

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

**Бережний Кирило Юрійович**



УДК 681.2.082:681.586.773:532.133:532.137

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

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Миколаїв – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор  
**Нікольський Віталій Валентинович**,  
Національний університет  
«Одеська морська академія»,  
професор кафедри теорії автоматичного  
управління та обчислювальної техніки.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор  
**Вичужанін Володимир Вікторович**,  
Одеський національний політехнічний  
університет, завідувач кафедри  
інформаційних технологій;

кандидат технічних наук, доцент  
**Бондаренко Юлія Юріївна**, Черкаський  
державний технологічний університет,  
завідувач кафедри приладобудування,  
мехатроніки та комп'ютеризованих  
технологій.

Захист відбудеться **1 березня 2019 р. о 14<sup>00</sup>** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.053.05 в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10 та за електронною адресою: <https://chmnu.edu.ua/disertatsiyi/>.

Автореферат розісланий 1 лютого 2019 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Є. О. Давиденко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Тенденція безупинного коливання світових цін на нафту і відповідно ціни на паливо для двигунів внутрішнього згоряння (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 малооборотових двигунів (МОД), які працюють на «важкому» паливі або на суміші різних фракцій.

Зменшення експлуатаційних витрат і впливу на екосистему судових двигунів внутрішнього згоряння 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 згоряння 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 судах, 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 судових 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 суднового 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., Ханмамєдов 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 судових технічних рідин, яка має високі функціональні та експлуатаційні якості та забезпечує безпечну експлуатацію судових МОД і зменшення викидів шкідливих речовин в 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 судових технічних рідин;

- розробка моделі вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик судових 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 ЦПП. 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 контролеру 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

Соретісус 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.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність напрямку досліджень, наведено зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету та завдання дослідження, відображені наукова новизна, практична цінність роботи та особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію, публікації та використання результатів 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 МОД, які працюють на двох сортах палива. В результаті проведеного аналізу методів визначення в'язкості та реологічних характеристик встановлено, що в останні роки набули поширення ультразвукові системи Viscosense 2 від фірми VAF Instruments на базі п'єзотрансформаторів з в'язкопружним зв'язком. Недоліком цих систем 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.

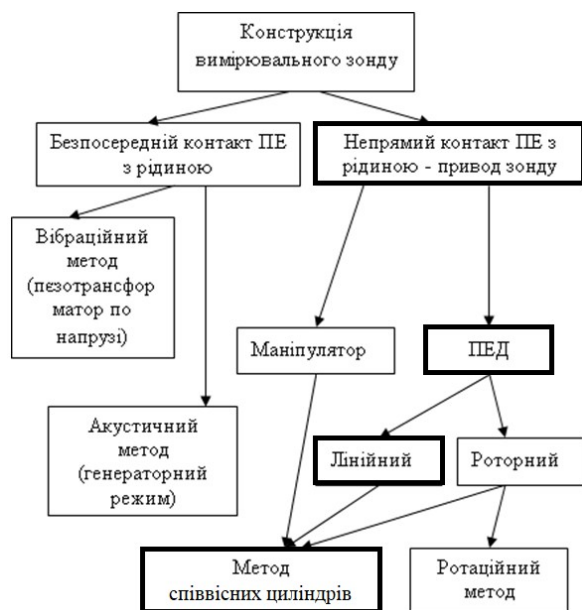


Рис. 1. Класифікація вискозиметрів та реометрів, що використовують п'єзоелектричні перетворювачі

Проведено класифікацію вискозиметрів та реометрів з п'єзоелектричними перетворювачами (рис. 1), в результаті якої встановлено, що найбільш відповідними до процесів у реальних вузлах паливної апаратури є вимірювальні зонди на співвісних циліндрах з лінійним приводом. На рис. 1 товстими лініями виділені блоки, які були запропоновані вперше. Отже в роботі поставлено завдання створити нові інтегровані підходи до управління процесом визначення реологічних характеристик важкого палива та

мастила та розробити систему для їх визначення, як в лабораторних умовах, так і в потоці в режимі реального часу або онлайн.

В результаті проведеного аналізу отримано технологічну карту наукового дослідження, а також визначено ряд задач, вирішенню яких присвячений матеріал наступних трьох розділів.

У **другому розділі** (*Розробка моделі та методу побудови комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин*) проведено дослідження по створенню інформаційних моделей, на основі яких у подальшому розробник матиме змогу здійснити програмно-апаратну розробку комплексу автоматизації. Зокрема, виконані дослідження показали можливість побудови комп'ютерних систем визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин та їх оперативного контролю для подальшої побудови на їх 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 (рис. 2), яка дозволяє в автоматичному режимі здійснювати вимірювання реологічних характеристик та

