

Таврійський державний агротехнологічний університет  
Міністерства освіти і науки України

Таврійський державний агротехнологічний університет  
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Кушлик Руслан Романович

УДК 662.756.3:620.178.2

### **ДИСЕРТАЦІЯ**

Обґрунтування параметрів електротехнологічного комплексу для покращення  
функціональних властивостей біопального

05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи  
14 – електрична інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

\_\_\_\_\_ Р. Р. Кушлик

Науковий керівник: Назаренко Ігор Петрович, доктор технічних наук,  
професор

Мелітополь – 2018

## АНОТАЦІЯ

*Кушлик Р.Р.* Обґрунтування параметрів електротехнологічного комплексу для покращення функціональних властивостей біопального. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи» (141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка). – Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, 2018.

Зміст анотації.

У дисертаційній роботі обґрунтовано актуальність теми, викладено зв'язок роботи з науковими програмами, сформульовані мета, завдання, об'єкт, предмет та методи досліджень, подана загальна характеристика дисертації, яка виносяться на захист.

Проведено аналіз основних причин заміни світлих нафтопродуктів на біопальне, а також проведено аналіз існуючих пристроїв для обробки мінерально-рослинних палив.

Обґрунтовано параметри ультразвукового поля. На рис.1 приведено електроакустичну систему для обробки сумішевого біопального, а на рис. 2. еквівалентну схему заміщення електроакустичного перетворювача.

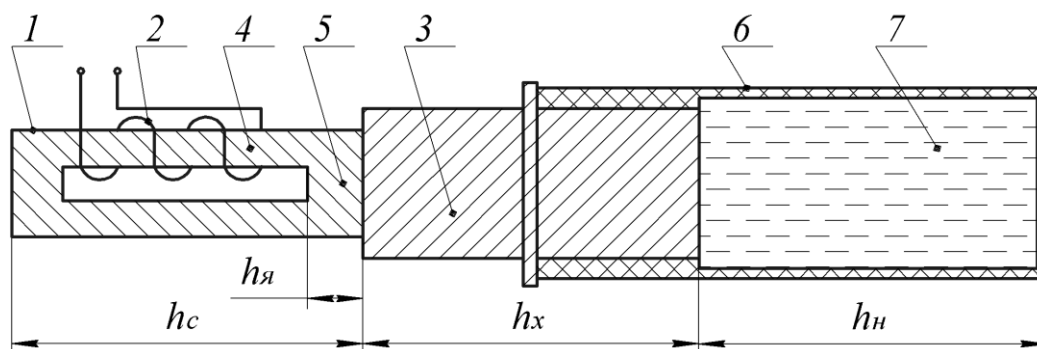


Рис. 1. Електроакустична система для обробки сумішевого біопального: 1 – пакет пластин; 2 – обмотка збудження і підмагнічування; 3 – хвилевод; 4 – активні стрижні пакету; 5 – ярмо пакету; 6 – камера обробки; 7 – біопальне

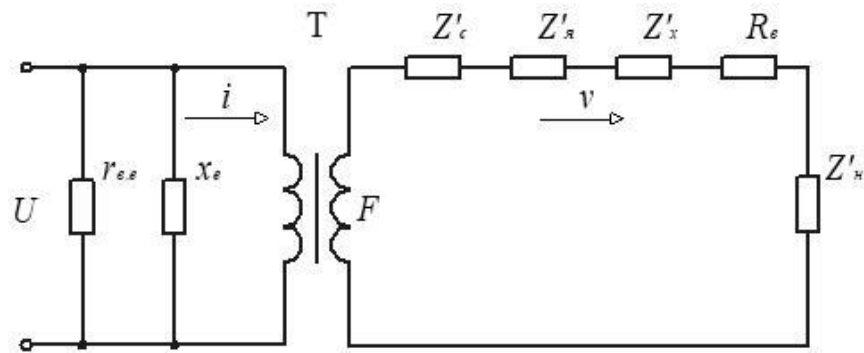


Рис. 2. Еквівалентна схема заміщення електроакустичного перетворювача

Еквівалентна схема заміщення включає електромеханічний трансформатор  $T$  на електричній стороні якого враховано індуктивний опір обмотки збудження  $x_e$  та опір електричних втрат  $r_{e,e}$ . На механічній стороні послідовно з'єднані акустичні опори активних стрижнів пакету  $Z'_c$ , ярма пакету  $Z'_я$ , хвилеводу  $Z'_x$ , навантаження  $Z'_н$  та опір механічних втрат  $R_e$ , що приведені до активних стрижнів пакету.

