

- програмне забезпечення на базі функціональних блоків з стандартної бібліотеки інтегрованого середовища розробки проектів [72, 124].

Випробування комп'ютерної системи виявили недоліки використання комплектуючих деталей, виконаних на 3-D принтері і програмного забезпечення, яке дозволяє проводити вимірювання на 4 швидкостях при одному значенні температури.

Для того, щоб використовувати таку систему на судні, необхідна синхронізація з роботою ДВС і підключення приводу виконавчого механізму подачі пари для підігріву важкого палива.

Нами запропонована модернізація реометру [72], яка включає в себе блок регулювання температури і програмне забезпечення для зчитування даних в реальному «жорсткому» часу і передачі даних в масив з подальшою обробкою і передачею для відображення в людино - машинний інтерфейс (HMI).

Програмне забезпечення для контролера розроблено за допомогою програмного комплексу PC Work. Для подальшої обробки і візуалізації даних, були використані програми Visu +, Microsoft Excel з використанням бази даних MS ACCESS.

Завдання програмного забезпечення контролеру полягає в управлінні ЛПД і вимірі часу проходження циліндру в середині вимірювального зонду. Двигун переміщує циліндр в рідині при швидкостях, відповідних швидкостям голки форсунки. Вимірюючи час проходження циліндра заданого відрізка при різній швидкості двигуна і температурі рідини, можна побудувати реологічну характеристику досліджуваної рідини.

Робота вимірювального зонда проводилася з розрахунку зміни швидкості двигуна на 6 режимах. Циліндр має два ходи – від верхньої мертвої точки (ВМТ) до нижньої мертвої точки (НМТ) і від НМТ до ВМТ. Причому ці переміщення можуть відбуватися при різній швидкості внаслідок конструктивних особливостей циліндра. Для обліку цієї умови, відбувається вимір часу на 12 режимах (по 2 на режим швидкості). Температура ж варіюється на 13 режимах. У підсумку необхідно отримати 156 значень інтервалів часу, для структурування яких використаний тип змінних «масив». Він оголошується в типах даних в файлі “Arrays”. Загальна кількість масивів 12 для запису 12 режимів швидкості. Кожен масив містить 13 значень типу ціле, для заданого режиму температури.

Лістинг Arrays:

```

TYPE
  rec : ARRAY [1..13] OF INT;
END_TYPE

```

4.3 Можливі варіанти реалізації блоків моделі

- функціональний блок (ФБ_ підрахунку часу переміщення рухомого циліндру

Для вимірювання часу пересування рухомої частини з одного крайнього стану в інший в числовому коді створено ФБ DIO_PWW (рис. 4.10, а), який відсутній у стандартній бібліотеці <all FUs and FBs>, та склад якого наведено на рис. 4.10, б.

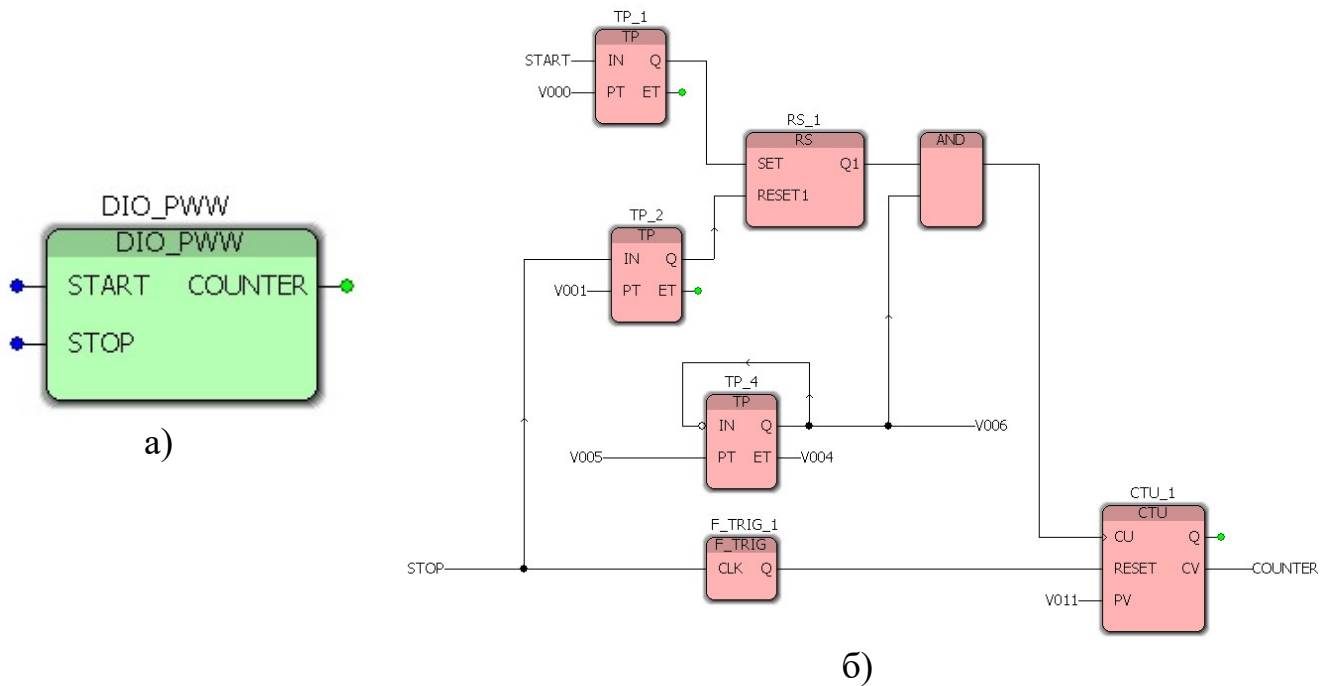


Рисунок 4.10 – ФБ DIO_PWW

- ФБ запису даних “record”

Лістинг ФБ record:

```

If prover = FALSE AND recor = TRUE THEN
  IF step > 13 THEN
    step:=1;
  END_IF;
  rec1[step]:=INPUT;
  out :=TRUE;

```

```

    step:=step+1;
    recor:=FALSE;
ELSIF prover=TRUE AND recor = false THEN
    out:=false;
END_IF;

```

Вихідні: out – змінна, яка приймає значення “1” при закінченні запису часу. Коли out всіх блоків record_(1 - 12) приймає значення “1”, “семафор” V022 приймає значення “1”, блокую роботу блоку. Це необхідно для синхронізації запису значень; rec1 – масив, який містить значення часу для одного режиму швидкості.

Програма має вхідні змінні: Input – час, який необхідно записати; recor – сигнал управління; prover – «семафор», коли його значення дорівнює «1», робота припиняється.

Вихідні: out – змінна, яка приймає значення «1» при закінченні запису часу. Коли out всіх блоків record_(1 - 12) приймає значення «1», «семафор» V022 приймає значення «1», що блокує роботу блоку. Це необхідно для синхронізації запису значень; rec1 – масив, що містить значення часу для одного режиму швидкості.

Внутрішня змінна: step – визначає індекс масиву, в який записується час, який дорівнює номеру ітерації вимірювань і має початкове значення «1».

- ФБ «обробка»

Листинг ФБ obrabotka:

```

IF PUSK_OB=TRUE THEN
delta_arr[1]:=arr[1];
FOR i:=2 TO 13 BY 1
DO
    delta_arr[i]:=arr[i]-arr[1];
END_FOR;
END_IF;

```

Програма має такі вхідні змінні: arr – масив з тривалістю руху поршня на одному рівні швидкості; PUSK_OB – сигнал управління.

Вихідна змінна: delta_arr – оброблений масив.

Внутрішня змінна: i – лічильник ітерацій внутрішнього циклу.

- підпрограми регулювання температури

На рис. 4.11 - 4.12 представлено програми регулювання температури випробуваної рідини на мові ФБ в діапазоні від 30 до 75 °С. Для реалізації цієї функції на шину Interbus був доданий модуль АЦП AI2ME, на один з аналогових входів I_0_3_1_1 по напрузі якого надходить інформація від датчика температури.

На рис. 4.10 було запропоновано використання PID регулятора з стандартної бібліотеки ФБ PC Worx від *Phoenix Contact*, у якого коефіцієнт $DI=0$, таким чином цей ФБ було застосовано в якості ПІ регулятора.

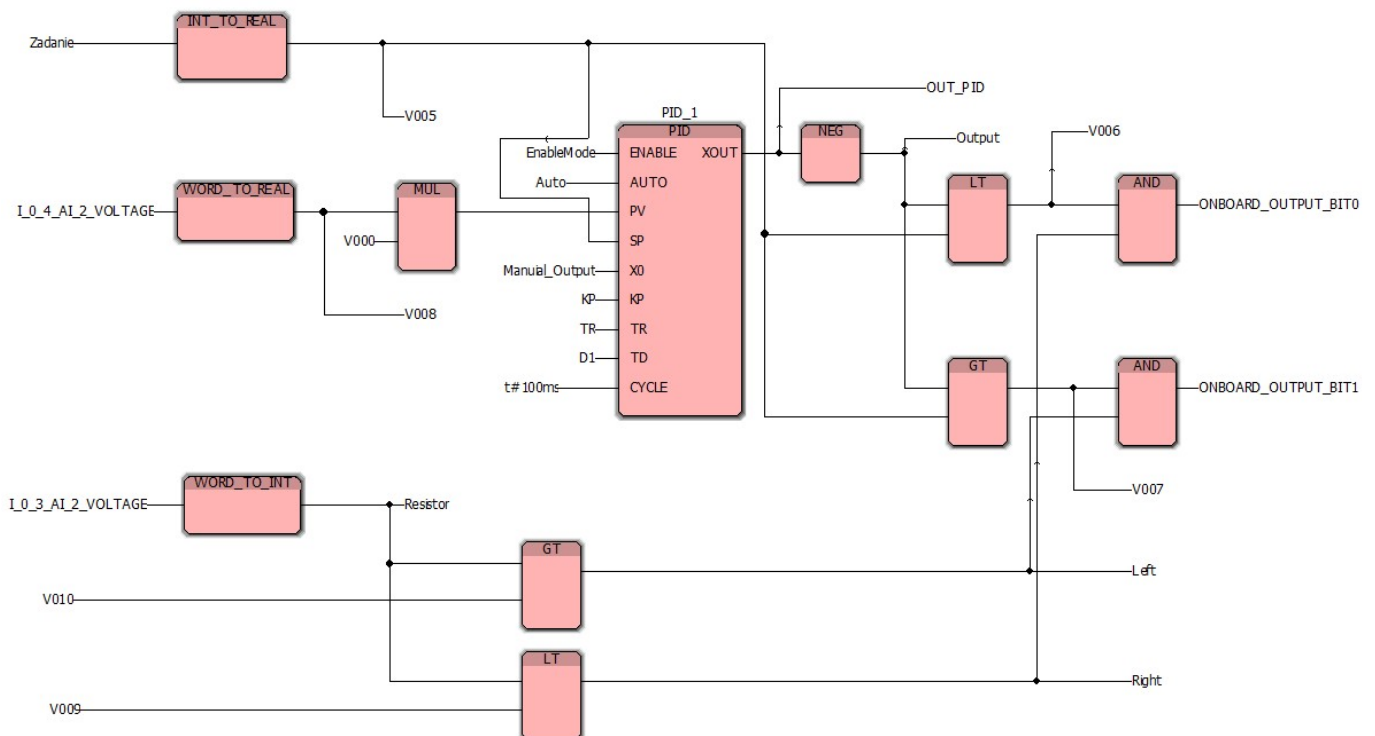


Рисунок 4.11 – Temperature controller program

Для з'єднання контролера з ТЕП було застосовано систему імпульсно-фазового управління однофазним двополуперіодним тиристорним перетворювачем, кут відпирання якого задається резистором $R3$ (8) (рис. 4.5, 4.6). Зміна опру здійснюється за допомогою реверсивного роторного п'єзоелектричного двигуна. В цілому, запропонована конструкція уявляє собою аналог виконавчого механізму суднової системи регулювання в'язкості важкого палива, а саме виконавчого механізму: сервомотру, або триходового глапану, або заслонки з електроприводом.

Але для лабораторних випробувань ця конструкція занадто складна, тому нами було застосовано релейний принцип управління підігрівачем рідини (рис. 4.1). На рис. 4.12 наведено програму управління температурою підігрівача за релейним законом [82].

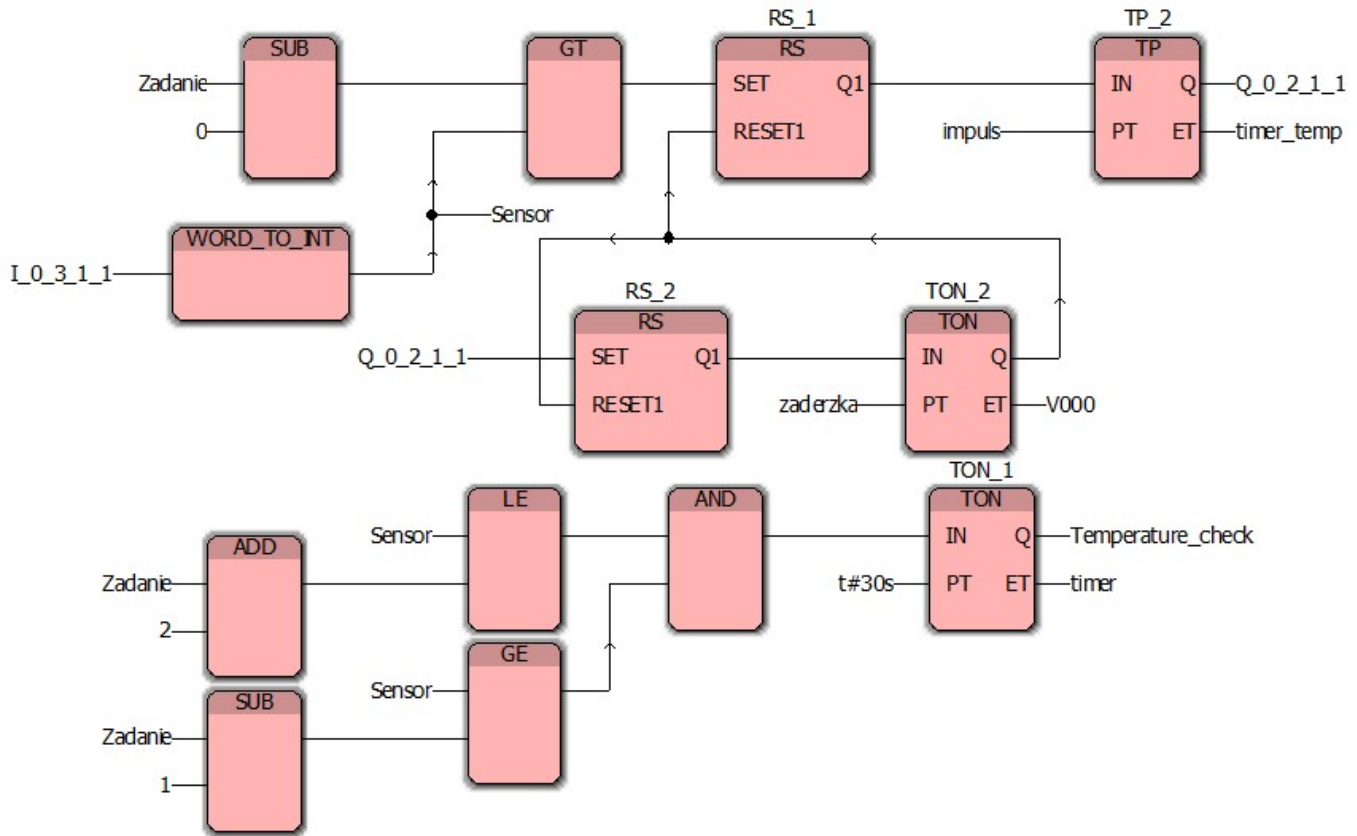


Рисунок 4.12 – Програма регулятора температури за релейним законом

- ФБ select_speed

З виходів ФБ Select_Speed_1 та Select_Speed_2 сигнали надходять на ФБ PWM_1 та PWM_2 [15], які реалізують ШІМ управління ЛПД LPM-5, а саме перетворює значення змінної Speed_Out (рис. 4.13) в імпульси постійної напруги, які надходять на блок живлення ЛПД.

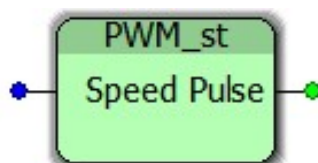


Рисунок 4.13 – ФБ, який реалізує ШІМ

В таблиці 4.1 наведено тип змінних, які задіяні в ФБ ШІМ.

Таблиця 4.1 – Змінні блоку PWM

Name	Type	Usag	Description
Speed	INT	VAR_INPUT	input
Pulse	BOOL	VAR_OUTPUT	output
c	INT	VAR	counter

Реалізація ФБ PWM для управління ЛПД може бути виконана двома шляхами. Перший – за допомогою Structured Text, другий – ФБ [16].