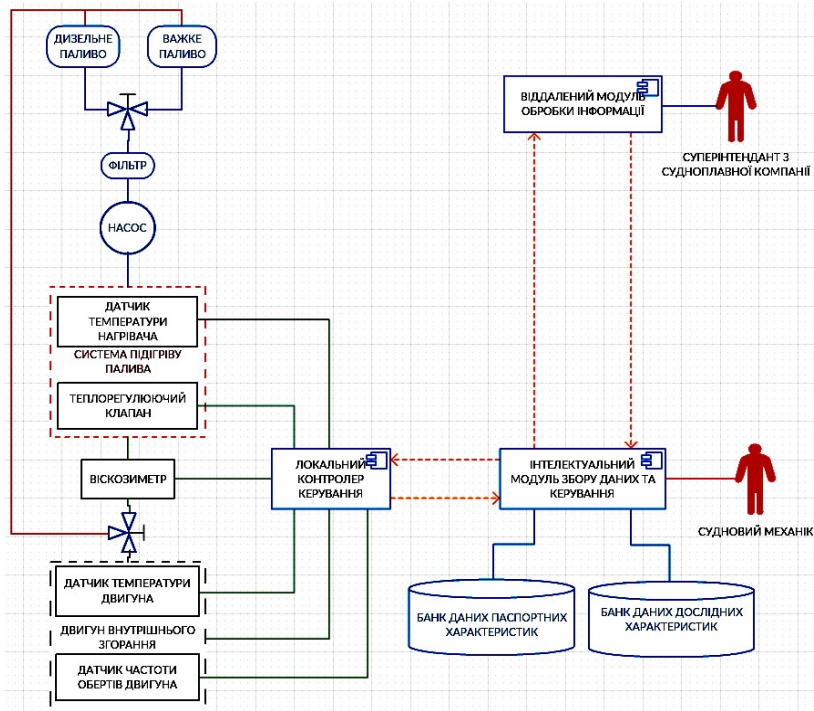


Рис. 2. UML-діаграма розгорнутої інформаційної моделі системи визначення та контролю реологічних характеристик суднових технічних рідин

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, підвищувати ефективність підготовки палива та зменшувати 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 (рис. 3), що дозволяє без запуску ДВЗ здійснити симуляцію роботи паливної апаратури та провести вимірювання характеристик пального відповідно до прогнозованого частотно-температурного режиму роботи двигуна.

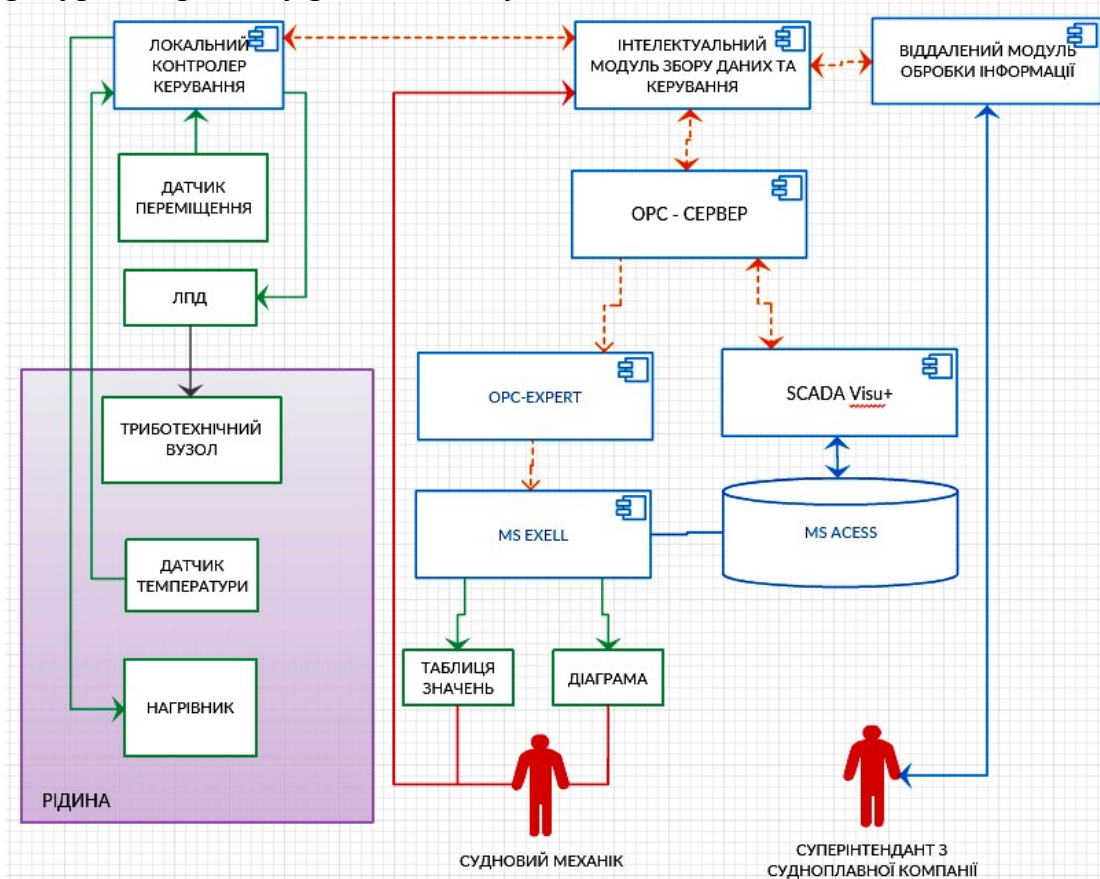


Рис. 3. UML-діаграма лабораторної комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик

Отримані дані дозволять в подальшому здійснювати ефективне керування якістю підготовки палива перед подачею до форсунок ДВЗ. Розроблено блок-схеми алгоритмів визначення та регулювання реологічних параметрів суднових технічних рідин на базі запропонованого методу автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин, які забезпечують виконання всіх передумов до апаратно-програмної реалізації комп'ютерної системи визначення та регулювання реологічних параметрів суднових технічних рідин.