На рис.3 представлені залежності потужності від частоти ультразвуку, які підтвердили, що максимальна потужність відповідає частоті 22,8 кГц. Відхилення частоти від резонансної на  $\pm 100$ Гц приводить до відхилення потужності на 10%. Тому необхідно підтримувати частоту ультразвуку з точністю не менше 0,5%.

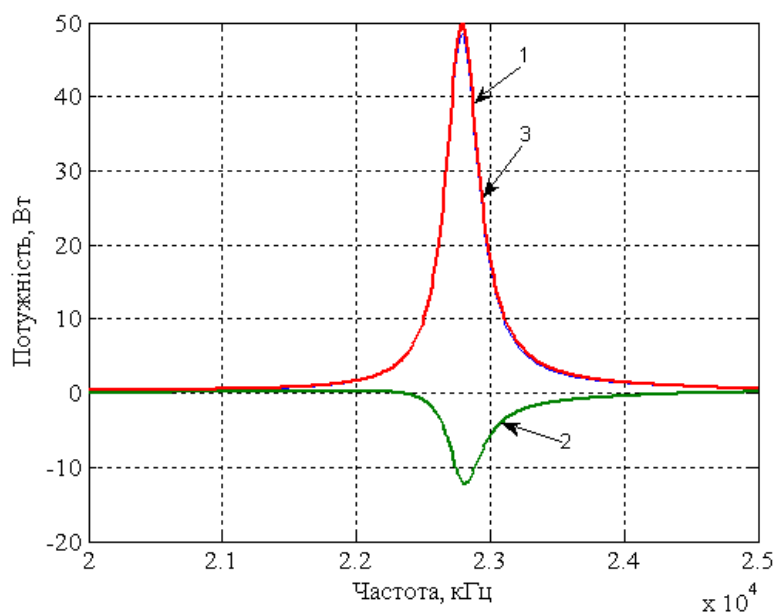


Рис. 3. Залежність електричної потужності в шарі навантаження від частоти ультразвуку при напрузі 145,4 В та механо–акустичному к.к.д.=50%: 1 – активна потужність; 2 – реактивна потужність; 3 – повна потужність

Приведена програма, методика і експериментальна установка для досліджень. Методика визначення в'язкості і густини дизельного пального (ДП), метилового ефіру ріпакової олії (МЕРО) і їх сумішей полягала в наступному: зразки сумішей готували із ДП і МЕРО у процентному відношенні: 90 % ДП + 10 % МЕРО (суміш 1), 80 % ДП + 20 % МЕРО (суміш 2), 70 % ДП + 30 % МЕРО (суміш 3), 60 % ДП + 40 % МЕРО (суміш 4), 50 % ДП + 50 % МЕРО (суміш 5). За допомогою віскозиметра ВПЖ–4 і ареометра з п'ятикратною повторністю при температурі 20°C визначали в'язкість і густину ДП, МЕРО і їх сумішей. Для термостатування зразків використовували водяний термостат УН–8.

Наступний етап включав в себе обробку приготовлених проб в ультразвуковому і НВЧ електромагнітному полі і механічному гомогенізаторі, а також сумісну обробку проб в ультразвуковому і НВЧ полі. На рис. 4 представлені залежності в'язкості від часу спостереження після обробки пального протягом 5 хв. ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем.