Код ФБ PWM, який виконано на мові Structured Text:

```

1 c:=c+100;
2 if c>3032 then c:=0; end_if;
3 if c<speed then pulse:=true;
4 else pulse:=false;
5 end_if;

```

Код ФБ PWM, який виконано на мові ФБД зі стандартної бібліотеки <all FUs and FBs> PC Worx.

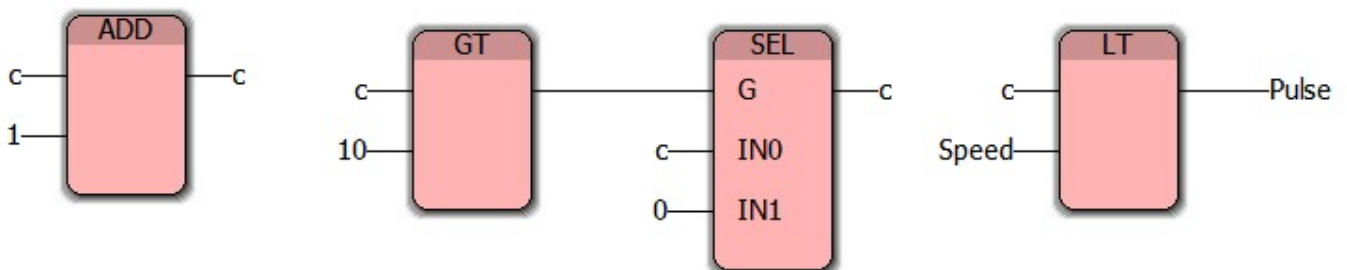


Рисунок 4.14 – Програма на мові FB, яка реалізує аналогічний алгоритм ШІМ

Вхідним параметром блоку є задана швидкість ЛПД. Вона може приймати ціле значення від 0 до 10. Вихід Pulse є логічним (тип BOOL) і регулює ширину імпульсу в залежності від заданої швидкості Speed. При цьому несуча частота ШІМ дорівнює частоті виклику ФБ.

4.4 Програмне забезпечення комп'ютерної системи

Основний функціональний блок програми – Main, змінні якого наведені в

табл. 4.2, а на рис. 4.15 зображено схему, яка виконана на мові FBD для варіанту прототипу, дерево якого приведено рис. 4.8.

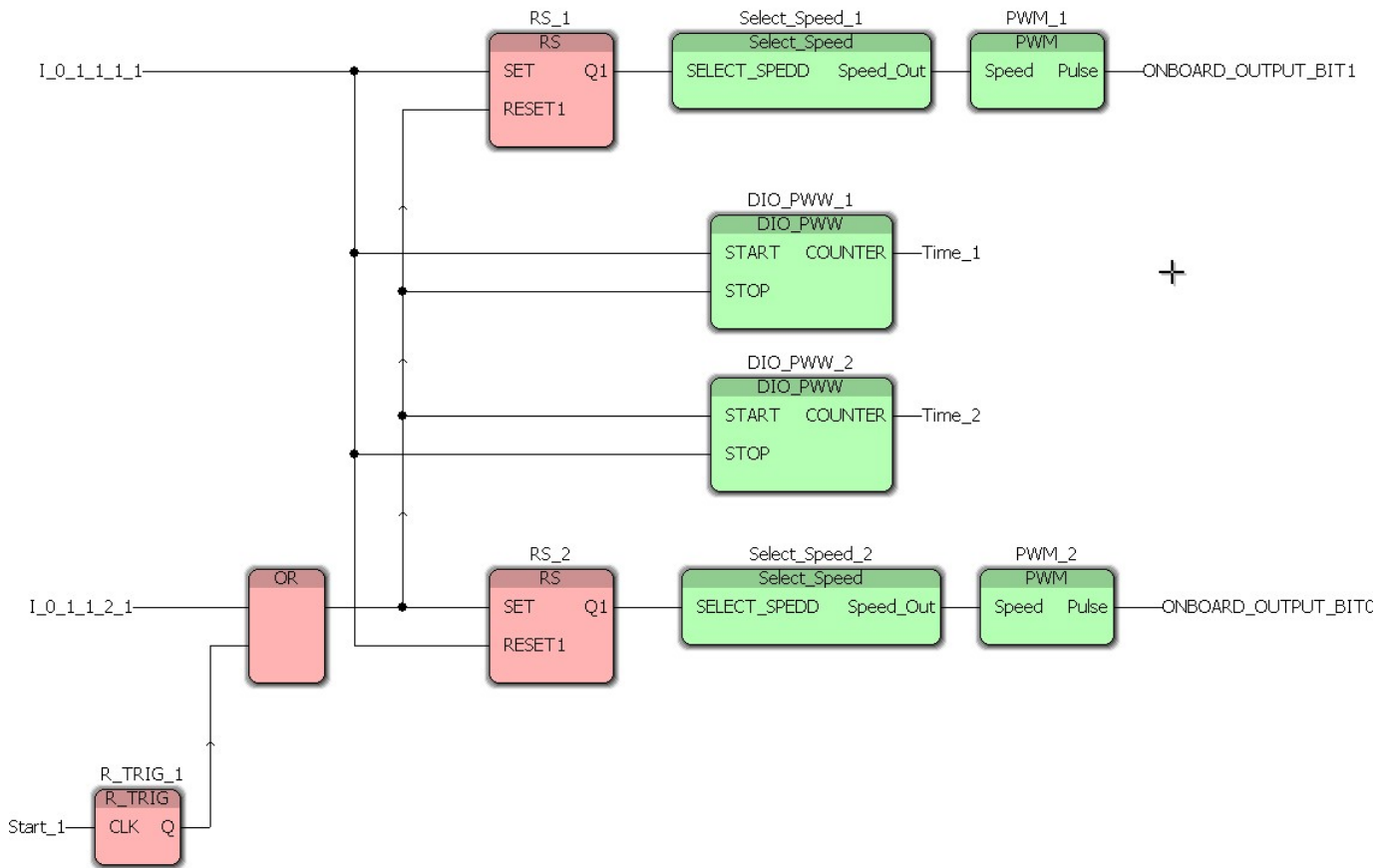


Рисунок 4.15 – Функціональна схема блоку Main

Змінні ONBOARD_OUTPUT_BIT0 та ONBOARD_OUTPUT_BIT1 потрібні для керування ЛПД в прямому та зворотному напрямках, тим самим пересуваю рухомий циліндр вимірювального зонду; до входів I_0_1_1_1_1 та I_0_1_1_2_1 підключаються оптичні первинні перетворювачі, сигнал з яких свідчить про знаходження рухомого циліндру в крайніх положеннях; змінна Start_1 відповідає за примусовий пуск двигуна у разі знаходження рухомого циліндру в проміжку між крайніми положеннями; ФБ R_TRIG_1 формує короткочасний імпульс запуску ЛПД, який поступає на ФБ OR; сигнали з оптичних первинних перетворювачів поступають на асинхронні тригери RS_1 та RS_2 (рух в прямому та зворотному напрямках) і далі на ФБ вибору швидкості ЛПД Select_Speed_1 та Select_Speed_2, функціональна схема яких наведена на рис. 4.16.

Таблиця 4.2 – Змінні блоку Main

Name	Type	Usag	Description
PWM_1	PWM	VAR	
Select_Speed_1	Select_Speed	VAR	
ONBOARD_OUTPUT_BIT0	BOOL	VAR_EXTERNAL	Local output OUT1
PWM_2	PWM	VAR	
Select_Speed_2	Select_Speed	VAR	
Start_1	BOOL	VAR	
I_0_1_1_1_1	BOOL	VAR_EXTERNAL_PG	
I_0_1_1_2_1	BOOL	VAR_EXTERNAL_PG	
ONBOARD_OUTPUT_BIT1	BOOL	VAR_EXTERNAL	Local output OUT2
R_TRIG_1	R_TRIG	VAR	
RS_1	RS	VAR	
RS_2	RS	VAR	
TP_1	TP	VAR	

До складу ФБ Select_Speed увійшли наступні блоки: GEN1_1, ..., GEN1_4, які відповідають за формування цифрового коду швидкості пересування рухомої частини ЛПД разом з рухомим циліндром. Змінні speed1, ..., speed9 (табл. 4.3) мають дискретні значення, які наведені в колонці Int. Склад ФБ GEN1 приведено на рис. 4.17, який розроблено, в свою чергу, за допомогою ФБ TON та AND з бібліотеки <all FUs and FBs>.

Таблиця 4.3 – Змінні блоку Select_Speed

Name	Type	Usag	Description	Int
SELECT_SPEDD	BOOL	VAR_INPUT		
Speed_Out	INT	VAR_OUTPUT		
T_cycle	TIME	VAR		t#15s
T1	TIME	VAR		t#5s
T2	TIME	VAR		t#5s
T3	TIME	VAR		t#5s
GEN1_1	GEN1	VAR		
GEN1_2	GEN1	VAR		
GEN1_3	GEN1	VAR		
GEN1_4	GEN1	VAR		
speed1	INT	VAR		100
speed2	INT	VAR		200
speed3	INT	VAR		300
speed4	INT	VAR		400
speed5	INT	VAR		500
speed6	INT	VAR		600
speed7	INT	VAR		700
speed8	INT	VAR		10000
speed9	INT	VAR		20000

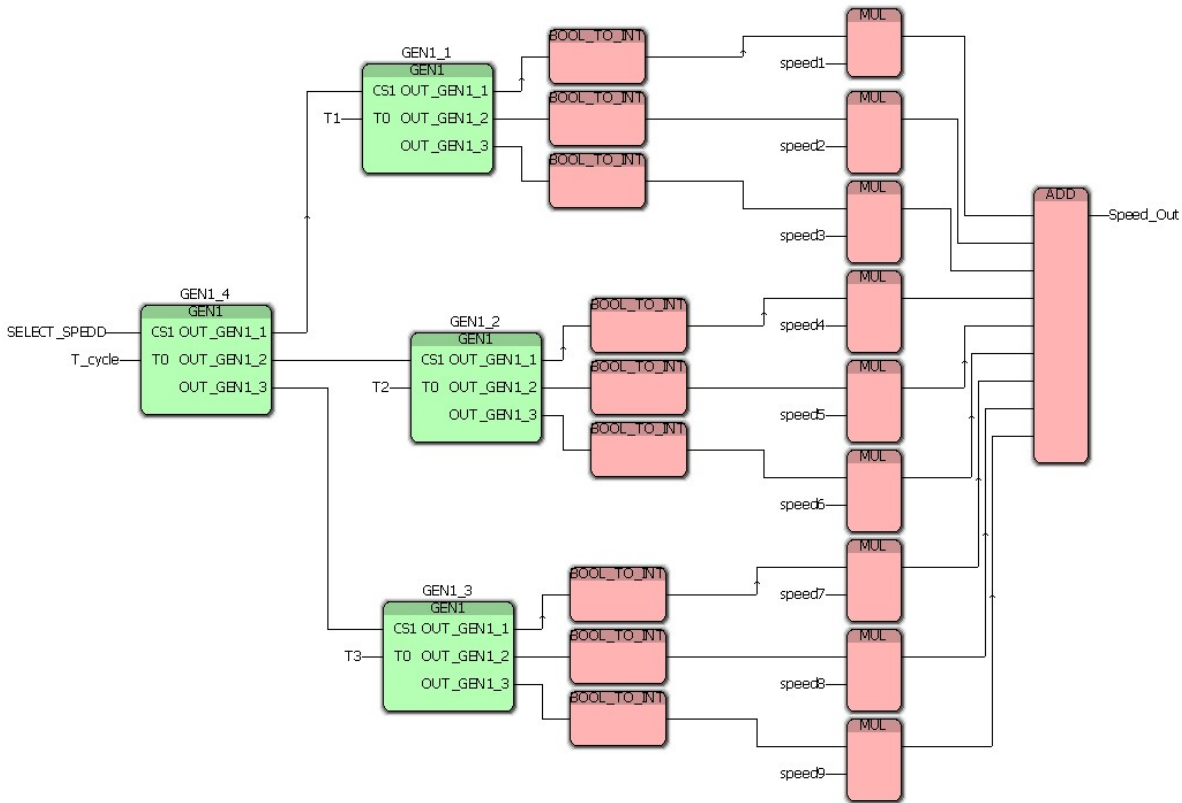


Рисунок 4.16 – ФБ Select_Speed

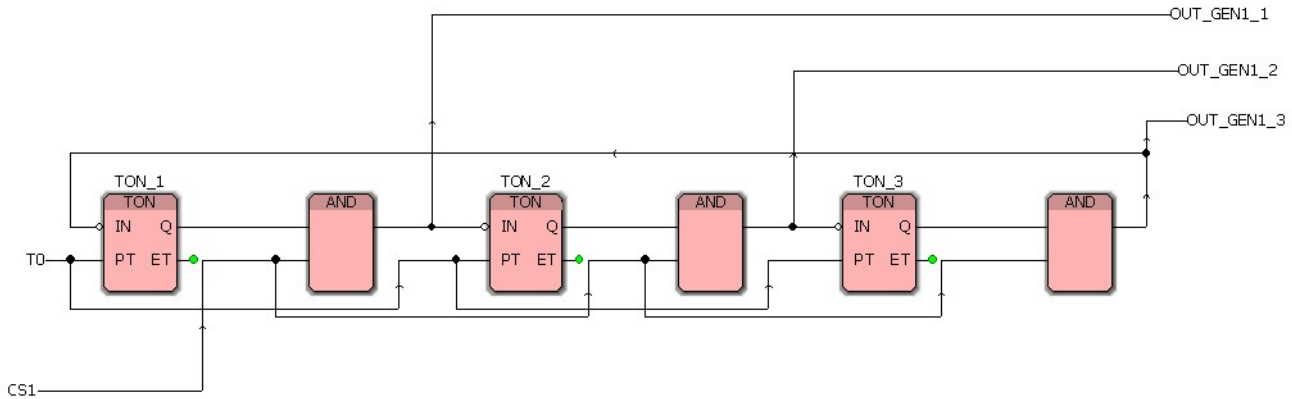


Рисунок 4.17 – Блок GEN1

Однак, ця схема була прототипом для подальшого розвитку програмного забезпечення, з якого були використані ФБ PWM та SPEED.

Основний функціональний блок Main складається з трьох фрагментів блоків на мові FD (рис. 4.18 - 4.20) і окремих блоків на мові ST.

На рис. 4.18 представлений перший фрагмент функціональної схеми блоку Main [82], в якому реалізовані такі операції: запуск ЛПД; визначення положення рухомого циліндру; управління проходами циліндру при різних швидкостях.

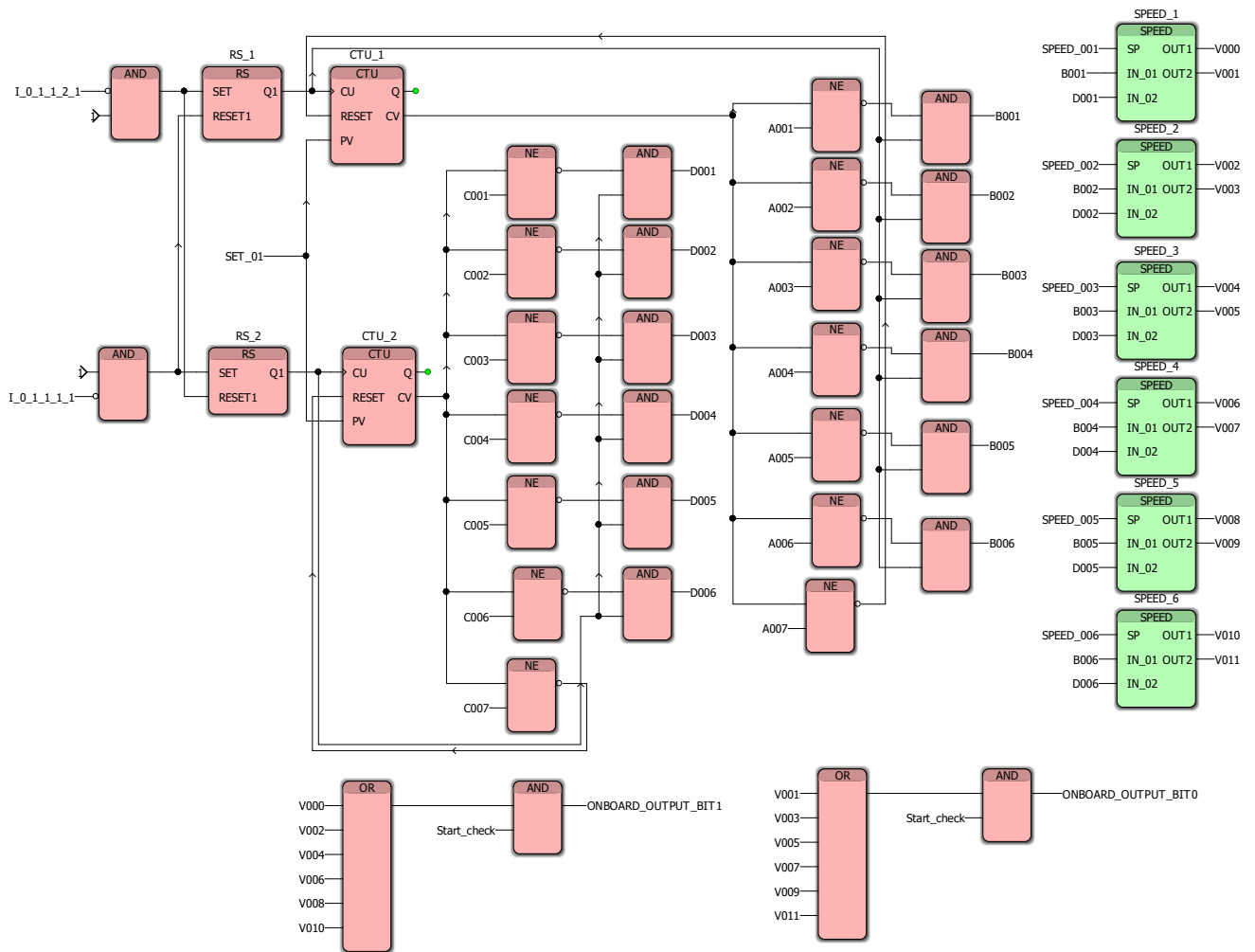


Рисунок 4.18 – Перший фрагмент схеми блоку Main

Змінні I_0_1_1_1_1 і I_0_1_1_2_1 позначають положення циліндра в ВМТ і НМТ відповідно. На початку роботи (перехід значення змінної Start в стан «1») і знаходженні циліндру в одному з граничних положень, відбувається формування сигналу на один з лічильників CTU_1 або ж CTU_2, які послідовно подають сигнали дозволу на управління ЛПД по одному з режимів швидкості від першого значення до значення, заданого змінною SET_01, яка в даному дослідженні дорівнює 6.

