

## ПРОГРАМНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ БЕЗМОТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЕЙ

**Половинка Э. М.**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой судовых энергетических установок Национального университета «Одесская морская академия», ORCID: 0000-0002-6855-1269;

**Слободянюк Н. В.**, преподаватель кафедры корабельной энергетики и электроэнергетических систем Института Военно-Морских Сил Национального университета «Одесская морская академия», Украина, e-mail: beetle77@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2248-0255

*В статье рассмотрены результаты экспериментального исследования топливной аппаратуры высокого давления среднеоборотного двигателя в ходе изменения положения рейки топливного насоса высокого давления на соответствующих режимах нагрузочной характеристики.*

*В ходе эксперимента разработана методика динамических безмоторных испытаний топливной аппаратуры, обеспечивающая совмещённое исследование динамических параметров процессов впрыскивания топлива, частичных режимов и характеристик топливной аппаратуры.*

*Параметры топливной аппаратуры, полученные в ходе экспериментального исследования позволяют оперативно получать нагрузочную характеристику, путем ступенчатого перемещения рейки топливного насоса высокого давления, одновременно обеспечивая исследование переходных процессов в задаваемом диапазоне перемещения рейки.*

*Методика динамических безмоторных испытаний обеспечивает заданный комплекс параметров при работе по различным характеристикам. Наиболее актуальными среди них являются современные нормы экологичности и экономичности.*

*Разработано и реализовано программно-аппаратное обеспечение, выполняющее функции управления режимами испытаний, запись, обработку данных и оформление результатов эксперимента. Измерительная часть системы укомплектована датчиками, которая была создана на кафедре Судовых энергетических установок Национального университета «Одесская морская академия».*

*Реализован электромеханический комплекс с компьютерным программным управлением для задания режимов испытаний.*

*Испытательный комплекс прошёл наладку, доводку и используется в текущей исследовательской работе кафедры Судовые энергетических установок.*

**Ключевые слова:** экспериментальное исследование, методика безмоторных испытаний, динамические безмоторные испытания, переходные процессы, ступенчатое перемещение, рейка топливного насоса высокого давления, программно-аппаратное обеспечение.

**DOI: 10.33815/2313-4763.2019.1.20.109-121**

**Постановка проблемы.** Переменные режимы судовых дизелей являются неотъемлемой и весьма существенной частью их эксплуатационного периода [1, 2, 3, 4], а потому в значительной степени определяют эксплуатационные характеристики судовых энергетических установок в целом.

Для обеспечения принятых норм и показателей в области дизелестроения предусматриваются исследования в следующих основных направлениях [5]:

- совершенствование конструкции двигателей (оптимизация процесса топливоподачи);
- учет эксплуатационных факторов (оптимизация режимов работы двигателей);
- применение нетрадиционных топлив.

Научно исследовательские работы в области улучшения систем впрыскивания направлены на:

- повышение точности дозирования цикловой подачи топлива [6, 7];
- оптимизацию процесса сгорания на всех эксплуатационных режимах, в том числе при пуске, холостом ходе, разгоне и выбеге [8, 9];
- обеспечение оптимальной экономичности [10], экологичности [11] и эксплуатационной надежности [12, 13, 14].

Немаловажную роль в обеспечении всех характеристик дизелей, в том числе и на переменных режимах, играют процессы топливоподачи, что позволяет говорить об актуальности исследования в этой области.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Анализ исследовательских экспериментальных данных ранее представленных в работе [15], что основополагающим фактором влияющим на протекание скоростной характеристики системы топливоподачи, является начальное давление. Дальнейшие исследования указывают на то, что в условиях безмоторного стенда возможно построение скоростной характеристики в условиях одного опыта. Данный результат послужил основанием для подготовки и проведения аналогичного эксперимента с целью построения нагрузочной характеристики.

При разработке систем топливоподачи дизелей выполняются требования нормативных документов [16, 17, 18] к конструктивным решениям и технико-экономическим показателям. Одновременно проводятся исследования, направленные на развитие средств и процессов топливоподачи. При этом рассматриваются как установившиеся, так и переменные эксплуатационные режимы.

Комплексный подход с учётом экономических и экологических показателей использован авторами работы [19] при решении задачи оптимизации топливной аппаратуры.

В результате выполненного аналитического обзора предлагаются следующие решения поставленной задачи:

- оптимизация управления топливной аппаратурой для каждого режима двигателя;
- применение многофазного впрыска для снижения шума, дожигания органических компонентов и обеспечения работы нейтрализатора;
- гибкое управление углом опережения впрыска в зависимости от режима работы дизеля;
- максимально возможное снижение неравномерности подачи топлива по цилиндрам;
- самодиагностика топливной системы.

При разработке средств, обеспечивающих снижение токсичности отработавших газов дизелей на переходных режимах, основное внимание уделили изменению угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) В работе [20] рассмотрены различные технические решения по реализации переменных значений УОВТ. Выделены три группы таких устройств:

- приставки к топливному насосу высокого давления (ТНВД) (муфты опережения впрыскивания топлива);
- элементы, встроенные в ТНВД;
- электронно-управляемые форсунки и насос-форсунки.

Представленный обзор работ по исследованию переходных режимов дизелей характеризует значительное влияние на их развитие параметров топливоподачи. Так, установлено, что существенными факторами являются угол опережения впрыскивания и начальное давление топлива.

Вместе с тем, полученные данные не содержат информации о протекании процессов и существенных параметрах впрыскивания топлива. Публикуемые в данной работе материалы представляют результаты исследований в указанном направлении.

**Цель статьи.** Целью исследования является создание методики динамических безмоторных испытаний топливной аппаратуры, среднеоборотного дизеля при переменном положении рейки топливного насоса высокого давления для соответствующих режимов нагрузочной характеристики.

**Объектом исследования** в данной работе являются гидродинамические процессы в топливной системе высокого давления судового среднеоборотного дизельного двигателя на переменных режимах.