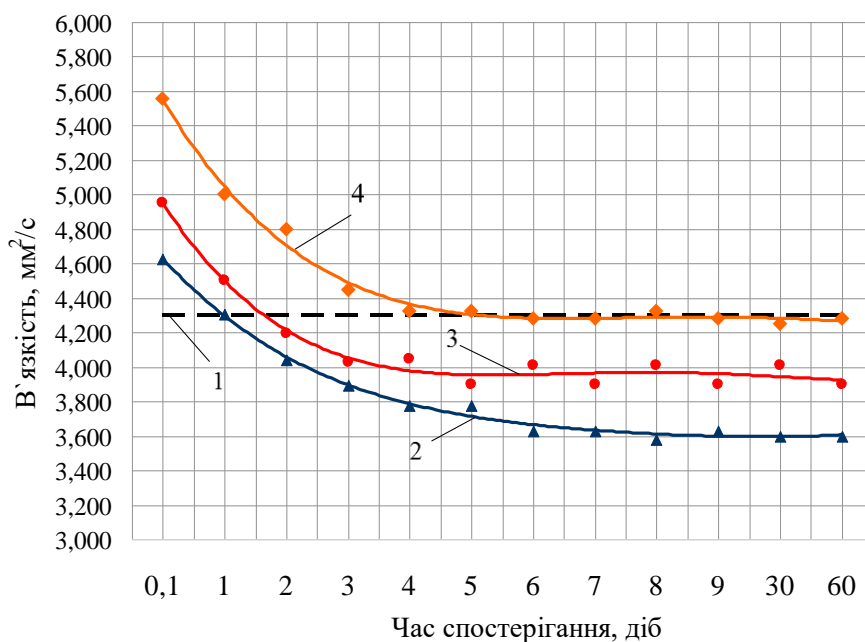


Рис. 4. Залежності в'язкості сумішевого біопального від часу спостереження після обробки пального ультразвуком і НВЧ полем протягом 5 хв: 1 – ДП; 2, 3, 4 – суміші 10, 20 і 30% МЕРО в дизельному пальному відповідно

Після обробки експериментальних даних були розраховані і визначені технологічні параметри: значення резонансної частоти УЗ коливань системи повинна бути 22,8 кГц; інтенсивність ультразвуку – 5 Вт/см<sup>2</sup>; потужність ультразвуку в камері – 45 Вт; потужність НВЧ електромагнітного поля – 100 Вт із скважністю роботи 35%; час обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем – 5хв при масі біопального – 600 мл.

Розроблено технічні вимоги до електротехнологічного комплексу, схеми електричну функційну і принципову електротехнологічного комплексу, схему електричну принципову ультразвукового генератора. На рис. 5 представлена схема електрична функційна електротехнологічного комплексу.

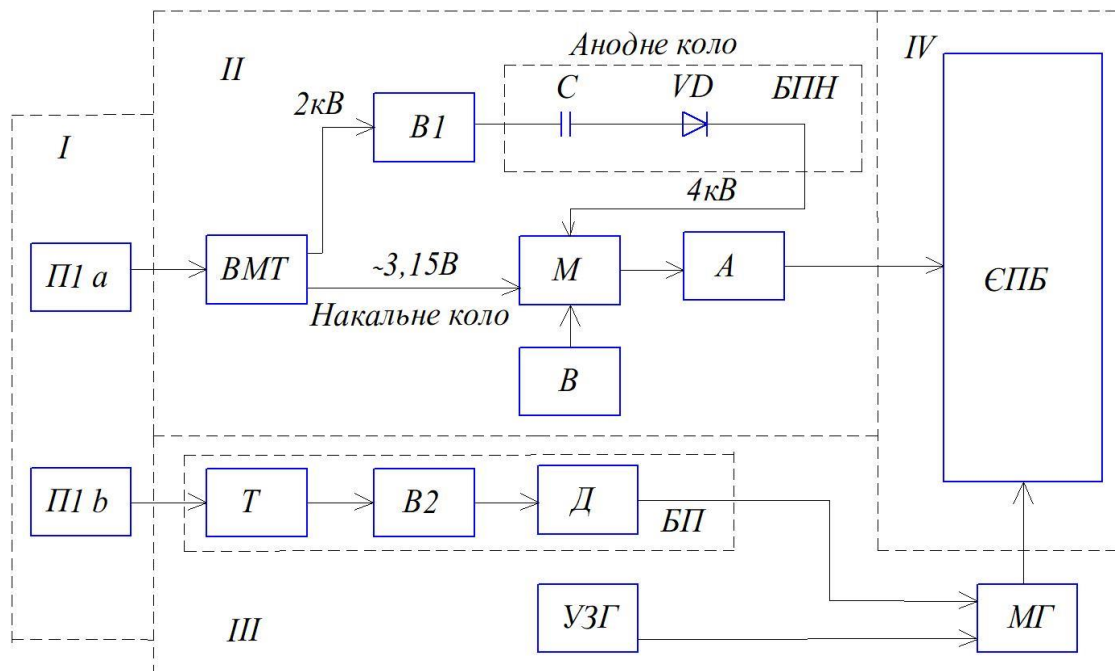


Рис.5. Схема електрична функційна електротехнологічного комплексу:

I – блок перемикачів режиму роботи; II – НВЧ блок; III – ультразвуковий блок; IV – НВЧ камера для обробки біопального; П1а,б – перемикач режимів роботи; ВМТ – високовольтний мережевий трансформатор; В1 – випрямляч; С – високовольтний конденсатор; VD – високовольтний діод; БПН – блок подвоєння напруги; М – магнетрон; А – антена; В – вентилятор; Т – трансформатор; В2 – випрямляч; Д – дросель; БП – блок підмагнічування; УЗГ – ультразвуковий генератор; МГ – магніостриктор; ЄПБ – ємність для обробки біопального.