Змінні A00 (1-7) і C00 (1-7) – константи, що визначають швидкість переміщення рухомої частини ЛПД.

Залежно від номеру проходу (порівнюється значення змінної C00 (1-7) і значення лічильника) подається сигнал управління на змінну D00 (1-6), що відповідає певному режиму швидкості. Аналогічно для лічильника CTU_1, що подає сигнал управління на змінну B00 (1-6). У змінних SPEED_00 (1-6) задається

швидкість лінійного пьезодвигуна. Вихід V000 відповідає руху циліндру вниз, а V001 руху циліндру вгору. Аналогічно для інших блоків SPEED_ (2-6).

ФБ PWM формує цифровий сигнал широтно - імпульсної модуляції і виконаний за структурною мовою ST. ФБ SPEED_1 (7) формує підсумкові сигнали управління п'єзоелектричним двигуном в залежності від підключених констант A00 (1-7) і C00 (1-7). Контролер виконує один цикл своєї роботи за 1 мс. Тому на частоті 100 Гц можлива зміна швидкості на 10 режимах.

Лістинг ФБ PWM:

```
c:=c+1;
if c>10 then c:=0; end_if;
if c<speed then pulse:=true;
    else pulse:=false;
end_if;
```

Змінна ONBOARD_OUTPUT_BIT1 і ONBOARD_OUTPUT_BIT0 управляє рухом ЛПД від НМТ до ВМТ відповідно. Змінна Start_check ставить рух двигуна на «паузу».

На рис. 4.19 представлений другий фрагмент функціональної схеми блоку Main, який реалізує наступні функції: визначення тимчасових інтервалів проходження рухомого циліндру між крайніми положеннями за допомогою ФБ DIO_PWW; запис їх в масив.

Змінна V022 обнуляє змінні T0 (1-12). B00 (1-6) і D00 (1-6) – сигнали управління, які визначають рух циліндру. Змінна Start_check зупиняє рух циліндру, і, відповідно, по ній лічильник ставиться на «паузу». У змінну T0 (1-12) записується час руху циліндру. Аналогічно для інших DIO_PWW_(3-12), внутрішній вміст якого представлено на рис. 4.10, б.

Після проходження циліндром 6 режимів швидкості лічильники STU_1 і STU_2 скидаються, а значення T0 (1-12) записуються в масиви.

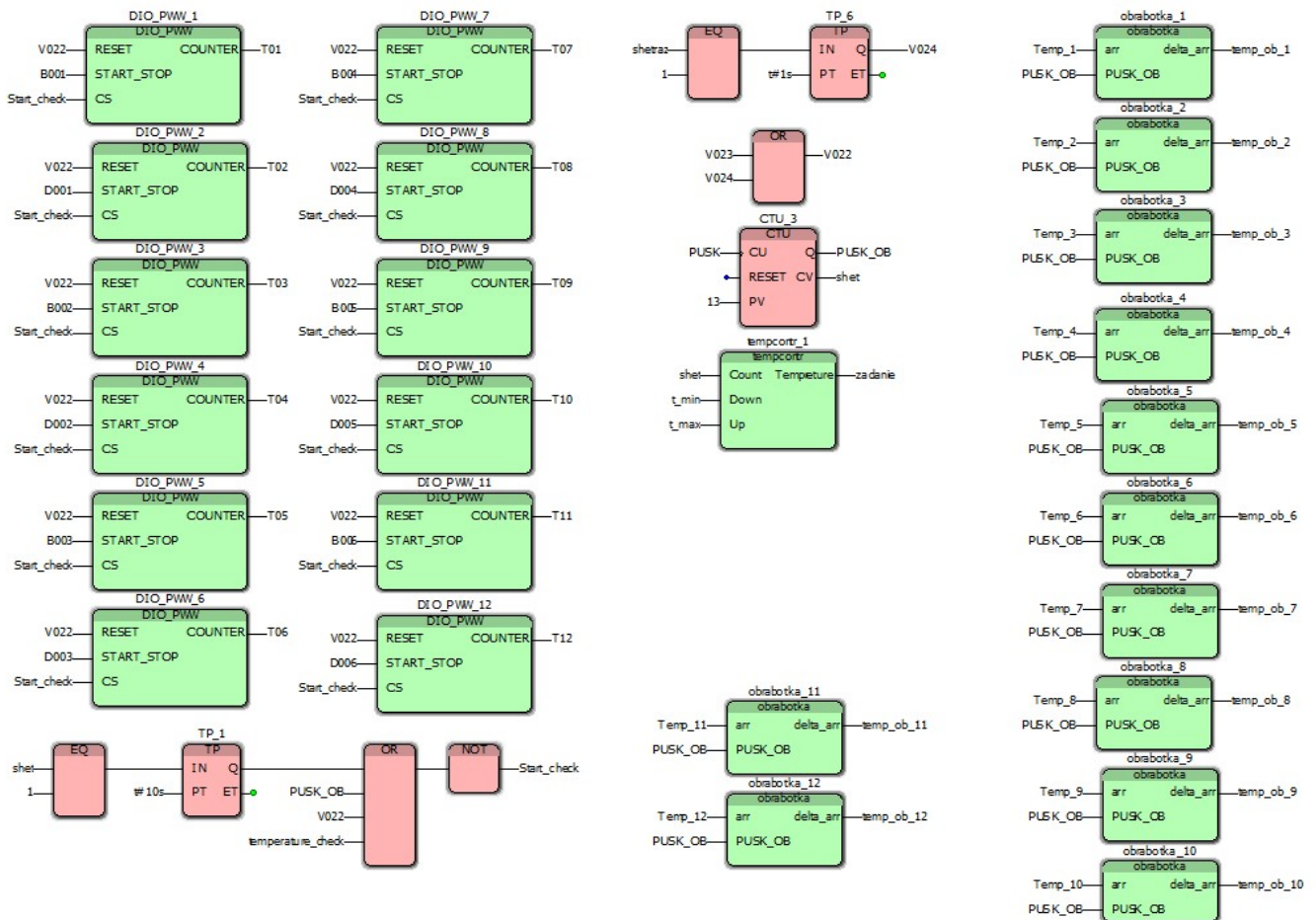


Рисунок 4.19 – Другий фрагмент схеми блоку Main

На рис. 4.20 представлений третій фрагмент функціональної схеми блоку Main, який реалізує функції запису інформації про інтервали часу в масив і управління синхронізацією (змінна V022).

Блок F_TRIG_3 переводить значення змінної PUSK в «1», коли циліндр закінчує переміщення вгору в шостому режимі швидкості, одночасно подається сигнал управління на блоки record_(1-12).

Під час роботи двигун може перегрітися. Для цього введені паузи між повними проходами циліндру за всіма 6 швидкостями.

TP_1 (рис. 4.19) формує тимчасової імпульс, переводячи змінну Start_check в значення «FALSE». Двигун зупиняється на 30 с. після першого проходу і на 10 с. після кожного наступного. Змінна PUSK_OB сигналізує про завершення роботи.

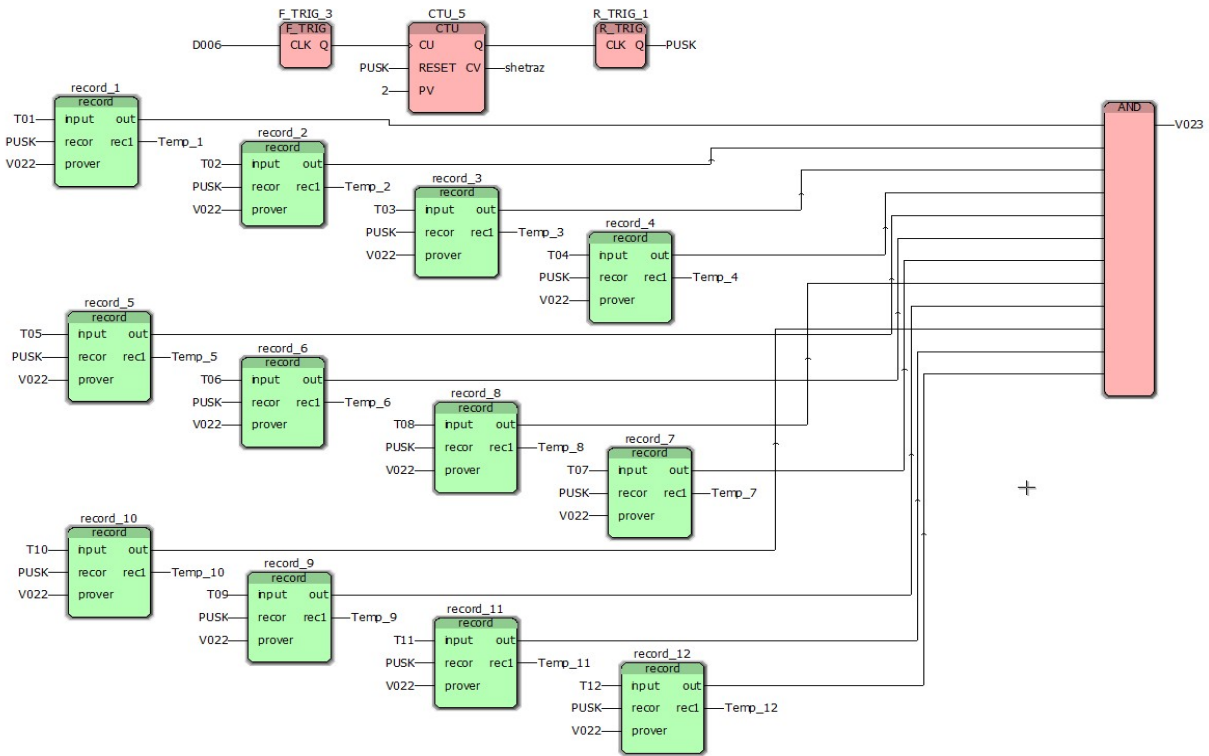


Рисунок 4.20 – Третій фрагмент схеми блока Main

Лічильник CTU_3 підраховує кількість змін змінної PUSK, а саме, підраховується кількість проходів циліндру за всіма 6 швидкостями. Номер проходу записується в змінну shet, а при досягненні 13-го значення змінна PUSK_OB приймає значення «1», передаючи сигнал управління на блок obrabotka_(1-12).

Для побудови реологічної характеристики, необхідна різниця між значенням при «холостому ході» і «під навантаженням», що і обчислює блок obrabotka. Отриманий масив temp_ob_(1-12) (рис. 4.21) є підсумком. Кожен масив відповідає режиму швидкості, і містить вимірювання при номінальному значенні (1 індекс), і різницю між режимом під навантаженням і номінальним (2-13 індекси).

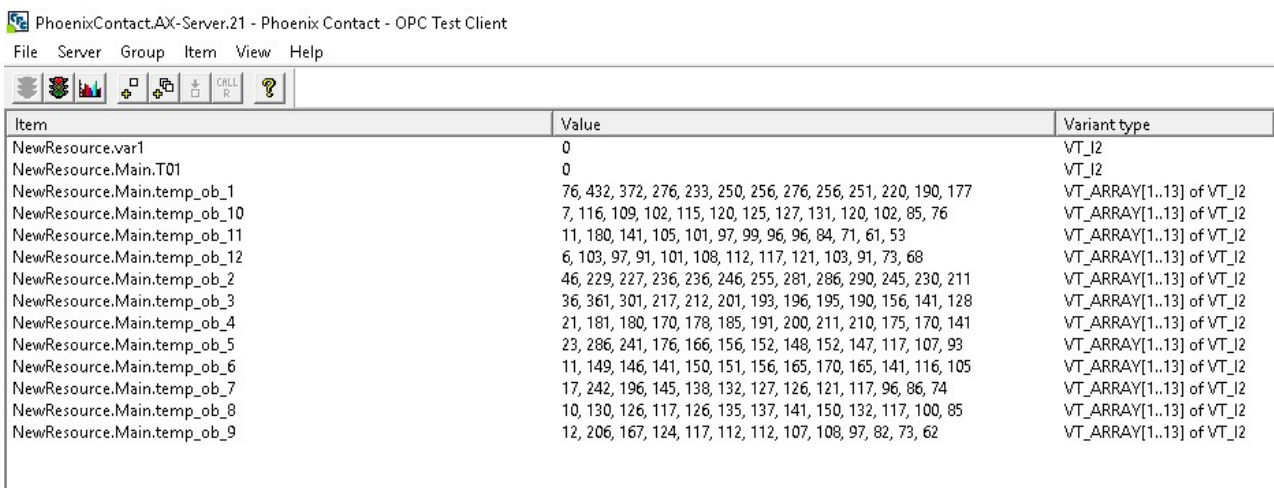
Name	Type	Usage	Description
temp_ob_1	rec	VAR	
temp_ob_2	rec	VAR	
temp_ob_3	rec	VAR	
temp_ob_4	rec	VAR	
temp_ob_5	rec	VAR	
temp_ob_6	rec	VAR	
temp_ob_7	rec	VAR	
temp_ob_8	rec	VAR	

Рисунок 4.21 – Variables Worksheet

Масиви temp_ob_(1-12) відзначені галочкою OPC в Variables Worksheet, відкриваючи доступ для передачі даних в OPC - сервер.

4.5 Результати експериментальних досліджень та їх візуалізація

Візуалізація отриманих даних в результаті проведених досліджень здійснена в Microsoft Excel. Для цього за допомогою утиліти OPC - сервер від *Phoenix_Contact* (рис. 4.22) була здійснена передача масиву даних про час проходження циліндрів за схемою передачі інформації (рис. 4.23) в Microsoft Excel [86], де і була представлена у вигляді графіків залежностей зміни часу проходження циліндру вимірювального зонду від лінійної швидкості на холостому ході (рис. 4.24) в «свіжому» маслі (додаток Е) (рис. 4.25) і маслі з картера після 2000 годин роботи (рис. 4.26) [82, 88].



The screenshot shows the PhoenixContact.AX-Server.21 - Phoenix Contact - OPC Test Client interface. The main window displays a table with three columns: Item, Value, and Variant type. The table contains data for various OPC items, including NewResource.Main.temp_ob_1 through NewResource.Main.temp_ob_9. The values are numerical arrays representing time measurements.