**Изложение основного материала.** Для изучения процессов впрыскивания топлива на переменных и частичных режимах на кафедре судовых энергетических установок (СЭУ) Национального университета «Одесская морская академия» (НУ «ОМА») разработана методика динамических испытаний, создан аппаратно-программный комплекс с целью управления режимами работы ТА и регистрации процессов топливоподачи. Создан также электромеханический модуль в качестве исполнительного блока для пакета управления режимами нагрузочной характеристики.

Базовым оборудованием являлся безмоторный стенд, укомплектованный системой впрыскивания топлива судового среднеоборотного дизеля ЧН25/34. Привод кулачкового вала стенда осуществляется электродвигателем постоянного тока с бесступенчатым регулированием частоты вращения. Собственно приводом ТНВД является фрагмент штатного распределительного вала двигателя.

Для регистрации процессов впрыскивания в различных элементах топливной аппаратуры использованы датчики высокого, среднего давления. Датчики унифицированы и отличаются лишь размерами деформируемого элемента. Деформация воспринимается проволочными тензометрическими решётками.

Измерение линейных и угловых перемещений осуществляется с помощью индуктивных и фотодатчиков.

Все датчики разработаны и изготовлены на кафедре СЭУ.

В соответствии с характеристиками измерительных преобразователей (датчиками) разрабатывались электронные модули измерительной системы. При этом создаваемая тензостанция проектировалась совместно с программным обеспечением для персонального компьютера. Последний являлся блоком индикации, записи данных и управления работой испытательного комплекса.

Исследуемая топливная система высокого и низкого давления судового среднеоборотного дизеля 6ЧН25/34 имела традиционные характеристики:

- форсунка закрытого типа с распылителем 9x0,35 мм;
- золотниковый ТНВД, диаметр и ход плунжера, которого составляет 16 мм;
- топливный трубопровод высокого давления длиной 0,9 м с диаметром 9 мм и 3 мм (наружный и внутренний, соответственно).

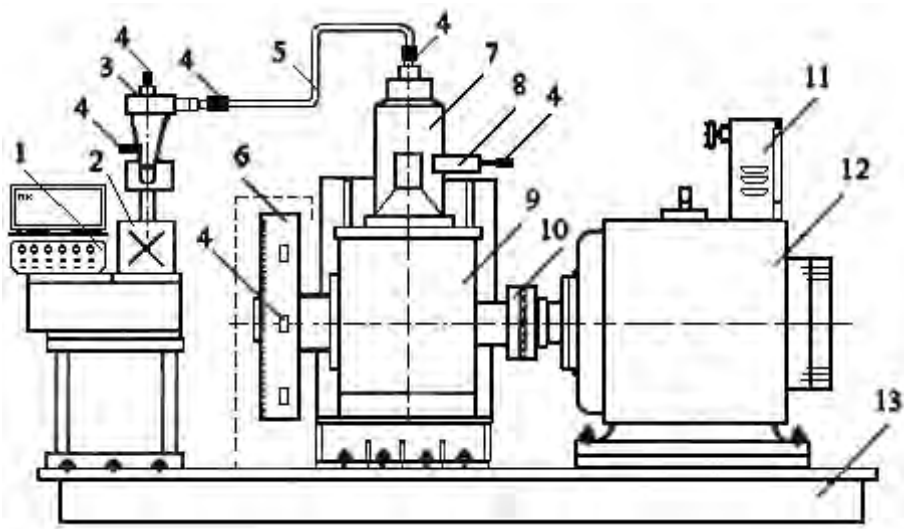


Рисунок 1 – Схема безмоторного стенда:

1 – тензостанция; 2 – емкость; 3 – форсунка; 4 – датчики давления и перемещения; 5 – топливопровод; 6 – маховик; 7 – ТНВД; 8 – привод для перемещения рейки ТНВД; 9 – привод ТНВД; 10 – соединительная муфта; 11 – станция управления электродвигателем; 12 – электродвигатель; 13 – рама безмоторного стенда

На рис. 1 представлена схема стенда [21, 22]. Стенд состоит из рамы 13 на которую установлен электродвигатель 12 со станцией управления 11. Через муфту 10

электродвигатель соединен с приводом ТНВД 9 и маховиком 6, на который устанавливается испытываемый ТНВД 7. Для перемещения рейки ТНВД установлен привод 8, который подключен к программно-аппаратному комплексу управления положением рейки ТНВД. Топливопровод 5 соединяет ТНВД и форсунку 3, впрыскиваемое в приёмник форсункой топливо сливается в емкость 2. Исследуемая топливная система высокого давления дополнительно оборудуется датчиками давления и перемещения 4. В качестве базовых датчиков рассматривались тензометрические преобразователи давления и индуктивные датчики перемещения.

Датчики подключены к тензостанции 1, которая обеспечивает их питанием, принимает и преобразует в цифровой код информацию с выводом данных на персональный компьютер (ПК) для последующей обработки и записи.

Размещение элементов системы топливоподачи и датчиков на стенде показано на рис. 2.

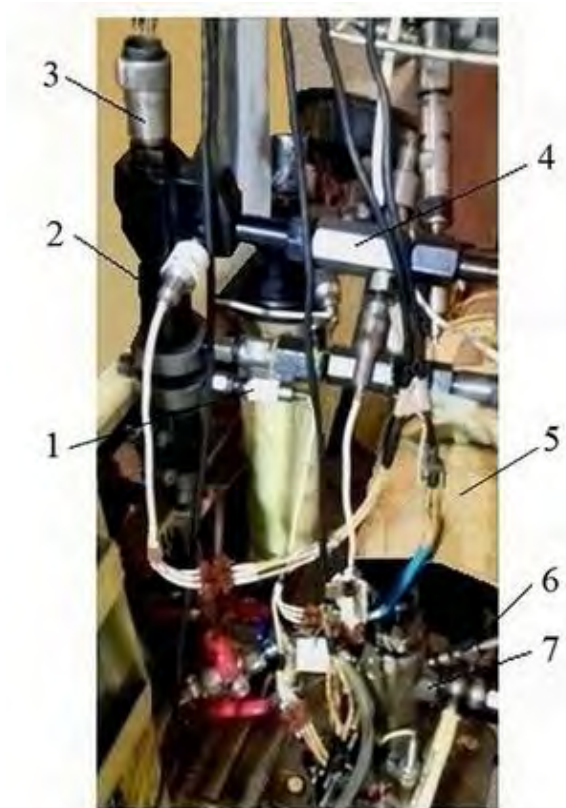


Рисунок 2 – Общий вид топливной аппаратуры дизеля 6ЧН 25/34 с датчиками на безмоторном стенде:

1 – датчик давления в канале форсунки  $p_{ф.к}$ ; 2 – форсунка; 3 – датчик хода иглы форсунки  $z$ ; 4 – датчик давление на входе в форсунку  $p_{ф.вх}$ ; 5 – электродвигатель; 6 – датчик давления в насосе  $p_n$ ; 7 – ТНВД

Безмоторный стенд был оборудован тензометрическими датчиками давления и индуктивными датчиками перемещения.