Було виготовлено електротехнологічний комплекс і проведено його випробування в фермерському господарстві «Каріна» Веселівського району Запорізької області і ТОВ «Укргарден» Мелітопольського району Запорізької області.

Згідно з даними випробувань впровадження електротехнологічного комплексу дозволить зменшити годинні витрати біопального В20 обробленого в електротехнологічному комплексі на 9,5% по відношенню до необробленого біопального В20; зменшити грошові затрати на один трактор МТЗ–82 при його роботі на біопальному В20 протягом 1200 мото-годин обробленого в електротехнологічному комплексі на 40188 грн. в рік по відношенню до необробленого біопального В20. Термін окупності електротехнологічного комплексу склав 0,4 роки.

*Ключеві слова:* ультразвук, електромагнітна обробка, дизельне пальне, метиловий ефір ріпакової олії, в'язкість

### **Праці в яких опубліковані основні наукові результати дисертації**

1. Кушлик Р.Р. Аналіз видів біопалив для сільськогосподарської техніки. [Текст] / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип.15 том 2 Мелітополь, ТДАТУ, 2015 р. с. 242–248.

2. Кушлик Р.Р. Установки та пристрої для виробництва ріпако–метилового ефіру та сумішевого біопалива [Текст] / Р.Р.Кушлик, І.П.Назаренко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, ТДАТУ, 2015 р. Вип. 15 том 3 с. 310–317.

3. Кушлик Р.Р. Альтернативне паливо для сільськогосподарської техніки [Текст] / Р.Р.Кушлик // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 164 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2015. – 169–170 с.

4. Назаренко, І.П. Покращення якості сумішевого біодизеля шляхом обробки його акустичним полем [Текст] / І.П. Назаренко, Р.Р. Кушлик, Р.В Кушлик –

Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Випуск 6, Том 1. Електронне наукове фахове видання. – Мелітополь, ТДАТУ, 2016 р. с. 164–171.

5. Назаренко, І.П. Експериментальні дослідження впливу ультразвукових і СВЧ хвиль на в'язкість і густину сумішевого біодизеля [Текст] / І.П.Назаренко, Р.Р. Кушлик // Вісник Харківського національного технічного університету с.г. імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 175 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2016. – с. 66–68.

6. Назаренко, І.П. Ультразвукова обробка сумішевого біодизеля [Текст] / І.П. Назаренко, Р.Р. Кушлик, Р.В. Кушлик // Вісник Сумського національного аграрного університету. Випуск 10/1 (29). Суми, 2016 р. с. 174–178.

7. Назаренко І.П. Спосіб покращення якості сумішевого біодизеля [Текст] / І.П.Назаренко, Р.Р. Кушлик, Р.В.Кушлик // Патент на корисну модель № 110097. Опубл. 26.09.2016, бюл.№18.

8. Кушлик Р.Р. Дослідження фізичних властивостей сумішевого біодизеля після обробки його в гомогенізаторі [Текст] / Р.Р.Кушлик // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, ТДАТУ, 2016 р. Вип. 16 том 2 с. 146–152.

9. Kushlyk Ruslan. Research into effect of ultrasonic, electromagnetic and mechanical treatment of blended biodiesel fuel on viscosity [Text] / Ruslan Kushlyk, Igor Nazarenko, Roman Kushlyk, Volodymyr Nadykto // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2/1 (86), 2017 р. С. 34–41.

10. Назаренко І.П. Теоретичні передумови приготування суміші компонентів біопального в ультразвуковому полі [Текст] / І.П.Назаренко, Р.Р. Кушлик // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 187 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2017. – с. 113–116.

### **Праці які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

11. Кушлик Р.Р. Проблеми використання сумішевого біопалива із ріпако-метилового ефіру і дизельного палива [Текст] / Р.Р.Кушлик // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції. «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористуванні» м. Київ, НУБіП, 14–18 грудня 2015р. с. 28–29.