Item	Value	Variant type
NewResource.var1	0	VT_I2
NewResource.Main.T01	0	VT_I2
NewResource.Main.temp_ob_1	76, 432, 372, 276, 233, 250, 256, 276, 256, 251, 220, 190, 177	VT_ARRAY[1..13] of VT_I2
NewResource.Main.temp_ob_10	7, 116, 109, 102, 115, 120, 125, 127, 131, 120, 102, 85, 76	VT_ARRAY[1..13] of VT_I2
NewResource.Main.temp_ob_11	11, 180, 141, 105, 101, 97, 99, 96, 96, 84, 71, 61, 53	VT_ARRAY[1..13] of VT_I2
NewResource.Main.temp_ob_12	6, 103, 97, 91, 101, 108, 112, 117, 121, 103, 91, 73, 68	VT_ARRAY[1..13] of VT_I2
NewResource.Main.temp_ob_2	46, 229, 227, 236, 236, 246, 255, 281, 286, 290, 245, 230, 211	VT_ARRAY[1..13] of VT_I2
NewResource.Main.temp_ob_3	36, 361, 301, 217, 212, 201, 193, 196, 195, 190, 156, 141, 128	VT_ARRAY[1..13] of VT_I2
NewResource.Main.temp_ob_4	21, 181, 180, 170, 178, 185, 191, 200, 211, 210, 175, 170, 141	VT_ARRAY[1..13] of VT_I2
NewResource.Main.temp_ob_5	23, 286, 241, 176, 166, 156, 152, 148, 152, 147, 117, 107, 93	VT_ARRAY[1..13] of VT_I2
NewResource.Main.temp_ob_6	11, 149, 146, 141, 150, 151, 156, 165, 170, 165, 141, 116, 105	VT_ARRAY[1..13] of VT_I2
NewResource.Main.temp_ob_7	17, 242, 196, 145, 138, 132, 127, 126, 121, 117, 96, 86, 74	VT_ARRAY[1..13] of VT_I2
NewResource.Main.temp_ob_8	10, 130, 126, 117, 126, 135, 137, 141, 150, 132, 117, 100, 85	VT_ARRAY[1..13] of VT_I2
NewResource.Main.temp_ob_9	12, 206, 167, 124, 117, 112, 112, 107, 108, 97, 82, 73, 62	VT_ARRAY[1..13] of VT_I2

Рисунок 4.22 – Інтерфейс OPC - серверу від *Phoenix_Contact*

Аналіз результатів довів, що в маслі, яке працювало 2000 годин спостерігається значне зростання часу проходження циліндру в діапазоні низьких швидкостей, які відповідають швидкостям елементів паливної апаратури при частковому навантаженні. Аналіз отриманих графіків дозволяє зробити висновок, що на холостому ході залежність має відхилення до 10 %. При дослідженні свіжого масла спостерігається зменшення в'язкості при збільшенні швидкості. Залежності мають лінійний характер і відповідають заявленим характеристикам. А ось масло після 2000 годин показало зростання коефіцієнтів в'язкості при розгоні ЛПД. Це пов'язано, перш за все, з тим, що в масло потрапляють механічні частинки в

результаті зносу деталей ЦПГ, що підверженні тетртю, та хііічних реакцій.

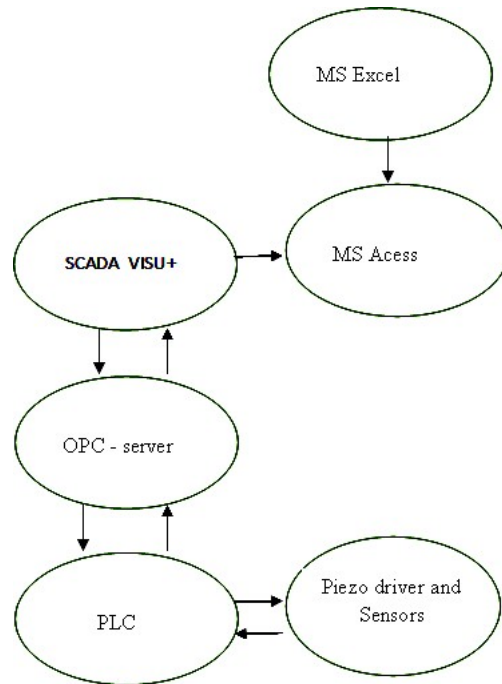


Рисунок 4.23 – Схема перетворення інформації від контролера в Microsoft Excel

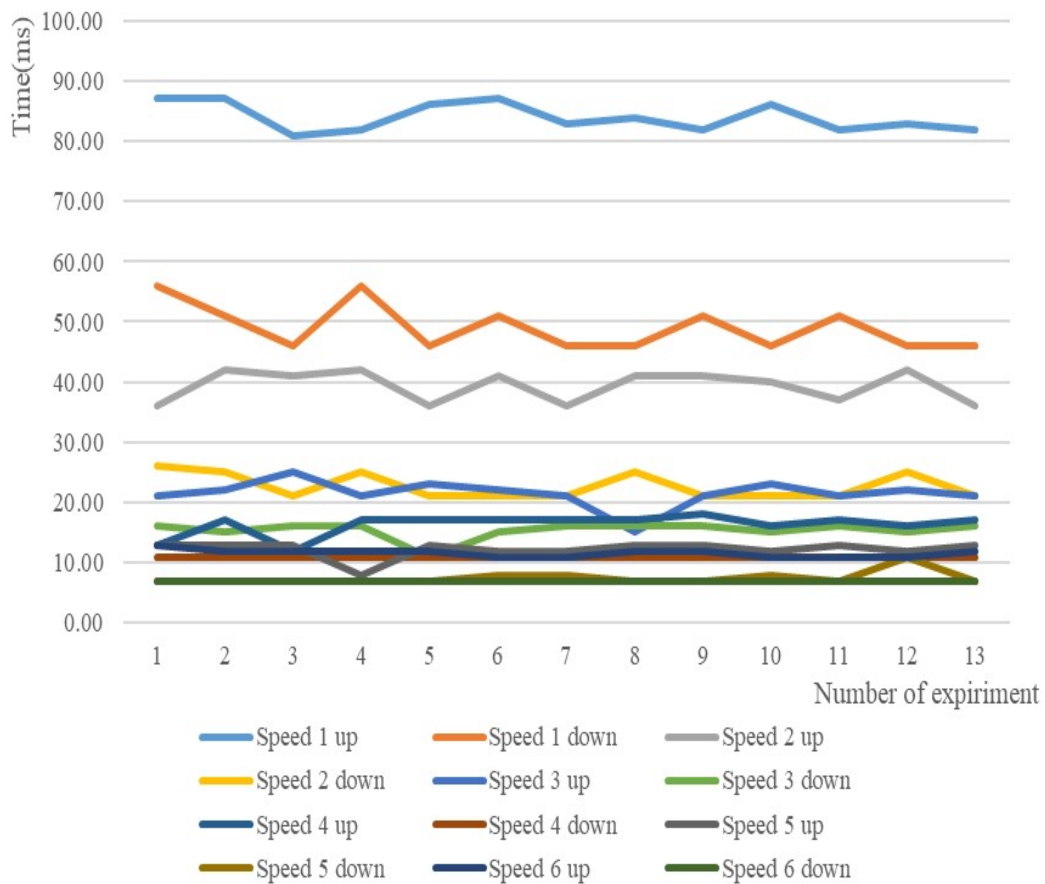


Рисунок 4.24 – Графік зміни часу проходження рухомої частини ЛПД на холостому ході

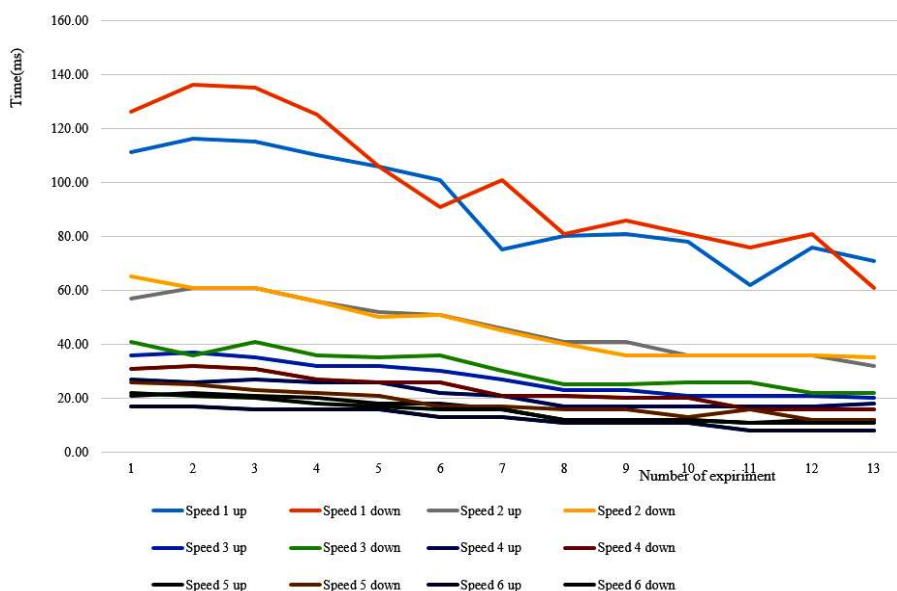


Рисунок 4.25 – Графік зміни часу проходження циліндру від заданої швидкості в «свіжому» мастилі

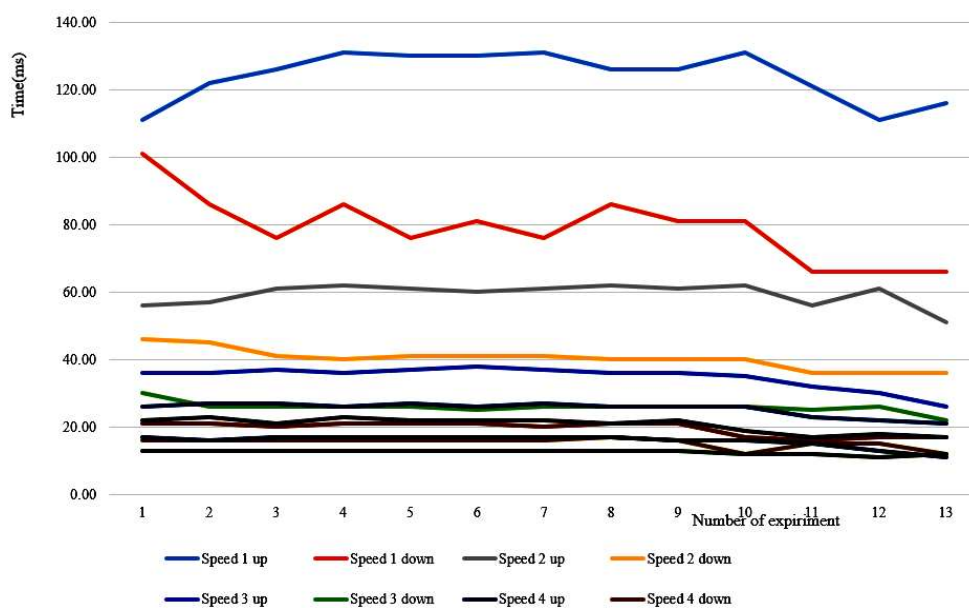
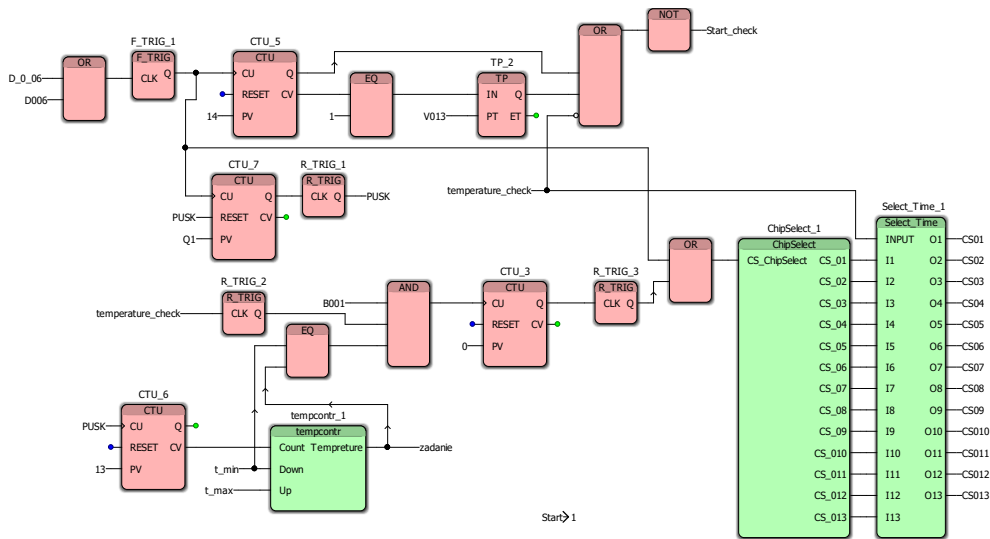


Рисунок 4.26 – Графік зміни часу проходження циліндру від заданої швидкості в мастилі після 2000 годин експлуатації

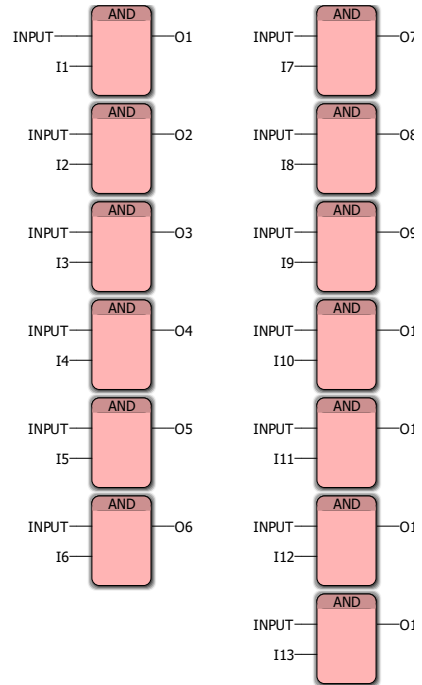
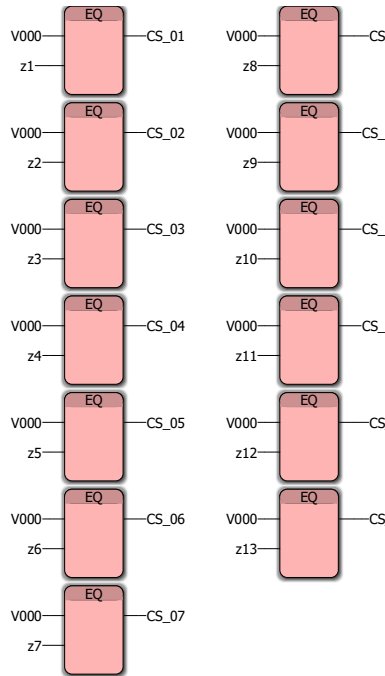
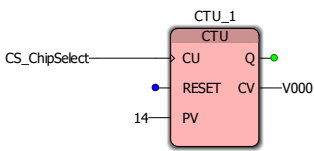
Крім того, спостерігається розкид значень інтервалів часу для ЛПД на холостому ході, який обумовлений програмною реалізацією ШІМ. Для зменшення відхилення, як варіант, можливе використання апаратного модуля Phoenix Contact IB IL PWM / 2-PAS, що дозволяє значно збільшити точність.

