

# Комп'ютерна Система Визначення Реологічних Характеристик Суднових Технічних Рідин

Віталій Нікольський  
кафедра теорії автоматичного управління і  
обчислювальної техніки, НУ "ОМА"  
Одеса, Україна  
prof.Nikolskyi@ukr.net

Марк Нікольський  
кафедра автоматизації суднових газотурбінних і  
дизельних установок, НУ "ОМА"  
Одеса, Україна  
markdezert@ukr.net

Кирило Бережний  
кафедра автоматизації суднових паросилових  
установок, НУ "ОМА"  
Одеса, Україна  
90demon777@ukr.net

## Computer System for Determination of Rheological Characteristics Ships Technical Fluids

Vitalii Nikolskyi  
Department of Automatic Control and Computing  
Technologies, NU "OMA"  
Odesa, Ukraine  
prof.Nikolskyi@ukr.net

Mark Nikolskyi  
Department of Automation of Vessel Gas Turbines and  
Diesel Installations, NU "OMA"  
markdezert@ukr.net  
Odesa, Ukraine

Kyrylo Berezhnyi  
Department of Automation of Ships Steam Power Units,  
NU "OMA"  
Odesa, Ukraine  
90demon777@ukr.net

*Анотація*—Суднові технічні рідини при експлуатації розглядають як "ньютонівські", а в реальних умовах при знаходженні в зазорах триботехнічних вузлів дизелів проявляють себе, як "нен'ютонівські" з ефектом тиксотропії. При бункеровці судна на них надається технічний паспорт з одним значенням кінематичної в'язкості та щільності. Не врахування цих властивостей збільшує знос елементів паливної апаратури та підшипників. А це призводить до збільшення аварійності, експлуатаційних витрат. Негативний ефект посилюється в маневровому режимі дизеля при різкій варіації навантажувальних характеристик і, відповідно, різкій зміні коефіцієнтів в'язкості.

Нами розроблено комп'ютерну систему, що включає зонд-реометр, що занурюється, з п'єзоелектричним приводом, і новизною якої є можливість використання при комплексному аналізі "нен'ютонівської" рідини та вивченні ефекту тиксотропії в режимі перманентного моніторингу.

Існуючі суднові стаціонарні лабораторії не дозволяють провести детальні аналізи.

*Abstract*—Ship technical fluids in operation are considered as "Newtonian", and in real conditions, while in the gaps of the tribotechnical units of the diesel engines, they manifest themselves as "non-Newtonian" with the effect of thixotropy. When bunkering the vessel, they are provided with a technical passport with one value of kinematic viscosity and density. Not taking into account these properties increases the wear of fuel equipment and bearings. And this leads to an increase in accidents, operating costs. The negative effect is amplified in the maneuvering mode of the diesel engine with a sharp variation in load characteristics and, accordingly, a sharp change in the viscosity coefficients.

We have developed a computer system that includes a submerged type rheometer probe with a piezoelectric drive, and the novelty of which is the possibility of using a non-Newtonian fluid for complex analysis and studying the effect of thixotropy in

the permanent monitoring mode. Existing ship's stationary laboratories do not allow for detailed analyzes.

*Ключові слова*—*"нен'ютонівська" тиксотропна рідина, триботехнічний вузол, комп'ютерна система, реологічні характеристики, віскозиметр з п'єзоелектричним приводом.*

*Keywords*—*"non-Newtonian" thixotropic fluid, tribotechnical unit, computer system, rheological characteristics, viscometer with piezoelectric drive.*

## I. ВСТУП

Зменшення експлуатаційних витрат і впливу на екосистему суднових двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) і, зокрема, дизелів, які працюють на "важкому" паливі, можливо за допомогою конструктивних змін (змінна 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 палива, яке відноситься до суднових технічних рідин.

Загальновідомо, що суднові технічні рідини ідентичних марок можуть мати різні коефіцієнти динамічної в'язкості при однаковій температурі. Збільшення в'язкості при інших рівних умовах призводить до погіршення якості розпилювання палива і умов роботи прецизійних пар паливних насосів, більш інтенсивному утворенню нагару на елементах циліндропоршневої групи (ЦПГ) та газоповітряного тракту, зміни раніше встановлених моментів подачі палива.

При малій 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 [1].

Поряд з в'язкістю палива існує проблема регулювання в'язкості мастильних циркуляційних масел, що володіють властивостями "нен'ютонівських" рідин з ефектом тиксотропії в триботехнічних вузлах ДВЗ. "Нен'ютонівські" властивості різних видів палив та мастил полягають в зменшенні їх в'язкості при збільшенні швидкості зсуву, а тиксотропні - зменшення їх в'язкості згодом при постійній швидкості деформації [2].