Указанный стенд, способен обеспечивать бесступенчатое изменение частоты вращения, а также другие режимные и регулировочные параметры, для чего был оборудован измерительной и управляющей системами в составе:

- программно-аппаратным измерительным комплексом (тензостанцией);
- программно-аппаратный и электромеханическим комплексом управления положением рейки ТНВД.

Измерительная система, объединённая общим названием «тензостанция» (ТС), включает в себя следующие функциональные блоки, представленные на рис. 3:

- персональный компьютер (ПК);

- измерительная установка типа LTR-U-1;
- блок коммутации и усилителей;
- комплект программного обеспечения.

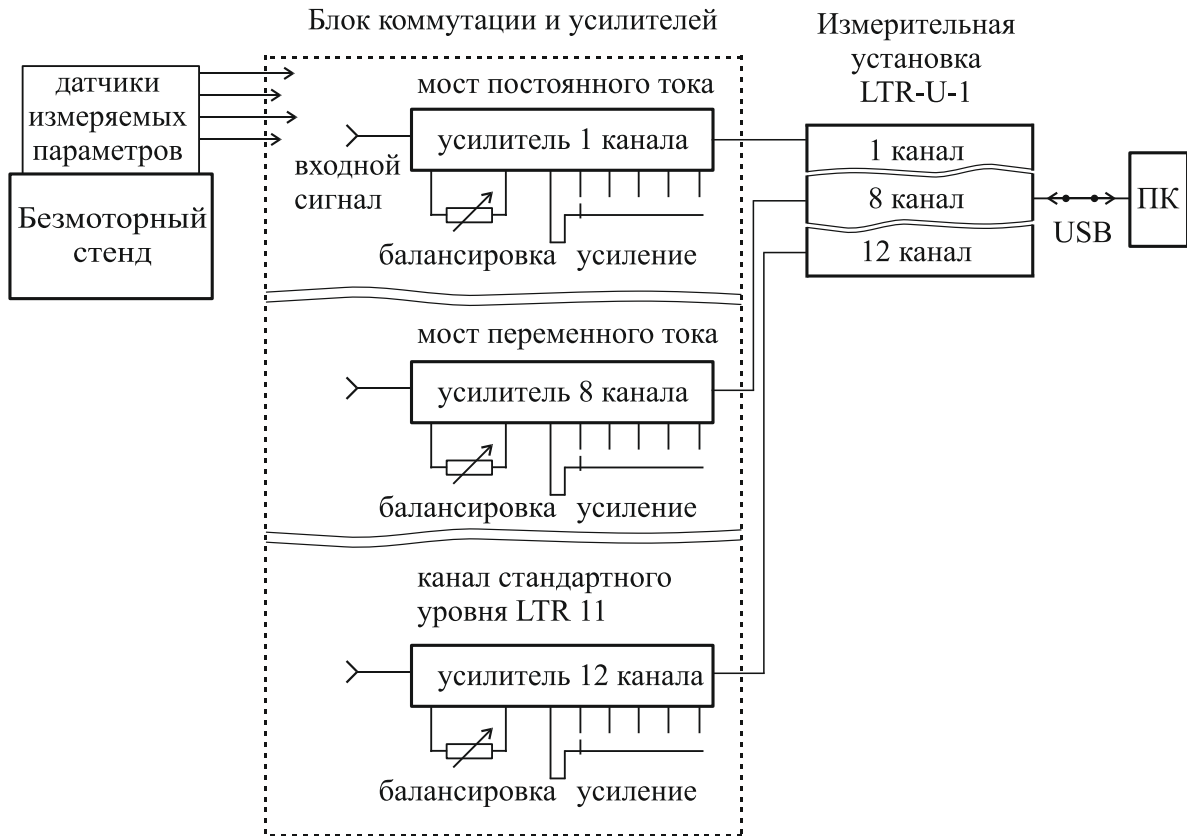


Рисунок 3 – Функциональная схема тензостанции

Для обеспечения работы измерительной установки LTR-U-1, входящей в состав тензостанции, был разработан блок коммутации и усилителей. Данный блок предназначен для обеспечения питания и усиления сигналов от тензодатчиков, включенных по полумостовой схеме и датчиков общего назначения (датчики вращения, фото датчик и т. д.).

ТС обеспечивает регистрацию следующих параметров процесса впрыскивания и рабочих устройств стенда:

- давления топлива;
- перемещения рабочих элементов и углов поворота вращающихся деталей;
- различного рода сигналов в диапазоне  $\pm 10$  В.

Управление ТС обеспечивается посредством совместной работы двух программ:

- LTRServer, организующей прием данных и передачу команд ПК к измерительной установке LTR-U-1 через интерфейс USB;
- пакета LGraph, адаптированного к условиям использования в составе ТС, позволяющего визуально настраивать некоторые параметры ТС, а также отображать на экране процессы настройки, приема и записи данных.

Кроме того для безмоторного стенда разработан программно-аппаратный комплекс управления положением рейки ТНВД. Функциональная схема комплекса приведена на рис. 4.