В третьому розділі (*Розробка моделі вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин*) розроблено кінематичну та структурну схеми вимірювального зонду (ВЗ) з вертикальним розташуванням співвісних циліндрів із приводом на

реверсивному лінійному п'єзоелектричному двигуні (рис. 4, а), де: 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. Це дозволило врахувати сили тяжіння, які діють на рухомий циліндр, а також позбавитися протікання рідини та визначити реологічні характеристики не тільки в потоці, а й в лабораторних умовах в діапазоні технологічних температур, що, в свою чергу, дає змогу проводити попередні випробування рідини.

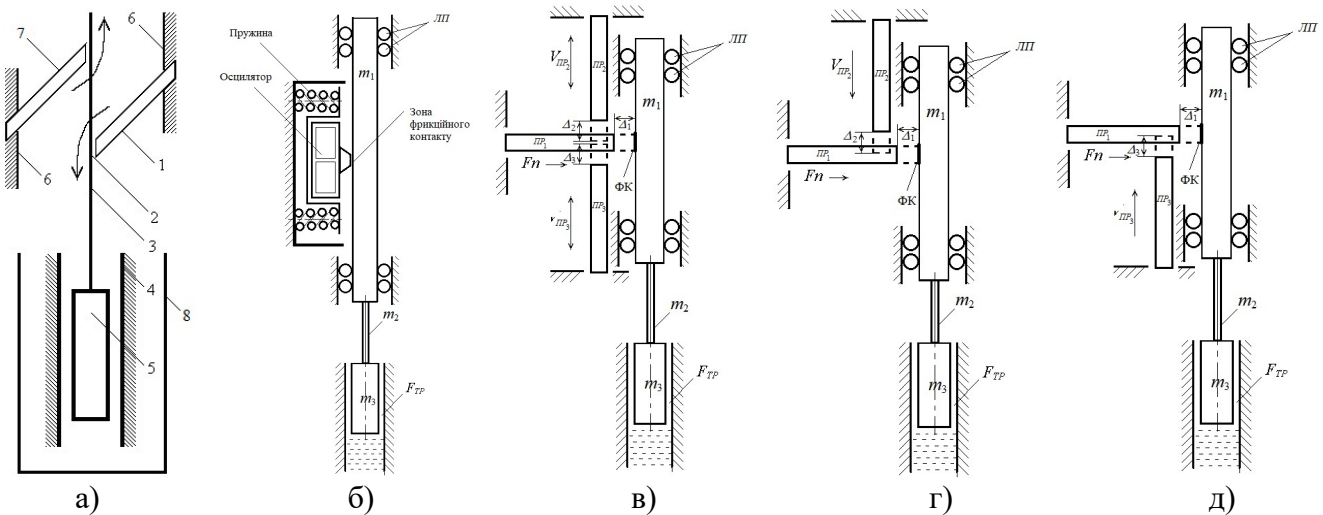


Рис. 4. ВЗ: а – кінематична схема на співвісних циліндрах; б – структурна схема з одним осцилятором; модель ВЗ з трьома ПР (в); з двома ПР при русі вниз (г); з двома ПР при русі вгору (д)

Було здійснено перехід від осцилятора до однолінійної моделі (рис. 4, б - д), що дозволило встановити умови рівноваги сил, які прикладені до рухомої границі активної частини осцилятора при русі вгору:

$$F_y = F_E - F_d - F_{\text{дин}} - F_C - F_{\text{тяжіння}} - F_{\text{тертя}},$$

при русі вниз:

$$F_y = F_E - F_d - F_{\text{дин}} - F_C + F_{\text{тяжіння}} - F_{\text{тертя}}.$$

На рис. 5 наведено структурну схему вимірювального зонду, 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;  $F_{\text{дин}} = m \sum d^2 \Delta / dt^2$  – 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;  $\Delta$  – деформація ПР, мм;  $l_0$  – початкова довжина ПР, мм;  $\sigma$  – механічна напруга, Н/м<sup>2</sup>;  $Y$  – модуль Юнга, Н/м<sup>2</sup>;  $d_{\text{П}}$  – 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, що 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;  $\eta$  – динамічна в'язкість, Па·с;  $S$  – площа рухомого циліндру, м<sup>2</sup>;  $\Delta V / \Delta h$  – градієнт швидкості, с<sup>-1</sup>.