Специфічні особливості "нен'ютонівських" тиксотропних рідин в вузлах тертя тягнуть за собою недостатній рівень мастила вузлів ЦПГ, збільшення коефіцієнта тертя і, в наслідок чого, 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 даного сорту. В даний час використання мастильного 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. Тому, дослідження специфічних властивостей суднових технічних рідин і розробка нових засобів вимірювання є актуальними.

## II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

В даний час при створенні віскозиметрів вживаються такі методи вимірювання, як: капілярний; ротаційний; співвісних циліндрів; паралельних нерухомих або рухомих площин, що переміщують; падаючої кульки; крутильних коливань; вібраційний [2].

У роботах [3-7] вивчалися реологічні характеристики суднових технічних рідин на основі ротаційного віскозиметра з метою дослідження їх "нен'ютонівських" і тиксотропних властивостей. Основною невирішеною проблемою проведених досліджень була відсутність на той момент промислових контролерів, які працюють в «жорсткому» реальному часі, що дозволило б не тільки проводити вимірювання в'язкості, але і визначити реологічні характеристики суднових технічних рідин.

В [8] основною метою був аналіз можливостей, достоїнств і недоліків віскозиметрів і реометрів, що використовують п'єзоелементи у вигляді датчика, або приводу вимірювального зонду. В [9-13] запропоновано використання п'єзоелектричних двигунів та актуаторів з наборних шайб при побудові віскозиметрів ротаційних і на співвісних циліндрах. Встановлено, що характер реологічних характеристик, за якими визначається коефіцієнт динамічної в'язкості однієї і тієї ж рідини, істотно відрізняється при дослідженнях на ротаційному віскозиметрі та віскозиметрі на співвісних циліндрах. Процеси в вимірювальному зонді співвісного віскозиметра ідентичні процесам, що протікають в вузлах паливної апаратури [14]. Однак, в дослідженнях використовувалася тільки ротаційний п'єзоелектричний двигун, тому що ціна лінійного двигуна становила понад 700 євро. З впровадженням 3D принтерів вдалося спростити виробництво таких двигунів, що призвело до вирівнювання цін лінійних і ротаційних двигунів.

Нами розроблена комп'ютерна система визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин в реальному часі, в якій використовується 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. 1 наведена її структурна схема, де ОУ - об'єкт управління, ЗР - зонд-реометр, ПЗР - привід зонду реометра, ПЛК - контролер, МРЧ - монітор реального часу, ВМ - виконавчий механізм.

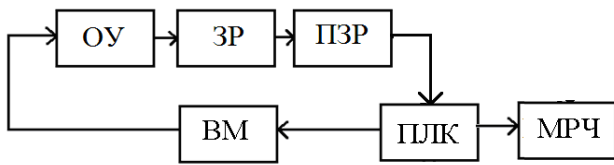


Рис. 1. Структурна схема комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин

На рис. 2 наведено функціональну схему комп'ютерної системи визначення реологічних характеристик суднових технічних рідин, де: 1 - електричний підігрівач; 2 - стакан, що занурюється; 3 - досліджувана рідина; 4 - вимірювальний зонд; 5 - реверсивний лінійний п'єзоелектричний двигун LPM-5 [15]; 6 - датчики фіксації переміщення направляючої двигуна; 7 - контролер (ПЛК) ILC 150 GSM / GPRS а також сенсорна WEB-панель WP 04T [16] з призначенням для користувача інтерфейсом, яка використовується як монітор реального часу.