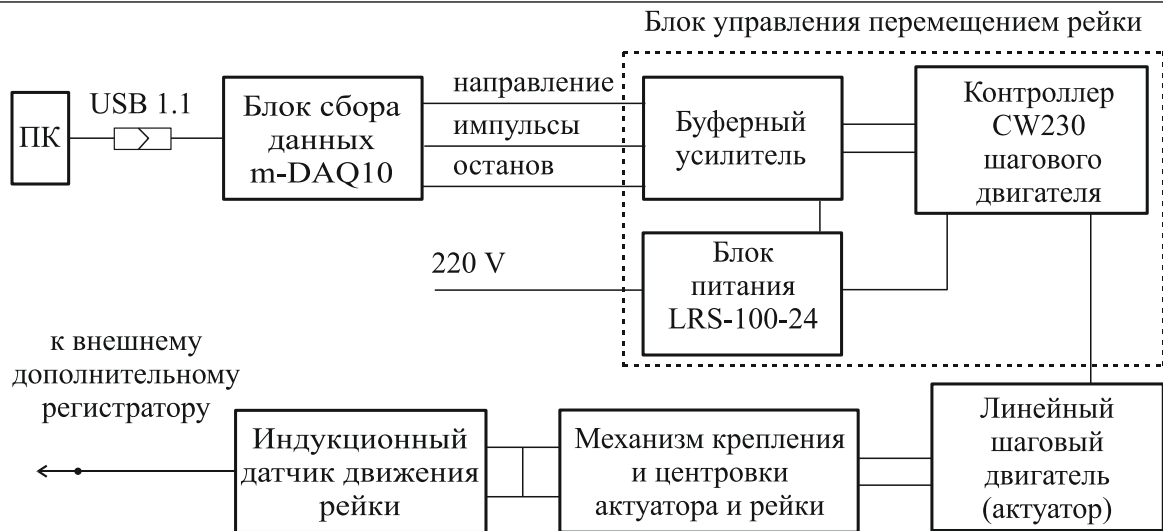


Рисунок 4 – Функциональная схема работы программно-аппаратного комплекса управления положением рейки топливного насоса высокого давления (ТНВД)

Комплекс работает под управлением программы ReikaXP2, установленной на ПК. Интерфейс программы позволяет задавать параметры циклограммы (закона движения) рейки вручную либо загрузкой из файла исходных данных, а также проверить работоспособность системы в пошаговом режиме движения рейки на малой и большой скорости.

Исполнительным устройством системы управления движения рейки является линейный шаговый двигатель (актуатор) типа SM57HT56-2804TL. Актуатор представляет собой сочетание шагового двигателя и винтовой передачи, выполненное в едином блоке. Поворот ротора двигателя на определенный угол приводит к пропорциональному линейному движению винта.

Основные характеристики актуатора:

- шаг (угол поворота)  $1,8^\circ$  (в режиме полного шага);
- шаг (один оборот винта) 8 мм;
- максимальная скорость движения вала актуатора 0,4 м/с (без нагрузки).

Общий вид устройства управления рейкой ТНВД на безмоторном стенде представлен на рис. 5, измерительный комплекс на рис. 6.

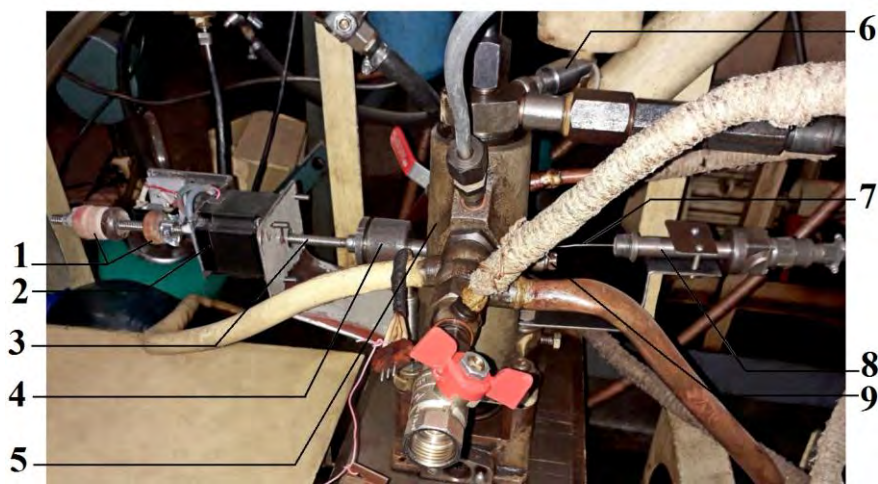


Рисунок 5 – Устройство управления рейкой топливного насоса высокого давления:

1 – диски ограничителя движения; 2 – шаговый двигатель; 3 – вал актуатора; 4 – механизм центровки; 5 – ТНВД; 6 – датчик давления в вале штуцера ТНВД; 7 – шток индуктивного датчика; 8 – индуктивный датчик движения рейки ТНВД; 9 – узел крепления штока





Рисунок 6 – Общий вид измерительного комплекса безмоторного стенда:  
 1 – модуль сбора данных m-DAQ10; 2 – системный блок персонального компьютера; 3 – модуль управления перемещением рейки (актуатором); 4 – «тензостанция» система (ТС)

Модуль сбора данных m-DAQ10 с интерфейсом USB 1.1 содержит 8 каналов аналогового-цифрового преобразования, 2 канала цифро-аналогового преобразования. Один из каналов дискретного может использоваться как вход счетчика, а другой – как вход внешнего запуска аналогового-цифрового преобразователя или синхронизации. На контактах внешнего разъема присутствуют также напряжения питания +5 В и ±15 В.

Программное обеспечение к m-DAQ10 содержит драйвер динамически подключаемой библиотеки (DLL) и примеры работы с ней, расширение файлов LLB для среды графического программирования LabVIEW и ряд виртуальных приборов – «осциллограф», «анализатор спектра», «частотомер» и «вольтметр».

Движение рейки ТНВД задавалась в файле исходных данных для управляющей программы ReikaXP2.exe. После запуска ReikaXP2.exe на экране монитора появится изображение (рабочее окно). В рабочем окне выделено четыре области рис. 7:

- первая область основная – темно-серого цвета. В ней расположены три кнопки ПУСК, ВЫХОД, ПОМОЩЬ и остальные три области;
- вторая область – циклограмма движения рейки;
- третья область – рейка;
- четвертая область – информационная строка.