12. Кушлик Р.Р. Спосіб обробки сумішевого біодизеля [Текст] / Р.Р.Кушлик // Збірник тез доповідей XVII Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (17–18 жовтня 2016 року) / МОН України, Сумський національний аграрний університет. – Суми , 2016. – 195-196 с.

13. Кушлик Р.Р. Аналіз впливу ультразвукових, НВЧ і механічних хвиль на в'язкість сумішевого біодизеля [Текст] / Р.Р.Кушлик, І.П.Назаренко // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції. «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування»: м. Київ, НУБіП, 15–19 травня 2017р. с. 9–10

14. Кушлик Р.Р. Результати експериментальних досліджень біопаливних композицій оброблених електрофізичними методами [Текст] / Р.Р.Кушлик // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції пам'яті І.І.Мартинена та з нагоди 85-річчя Таврійського державного агротехнологічного університету «Енергозабезпечення технологічних процесів». м. Мелітополь, ТДАТУ, 8–9 червня 2017 р. 58–60 с.



## ANNOTATION

*Kushlyk R.R.* Justification of parameters of the electrotechnological complex for improvement of functional properties of biofuel. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for obtaining a scientific degree of the candidate of technical sciences on the specialty 05.09.03 "Electrotechnical complexes and systems" (141 - electric power engineering, electrical engineering and electromechanics). Tavriya State Agrotechnological University, Melitopol, 2018.

Contents of the annotation.

In the dissertation work the relevance of the topic is substantiated, describes the relationship of work with scientific programs, and formulates the purpose, task, object, subject and methods of research, the general characteristic of the dissertation, which is put forward on defence, is given.

An analysis of the main reasons for the replacement of light petroleum products on biofuels was carried out, as well as an analysis of existing devices for the mixing of mineral and vegetable fuels.

The parameters of the ultrasonic field were substantiated. Fig. 1 shows an electroacoustic system for treating the biofuel, and in Fig. 2. An equivalent circuit for replacing an electroacoustic converter.

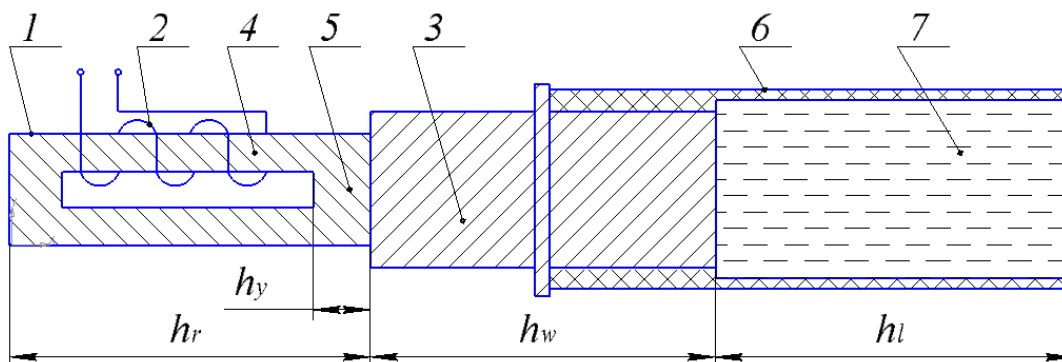


Fig. 1. Electroacoustic system for the treatment of mixed biofuel: 1 – package of plates; 2 – excitation and magnetization winding; 3 – waveguide; 4 – active rods of the package; 5 – the yoke of the package; 6 – treating camera; 7 – biofuel