Однак, якщо проаналізувати схему перетворення інформації від контролера в Microsoft Excel, то для перетворення масиву даних, який поступає з OPC - серверу

потрібно два додаткових додатка SCADA Visu+ та MsAccess, що ускладнює вимоги для програмного забезпечення, яке повино встановлюватися на ПЕОМ. Тому, щоб уникнути роботи з масивами, було проведено модернізацію програмного забезпечення контролеру. Це дозволило отримувати окремі значення інтервалів часу. На рис. 4.27 та 4.28 наведені другий та третій фрагменти модернізованої схеми блоку Main.



a)



б)

в)

Рисунок 4.27 – Другий фрагмент модернізованої схеми блоку Main (а), ChipSelect_1 (б), Select_Time_1 (в)

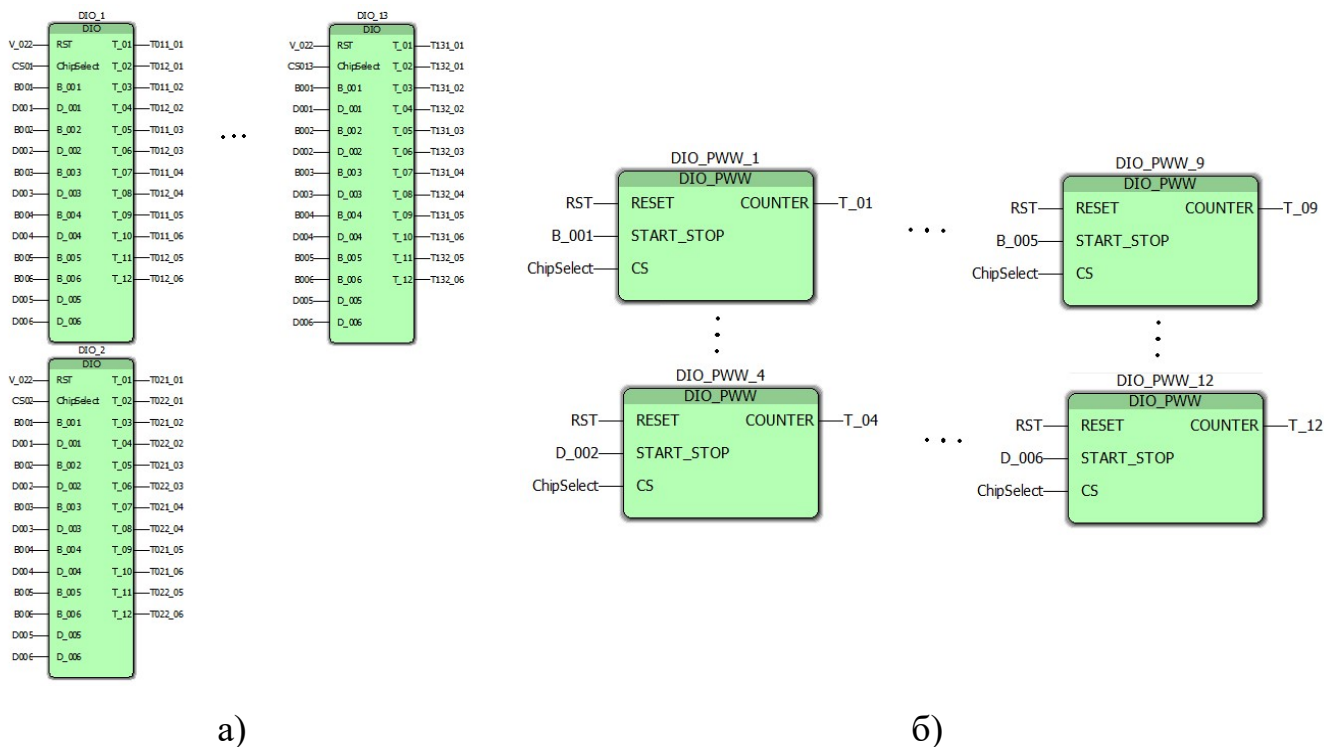


Рисунок 4.28 – Третій фрагмент модернізованої схеми блоку Main

Така модернізація дозволила застосувати утиліту OPC - Expert для передачі інформації від OPC - серверу до MsExcel [129] при дослідженні реологічної характеристики важкого палива (технічний паспорт наведено в додатку E1). На рис. 4.29, а зображено віконну форму інтерфейсу програми OPC - Expert, а на рис. 4.29, б – результат передачі інформації від OPC - серверу до MsExcel.

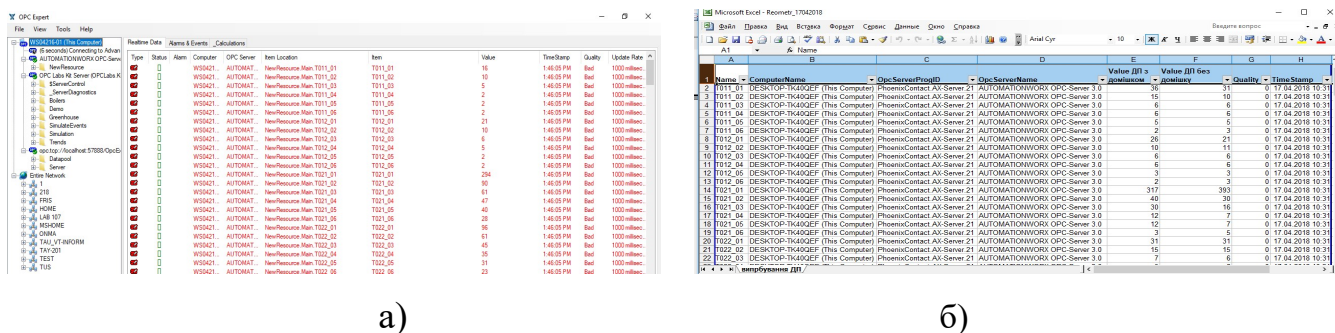


Рисунок 4.29 – Віконні форми: а – OPC - Expert; б – MsExcel

Надалі в MsExcel було проведено обробку отриманих інтервалів часу (рис. 4.30) [88].

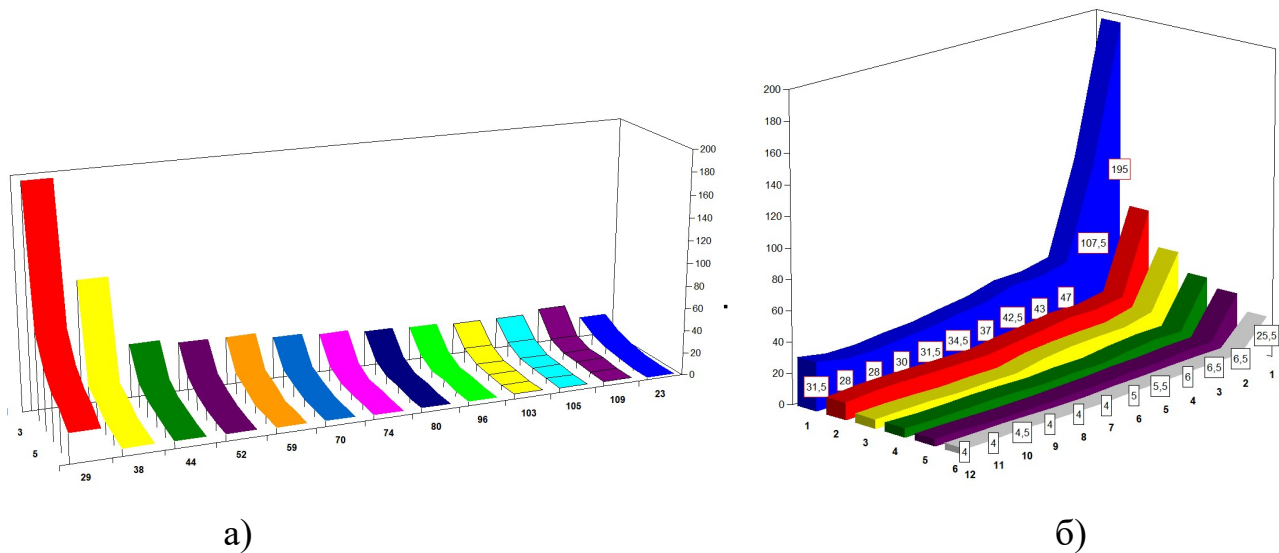


Рисунок 4.30 – Результати дослідження важкого палива: а – залежність інтервалу часу від швидкості для 12 температур; б – залежність інтервалу часу від температури для 6 швидкостей

Додатково було проведено калібрування датчика температури ТСМ-0987, який було задіяно при побудові комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик. В якості еталонів задіяні ртутний (верхній на рис. 4.31) та спиртовий (нижній на рис. 4.31) термометри.

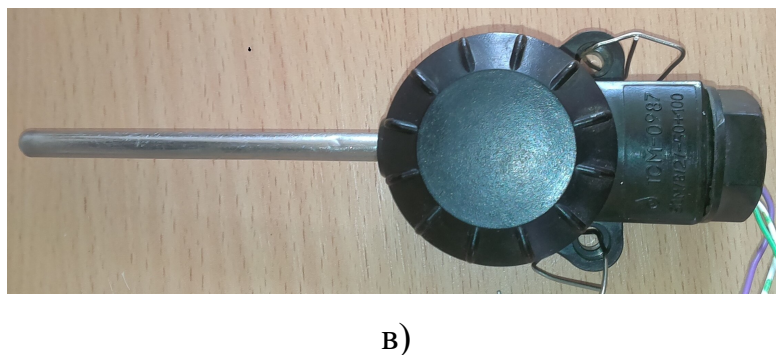


Рисунок 4.31 – Еталонні термометри: а – основний вид; б – з тилу; в – зовнішній вид датчика температури ТСМ-0987

Таблиця 4.4 – Співвідношення показників датчика температури з показниками термометра TCM-0987

int.	°C	int.	°C	int.	°C	int.	°C
79	21	88	44	101	85	111	116
80	22	91	52	103	96	113	125
82	23	93	59	105	103	115	130
84	29	95	70	107	105	117	135
86	38	100	80	109	109	120	145

Також було проведено дослідження часу пересування рухомої частини ЛПД з двома варіантами навантаження (18 та 26 грам), яке підтвердило результати проведеного моделювання у розділі 3 (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 – Результати виміру часу проходження рухомої частини ЛПД

змінна	навантаження 0,027 кг		навантаження 0,018 кг	
	час пересування, мс	середній час, мс	час пересування, мс	середній час, мс
T011_01	36	31	31	26
T011_02	15	12,5	10	10,5
T011_03	6	6	6	6
T011_04	6	6	6	6
T011_05	5	4	5	4
T011_06	2	2	3	3
T012_01	26		21	
T012_02	10		11	
T012_03	6		6	
T012_04	6		6	
T012_05	3		3	
T012_06	2		3	

В таблиці 4.5 Змінні від T011_01 до T011_06 – час пересування від НМТ до ВМТ, а змінні T012_01... T012_06 – від ВМТ до НМТ. Результати також підтвердили вплив сили тяжіння, яка діє на приєднану масу.

Наприкінці дослідження в підтвердження високих якісних показників розробленої комп'ютерної системи побудовано порівняльну таблицю, виходячи з умови адекватності процесів у вимірювальних зондах реальним процесам у

триботехнічних вузлах із зазорами $1 \div 25$ мкм, зокрема розпилювача форсунки.

Таблиця 4.6 – Порівняльна таблиця сучасних систем визначення реологічних характеристик

Параметр	ViscoSense	Реометр PVS	Потоковий віскозиметр ТТ-100	SPL440 від CAS., Inc.	Комп'ютерна система з ВЗ із приводом ПЕД	Комп'ютерна система з ВЗ із приводом ЛПД
зазор між співвісними циліндрами, 6 мкм				√	√	√
діапазон зміни лінійної швидкості рухомого циліндру, $0 \div 0,8$ м/с					√	√
робочий діапазон температур паливної суміші, °С	+70÷ +200	-40÷ +200	-40÷ +150	+70÷ +190	+20÷ +60	+20÷ +140
проведення лабораторних досліджень		√	√		√	√
можливість роботи в якості регулятора в'язкості	√			√	√	√
лінійний закон переміщення рухомого циліндру						√
робота в реальному часі	√			√	√	√

Проведене порівняння розробленої системи з відомими довело перевагу і перспективність використання запропонованого рішення. Це дозволило стверджувати, що поставлену в роботі мету досягнуто.

4.5 Висновки до розділу 4

1. В результаті апаратної та програмної реалізації розроблених теоретичних положень в розділах 2 та 3, досліджень та розроблених моделей комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик та вимірювального зонду у її складі створено макет комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик в лабораторних умовах.

2. При створенні вимірювального зонду застосовано реверсивний лінійний п'єзоелектричний двигун в якості рушія рухомого циліндру вимірювального зонду.

3. Розроблено програмно - апаратний комплекс, який дозволяє в режимі реального часу відслідковувати реологічні характеристики суднових технічних рідин.

4. При розробці апаратної частини визначено доцільність відмови від розробки системи регулювання в'язкості важкого палива, оскільки затрачений час на сертифікаційні вимоги до системи накладуть невиправдані фінансові витрати.

5. Основні засоби системи реалізовані з використанням розвиненої лінійки промислових контролерів виробництва компанії Phoenix Contact, оскільки учбовий заклад має наявне лабораторне обладнання, отримане за програмами EduNet та TATU (544010-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPHES).

6. Програмний комплекс повністю функціональний та забезпечує адекватне відображення даних, які передаються від пристроїв збору інформації до табличних редакторів або систем управління базами даних.

7. Проведений комплекс порівняльних досліджень змащувального мастила до заправки мастильної системи малообертового двигуна та після 2000 годин роботи, важкого палива, та порівняльні дослідження дизельного палива без домішок та з домішками на базі алюмосилікатів підтвердив вплив маси вимірювального зонду на час пересування рухомого циліндру.

ВИСНОВКИ

У дисертації, на основі виконаних автором досліджень, вирішено важливу науково-технічну задачу створення комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин з підвищеними показниками роботи.

У результаті виконаних автором досліджень було виявлено ряд закономірностей, аналіз яких дозволяє стверджувати, що сформульовані в роботі задачі можуть вважатися виконаними. При виконанні роботи були використані коректні і достовірні методи дослідження.

У роботі отримані наступні основні наукові та практичні результати.

1. Проведено аналіз поточного стану систем визначення коефіцієнтів в'язкості та реологічних характеристик суднових технічних рідин, який показав, що в останні десять років набули поширення ультразвукові системи на базі п'єзоелектричних трансформаторів з в'язко-пружним зв'язком, недоліком яких є невідповідність процесів у вимірювальному зонді реальним процесам у вузлах паливної апаратури, що дозволяє їх використовувати тільки на номінальному режимі після проведення додаткових випробувань, термін яких сягає двох-трьох тижнів. Проведена класифікація вимірювальних зондів з п'єзоелектричним приводом довела, що на теперішній час відсутні вимірювальні зонди з лінійним приводом рухомого циліндру, процеси в яких подібні процесам в реальних вузлах паливної апаратури. Виходячи із зазначених обставин, сформульовано мету та задачі дослідження, які спрямовані на створення теоретичних та практичних положень, що дозволили розробити комп'ютерні системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин.

2. Вперше отримана інформаційна модель комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин, на базі якої можна побудувати автоматизовані системи дослідження суднових технічних рідин, а також контролю їх підготовки перед подачею в паливну апаратуру. Проведена інтеграція розробленої моделі в загальну структуру функціонування судна, що дозволило отримати розгорнуту інформаційну модель системи визначення та контролю реологічних

характеристик суднових технічних рідин, яка дозволяє здійснити в подальшому ефективне керування якістю підготовки палива перед подачею до форсунок МОД.

3. Отримав подальший розвиток метод автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин, що дозволяє використовувати його в комп'ютерних системах з можливістю зміни параметрів роботи системи в режимах реального часу та онлайн, а також підвищити ефективність підготовки палива та зменшити кількість шкідливих викидів у довкілля.

4. Отримали подальший розвиток алгоритми автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин, що базуються на запропонованому методі автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин, що забезпечує виконання всіх передумов до апаратно-програмної реалізації комп'ютерної системи визначення та регулювання реологічних параметрів суднових технічних рідин.

5. Удосконалено математичну модель вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик на співвісних циліндрах, які розташовані вертикально, та з приводом на лінійному п'єзоелектричному двигуні, що дозволило позбавитися протікання рідини та визначити реологічні характеристики не тільки в потоці, а й в лабораторних умовах в діапазоні технологічних температур роботи паливної апаратури, що, в свою чергу, дає змогу проводити попередні випробування рідини.

6. Розроблено та запатентовано конструкцію вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин на базі лінійного п'єзоелектричного двигуна, проведено експериментальні дослідження.

7. В результаті апаратної та програмної реалізації розроблених теоретичних положень створено макет комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик в лабораторних умовах. При створенні вимірювального зонду застосовано реверсивний лінійний п'єзоелектричний двигун в якості рушія рухомого циліндру вимірювального зонду від відомого українського виробника.

Основні засоби системи реалізовані з використанням розвиненої лінійки промислових контролерів виробництва компанії Phoenix Contact, отриманих учбовим закладом за програмами EduNet та TATU (544010-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPHES). Програмний комплекс повністю функціональний та забезпечує адекватне відображення даних, які надходять від пристроїв збору інформації до табличних редакторів або систем управління базами даних. Проведений комплекс порівняльних досліджень змащувального мастила до заправки мастильної системи малообертового двигуна та після 2000 годин роботи, важкого палива, та порівняльні дослідження дизельного палива без домішок та з домішками на базі алюмосилікатів підтвердив вплив маси вимірювального зонду на час пересування рухомого циліндру при його вертикальному розташуванні, а саме при русі рухомого поршня з верхнього крайнього положення до нижнього, та протидії при русі в зворотному напрямку. Достовірність отриманих результатів підтверджена при електронному моделюванні в середовищі SimInTech control systems simulator (Безлімітна ліцензія. Організація: НУ «ОМА». Серійний номер: D63B30FDA70).