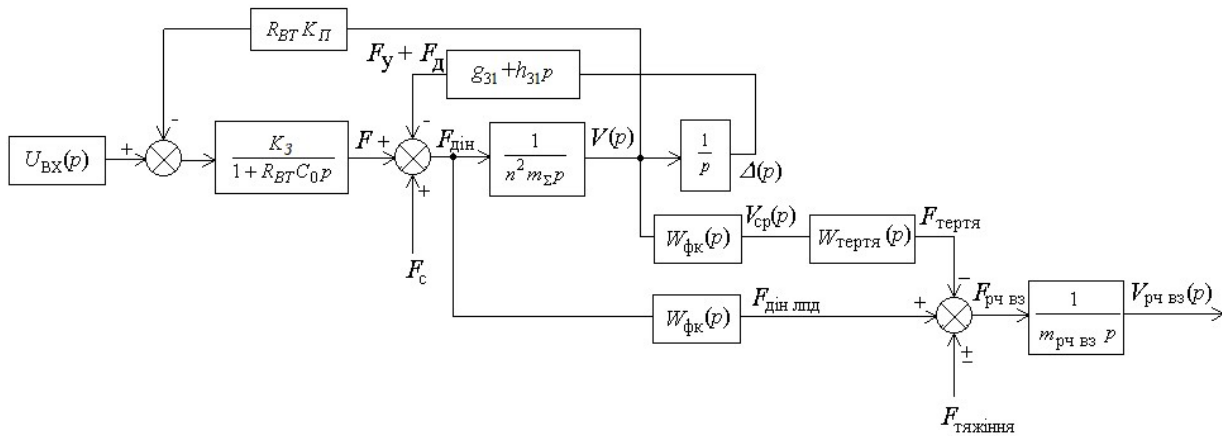


Рис. 5. Структурна схема вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин

Реалізацію моделі ВЗ проведено в середовищі електронного моделювання SimInTech control systems simulator (Безлімітна ліцензія. Організація: НУ «ОМА». Серійний номер: D63B30FDA70) (рис. 6, а).

При побудові моделі враховані процеси, які відбуваються в осциляторі (рис. 6, б) з поперечною поляризацією, фрикційному контакті (рис. 6, в) та триботехнічному вузлі. Це дозволило дослідити, як впливають властивості п'єзокераміки, лінійні розміри п'єзоелементу та його притиск до рухомої частини двигуна, розміри поверхні тертя, матеріал рухомого циліндру на часові діаграми роботи вимірювального зонду.

В роботі набула розвитку модель фрикційного контакту (ФК) ЛПД, що дозволило розробити модель вимірювального зонду для лабораторних вимірювань та реалізувати електронне моделювання пристроїв для їхнього ефективного проектування. Було запропоновано три варіанти моделі фрикційного контакту. Перший та другий варіант ФК застосовуються при амплітудному методі управління ЛПД, а третій варіант – при застосуванні широтно-імпульсної модуляції. На рис. 6, в наведено третій варіант, який було застосовано при побудові моделі всього вимірювального зонду.