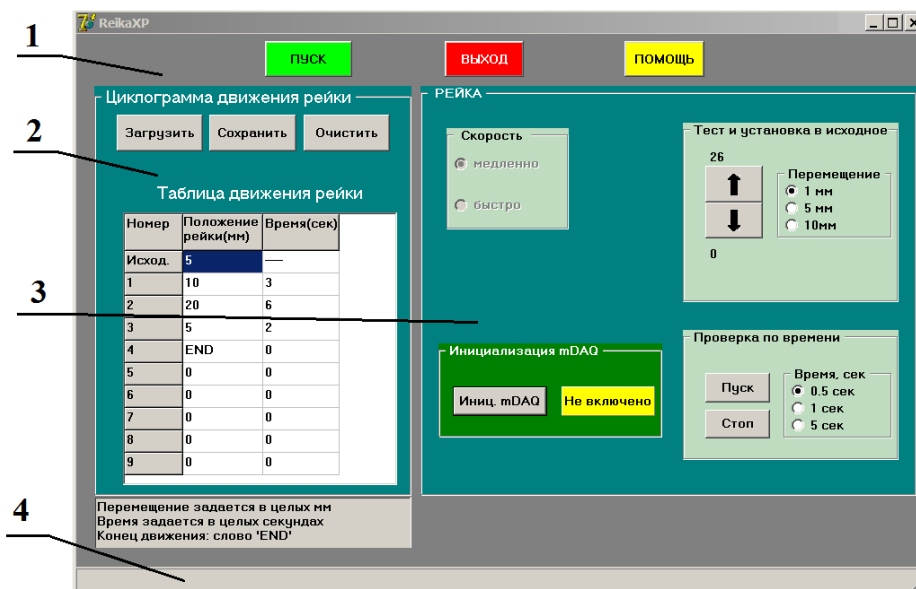


Рисунок 7 – Окно управляющей программы ReikaXP2.exe:

1 – основная область; 2 – область циклограммы движения рейки; 3 – область рейки; 4 – область информационной строки

Осциллограмма последовательных циклов проведенного экспериментального исследования представлена на рис. 8, а.

На рис. 8, б представлена нагрузочная характеристика системы топливоподачи, полученная в динамическом режиме.

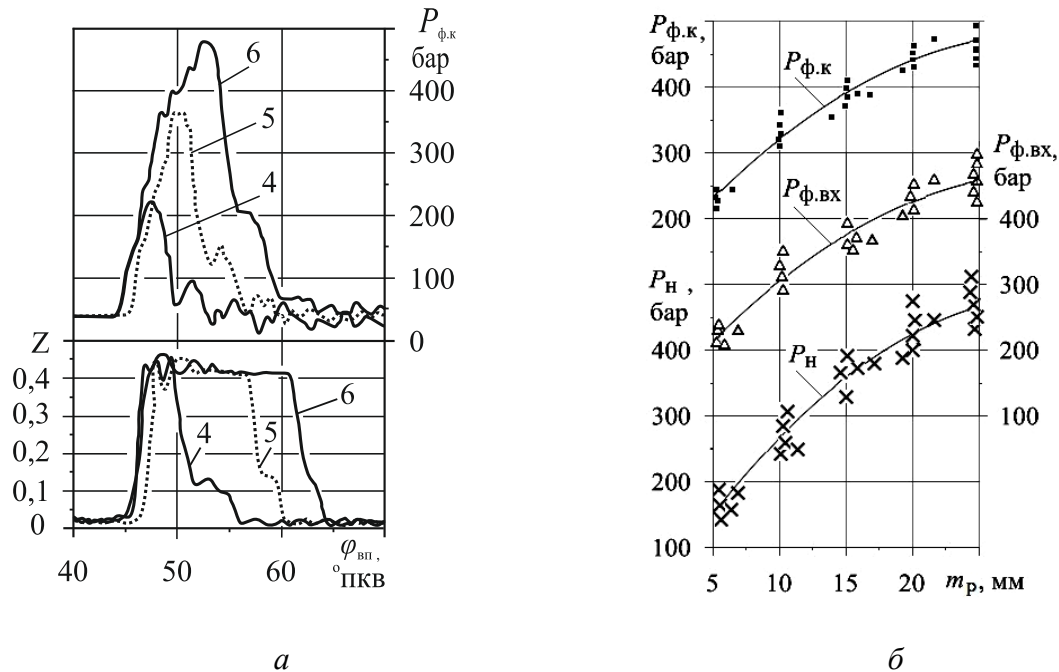


Рисунок 8 – Осциллограмма последовательных циклов и параметров топливоподачи от положения рейки ТНВД:

а – осциллограммы топливоподачи на участках нагрузочной характеристики: - - - циклы 5 – движение рейки; — циклы 4, 6 – рейка стабильна, при  $m_p=5-25$  мм.

б – Зависимость параметров топливоподачи от положения рейки топливного насоса высокого давления в динамическом режиме для  $p_{ф.к}$ ,  $p_{ф.вх}$ ,  $p_n$ .

На рис. 8, а представлены совмещенные осциллограммы давления в канале форсунки  $p_{ф.к}$  и угла впрыскивания  $\varphi_{вп}$  последовательных циклов 4, 5, 6. Рейка ТНВД находится в исходном положении, выдвинута на отметку 5 мм, частота вращения распределительного вала  $n_p$  номинальная 255 об/мин. Давление форсунки канала  $p_{ф.к}$  последнего четвертого цикла впрыскивания установившегося режима перед страгиванием рейки составило 216 бар, а угол впрыскивания  $\varphi_{вп}=10,0$  ПРВ.

Переходной режим на первом участке движения характеризуется следующими параметрами: рейка смещена на отметку 25 мм, при этом пройдено расстояние 20 мм за 0,44 с со скоростью 45,5 мм/с.

На время движения приходится 5 цикл впрыскивания. Его параметры: давление  $p_{ф.к}=364$  бар,  $\varphi_{вп}=14,0$  ПРВ. Первое же после остановки рейки впрыскивание (6 по общей нумерации циклов) имело сразу параметры установившегося режима:  $p_{ф.к}=474$  бар и  $\varphi_{вп}=19,5$  ПРВ.

Нагрузочная характеристика системы топливоподачи, полученная в динамическом режиме, представлена на рис. 8, б.