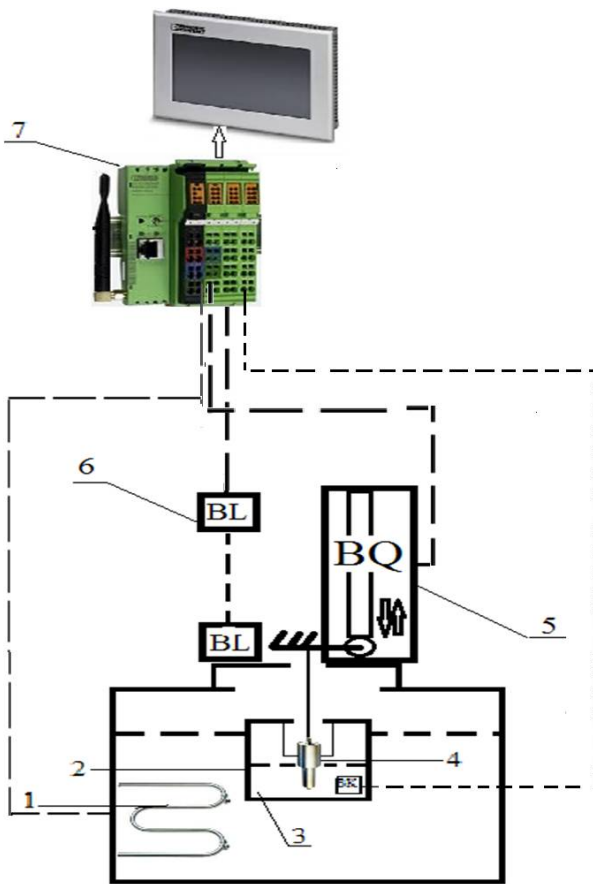


Рис. 2. Функціональна схема комп'ютерної системи

В якості вимірювального пристрою використовується зонд-реометр, що 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. В табл. 1 наведено технічні характеристики лінійного п'єзоелектричного двигуна LPM-5-SP.

ТАБЛИЦЯ 1. ТЕХНІЧНИЙ ПАСПОРТ LPM-5-SP

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)	1.2 N	≥ 4 N
	Backward (Right)	1.2 N	
Self-braking force		1.5 N	≥ 5 N
Resolution (min step)		0.04 μm	≤ 0.1 μm
Excitation Frequency	Forward (Left)	149.3 kHz	140÷160 kHz
	Backward (Right)	149.0 kHz	
Supply voltage (transformer 16:80)			12 V(U <sub>A</sub> ~60V)
Operating current	Forward (Left)	400 mA	≤ 500 mA
	Backward (Right)	310 mA	
Motor weight			35 g
Size			59x47x10 mm

Положення двигуна в "мертвих" нижньої і верхньої 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. 2). При попаданні молекул досліджуваної рідини в зазор між плунжером і втулкою (4) виникає опір руху плунжера залежно від сил в'язкого тертя рідини. Це призводить до зміни лінійної швидкості п'єзодвигуна (5). Отримане значення швидкості руху порівнюється з еталонною швидкістю холостого ходу двигуна ПЛК (7), який обробляє отримані сигнали та обчислює в'язкість. Далі відбувається зміна швидкості двигуна у всьому діапазоні швидкостей елементів паливної апаратури малооборотних суднових 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. 3 пояснено, як здійснюється програмування контролеру ILC 150 GSM/GPRS за допомогою інтегрованих середовищ від компанії Phoenix Contact.

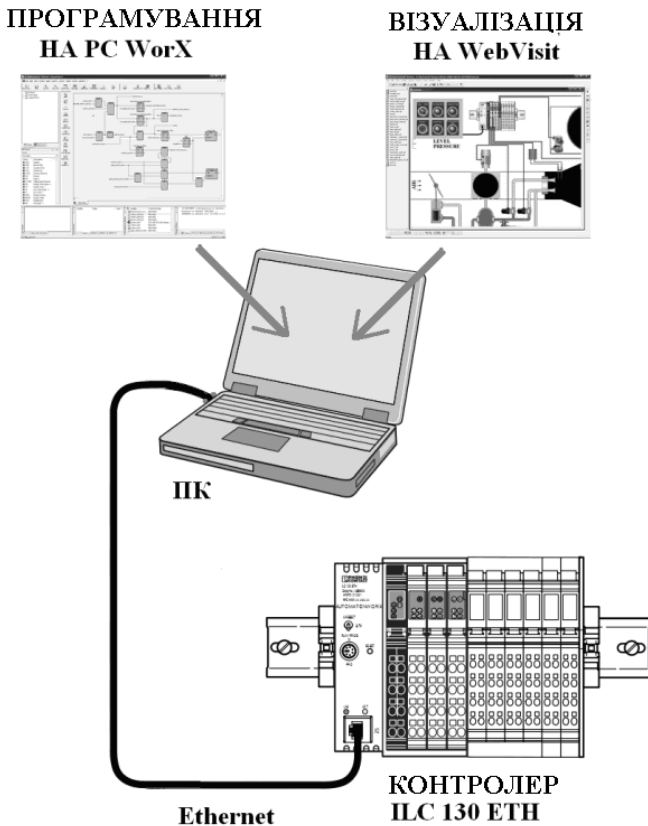


Рис. 3. Програмне забезпечення Phoenix Contact, яке застосоване при створенні системи.

В інструментальному середовищі PC WorX здійснюється програмування логічної частини на мові FBD, а в середовищі WebVisit здійснюється програмування Web серверу.