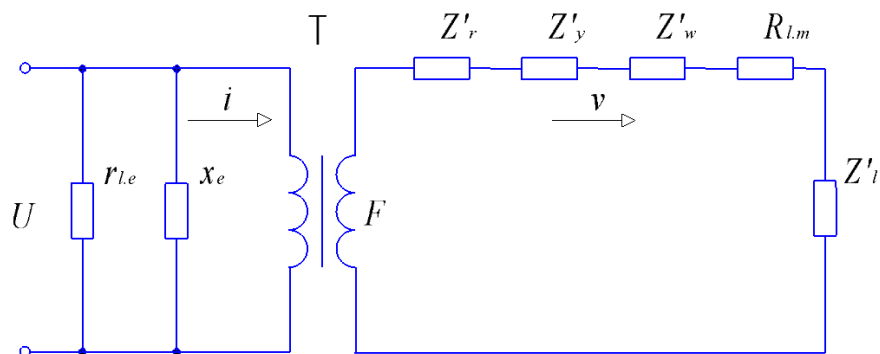


Fig. 2. An equivalent circuit for replacing an electroacoustic converter

An equivalent replacement circuit includes an electromechanical transformer  $T$  on the electric side which takes into account the inductive resistance of the excitation winding  $x_e$  and the resistance of the electrical losses of  $r_{l.e}$ . On the mechanical side, the acoustic supports of the active rods of the  $Z'_r$  package, the yarn pack  $Z'_y$ , the waveguide  $Z'_w$ , the load  $Z'_l$  and the resistance of the mechanical losses  $R_{l.m}$ , which are brought to the active rods of the package, are sequentially connected.

Fig. 3 shows the power dependence of the ultrasound frequency, which confirmed that the maximum power corresponds to the frequency of 22.8 kHz.

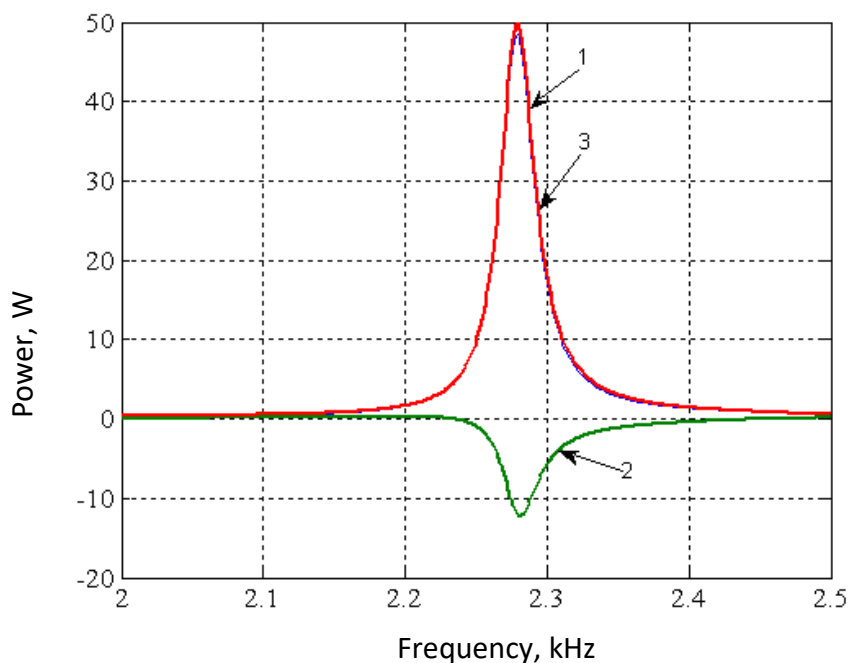


Fig. 3. Dependence of electric power in the loading layer on the frequency of ultrasound at a voltage of 145.4 V and mechano–acoustic coefficient of efficiency = 50%: 1 – active power; 2 – reactive power; 3 – full power

The deviation of the frequency from the resonance by  $\pm 100\text{Hz}$  leads to a 10% deviation of the power. Therefore, it is necessary to maintain the frequency of ultrasound with an accuracy of not less than 0.5%.

The program, methodology and experimental setup for researches are given. The method for determining the viscosity and density of diesel fuel (DF), methyl ester of rapeseed oil (MERO) and their mixtures was as follows: samples of mixtures were prepared from DF and MERO in percentage terms: 90% DF + 10% MERO (mixture 1), 80% DF + 20% MERO (mixture 2), 70% DF + 30% MERO (mixture 3), 60% DF + 40% MERO (mixture 4), 50% DF + 50% MERO (mixture 5). The viscosity and density of the DF, MERO and their mixtures were determined by means of a viscometer VPI-4 and an areometer with a fivefold repetition at a temperature of  $20^\circ\text{C}$ . The UH-8 water thermostat was used to thermostating the samples.

The next stage included the processing of prepared samples in an ultrasonic and microwave electromagnetic field, as well as a coherent processing of samples in an ultrasonic and microwave field. In fig. 4 shows the viscosity dependence on the time of observation after fuel treatment for 5 minutes with ultrasound and microwave field.