Для  $p_{ф.к}$ ,  $p_{ф.вх}$ ,  $p_n$  опытные точки сгруппированы в пяти областях, соответствующих ступеням перемещения рейки (рис. 8, б).

При минимальном выходе рейки  $m_p=5$  мм давление топлива  $p_{ф.к}$  изменяется от 216 до 222 бар при среднем значении 219 бар. Соответствующая величина  $\varphi_{вп}$  от 10 до 11°ПРВ (в среднем 10,75°ПРВ). При максимальном  $m_p=25$  мм диапазон  $p_{ф.к}$  составил 474–516 бар, в среднем 470 бар. Угол впрыскивания  $\varphi_{вп}=19,5-22$  °ПРВ, а среднее значение–20,64°ПРВ.



Анализ распределение опытных точек на графиках рис. 8, б свидетельствует о корректном представлении существующих зависимостей аппроксимируемыми кривыми. Для статистической оценки достоверности экспериментальных данных целесообразно использовать среднеквадратические отклонения параметров в абсолютных и относительных величинах, отнесенных к аппроксимирующим значениям, представленным соответствующей кривой.

Для оценки отклонения экспериментальных значений параметров топливоподачи от аппроксимирующей кривой при различных положениях рейки ТНВД (рис. 8, б) используем формулы:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (y_{\text{экс}} - y_{\text{апр}})^2}{n}},$$

$$\delta = \frac{\sigma}{y_{\text{ср}}} \cdot 100\%,$$

где  $\sigma$ ,  $\delta$  – абсолютное и относительное среднее квадратичное отклонение;  $y_{\text{экс}}$  – экспериментальные значения параметров процесса топливоподачи соответствующего участка;  $y_{\text{апр}}$  – координата аппроксимирующей кривой на соответствующем участке;  $y_{\text{ср}}$  – среднее значение параметров процесса на соответствующем участке;  $n$  – полный объем выборки.

В результате получены следующие величины: для  $p_{\text{ф.вх}}$   $\delta=2,7\%$ ; для  $p_{\text{ф.к}}$   $\delta=2,6\%$ ; для  $p_{\text{н}}$   $\delta=2,9\%$ ; для  $\varphi_{\text{вп}}$   $\delta=3\%$ .

### Выводы и предложения

1. Создана методика динамических безмоторных испытаний топливной аппаратуры, обеспечивающая совмещённое исследование динамических параметров процессов впрыскивания топлива, частичных режимов и характеристик топливной аппаратуры. К последним относятся традиционные зависимости параметров топливоподачи от положения рейки ТНВД и частоты вращения (нагрузочная и скоростная характеристики).

2. Разработано и реализовано программно-аппаратное обеспечение, выполняющее функции управления режимами испытаний, запись, обработку данных и оформление результатов эксперимента. Измерительная часть системы укомплектована датчиками, также созданными на кафедре СЭУ НУ“ОМА”.

3. Реализован электромеханический комплекс с компьютерным программным управлением для задания режимов испытаний.

4. Ряд решений программного и инженерного характера содержат положения, имеющие перспективу защиты авторских прав. По отдельным из них подана заявка на получения патентов [9].

5. Испытательный комплекс прошёл наладку, доводку и используется в текущей исследовательской работе кафедры СЭУ.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Половинка Э. М., Слободянюк Н. В. Процесс впрыскивания топлива в судовом среднеоборотном дизеле на переменных режимах. *Судовые энергетические установки*. 2016. № 36. С. 141–151.

2. Патрахальцев Н. Н., Пономарёв М. Н., Савастенко А. А. Влияние переходных процессов в топливной аппаратуре дизеля на его динамические качества. *Вестник РУДН. Серия Инженерные исследования*. 2003. № 1. С. 15–18.

3. Пономарев М. Н., Сеницын А. К., Соловьёв Д. Е. Переходные процессы в линиях высокого давления топливной аппаратуры дизеля. *Вестник РУДН. Серия Инженерные исследования*. 2003. – № 1. – С. 39–42.

4. Девянина А. С. Оценка влияния неравномерности подачи топлива на показатели дизеля. *Тракторы и сельхозмашины*. № 5. 2017. С. 5–10.
5. Нгуен Х. Х. Оценка эмиссии отработавших газов дизелей эксплуатирующийся судов смешанного (река-море) плавания. *Технические науки в России и за рубежом: материалы Международ. науч. конф.* Ваш полиграфический партнер, 2011. С. 103–110.
6. Свистула А. Е., Матиевский Г. Д., Некрасова М. А. Снижение расхода топлива путём оптимизации скоростного режима работы дизеля. *Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых*. Челябинск : Южно-Уральский государственный университет, 2016. № 1(4). С. 262–266.
7. Саенко М. М., Жигadlo А. П., Иванов А. Л. Влияние различных факторов на величину и равномерность подачи топлива в цилиндры дизеля. *Вестник СибАДИ*. 2013. № 4(32). С. 29–35.
8. Соломатин Н. С., Заморин А. Г., Зотов Е. М. Аппроксимация частичных скоростных характеристик двигателя внутреннего сгорания. *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2009. № 1(7). С. 68–71.
9. Дадиллов А. С. Исследование пусковых эксплуатационных качеств и рабочего процесса судового малоразмерного дизеля с камерой сгорания в поршне : дис. ... канд. техн. наук : 05.08.05. Астрахань, 2007. 138 с.
10. Топливные системы и экономичность дизелей / Астахов И. В., Горбунов Л. Н., Трусов В. И. и др. ; под ред. В. А. Кутова. М., 1990. 288 с.
11. Annex VI – Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships. Chapter 3 – Requirements for control of emissions from ships. Regulation 13 – Nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) / MARPOL. URL: <http://www.marpoltraining.com/MMSKOREAN/MARPOL/>
12. Надежкин А. В., Luu Quang Hieu, Голенищев А. В., Старченко М. Е. Анализ влияния физико-химических показателей дистиллятных топлив на надежность работы топливной аппаратуры. Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского. Владивосток, 2017. № 2 (2). С. 434–440.
13. Королев А. Е. Распределение отказов двигателей. *NovaUm*. Ru. 2017. № 10. С. 41–45.
14. Королев А. Е. Работоспособность топливной аппаратуры дизелей. *Дневник науки*. № 4 (28). Пермь, 2019. С. 56–72.
15. Половинка Э. М., Слободянюк Н. В. Влияние начальных условий на процесс топливоподачи среднеоборотного судового дизеля на переменных режимах. *American Scientific Journal*. 2018. № 19. Р. 51–59.
16. ГОСТ 15888-90. Аппаратура дизелей топливная. Термины и определения. М. : Изд-во стандартов, 1990. 14 с.
17. ГОСТ 10578-95. Насосы топливные дизелей. Общие технические условия. [Введ.1997.07.01]. М. : Изд-во стандартов, 1995.
18. ГОСТ 10579-88 Изд-во стандартов. Форсунки дизельные. Общие технические условия. Введ. 1990.01.01. М., 1988.
19. Обозов А. А., Субботенко Д. И., Тараканов В. В. Оптимизация процессов в топливной аппаратуре дизеля с целью улучшения его экономических и экологических характеристик. *Вестник Брянского Государственного технического университета*. 2014. № 2 (42). С. 45–51.
20. Марков В. А., Полухин Е. Е. Переходные процессы дизеля с системой регулирования угла опережения впрыскивания топлива. *Известия вузов. Машиностроение*. 2008. № 5. С. 33–65.
21. Стенд для дослідження і регулювання паливної апаратури дизелів: пат. Україна : МПК (2006) F02M 65/00. № u 2018 05581 ; заява. 21.05.2018 ; опубл. 25.02.2019, Бюл. №4. : веб-сайт. URL : <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action/>