### III. ВИСНОВКИ

Розроблена комп'ютерна система управління дозволяє досліджувати властивості "нен'ютонівської" псевдопластичної рідини з ефектом тиксотропії, що знаходиться в проміжку між втулкою і плунжеру зонду, подібно тому, як вона знаходиться в зазорі підшипників ковзання триботехнічних вузлів ДВЗ, так і плунжерних пар паливних насосів високого тиску дизелів. У перспективі дані дослідження дозволять виробити алгоритм регулювання в'язкості палива і мастила з "попередженням", що дозволяє мінімізувати ефект "нен'ютонівської" тиксотропної рідини у вузлах тертя, що

в свою чергу збільшить моторесурс і знизить експлуатаційні витрати суднової енергетичної установки.

### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] В.И. Ланчуковский, Автоматизированные системы управления судовых дизельных и газотурбинных установок. / В.И. Ланчуковский, А.В. Козьминых // Учебник. - М.: Транспорт, 1983. - 320с.
- [2] П.Ф. Овчинников, Виброреология // Киев: наук. думка, 1983. - 272 с.
- [3] Б.А. Алтоиз, 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.
- [4] С.А. Ханмамедов, Совершенствование функциональных свойств систем смазывания судовых энергетических установок: Дис. ...докт. техн. наук: 05.08.05. - Николаев, 1990. - 382 с.
- [5] Б.А. Алтоиз, Ротационный вискозиметр для исследования микронных прослоек / Б.А. Алтоиз, С.К. Асланов, А.Ф. Бутенко // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://phys.onu.edu.ua/files/journals/fas/articles/42/fas42\\_altoiz.pdf](http://phys.onu.edu.ua/files/journals/fas/articles/42/fas42_altoiz.pdf) (Дата звернення 09.03.2017).
- [6] Е.Б. Плавинский, И.В. Никитенко, В.В. Никольский, А.Ю. Поповский, Д.Ю. Крохмаль, О.В. Глазева, Измерения вязкости жидких сред пьезоэлектрическим вискозиметром // Судовые энергетические установки: науч. - техн. сб. - Одесса: ОГМА, 2001. - Вып. 6. - С. 61 - 62.
- [7] В.В. Никольский, Л.Б. Багдасарян, Определение реологических характеристик топлив и масел, используемых в СЭУ // Судовые энергетические установки: научн.-техн. сб. - Одесса: ОНМА, 2005. - Вып. 14. - С. 31-35.
- [8] М. В. Никольский, Пьезоэлектрический Вискозиметр / М.В. Никольский, К.Ю. Бережной // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. - Серія: "Комп'ютерні технології". - Вип. 275. - Т. 287. - Миколаїв, 2016. - С. 60-63.
- [9] В.В. Никольский, Декларационный патент Украины, МКІ 7 G01N11/10 Вискозиметр. - № 2003054350; Заявл. 15.05.2003; Оpubл. 15.01.2004, Бюл. № 1.
- [10] В.В. Никольский, Декларационный патент Украины, МКІ 7 G01N11/10 П'езоелектричний вискозиметр. - № 2003109671; Заявл. 28.10.2003; Оpubл. 15.09.2004, Бюл. № 9.
- [11] В.В. Никольский, Декларационный патент Украины, МКІ 7 G01N11/10 Вискозиметр. - № 20031211819; Заявл. 18.12.2003; Оpubл. 15.11.2004, Бюл. № 11.
- [12] В.В. Никольский, Декларационный патент на корисну модель Украины, МКІ 7 G01N11/10 Вискозиметр. - №u200500629; Заявл. 24.01.2005; Оpubл. 15.07.2005, Бюл. №7.
- [13] В.В. Никольский, Оценка реологических свойств тиксотропных жидкостей реометрами с пьезоприводом // Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб. - Одесса: ОНМА, 2005. - Вып. 10. - С. 61 - 64.
- [14] В.В. Никольский, Моделирование процессов в вискозиметрах с пьезоэлектрическим приводом // Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы: науч. - техн. журнал - Херсон: ХГТУ. - 2004. - №2 (14) - С. 60 - 67.
- [15] В.В. Лавриненко, В.С. Коваль, С.Ф. Петренко, В.В. Лукін, Р.В. Франченко, Патент на винахід № 76759 України, МПК(2006) H02N 2/00 П'езоелектричний двигун. - № 20040110441; Заявл. 18.12.2003; Оpubл. 15.09.2006, Бюл. № 9.
- [16] Сенсорная панель - WP 04T - 2913632 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/ua?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2913632&library=uauk&pcck=P-14-15-06-09&tab=1> (Дата звернення 09.03.2017).