8. Здійснено впровадження результатів дисертаційного дослідження в навчальному процесі Національного університету «Одеська морська академія» кафедр автоматизації дизельних і газотурбінних установок і теорії автоматичного управління та обчислювальної техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизация судовых энергетических установок. / Под ред. Р.А. Нелепина. Л.: Судостроение. 1975. – 534 с.
2. Айзерман М.А. Выбор вариантов: основы теории [Текст] / М.А. Айзерман, Ф.Т. Алексеев, – М.: Наука, 1990. – 240 с.
3. Алахвердиев А.М., Кулиев Е.Н. Связанные неустановившиеся колебания пьезокерамических дисковых колец. – В кн: Газовая волновая динамика. М., МГУ, 1979. – С. 153-159.
4. Алтоиз Б. А., Ханмамедов С. А. Трибологические особенности граничных смазочных слоев судовых топлив и масел // Судовые энергетические установки: научн.-техн. сб. – 2003. – Вып. 9. – С. 80 - 86.
5. Алтоиз Б. А. Ротационный вискозиметр для исследования микронных прослоек / Б.А. Алтоиз, С.К. Асланов, А.Ф. Бутенко // [Электроний ресурс]. – Режим доступа: http://dspace.onu.edu.ua:8080/bitstream/handle/123456789/458/ФАС-42_53-65.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Дата звернення 01.05.2018)
6. Алтоиз Б. А. Трибологические особенности граничных смазочных слоев судовых топлив и масел / Б.А. Алтоиз, С.А. Ханмамедов // Судовые энергетические установки: научн.-техн. сб. – 2003. – Вып. 9. – С. 80 - 86.
7. Амелина М.А. Конспект лекций по курсу Компьютерный анализ и синтез электронных устройств [Текст] / М.А. Амелина, часть 1. – Смоленск, 2005. – 120 с.
8. Антонов А. В. Системный анализ: учебник для вузов / А. В. Антонов. – М.: Высшая школа, 2004. – 454 с.
9. Арлоу Д. UML 2 и Унифицированный процесс. Практический объектно-ориентированный анализ и проектирование, 2-ое издание [Текст] / Джим Арлоу, Айла Нейштадт, – Санкт-Петербург: Символ-Плюс, 2007. – 624 с.
10. Афонин С.М. Частотные характеристики пьезопреобразователей, совершающих продольные колебания по длине. – Труды МИЭТ, 1978. – Вып. 39. – С. 97-103.
11. Ахматов А.А. Молекулярная физика граничного трения. – М.: Физматгиз, 1963. – 472 с.

12. Барр Г. Вискозиметрия. – М.; Л.: Изд-во иностр. лит., 1938. – 274 с.
13. Белкин И.М., Виноградов Г.В., Леонов А.И. Ротационные приборы: Измерение вязкости и физико–механических характеристик материалов. – М.: Машиностроение, 1968. – 272 с.
14. Белоусов Е.В., Топливные системы современных судовых дизелей: учебное пособие / Е.В. Белоусов. – Херсон: ХГМА, 2014. – 268 с.
15. Бережний К.Ю., Метод побудови комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик технічних рідин // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2018. – Вып. 24. Одесса: НУ «ОМА». – С. 3-18.
16. Бурцев А.Г., Программное обеспечение систем управления. Лабораторный практикум. Часть 2 [Электронный ресурс]: методические указания / А.Г. Бурцев // Сборник «Методические указания» Выпуск 3. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 2,9 Мб) – Волжский: ВПИ (филиал) ВолГТУ, 2016. – 29 с.
17. Бусленко Н. П. Лекции по теории сложных систем / Н. П. Бусленко, В. В. Калашников, Н. Н. Коваленко. – М.: Сов. радио, 1973. – 440 с.
18. Виброреология / П.Ф.Овчинников – Киев: Наук. думка, 1983. – 272 с.
19. Вил ван дер Аалст, Кейс ван Хей. Управление потоками работ: модели, методы и системы / Пер. с англ. В.А. Башкин, И.А. Ломазова. – М.: Физматлит, 2007. – 316 с.
20. Вискозиметры. – М., 1966. – 66 с. – (Тр. ЦНИИПИ. Сер.2).
21. Вискозиметр ротационный цифровой (ВРЦ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://granat-e.ru/vrc.html>.
22. Вишневский В.С., През А.А. К вопросу о природе шумов пьезоэлектрического двигателя. В кн.: Надежность микроэлектронных схем и элементов. – Киев: Наукова думка, 1978. – с. 179 - 182.
23. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа [Текст]: учебник / В.Н. Волкова, А.А. Денисов, изд. 2. – Спб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – 510 с.
24. Высокоэффективные пьезокерамические материалы (Справочник). – Ростов н/Д: Книга, 1994. – 32 с.
25. Горб С.И., Никольский В.В., Шапо В.Ф., Хнюнин С.Г. Программирование

контроллеров в инструментальной среде: учебное пособие. – Харьков: Издатель ФЛП Панов А.Н., 2017. – 172 с.

26. Давлеталиев Д.А. Исследование пьезодвигателей и разработка устройств адаптивного управления на их основе: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05 / ЛПИ. – Л.: 1985. – 217 с.

27. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / С.И. Ефимов, Н.А. Ивашенко, В.И. Ивин и др.; Под общ. ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.

28. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М. Поверхностные силы. – М.: Наука, 1985. – 399 с.

29. Дерягин.Б.В. Трение и смазка. – М., ГТТИ, 1937 – 290 с.

30. Джагупов Р.Г., Ерофеев А.А. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления: справочник – Спб.: Политехника, 1994. — 608 с.

31. Джагупов Р.Г., Ерофеев А.А. Пьезокерамические элементы в приборостроении и автоматике. – Л.: Машиностроение, 1986. – 295 с.

32. Дидук В. А. Модели, методы и средства разработки архитектур реконфигурируемых гетерогенных компьютерных систем : дис. канд. техн. наук : 05.13.05 / Дидук В. А. – Черкассы, 2011. – 269 с.

33. Дидук В. А. Концептуальная модель машиностроительного комплекса с единой технологической и пожарно-охранной сетью сбора данных / В. А. Дидук, М. П. Мусиенко. // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ – 2011. – С. 67 - 76.

34. Заблоцкий Ю.В. Повышение эксплуатационной надежности топливной аппаратуры судовых малооборотных дизелей: Дис. ... канд. техн. наук: 05.08.05. – Одесса, 1995. – 163 с.

35. Зенкович О. Метод конечных элементов в технике: Пер. с англ. /Под ред. Б.Е. Победри. – М.: Мир, 1975. – 250 с.

36. Згуровський М. З. Основи системного аналізу [Текст] / М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова, – К.: Видавнича група ВНУ, 2007. – 544 с.
37. Ерофеев А.А. Пьезоэлектронные устройства автоматики. – Л.: Машиностроение, 1982. – 212 с.
38. Ерофеев А.А. Динамические свойства пьезоэлектрических трансформаторов и систем на их основе. – Автоматика и телемеханика, №2, 1979. – С. 163-172.
39. Ерофеев А.А., Ушаков А.А., Акопян В.С. и др. Разработка и исследование систем электропитания и устройств автоматики на базе пьезоэлектронных трансформаторов и пьезокерамических матриц. Научно-технический отчет по теме «Финиш – «РВО» (№801705). ЛПИ им. М.И. Калинина. – Л.: ЛПИ, 1982. – 430 с.
40. Ивашов Е.Н., Степанчиков С.В. Нанотехнологические процессы и оборудование электронной техники: Учебное пособие. – М.: Московский государственный институт электроники и математики (технический университет), 2009.– 264 с.
41. Измерительные преобразователи: Учебное пособие / Р.Г. Джагулов, Е.Б. Плавинский, В.В. Никольский, А.М. Веретенник – Одесса: Астропринт, 2002. – 216 с.
42. Карл И. Вигерс. Разработка требований к программному обеспечению – Рус. ред., 2004. – 576 с.
43. Катц Г.В. Магнитные и диэлектрические приборы. – М.: Энергия, 1965. – 416 с.
44. Климов В.В., Дидковская О.С., Савенкова Г.Е. и др. Разработка и исследование новых пьезокерамических материалов. – В кн.: Титанат бария. – М.: Наука, 1973, – С. 209-214.
45. Коваленко В.А. Пьезоэлектрический двигатель вращения – как элемент автоматических систем: Дис. ... кан.. техн. наук: 05.13.05. – Москва, 1998. – 173 с.
46. Кремлевский В.П., Степичев А.А. Новые автоматические вибрационные вискозиметры. – Л.: Машгиз, 1969. – 26 с.
47. Кулиев Ю.Н., Усов А.А., Шермергор Т.Д. К теории связанных колебаний

толстых пьезокерамических пластин. – В кн.: Физика микроэлектронных приборов. М.: МИЭТ, 1981. – С. 20-40.

48. Лавриненко В.В., Коваль В.С., Петренко С.Ф., Лукін В.В., Франченко Р.В. Патент на винахід № 76759 України, МПК(2006) H02N 2/00 П'єзоелектричний двигун. – № 20040110441; Заявл. 18.12.2003; Опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9.

49. Лавриненко В.В., Карташев И.А., Вишневский В.С. Пьезоэлектрические двигатели. – М.: Энергия, 1980. – 112 с.

50. Лавриненко В.В. Теория фрикционного контакта пьезоэлектрического двигателя // Диэлектрики и полупроводники: науч.-техн. сб. – Киев: КПИ, 1985. – Вып. 28. – С.26-33.

51. Ладанюк А. П. Основи системного аналізу [Текст] / А. П. Ладанюк Навчальний посібник. – Вінниця, Нова книга, 2004. – 176 с.

52. Ландау Л.Д. Лившиц Е.Н. Механика сплошных сред. – М. Наука, 1988. – 215 с.

53. Ланчуковский В. И., Козьминых А. В. Автоматизированные системы управления судовых дизельных и газотурбинных установок. Учебник – М.: Транспорт, 1983. – 320 с.

54. Левитин А. В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ / А. В. Левитин; пер. с англ. под ред. И. В. Красикова. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 576 с.

55. Малов В.В. Пьезорезонансные датчики. – М.: Энергия 1978. – 248 с.

56. Матвеевский Р.М., Буяновский И.А., Лазовская О.В. Противозадирная стойкость смазочных сред при трении в режиме граничной смазки. – М.; Наука, 1978 – 191 с.

57. Мацяшек Л.А. Анализ и проектирование информационных систем с помощью UML 2.0, 3-е изд. : Пер. с англ. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2008. – 816 с.

58. Миротин Л.Б. Системный анализ в логистике [Текст]: учебник / Л.Б. Миротин, Ы.Э. Тышбаев. – М.: Экзамен, 2002. – 480 с.

59. Митягин В. Г. Проблемы эксплуатации судовых дизелей на различных видах топлива / В. Г. Митягин, В. Н. Окунев, В. В. Мартьянов. // Вестник

государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2011. – №3. – С. 49–53.

60. Моделирование пьезоэлектрических устройств в COMSOL Multiphysics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.comsol.ru/video/modeling-piezoelectric-devices-in-comsol-multiphysics> (Дата звернення 12.08.2018).

61. Мэзон У. Физическая акустика. – М.: Мир, 1966. – Т.1, Ч.А. – 592 с.

62. Мэзон У. Пьезоэлектрические кристаллы и их применение в ультразвуке. / Пер. с англ. под ред. А.В. Шубникова и С.Н. Ржевского. – М.: И.Л., 1952. – 448 с.

63. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа [Текст] / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 488 с.

64. Никольский А.А. Точные двухканальные следящие электроприводы с пьезокомпенсаторами. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 160 с.

65. Никольский В.В. Основи створення пристроїв п'єзоактивної механіки для систем керування двигунами внутрішнього згорання: Дис. ... док.. техн. наук: 05.13.05. – Одесса, 2005. – 230 с.

66. Никольский В.В. Анализ применения пьезоэлектрических вискозиметров // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: наук. – техн. журнал – 2003. – №2 – Хмельницький – С. 64-66.

67. Никольский В.В. Ротационные вискозиметры // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: збірник матеріалів конференції. – Хмельницький: ПП Ковальський, 2003. – Вип. №10. – С. 10 - 11.

68. Никольский В.В., Ханмамедов С.А., Ядрова М.В. Пьезоэлектрический привод вискозиметра // Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – Одесса: ОНМА, 2003. – Вып. 8. – С. 64 - 71.

69. Никольский В.В. Сандлер А.К. Моделирование свойств тиксотропных жидкостей в среде ELECTRONICS WORKBENCH // Вестник СевНТУ Автоматизация процессов и управление: науч. - техн. сб. – Севастополь: СевНТУ, 2004. – Вып. 57. – С. 159 - 162.

70. Нікольський В.В., Бережний К. Ю., Нікольський М.В. Патент на корисну

модель, Віскозиметр. – № 119814; Заява U2017 03735, від 18.04.17. Опубл. 10.10.2017 Бюл. №19.

71. Нікольський В.В., Бережний К. Ю., Нікольський М.В. Комп'ютерна система визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 15-20 травня 2017 року. – Івано-Франківськ: п. Голіней О.М.: 2017 – С. 261 – 264.

72. Нікольський М.В., Бережний К.Ю. Програмне забезпечення для визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин // Автоматизація судових технічних средств: науч. -техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ «ОМА». – С. 70 – 76.

73. Никольский В. В., Багдасарян Л. Б. Определение реологических характеристик топлив и масел, используемых в СЭУ // Судовые энергетические установки: научн.- техн. сб. – Одесса: ОНМА, 2005. – Вып. 14. – С. 31 - 35.

74. Никольский В. В. Оценка реологических свойств тиксотропных жидкостей реометрами с пьезоприводом // Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – Одесса: ОНМА, 2005. – Вып. 10. – С. 61 - 64.

75. Никольский В.В., Ханмамедов С.А., Ядрова М.В. Пьезоэлектрический привод вискозиметра // Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. – Одесса: ОНМА, 2003. – Вып. 8. – С. 64 - 71.

76. Нікольський В.В. Деклараційний патент України, МКІ 7 G01N11/10 Віскозиметр. – № 2003054350; Заявл. 15.05.2003; Опубл. 15.01.2004, Бюл. № 1.

77. Нікольський В.В. Деклараційний патент України, МКІ 7 G01N11/10 Віскозиметр. – № 20031211819; Заявл. 18.12.2003; Опубл. 15.11.2004, Бюл. № 11.

78. Никольский В.В. Ротационные вискозиметры // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: збірник матеріалів конференції. – Хмельницький: ПП Ковальський, 2003. – Вып. №10. – С. 10 - 11.

79. Нікольський В.В. Деклараційний патент на корисну модель України, МКІ 7 G01N11/10 Віскозиметр. – №u200500629; Заявл. 24.01.2005; Опубл. 15.07.2005, Бюл. №7.

80. Никольский М.В., Бережной К.Ю. Пьезоэлектрический вискозиметр // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 275. – Т. 287. – Миколаїв, 2016. – С. 78–81.

81. Никольский В.В., Оженко Е.М., Лысенко В.Е., Никольский М.В., Бережной К.Ю.. Использование пьезопривода в судовой энергетике / Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 295. – Т. 307. – Миколаїв, 2017. – С. 82–91.

82. Никольский В.В., Бережной К.Ю., Никольский М.В., Лысенко В.Е., Блошенко О.О., Алгоритм работы и программное обеспечение реометра с пьезоэлектрическим преобразователем // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: «Комп’ютерні технології». – Вип. 296. – Т. 308. – Миколаїв, 2017. – С. 131–138.

83. Нікольський В.В., Бережний К.Ю., Модель вимірювального зонду комп’ютерної системи визначення реологічних характеристик судових технічних рідин // Вісник Черкаського державного технологічного університету – Серія: технічні науки – Черкаси, Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018. – №3. – С. 56 – 66.

84. Никольский В.В., Бережной К.Ю., Никольский М.В. Пьезоэлектрический реометр // XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. – С. 253.

85. Никольский В.В., Бережной К.Ю. Компьютерная система определения реологических характеристик судовых технических жидкостей // Тези VI Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади та системи – 2017»: Присвячена пам’яті професора В.М.Шарапова / Голов.ред. Ю.Ю. Бондаренко. – Черкаси: Видавець Третьяков О., 2017 – С. 37-38.

86. Nikolskyi V. A system for determining the rheological characteristics of marine technical liquids / Vitalii Nikolskyi, Kyrylo Berezhnyi, Mark Nikolskyi, Oleg Bloshenko // Інформаційні технології та комп’ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 14-18 травня 2018 року. – Івано-Франківськ: вид. Супрун В.П., 2018 – С. 18 – 23.

87. Нікольський В.В., Бережний К.Ю., Модель вимірювального зонду

реометру Тези VII Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади та системи – 2018» / Голов.ред. Ю.Ю. Бондаренко. – Черкаси: Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018 – С. 18-21.

88. Віскозиметр з лінійним п'єзоелектричним приводом вимірювального зонду: звіт з НДР: ДР № 0117 U 000318 / кер. роботи В.В. Нікольський, виконавець К.Ю. Бережний. К.: УКРНТЕІ, 2018 – 63 с.

89. Бережний К.Ю., Нікольський В.В. Інформаційна модель системи визначення реологічних характеристик судових технічних рідин // Матеріали науково-технічної конференції «Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт», 22.03.2018 – 23.03.2018. – Одеса: НУ «ОМА», 2018. – С. 246-248.

90. Nikolskyi V. Fuzzy logic positioning system of ship's diesel generators actuating mechanisms // Vitalii Nikolskyi, Yevgen Ozhenko, Kyriko Berezhnyi, Viktor Lisenko // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 14-18 травня 2018 року. – Івано-Франківськ: 2018 – С. 211 – 215.