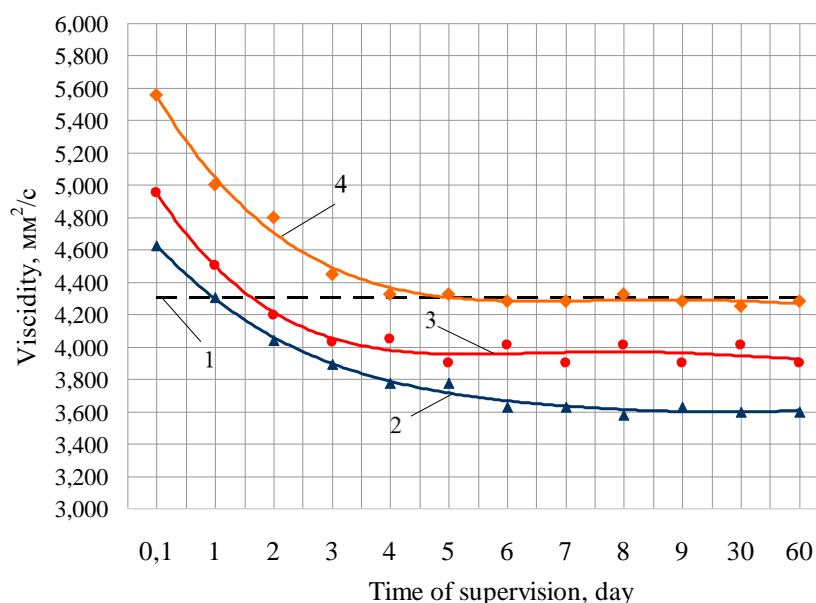


Fig. 4. Dependence of the viscosity of the mixed biofilm on time of observation after processing of fuel by ultrasound and microwave waves for 5 minutes: 1 – DF; 2, 3, 4 – mixture of 10, 20 and 30% of MERO in DF respectively.

After processing of experimental data, technological parameters were calculated and determined: the value of the resonant frequency of the ultrasonic oscillations of the system should be 22.8 kHz; ultrasound intensity – 5 W/cm<sup>2</sup>; The power of ultrasound in the chamber is 45 W; The power of the microwave electromagnetic field is 100 W; time of ultrasound and microwave electromagnetic field – 5 min at a biofuel mass – 600 ml.

The technical requirements for the electro-technological complex, the circuit of the electric functional and principle electro-technological complex, the circuit of the electric principles of the ultrasonic generator were developed. In fig. 5 a schematic diagram of an electric functional electro-technological complex is showed.