22 Стенд для дослідження і регулювання паливної апаратури дизелів: пат. Україна : МПК (2006) F02M 65/00. № а 2018 06815 ; заява. 15.06.2018 ; кваліфікаційна експертиза 14.01.2019. веб-сайт. URL: <http://base.uipv.org/searchInvStat/showclaimdetails/>

## REFERENCES

1. Polovynka, E. M., Slobodianiuk, N. V. (2016). Protsess vpryskyvaniya toplyva v sudovom sredneoborotnom dyzele na peremennykh rezhymakh. *Sudovye enerhetycheskiye ustanovky*, 36, 141–151.
2. Patrakhaltsev, N. N., Ponomarev, M. N., Savastenko, A. A. (2003). Vliyaniye perekhodnykh protsessov v toplyvnoi apparature dyzelia na ego dynamycheskiye kachestva. *Vestnyk RUDN, ser. Ynzhenernyye yssledovaniya*, 1, 15–18.
3. Ponomarev, M. N., Synytsyn, A. K., Solovëv, D. E. (2003). Perekhodnyye protsessy v lynyakh vysokogo davleniya toplyvnoi apparatury dyzelia. *Vestnyk RUDN, ser. Ynzhenernyye yssledovaniya*, 20, 39–42.
4. Devianyna, A. S. (2017). Otsenka vliyaniya neravnomernosty podachy toplyva na pokazately dyzelia. *Traktory y selkhoz mashyny*, 5, 5–10.
5. Nhuen, Kh. Kh. (2011). Otsenka emyssyy otrabotavshykh hazov dyzelei ekspluatyruyushchysia sudov smeshannogo (reka-more) plavaniya. *Tekhnicheskiye nauky v Rossyy y za rubezhom: materyaly Mezhdunar. nauch. konf. Moskva : Vash polyhrafycheskiy partner*, 103–110.
6. Svystula, A. E., Matyevskiy, H. D., Nekrasova, M. A. (2016). Snyzhenye raskhoda toplyva putëm optymyzatsyy skorostnoho rezhyma raboty dyzelia. *Enerho - y resursoberezhnyye v teploenerhetyke y sotsyalnoi sfere: materyaly mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsyy studentov, aspirantov, uchennykh. Yuzhno-Uralskiy gosudarstvennii unyversytet*, 1(4), 262–266.
7. Saenko, M. M., Zhyhadlo, A. P., Yvanov, A. L. (2013). Vliyaniye razlychnykh faktorov na velychynu y ravnomernost podachy toplyva v tsylindry dyzelia. *Vestnyk SybADY*, 4(32), 29–35.
8. Solomatyn, N. S., Zamoryn, A. H., Zotov, E. M. (2009). Approksymatsiya chastychnykh skorostnykh kharakterystyk dvyhatelia vnutrenneho shoraniya. *Yzvestiya MHTU «MAMY»*, 1(7), 68–71.
9. Dadylov, A. S. (2007). Yssledovaniye puskovykh ekspluatatsyonnykh kachestv y rabocheho protsessa sudovoho malorazmernogo dyzelia s kameroi shoraniya v porshne. *Kandydatskiye tezysy. Astrakhan*.
10. Astakhov Y. V., Horbunov L. N., Trusov V. Y., Khachyian A. S., Riabkyn L. M. (1990). *Toplyvnyye systemy y ekonomychnost dyzelei*. V. A. Kutova. (Ed). Moskva.
11. Annex VI – Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships. Chapter 3 – Requirements for control of emissions from ships. Regulation 13 – Nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>). *MARPOL*. Retrieved from [http://www.marpoltraining.com/MMSKOREAN/MARPOL/Annex\\_VI/r13.htm](http://www.marpoltraining.com/MMSKOREAN/MARPOL/Annex_VI/r13.htm)
12. Nadezhkyn, A. V., Luu Quang Hieu, Holenyshchev, A. V., Starchenko, M. E. (2017). Analyz vliyaniya fizyko-khymycheskykh pokazatelei dystylliatnykh toplyv na nadezhnost raboty toplyvnoi apparatury. *Morskoj gosudarstvennii unyversytet imeny admirala H. Y. Nevelskoh*, 2(2). 434–440.
13. Korolev, A. E. (2017). Raspredelenye otkazov dvyhatelei. *NovaUm. Ru*, 10, 41–45.
14. Korolev, A. E. (2019). Rabotosposobnost toplyvnoi apparatury dyzelei. *Dnevnyk nauky*, 4(28), 56–72.
15. Polovynka, E. M., Slobodianiuk, N. V. (2018). Vliyaniye nachalnikh uslovyi na protsess toplyvopodachy sredneoborotnoho sudovoho dyzelia na peremennykh rezhymakh. *American Scientific Journal*, 19, 51–59.
16. *Apparatura dyzelei, toplyvnaia. Termyny y opredeleniya*. (1990). *HOST 15888-90 Yzd-vo standartov*. Moscow.