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

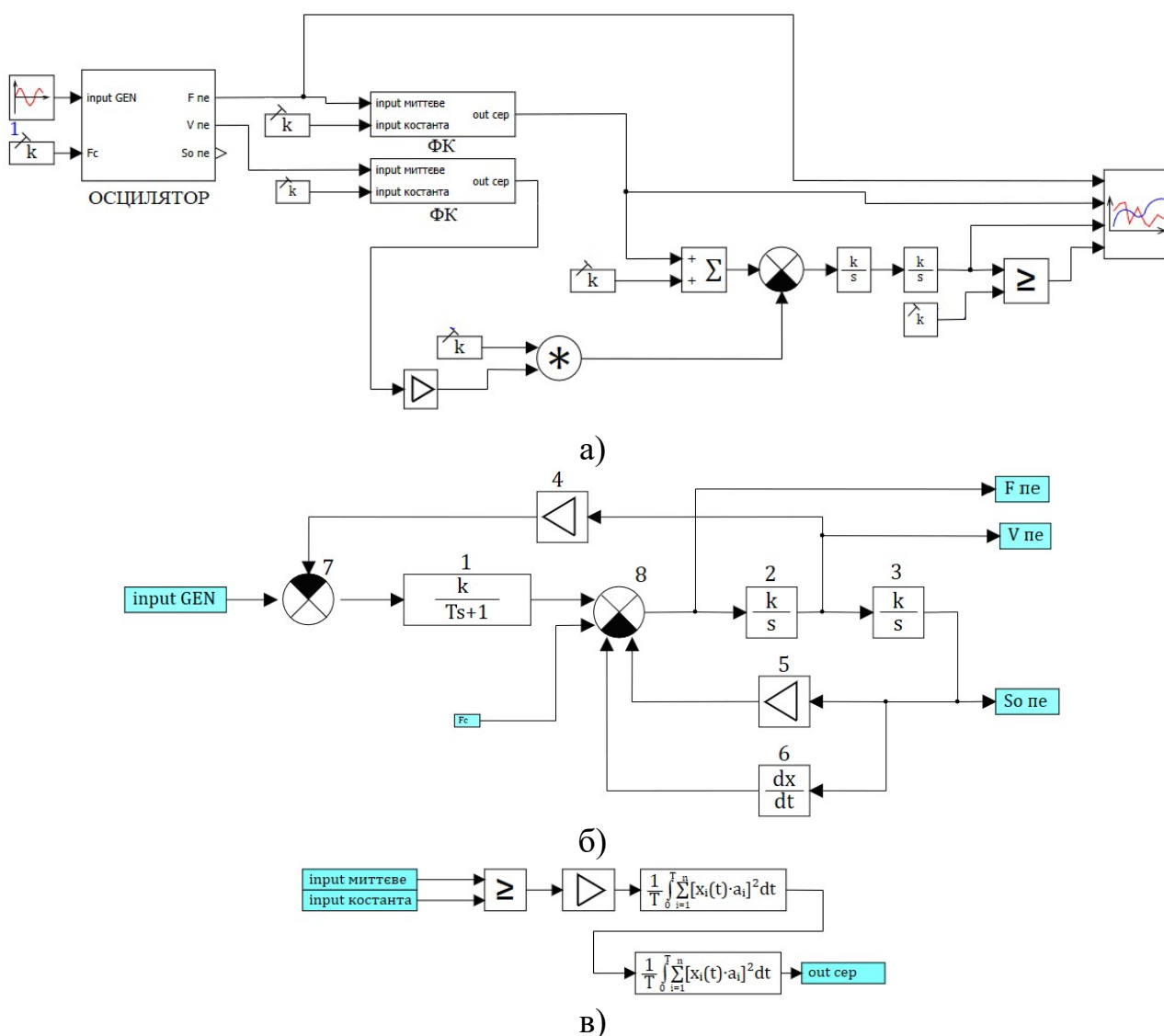


Рис. 6. Вимірювальний зонд: а – модель; б – субмодель осцилятора; в – субмодель ФК

Основні співвідношення коефіцієнтів, які входять до структурної схеми субмоделі осцилятора (рис. 6, б), мають наступні значення  $R_{вт\ КП} = 30, \text{ Ом}$ ;  $C_0 = 2.195E-13, \text{ Ф}$ ;  $R_{вт} C_0 = 1,098E-11, \text{ с}$ ;  $m_{\Sigma} = 0,0038, \text{ кг}$ ;  $f_p = 166287 \text{ Гц}$ ;  $m_K = 0,015$ .

Розроблено методику визначення реологічних характеристик, в основу якої покладено вимір часу пересування рухомої частини вимірювального зонду. Цей час порівнюється з часом ЛПД на холостому ході при фіксованій відстані пересування, який визначається перед початком роботи. Надалі всі наступні вимірювання відбуваються тільки під навантаженням з боку триботехнічного вузлу. Встановлено, що вимірювальний зонд дозволяє визначати коефіцієнти динамічної в'язкості в діапазоні  $0,1 - 30 \text{ Па}\cdot\text{с}$  (рис. 7, а).

Результати моделювання довели, що приєднана вага у вигляді триботехнічного вузлу уповільнює хід ЛПД, а саме: при збільшенні ваги рухомого циліндру час пересування збільшується при вертикальному розташуванні (рис. 7, б); час пересування рухомого циліндру при русі з верхнього крайнього положення до нижнього менше, ніж у зворотному

напряму (рис. 7, в).

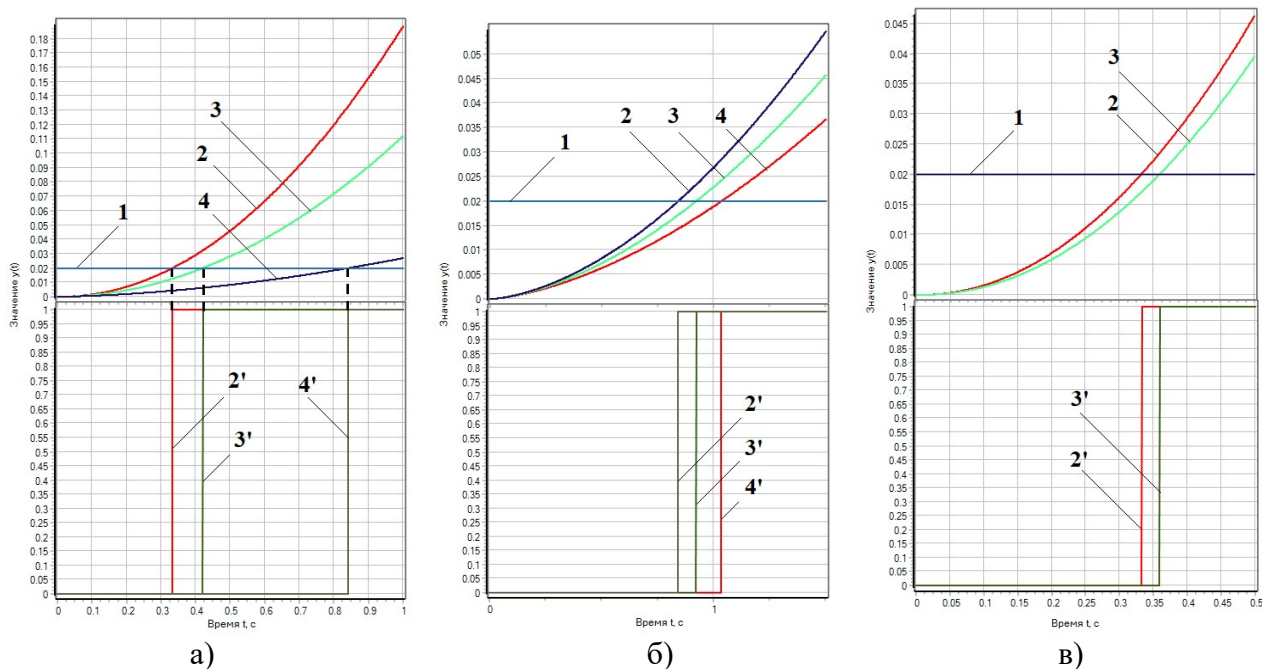


Рис. 7. Результати дослідження: а – при зміні в'язкості (2) – 1 Па·с, (3) – 10 Па·с, (4) – 20 Па·с; б – при зміні ваги рухомого циліндру (2) – 10 г, (3) – 18 г, (4) – 26 г; в – при русі вгору (2 – 2') та вниз (3 – 3'); (1) – час пересування рухомої частини ЛПД на холостому ході.