91. НКТБ «Пьезоприбор» ЮФУ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://piezopribor.com/catalog?sid=63:Д°Ñ°ДµД·Д¾Д¼Д°Ñ°ДµÑ°Д,Д°Д»Ñ°> (Дата обращения 30.04.2018).

92. Носков С.К., Михайлов Н.В. Влияние вибрирования на структурно механические свойства асфальтобетона как тиксотропной коллоидной системы. – Коллоид. журн., 1956, 18, №4. – С. 426-432.

93. Овсянников М.К., Петухов В.А. Судовые дизельные установки: Справочник. – Л.: Судостроение, 1986. – 424 с.

94. Окадзаки К. Технология керамических диэлектриков. – М.: Энергия, 1976. – 336 с.

95. Оптические бесконтактные выключатели типа R [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sensor-com.ru/files/downloads/optik.pdf> (Дата обращения 09.03.2017).

96. Пат. 119814 Україна МПК G01N 11/10, Віскозиметр / Нікольський М.В. Нікольський В.В., Бережний К.Ю. – № u 2017 03735, Заявл. 18.04.2017; Опубл.

10.10.2017. Бюл. № 19. – 6 с.

97. Плавинский Е.Б., Никольский В.В., Цубенко А.С. Пьезоэлектрический вискозиметр // Судовые энергетические установки: науч. - техн. сб. – Одесса: ОНМА, 2003. – Вып. 8. – С. 130 - 132.

98. Плужников В.М., Семенов В.С. Пьезокерамические твердые схемы. – М.: Энергия, 1971. – 168 с.

99. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ [Текст] / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: ВШ, 1989. – 363 с.

100. Петренко С.Ф. Пьезоэлектрический двигатель в приборостроении. – К.: «Корнійчук», 2002. – 96 с.

101. Презентация. Технология SimInTech — моделирование, разработка и создание САУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://simintech.ru/?page_id=2443/ (Дата звернення 01.08.2018).

102. Подготовка топлива в судовых условиях [Электронный ресурс] // Морское агентство Транс-Сервис. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: https://www.trans-service.org/ru.php?section=info&page=s_s_u&subpage=sud_vspom_meh_01-01.

103. Пьезокерамические материалы и элементы ОАО НИИ «ЭЛПА» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.elpapiero.ru/Catalogs/Catalog_of_piezoceramic.pdf (Дата обращения 01.05.2018).

104. Пьезодвигатели Physik Instrumente [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eurotek-general.ru/support/technical-information-about-the-products/Пьезоэлектрические%20двигатели/>

105. Революция в измерении вязкости от VAF Instruments // Судоходство – Одесса, 2000. – №1-2. – С. 66 – 67.

106. Регулирование дизелей при работе на тяжелых сортах топлива [Электронный ресурс] // Энциклопедия промышленности. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.krona-sm.com/oborudovanie/nasosy/regulirovanie-dizelej-pri-rabote-na-tyazhelyx.html>.

107. Романов В.Н. Системный анализ для инженеров [Текст] / В.Н. Романов. М-во

образования РФ, северо-западный государственный заочный технический университет. – изд. 2-е, дополненное. – СПб: СЗГЗТУ. – 2006. – 186 с.

108. Рубашкин И.Б. Адаптивные системы взаимосвязанного управления электроприводами. – М.: Энергия, 1975. – 160 с.

109. Спицнадель В.Н. Основы системного анализа [Текст] / В.Н. Спицнадель. – М.: СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2000. – 326 с.

110. Стекланные капиллярные вискозиметры ВНЖ, ВПЖ-1, ВПЖ-2, ВПЖ-3
http://granat-e.ru/viscosimeter_glass_cap.html

111. Степанов Л.П. Измерение вязкости жидкостей. – М.: Наука, 1966. – 43 с.

112. Судовые двигатели внутреннего сгорания: Учебник / Ю. Я. Фомин, А. И. Горбань, В. В. Добровольский, А. И. Лукин и др. – Л.: Судостроение, 1989. – 344 с.

113. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ [Текст]: учебное пособие / Ю.П. Сурмин. – К.: МАУП, 2003. – 368 с.

114. Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів [Текст]: навчальне видання, книга 1 / А.А. Тимченко. – К. Либідь, 2000. – 270 с.

115. Урьев Н.Б., Михайлов Н.В. Реологические свойства цементно-водных суспензий в условиях вибрации. – Докл. АН СССР, 1963, 153, №4. – С. 828-831.

116. Фомин Ю. Я. и др. Топливная аппаратура дизелей: Справочник / Ю. Я. Фомин, Г. В. Никонов, В. Г. Ивановский. – М.: Машиностроение, 1982. – 168 с., ил.

117. Хавин В.Л., Лавриненко И.С. Моделирование пьезоэлектрического привода для компенсации погрешностей прецизионной механической обработки биополимеров / Високі технології в машинобудуванні. – Харьков, 2013. вип. 1 (23). – С. 220-224.

118. Ханмамедов С.А. Совершенствование функциональных свойств систем смазывания судовых энергетических установок: Дис. ...докт. техн. наук: 05.08.05. – Николаев, 1990. – 382 с.

119. Хорошевский В. Г. Инженерный анализ функционирования вычислительных машин и систем / В. Г. Хорошевский. – М.: Радио и связь, 1987. – 256 с.

120. Шарапов О.Л. Системний аналіз [Текст] / О.Л. Шарапов, Л.Л. Терехов, С.П.Сіднев, – К.: Вища школа, 1993. – 303 с.
121. Щербин А.М. Исполнительные элементы прецизионных пьезоэлектрических приводов с увеличенным диапазоном перемещения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05 / МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Москва, 1997. – 19 с.
122. Электромагнитные и электромашинные устройства автоматики / В.С. Подлипенский, В.Н. Петренко. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 592 с.
123. MODBUS OPC Server – Ивано-Франковск: МИКРОЛ, 2004. – 8 с.
124. Trainings in Automation Technology for Ukraine: TATU Study Book / Collective of authors including Gorb S., Nikolskyi V., Shapo V., Khniunin S. Editors Christian Madritsch and Wolfgang Werth. June 9, 2017. – 211 p.
125. Viscosity Measurement & Control Systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.mackaycomm.com/wp-content/uploads/2016/12/VAF_Instru_Viscosense2_Prod_Brochure_PB753_0214_MaViscosity Measurement & Control Systems скау.pdf](https://www.mackaycomm.com/wp-content/uploads/2016/12/VAF_Instru_Viscosense2_Prod_Brochure_PB753_0214_MaViscosity%20Measurement%20&%20Control%20Systems%20скау.pdf) (Дата звернення 10.06.2018).
126. ViscoSense 2 Ex d датчик вязкости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uprawa.ru/catalog/relay/others/?idnews=20506> (Дата звернення 17.05.2018).
127. ViscoSense 2 Ex d датчик вязкости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vaf.nl/media/1524/viscosense2-viscosity-sensor-interface-box-sn-plus87600-english-tib-761-gb-0715.pdf?type=Manual> (Дата звернення 17.05.2018).
128. ViscoPro 2100 Delivers Real-time Viscosity Analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.cambridgeviscosity.com/ (Дата звернення 01.02.2017).
129. Download OPC Expert for free [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://opcexpert.com/download-opc-expert/> (Дата звернення 01.02.2017).
130. First Steps Towards Piezoaction [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.americanpiezo.com/images/stories/content_images/pdf/apci_piezo_e_intro.pdf (Дата звернення 10.06.2018).
131. Piezoelectric properties [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.sparklceramics.com/piezoelectricproperties.html (Дата звернення 06.08.2018).

132. Touch panel – WP 04T – 2913632 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
[https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?uri=pxc-oc-
itemdetail;pid=2913632&library=usen&tab=1](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?uri=pxc-oc-itemdetail;pid=2913632&library=usen&tab=1) (Дата звращения 06.08.2018).

**ДОДАТОК А1 -
АКТИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО
ДОСЛІДЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор по науковій роботі Національного
університету "Одеська морська академія"
д.т.н., професор

В.А. Голіков

« 9 » Трава 2018 р.

А К Т

про використанні результатів дисертаційної роботи
Бережного Кирила Юрійовича
на тему "Моделі та засоби побудови комп'ютерної системи визначення
реологічних характеристик суднових технічних рідин"
в наукових дослідженнях, які виконуються в університеті

Ми, що нижче підписались, начальник науково-дослідної частини університету Савчук В.Д., завідувач кафедри теорії автоматичного управління та обчислювальної техніки професор, д.т.н. Горб С.І. склали цей акт у тому, що результати дисертаційної роботи Бережного К.Ю. увійшли в звіт по науково-дослідній роботі "Віскозметр з лінійним п'єзоелектричним приводом вимірювального зонду" НУ "ОМА", Одеса – 2017 р. (№ ДР 0117 У 000318, науковий керівник д.т.н., професор Нікольський В.В., відповідальний виконавець Бережний К.Ю.).

Начальник науково-дослідної
частини НУ "ОМА",
к.т.н., с.н.с., професор



В.Д. Савчук

Завідувач кафедри
теорії автоматичного управління та
обчислювальної техніки,
д.т.н., професор



С.І. Горб

Науковий керівник,
професор кафедри
теорії автоматичного управління та
обчислювальної техніки,
д.т.н., професор



В.В. Нікольський

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор по науковій роботі Національного
університету "Одеська морська академія"
д.т.н., професор

В.А. Голиков

« » 2018 р.

А К Т

про використанні результатів дисертаційної роботи
Бережного Кирилла Юрійовича
на тему "Моделі та засоби побудови комп'ютерної системи визначення
реологічних характеристик суднових технічних рідин"
в наукових дослідженнях, які виконуються в університеті

Ми, що нижче підписались, начальник науково-дослідної частини університету Савчук В.Д., завідувач кафедри теорії автоматичного управління та обчислювальної техніки професор, д.т.н. Горб С.І. склали цей акт у тому, що результати дисертаційної роботи Бережного К.Ю. ввійшли складовою частиною в звіт по науково-дослідній роботі «Автоматизація технологічних та адміністративних процесів на транспорті» НУ "ОМА", Одеса – 2017-2018 рр. (№ ДР 0115 U 003577, науковий керівник д.т.н., професор Горб С.І., розділ 3 - Розробка алгоритмів, програмування моделей технологічно-організаційних процесів автоматизації, та розділ 4 - Аналіз адекватності розроблених моделей і використання їх для розробки інформаційних систем і пристроїв).

Начальник науково-дослідної
частини НУ "ОМА",
к.т.н., с.н.с., професор



В.Д. Савчук

Завідувач кафедри
теорії автоматичного управління та
обчислювальної техніки,
д.т.н., професор



С.І. Горб

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Національного
університету «Одеська морська академія»
д.ю.н., професор

О.М. Шемякін

« 08 »  2018 р.**А К Т**

про використання результатів дисертаційної роботи
Бережного Кирилла Юрійовича на тему
"Моделі та засоби побудови комп'ютерної системи визначення реологічних
характеристик суднових технічних рідин"
в навчальному процесі університету

Ми, що нижче підписались, начальник навчального відділу університету Пархоменко М.М. та завідувач кафедри теорії автоматичного управління та обчислювальної техніки професор, д.т.н. Горб С.І. склали цей акт у тому, що результати дисертаційної роботи Бережного К.Ю. впровадженні у навчальному процесі кафедри теорії автоматичного управління та обчислювальної техніки в курсах лекційних занять по дисциплінах "Електроніка та мікропроцесорна техніка" (3-й курс факультету автоматики), "Віддалене управління технологічними процесами" (5-й курс факультету автоматики), "Програмування та експлуатація контролерів в системах управління" (3-й курс судномеханічного факультету).

Начальник навчального відділу
Національного університету
"Одеська морська академія"



М.М. Пархоменко

Завідувач кафедри
теорії автоматичного управління та
обчислювальної техніки,
д.т.н., професор



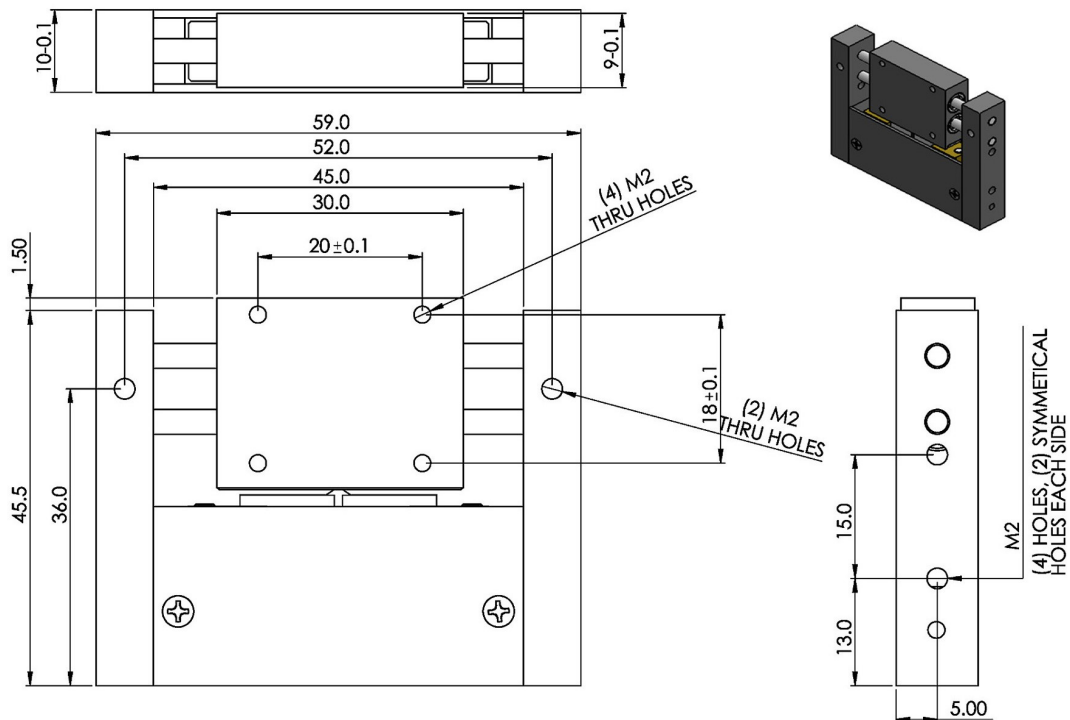
С.І. Горб

ДОДАТОК А2

TECHNICAL PASSPORT

Linear Piezoelectric Motor LPM-5 # Test

Parameters		Measured value	Specifications
Max. speed	Forward (Left)	0.2 m/sec	≥ 0.2 m/sec
	Backward (Right)	0.2 m/sec	
Max. force	Forward (Left)	4.1 N	≥ 3 N
	Backward (Right)	3.9	
Self-braking force		> 5 N	≥ 4 N
Resolution (min step)		$0.03 \mu\text{m}$	$\leq 0.05 \mu\text{m}$
Excitation Frequency	Forward (Left)	149.3 kHz	140÷160 kHz
	Backward (Right)	149.6 kHz	
Supply voltage (transformer 16:80)			12 V($U_A \sim 60\text{V}$)
Operating current	Forward (Left)	390 mA	≤ 400 mA
	Backward (Right)	360 mA	
Motor weight			35 g
Size			59x47x10mm



TESTED BY KIEV OFFICE DTI

_____ ()

ДОДАТОК АЗ
ТАБЛИЦЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ
ВАЖКОГО ПАЛИВА

Source Item*	Value, ms	Zadanie (Int)	Source Item*	Value, ms	Zadanie (Int)	Source Item*	Value, ms	Zadanie (Int)	Source Item*	Value, ms	Zadanie (Int)
T011_01	52	82	T081_01	40	98	T041_01	174	88	T111_01	45	105
T011_02	25		T081_02	16		T041_02	61		T111_02	15	
T011_03	16		T081_03	6		T041_03	41		T111_03	6	
T011_04	11		T081_04	6		T041_04	31		T111_04	6	
T011_05	7		T081_05	5		T041_05	25		T111_05	6	
T011_06	2		T081_06	5		T041_06	11		T111_06	5	
T012_01	20	84	T082_01	26	100	T042_01	41	79	T112_01	26	107
T012_02	10		T082_02	11		T042_02	20		T112_02	11	
T012_03	6		T082_03	7		T042_03	15		T112_03	6	
T012_04	2		T082_04	6		T042_04	11		T112_04	6	
T012_05	7		T082_05	3		T042_05	21		T112_05	3	
T012_06	2		T082_06	3		T042_06	7		T112_06	2	
T021_01	655	86	T091_01	43	102	T051_01	127	80	T121_01	43	109
T021_02	191		T091_02	11		T051_02	46		T121_02	16	
T021_03	115		T091_03	10		T051_03	26		T121_03	6	
T021_04	76		T091_04	6		T051_04	21		T121_04	6	
T021_05	56		T091_05	6		T051_05	16		T121_05	6	
T021_06	20		T091_06	5		T051_06	9		T121_06	2	
T022_01	96	86	T092_01	26	102	T052_01	31	80	T122_01	26	109
T022_02	51		T092_02	10		T052_02	16		T122_02	11	
T022_03	36		T092_03	7		T052_03	11		T122_03	6	
T022_04	27		T092_04	5		T052_04	10		T122_04	6	
T022_05	45		T092_05	3		T052_05	13		T122_05	2	
T022_06	16		T092_06	2		T052_06	6		T122_06	2	
T031_01	176	86	T101_01	51	102	T061_01	77	80	T131_01	44	109
T031_02	85		T101_02	15		T061_02	30		T131_02	16	
T031_03	60		T101_03	6		T061_03	16		T131_03	11	
T031_04	46		T101_04	6		T061_04	11		T131_04	6	
T031_05	35		T101_05	6		T061_05	10		T131_05	6	
T031_06	12		T101_06	5		T061_06	6		T131_06	2	
T032_01	51	86	T102_01	26	102	T062_01	31	80	T132_01	26	109
T032_02	30		T102_02	11		T062_02	16		T132_02	10	
T032_03	21		T102_03	7		T062_03	11		T132_03	6	
T032_04	15		T102_04	5		T062_04	7		T132_04	6	
T032_05	26		T102_05	3		T062_05	7		T132_05	3	
T032_06	11		T102_06	2		T062_06	5		T132_06	3	