17. *Nasosi toplyvnie dyzelei. Obshchye tekhnicheskoye usloviya.* (1997). *HOST 10578-95 Yzd-vo standartov.* Moscow.
18. *Forsunky dyzelnie. Obshchye tekhnicheskoye usloviya.* (1990). *HOST 10579-88 Yzd-vo standartov.* Moscow.
19. Obozov, A. A., Subbotenko, D. Y., Tarakanov, V. V. (2014). *Optymyzatsiya protsessov v toplyvnoi apparature dyzelia s tseliu uluchsheniya eho ekonomicheskikh y ekologicheskikh kharakterystyk. Vestnyk Brianskoho Hosudarstvennogo tekhnicheskoho unyversyteta, 42, 45–51.*
20. Markov, V. A., Polukhyn, E. E. (2008). *Perekhodnye protsessy dyzelia s systemoi rehelyrovaniya uhla operezheniya vpryskivaniya toplyva. Yzvestiya vuzov Mashynostroeniye, 5, 33–65.*
21. *Stend dlia doslidzhennia i rehuliuvaniia palyvnoi aparatury dyzeliv:* pat. Ukraina : MPK (2006) F02M 65/00. № u 2018 05581 ; zaiava. 21.05.2018 ; opubl. 25.02.2019, Biul. № 4. Retrieved from <http://base.uipv.org/searchInvStat/showclaimdetails.php?IdClaim=308776&resId=1>
22. *Stend dlia doslidzhennia i rehuliuvaniia palyvnoi aparatury dyzeliv:* pat. Ukraina : MPK (2006) F02M 65/00. № a 2018 06815 ; zaiava. 15.06.2018 ; kvalifikatsiina ekspertyza 14.01.2019, Retrieved from <http://base.uipv.org/searchInvStat/showclaimdetails/>

**Половинка Е.М. Слободянюк М.В. ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДИНАМІЧНИХ БЕЗМОТОРНИХ ВИПРОБУВАНЬ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ДИЗЕЛІВ**

*У статті розглянуто результати експериментального дослідження паливної апаратури високого тиску середньооборотного двигуна в ході зміни положення рейки паливного насоса високого тиску на відповідних режимах навантажувальної характеристики.*

*В ході експерименту розроблена методика динамічних випробувань паливної апаратури, що забезпечує поєднане дослідження динамічних параметрів процесів впорскування палива, часткових режимів і характеристик паливної апаратури.*

*Параметри паливної апаратури, отримані в ході експериментального дослідження дозволяють оперативно отримувати навантажувальну характеристику шляхом ступеневої переміщення рейки паливного насоса високого тиску, одночасно забезпечуючи дослідження перехідних процесів в заданому діапазоні переміщення рейки.*

*Методика динамічних безмоторних випробувань забезпечує заданий комплекс параметрів при роботі за різними характеристиками. Найактуальнішими серед них є сучасні норми екологічності та економічності.*

*Розроблено та реалізовано програмно-апаратне забезпечення, яке виконує функції управління режимами випробувань, запис, обробку даних і оформлення результатів експерименту. Вимірювальна частина системи укомплектована датчиками, які були створені на кафедрі суднових енергетичних установок Національного університету «Одеська морська академія».*

*Реалізовано електромеханічний комплекс з комп'ютерним програмним управлінням для завдання режимів випробувань.*

*Випробувальний комплекс пройшов наладку, доведення і використовується в поточній дослідницькій роботі кафедри Суднові енергетичних установок.*

**Ключові слова:** експериментальне дослідження, методика безмоторних випробувань, динамічні безмоторні випробування, перехідні процеси, ступеневі переміщення, рейка паливного насоса високого тиску, програмно-апаратне забезпечення.

**Polovinka E., Slobodyaniuk N. SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR DYNAMIC MOTORLESS TESTS OF DIESEL ENGINE FUEL EQUIPMENT**

*The object of the study of this article is hydrodynamic processes in the high-pressure fuel system of the ship's medium-speed diesel engine in variable conditions. The aim of the study is to create a method of dynamic motorless testing of medium-speed diesel engine fuel equipment with a variable position of high-pressure fuel pump rail under corresponding modes of load characteristics. The article discusses the results of an experimental study of high-pressure fuel equipment of a medium-speed engine when repositioning the high-pressure fuel pump rail in the corresponding modes of load characteristic and studies the processes of fuel injection in variable and partial modes at the department of ship power plants. The National University "Odessa Maritime Academy" has developed a dynamic test method, created a hardware-software complex for the purpose of controlling fuel equipment operation modes and keeping of fuel supply processes records. Also, an electromechanical module has been created as an actuator for a package of control of load*

*characteristic modes. The basic equipment was the motorless stand equipped with a fuel injection system for a ship's medium-speed diesel engine ChN25/34. The cam shaft driving gear of the stand is carried out by a direct current motor with an infinitely adjustable speed.*

*The parameters of the fuel equipment obtained while conducting experimental study, allow to obtain the load characteristics quickly at stepwise movement of high-pressure fuel pump rail, while at the same time ensuring the study of transients in the specified range of the rail movement. The technique of dynamic motorless tests provides a given set of parameters when working with various characteristics. The most relevant among them are modern standards of environmental friendliness and efficiency. Designed and implemented software and hardware that performs the functions of managing test modes, recording, data processing and registration of experimental results. An electromechanical complex with computer program control for setting test modes was implemented. The test complex has been adjusted and refined and has been used in the current research work of the Department of Ship Power Plants.*

**Keywords:** *experimental research, method of motorless testing, dynamic motorless testing, transient processes, stepwise movement, rail of high pressure fuel pump, software and hardware.*

© Половинка Е.М. Слободянюк М.В.

Статтю прийнято  
до редакції 03.06.19