Проведено дослідження методів управління лінійними п'єзодвигунами, а саме амплітудної, та широтно-імпульсної модуляції. В результаті була підтверджена можливість використання широтно-імпульсної модуляції (рис. 8), яка дозволяє в 2-3 рази знизити витрати на схему перетворення сигналу управління ЛПД.

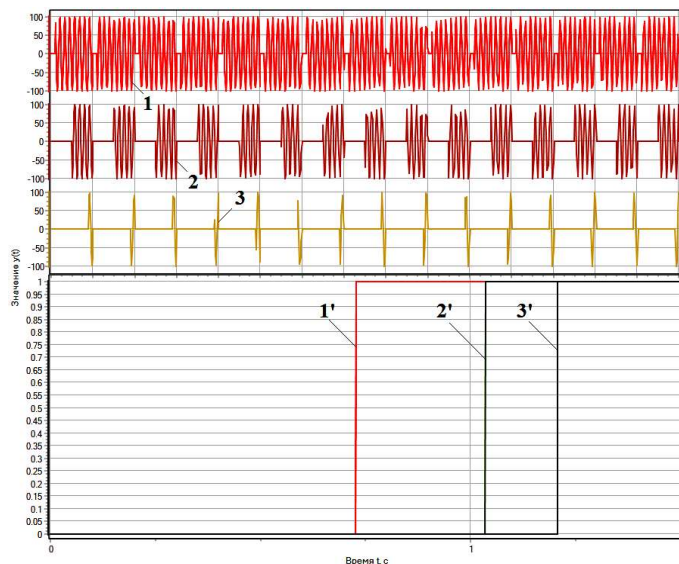


Рис. 8. Часові діаграми роботи моделі ВЗ при застосуванні ШІМ для управління ЛПД при трьох коефіцієнтах заповнення імпульсу управління: 1 – 0,9; 2 – 0,5; 3 – 0,1

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.



У четвертому розділі (Апаратно-програмне забезпечення системи визначення реологічних характеристик) описані розроблений макет комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик, конструкція вимірювального зонду, на яку отримано патент України на корисну модель, та програмне забезпечення на мові FVB, в яких реалізовані усі отримані теоретичні положення в розділах 2 та 3, наведені результати експериментальних досліджень.

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 розвинутої лінійки промислових контролерів виробництва компанії Phoenix Contact (рис. 9). Програмний комплекс повністю функціональний та забезпечує адекватне відображення даних, переданих від пристроїв збору інформації.