ΔΟΔΑΤΟΚ Α5

VALUB REPORT



Sampling Date: 22-Nov-16

Ship: 9325831

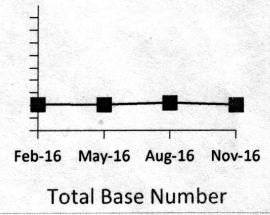
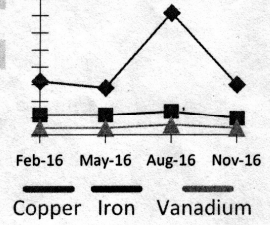
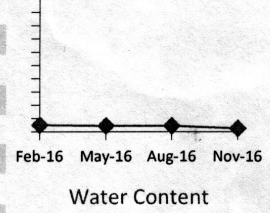
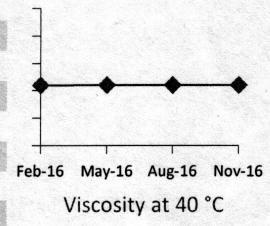
MINERVA PACIFICA

Receipt Date: 29-Nov-16 Port Landed: Lavera	Prime Mitsubishi Mover: 6UEC60LA	Auxillary YANMAR Generators: 6N21	Cylinders: 6	Equipment: Main Engine Sampling Point: Bef cooler
--	-------------------------------------	--------------------------------------	--------------	--

AnalysisResults

Parameter	Test Method	Unit	Current	1st Prev.	2nd Prev.	3rd Prev.
			22-Nov-16	24-Aug-16	24-May-16	26-Feb-16
Component life			47506	46497	45150	43814
Oil Hours (renewal)			100	N/A	N/A	N/A
Viscosity at 40 °C	ASTM D 7042	cst	109.8	109.9	109.8	109.4
Viscosity at 100 °C	ASTM D 7042	cst	12	12.2	12	12
Water Content	ASTM D 6304	% m/m	0.05	0.09	0.09	0.1
Total Base Number	ASTM D 2896	mgKOH/g	10.1	10.9	10.2	10.3
Flash Point	ASTM D 92	°C	> 200	> 200	200	> 200
Pentane Insoluble	ASTM D 4055 mod	% w/w	0.18	0.25	0.2	0.17
Iron	ASTM D 5185-Fe	mg/kg	5	7	6	6
Sodium	ASTM D 5185-Na	mg/kg	3	7	< 1	2
Vanadium	ASTM D 5185-V	mg/kg	2	3	2	2
Nickel	ASTM D 5185-Ni	mg/kg	< 1	2	< 1	< 1
Copper	ASTM D 5185-Cu	mg/kg	15	36	14	16
Aluminum	ASTM D 5185-Al	mg/kg	< 1	1	< 1	< 1
Silicon	ASTM D 5185-Si	mg/kg	7	< 1	3	2
Magnesium	ASTM D 5185-Mg	mg/kg	13	14	15	14
Lead	ASTM D 5185-Pb	mg/kg	1	2	< 1	1
Chromium	ASTM D 5185-Cr	mg/kg	< 1	< 1	< 1	< 1
Tin	ASTM D 5185-Sn	mg/kg	< 1	2	< 1	1
Zinc	ASTM D 5185-Zn	mg/kg	450	451	437	437
Phosphorous	ASTM D 5185-P	mg/kg	409	266	353	377
Calcium	ASTM D 5185-Ca	mg/kg	3875	3855	4031	3849

Current Oil Type LUKOIL - NAVIGO 6 SO
Current Oil Hrs 100
Component Hrs Since Last Overhaul 100
Current Equipment Hrs 47506



Comments
Oil suitable for further use.



Naias Laboratories S.A. - 44, YMHTTOU Str., PIRAEUS, GREECE - Tel.: +30 210 4100300



ДОДАТОК А6



Fuel Analysis Report
MINERVA MARINE INC.

Report date
09-Feb-2017

MINERVA PACIFICA (9325831)
Houston, 03-Feb-2017



Specification

Based on this sample the specification is met

Sample Number	HOU1703744
Bunker Port	Houston
Bunker Date	03-Feb-2017
Supplier	BOMIN
Loaded From	EX-PIPE
Quantity per C.Eng.	500 MT
Product Type	HFO
Fuel Usage	UniFuel
Sampling Point	Ship Manifold
Sampling Date	03-Feb-2017
Sampling Method	Continuous Drip
Seal Data	8644551 (VPS, Intact)
Related Seals	8644552, 8644553
Marpol Seal	GW150002
Source Of Data	B.D.N.
Density @ 15°C	990.8 kg/m³
Viscosity @ 50°C	361.0 mm²/s
Sulfur	3.00 % m/m
Volume @ 60°F	3177.390 bbl
Quantity	499.890 MT
Sent From	Houston-Downtown
Date Sent	07-Feb-2017
Arrived at Lab	08-Feb-2017

499.671 MT
calculated quantity

ПРОДОВЖЕННЯ ДОДАТКУ А6

Test Results

	Unit	Test Results	RMG380	Test Method
Density @ 15°C	kg/m ³	990.6	991.0	ISO 12185
Viscosity @ 50°C	mm ² /s	357.1	380.0	ASTM D7042
Water	% V/V	0.15	0.50	ASTM D6304-C
Micro Carbon Residue	% m/m	12.29	18.00	ISO 10370
Total Sediment Potential	% m/m	0.02	0.10	ISO 10307-2
Ash	% m/m	0.06	0.10	LP 1001
Vanadium	mg/kg	128	350	IP 501
Sodium	mg/kg	18	100	IP 501
Pour Point	°C	< 24	30	LP 1304
Flash Point	°C	> 70.0	60.0	ISO 2719-B
CCAI (Ignition Quality) ¹	-	852	870	ISO 8217
Aluminium + Silicon	mg/kg	50	60	
Acid Number	mg KOH/g	0.2	2.5	ASTM D664
Sulfur	% m/m	2.79		ISO 8754
Aluminium	mg/kg	25		IP 501
Silicon	mg/kg	25		IP 501
Iron	mg/kg	38		IP 501
Nickel	mg/kg	34		IP 501
Calcium	mg/kg	12		IP 501
Magnesium	mg/kg	2		LP 1101
Zinc	mg/kg	4		IP 501
Phosphorus	mg/kg	7		IP 501
Potassium	mg/kg	2		LP 1101
Net Specific Energy ¹	MJ/kg	40.23		ISO 8217
GC/MS Screen Headspace	-	PASS		LP 3404-Headspace Screen

¹ Calculated value

Specification Comparison

Results compared with ISO 8217:2010 specification RMG380, table 2. Based on this sample and the tested parameters the specification is met.

Quantity

Calculated Quantity 499.671 MT.

Quantity (Weight) is based on BDN Volume, tested density and a weight factor of 1.1 kg/m³ (ASTM D1250-80 Table 56).

Best Regards,
On behalf of Veritas Petroleum Services BV
Leonardo Alphonso
Technical Adviser

For assistance or further information on this report please contact your nearest VPS office or contact us directly at Tel : +31 (0) 180 221100, Email : Tech.Rot@v-p-s.com

Reference to part(s) of this report which may lead to misinterpretation is prohibited.

ДОДАТОК А7



ПРОДОВЖЕННЯ ДОДАТКУ А7



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **119814** (13) **U**
(51) МПК
G01N 11/10 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2017 03735</p> <p>(22) Дата подання заявки: 18.04.2017</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.10.2017</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.10.2017, Бюл.№ 19</p>	<p>(72) Винахідник(и): Нікольський Віталій Валентинович (UA), Бережний Кирило Юрієвич (UA), Нікольський Марк Віталійович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ", вул. Дідріхсона, 8, м. Одеса, 65029 (UA), Нікольський Віталій Валентинович, вул. Генуезька, 5, кв. 9, м. Одеса, 65009 (UA), Бережний Кирило Юрієвич, вул. Єврейська, 29/2, м. Одеса, 65045 (UA), Нікольський Марк Віталійович, вул. Гайдара, 60, кв. 11, м. Одеса, 65078 (UA)</p>
--	--

(54) ВІСКОЗИМЕТР**(57) Реферат:**

Віскозиметр містить систему керування, Г-подібну основу, реверсивний лінійний п'єзоелектричний двигун, оптичні датчики лінійного переміщення і вимірювальний зонд, що включає циліндричну камеру зі штуцером в торці та поршень. Містить систему керування на основі перетворювача напруги, сигнал з якого подається на реверсивний лінійний п'єзоелектричний двигун, встановлений на Г-подібній основі і який за допомогою прямої приєднаний до поршня вимірювального зонда, встановленого на іншому боці Г-подібної основи, і забезпечує зворотно-поступальний рух, час якого вимірюється за допомогою оптичних датчиків переміщення та пропорційний в'язкості технічної рідини, яка надходить у вимірювальну камеру через штуцер.

UA 119814 U

ДОДАТОК А8 -

**СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ
РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ**

Наукові праці в спеціалізованих виданнях з переліком наукометричних баз, де вони проіндексовані:

1. Никольский М.В., Бережной К.Ю. Пьезоэлектрический вискозиметр // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 275. – Т. 287. – Миколаїв, 2016. – С. 78–81; **внесок автора:** розроблено класифікацію вісозиметрів, які використовують п’єзоелектричний привод; **база(и):** Ulrich’s Periodical Directory.

2. Никольский В.В., Оженко Е.М., Лысенко В.Е., Никольский М.В., Бережной К.Ю.. Использование пьезопривода в судовой энергетике / Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 295. – Т. 307. – Миколаїв, 2017. – С. 82–91; **внесок автора:** запропоновано використання лінійного п’єзоелектричного двигуна для приводу клапану подачі газу та отримано передавальну функцію для осцилятора; **база(и):** Index Copernicus, Ulrich’s Periodical Directory, Google Scholar.

3. Нікольський М.В., Бережний К.Ю. Програмне забезпечення для визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ «ОМА». – С. 70 – 76; **внесок автора:** створено програмне забезпечення комп’ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин, яке реалізоване на базі першого навчального модуля «Програмовані контролери та Profinet» SmartLab (TEMPUS 544010-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPHES TATU).

4. Никольский В.В., Бережной К.Ю., Никольский М.В., Лысенко В.Е., Блошенко О.О., Алгоритм работы и программное обеспечение реометра с пьезоэлектрическим преобразователем // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 296. – Т. 308. – Миколаїв, 2017. – С. 131–138; **внесок автора:** запропоновано алгоритм роботи комп’ютерної системи та перший фрагмент функціонального блоку Main, проведення експериментів з мастилом; **база(и):** Index Copernicus, Ulrich’s Periodical Directory, Google Scholar.

5. Бережний К.Ю., Метод побудови комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик технічних рідин // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2018. – Вып. 24. Одесса: НУ «ОМА». – С. 3-18.

6. Нікольський В.В., Бережний К.Ю., Модель вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик судових технічних рідин // Вісник Черкаського державного технологічного університету - Серія: технічні науки – Черкаси, Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018. - №3. - С. 56 – 66; **внесок автора:** запропоновано кінематичну та структурну схеми вимірювального зонду, субмоделі п'єзрезонатору та фрикційного контакту.

7. Пат. 119814 Україна МПК G01N 11/10, Віскозиметр / Нікольський М.В. Нікольський В.В., Бережний К.Ю. - № у 2017 03735, Заявл. 18.04.2017; Опубл. 10.10.2017. Бюл. № 19. – 6 с.; **внесок автора:** запропонована конструкція приводу вимірювального зонду.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

8. Нікольський В.В., Бережний К.Ю., Нікольський М.В. Пьезоэлектрический реометр // XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. – С. 253; **внесок автора:** проведений аналіз методів виміру в'язкості, запропоновано використання лінійних п'єзоелектричних двигунів для приводу співвісних циліндрів.

9. Нікольський В.В., Бережний К.Ю. Компьютерная система определения реологических характеристик судовых технических жидкостей. // Тези VI Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади та системи – 2017»: Присвячена пам'яті професора В.М.Шарапова / Голов.ред. Ю.Ю. Бондаренко. – Черкаси: Видавець Третяков О., 2017 – С. 37-38; **внесок автора:** запропоновано структурну схему комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик судових технічних рідин.

10. Нікольський В.В., Бережний К. Ю., Нікольський М.В. Комп'ютерна система визначення реологічних характеристик судових технічних рідин // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-

практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 15-20 травня 2017 року. – Івано-Франківськ: п. Голіней О.М.: 2017 – С. 261 – 264; **внесок автора:** запропоновано функціональну схему комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик.

11. Nikolskyi V. A system for determining the rheological characteristics of marine technical liquids / Vitalii Nikolskyi, Kyrylo Berezhnyi, Mark Nikolskyi, Oleg Bloshenko // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 14-18 травня 2018 року. – Івано-Франківськ: вид. Супрун В.П., 2018 – С. 18 – 23; **внесок автора:** запропоновано функціональну схему комп'ютерної системи з безконтактним регулятором температури, модернізований другий та третій фрагмент блоку Main програмного забезпечення та схема перетворення інформації, яка надходить з програмованого контролера до MsExcel.

12. Nikolskyi V. Fuzzy logic positioning system of ship's diesel generators actuating mechanisms // Vitalii Nikolskyi, Yevgen Ozhenko, Kyrylo Berezhnyi, Viktor Lisenko // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 14-18 травня 2018 року. – Івано-Франківськ: 2018 – С. 211 – 215; **внесок автора:** запропоновано модель лінійного п'єзодвигуна для управління газовим клапаном .

13. Нікольський В.В., Бережний К.Ю., Модель вимірювального зонду реометру Тези VII Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади та системи – 2018» / Голов.ред. Ю.Ю. Бондаренко. – Черкаси: Видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2018 – С. 18-21; **внесок автора:** запропоновано модель вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин.

14. Бережний К.Ю., Нікольський В.В. Інформаційна модель системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин // Матеріали науково-технічної конференції «Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт», 22.03.2018-23.03.2018. – Одеса: НУ «ОМА», 2018. – С. 246-248; **внесок автора:** запропоновано UML діаграму комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик та інформаційну модель процесів, які відбуваються в контролері.

15. Віскозиметр з лінійним п'єзоелектричним приводом вимірювального зонду: звіт з НДР: ДР № 0117 У 000318 / кер. роботи В.В. Нікольський, виконавець К.Ю. Бережний. К.: УКРНТЕІ, 2018 – 63 с.; *внесок автора*: проведено аналіз сучасних методів вимірювання в'язкості, віскозиметрів та систем регулювання в'язкості важкого палива, запропоновано застосування реверсивного лінійного п'єзоелектричного двигуна для переміщення рухомого циліндру віскозиметру; розроблено модель вимірювального зонду та методику розрахунку коефіцієнтів динамічної в'язкості по механічним характеристикам лінійного п'єзоелектричного двигуна; синтезовано структурну схему комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик важкого палива, створено інформаційну модель процесів, які відбуваються в системі; розроблено діючий макет віскозиметру, за допомогою якого проведено дослідження важкого палива, та визначено сімейство реологічних характеристик.

ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях:

« Суднові комп'ютерно – інтегровані технології» (НУ «ОМА», Одеса, 2016, 2018 р.р.);

« Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт» (НУ «ОМА», Одеса, 2017-2018 р.р.);

«Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання» (м. Івано-Франківськ, 2017-2018 р.р.);

XXIV - та з автоматичного управління «Автоматика-2017» (Київ, 2017);

«Датчики, прилади та системи 2017 (ДПС, 2017-18)» (Черкаси – Миколаїв – Херсон - Лазурне, 2017-18 р.р.).