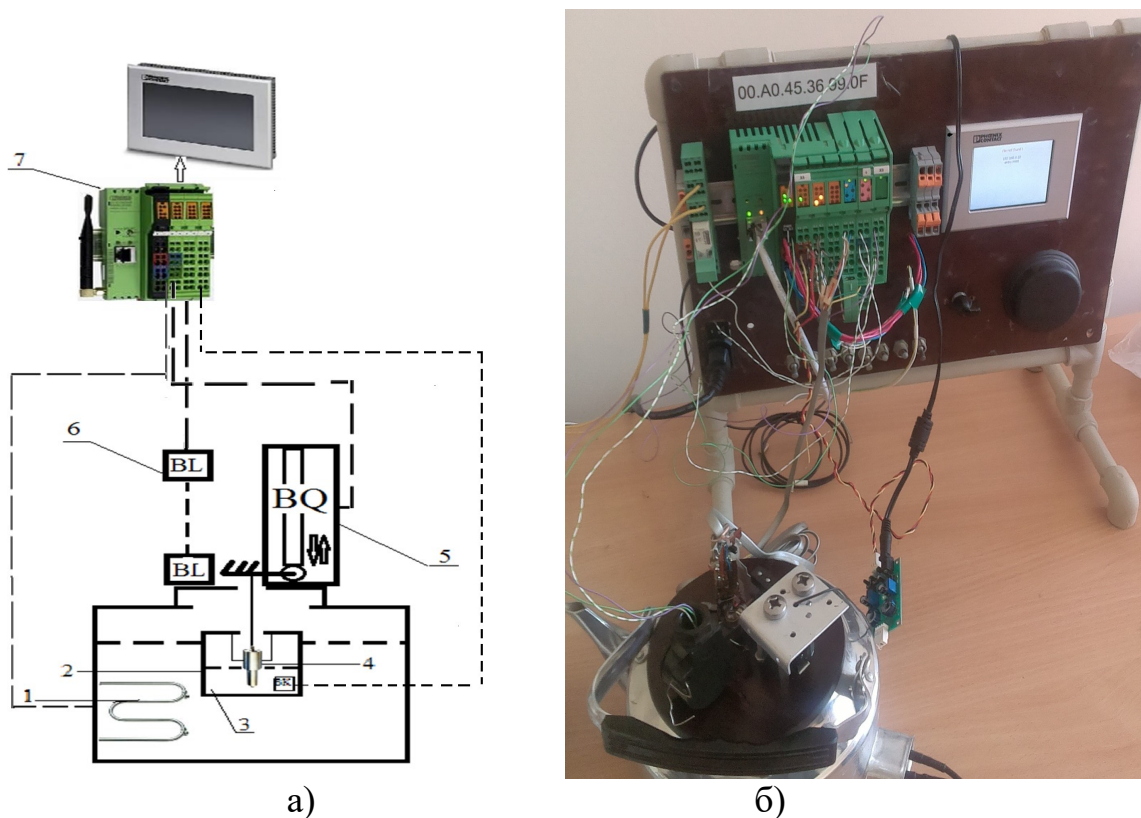


Рис. 9. Комп'ютерна система визначення реологічних характеристик:  
а – функціональна схема; б – діючий макет

На рис. 9, а зображено: 1 – електричний нагрівач; 2 – стакан з досліджуваною рідиною 3, що занурюється; 4 – вимірювальний зонд; 5 – реверсивний лінійний п'єзоелектричний двигун LPM-5; 6 - датчики фіксації переміщення направляючої двигуна; 7 – контролер (ПЛК) ILC 150 GSM / GPRS, а також сенсорна Web-панель WP 04T з призначенням для користувача інтерфейсом, яка використовується як монітор реального часу.

Проведений комплекс досліджень змащувального мастила до заправки мастильної системи (рис. 10, а) МОД та після 2000 годин його експлуатації

(рис. 10, б), важкого палива (рис. 11). Також було проведено порівняльні дослідження дизельного палива без домішок та з домішками на базі алюмосилікатів, які підтвердили вплив маси вимірювального зонду на час пересування рухомого циліндру.

На рис. 10 по осі абсцис показано 13 значень температури, а по осі ординат показано час пересування рухомого циліндру в триботехнічному зазорі. Аналіз результатів довів, що після 2000 годин напрацювання суттєво змінюються реологічні характеристики мастила на першій (1) та другій (2) швидкості. Це приводить до зростання тертя в вузлах ЦПГ при запуску двигуна та режимі часткового навантаження. Характер характеристики відрізняється від паспортних випробувань (додаток в роботі).

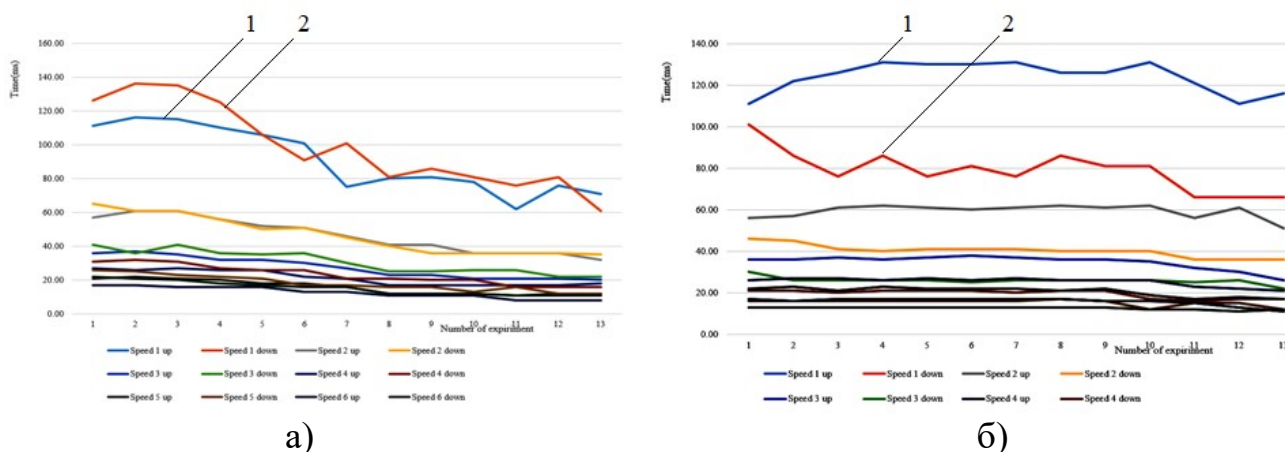


Рис. 10. Графік зміни часу проходження циліндра від швидкості рухомого циліндру

На рис. 11 по осі ординат наведено час пересування рухомого циліндру, а по осі абсцис – температура від 29° С до 109° С. При температурі 23° С (тринадцяте випробування) відбувався прогін ЛПД на холостому ході. Порівняння з результатами паспорту палива, який наведено в додатку роботи, довело, що в'язкість палива не є лінійною залежністю.

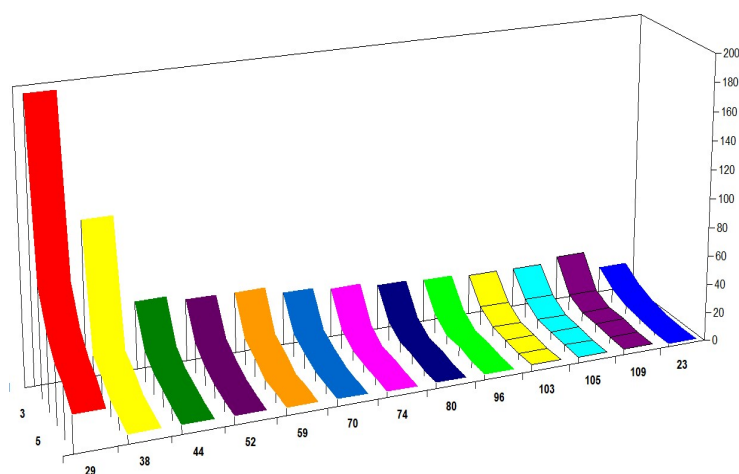


Рис. 11. Результати дослідження важкого палива залежність інтервалу часу від швидкості для 12 температур

Також було проведено порівняння розробленої комп'ютерної системи з відомими (табл. 1), яке довело перевагу і перспективність використання запропонованих рішень. Це дозволило стверджувати, що поставлена в роботі мета досягнута.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця сучасних систем визначення реологічних характеристик

Параметр	ViscoSense	Реометр PVS	Потоковий вікозиметр 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÷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	√			√	√	√

У додатках наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи, отриманий патент, паспорта важкого палива та мастила, перелік публікацій за темою дисертації.

## 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 малообертового двигуна внутрішнього згорання.

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 у навчальному закладі 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 ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ 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. Никольский М.В., Бережной 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'єзорезонатору 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 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 Bloschenko // 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, 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; **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.

## 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-

технічної задачі – створення комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин з підвищеними показниками роботи.

Вперше отримана інформаційна модель комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин. Проведена її інтеграція в загальну структуру функціонування судна.

Запропоновано метод автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин.

Отримали подальший розвиток алгоритми автоматичного визначення та регулювання реологічних характеристик суднових технічних рідин.

Удосконалено математичну модель вимірювального зонду комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик на співвісних циліндрах, які розташовані вертикально. Розроблено та запатентовано конструкцію вимірювального зонду. Створено макет комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик в лабораторних умовах. Проведено комплекс порівняльних досліджень технічних рідин. Достовірність отриманих результатів підтверджена при електронному моделюванні в SimInTech control systems simulator.

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

## ABSTRACT

**Berezhnyi K.** Models and tools for constructing a computer system for determining the rheological characteristics of technical fluids. - Manuscript.

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 analysis of the current state of the systems of determination of coefficients of viscosity and rheological characteristics of ship's technical fluids has been carried out which showed that over the past ten years ultrasonic systems have been distributed on the basis of piezoelectric transformer with visco-elastic coupling, the disadvantage of which is the discrepancy of processes in the measuring probe real processes at the tribotechnical units of the fuel equipment which allows them to be used only in nominal mode after carrying out additional tests, the term of which reaches two to three weeks. The classification of measuring probes with a piezoelectric drive has been proved that there are currently no measuring probes with a linear drive of a moving cylinder, the processes in which are similar to processes in the real tribotechnical units of the fuel equipment.

For the first time an informational model of the computer system for determining the rheological characteristics of ship's technical fluids has been obtained, on the basis of which it is possible to construct automated systems for the

investigation of ship technical liquids as well as control their preparation before being supplied to fuel equipment. The integration of the developed model into the general structure of the ship's operation was carried out which allowed obtaining a detailed information model of the system for determining and controlling the rheological characteristics of ship's technical fluids.

The method of automatic determination and adjustment of rheological characteristics of ship's technical fluids 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 as well as to increase the efficiency of fuel preparation and reduce the amount of harmful emissions into the environment.

Further developed algorithms for the automatic determination and regulation of rheological characteristics of marine technical fluids based on the proposed method for the automatic determination and regulation of the rheological characteristics of ship's technical fluids which ensures the fulfillment of all prerequisites for the hardware and software implementation of the computer system for the determination and regulation of rheological parameters of the ship's technical liquids.

The mathematical model of the measuring probe of the computer system for determining the rheological characteristics on coaxial cylinders which are arranged vertically and driven on a linear piezoelectric motor has been improved which made it possible to get rid of the fluid flow and to determine the rheological characteristics not only in the flow but also in the laboratory conditions in the range of technological temperatures of the operation of the fuel equipment which makes it possible to conduct preliminary tests of the fluid.

The design of the measuring rheometer of a computer system for determining the rheological characteristics of ship's technical fluids based on a linear piezoelectric motor has been developed and patented and experimental research has been carried out.

As a result of the hardware and software implementation of the developed theoretical positions a model of the computer system for determining the rheological characteristics in the laboratory was created. A complex of comparative studies of lubricating oil for refueling the lubricating system of a low-turning engine and after 2000 hours of work, heavy fuel and comparative studies of diesel fuel without impurities and admixtures based on aluminosilicates has been carried out; confirmed the influence of the mass of the measuring probe on the movement time of the moving cylinder at its vertical arrangement and it is the movement of the moving piston from the upper extreme position to the bottom and the counteraction when moving in the opposite direction. Probability of the obtained results is confirmed by electronic simulation in SimInTech control systems simulator.

**Keywords:** thixotropic fluid; rheological characteristic; coaxial cylinders; tribotechnical unit; linear piezoelectric motor; rheometer; computer system; programmable controller; real-time system..