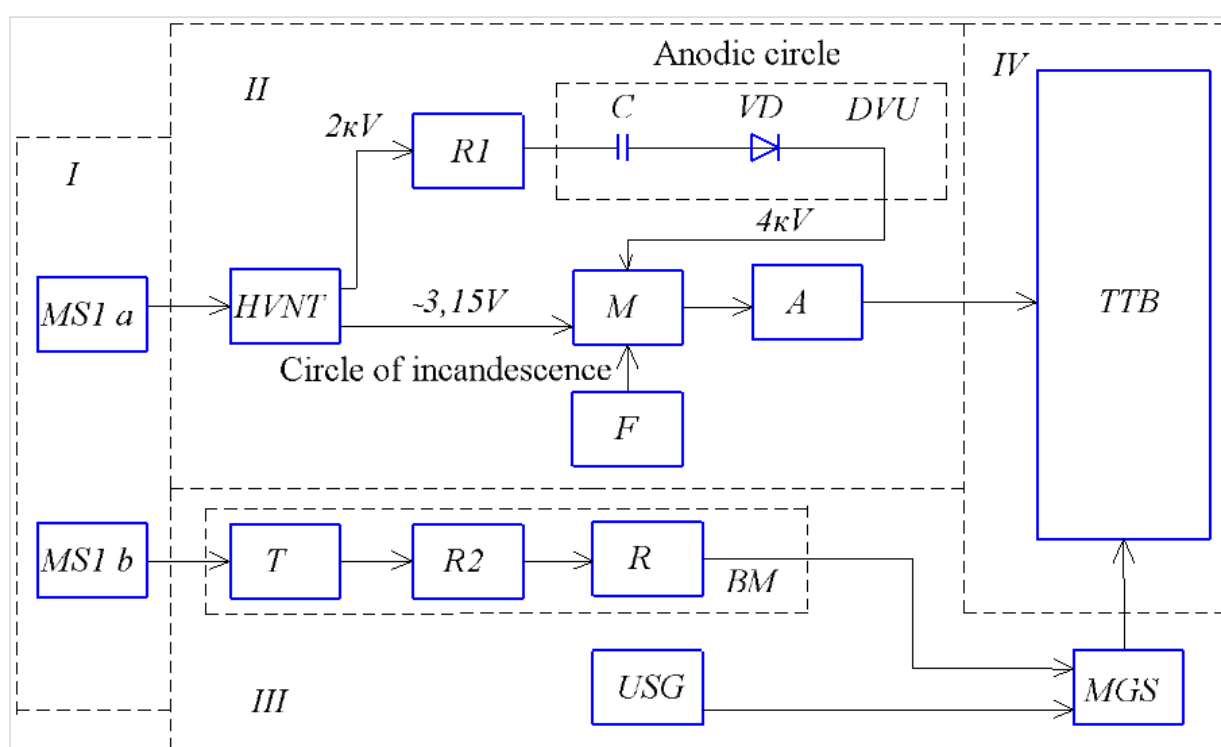


Fig. 5. Scheme of electric function of the electro-technological complex: I – block of operating mode switches; II – microwave unit; III – ultrasonic unit; IV – microwave chamber for processing biofuel; MS1a, b – mode switch; HVNT – high-voltage network transformer; R1– rectifier; C – high–voltage capacitor; VD – high-voltage diode; DVU – doubling voltage unit; M – magnetron; A – is an antenna; F – fan; T – transformer; R2 – rectifier; R – reactor; BM – block of magnetization; USG – ultrasonic generator; MGS – magnetostrictor; TTB – tank for treating of biofuel.

An electrotechnical complex was manufactured and tested in the farm «Karina» in the Vesele district of the Zaporizhzhya region and Ukr garden LLC in the Melitopol district of the Zaporizhzhya region.

According to the test data, the introduction of the electrotechnical complex will reduce the hourly costs of bio-fuel B20 processed in the electrotechnical complex by 9.5% in relation to the untreated bio-fuel B20; reduce the money costs per tractor MTZ-82 during its work on the bio-fuels B20 during 1200 moto-hours of processing in the electrotechnical complex for 40188 UAH per year in relation to untreated biofuel B20. The payback period of the electrotechnology complex was 0.4 years.

*Key words:* ultrasound, electromagnetic treatment, diesel fuel, rapeseed oil methyl ether, viscosity.

**Works in which the main scientific results of the dissertation have been published.**

1. Kushlyk R.R. Analysis of types of biofuels for agricultural machinery. [Text] / Works of the Tavria State Agrotechnological University. – Rel.15 volume 2, Melitopol, TSATU, 2015. – P. 242–248.

2. Kushlyk R.R. Plants and devices for the production of rapeseed–methyl ether and mixed biofuels [Text] / R.R.Kushlyk, I.P.Nazarenko // Works of the Taurian State Agrotechnological University. – Melitopol, T DATU, 2015, vol. 3. – P. 310–317.

3. Kushlyk R.R. Alternative fuel for agricultural machinery [Text] / R. R. Kushlyk // Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko. Technical sciences. Issue 164 "Problems of energy supply and energy saving in the agroindustrial complex of Ukraine". – Kharkiv: KhNTUSG, 2015. – P. 169–170.

4. Nazarenko, IP Improving the quality of blended biodiesel by processing it with an acoustic field [Text] / I.P. Nazarenko, R.R. Kushlyk, R.V. Kushlyk – Scientific herald of the Tavria State Agrotechnological University. Issue 6, Volume 1. Electronic scientific special edition. – Melitopol, T DATU, 2016 with. – P.164–171.

5. Nazarenko, I.P. Experimental studies of the influence of ultrasonic and microwave waves on the viscosity and density of mixed biodiesel [Text] / I.P.Nazarenko,

R.R. Kushlyk // Bulletin of the Kharkov National Technical University the name of Peter Vasylenko. Technical sciences. Issue 175 "Problems of energy supply and energy saving in the agroindustrial complex of Ukraine". – Kharkiv: KhNTUSG, 2016. – P. 66–68.

6. Nazarenko, IP Ultrasonic processing of blended biodiesel [Text] / I.P. Nazarenko, R.R. Kushlyk, RV Kushlyk // Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Issue 10/1 (29). Sumy, 2016. – P. 174–178.

7. Nazarenko I.P. Method of improving the quality of blended biodiesel [Text] / I.P. Nazarenko, R.R. Kushlyk, RV Kushlik // Patent for Utility Model No. 110097. Published by. 09.26.2016, the number 18.

8. Kushlyk R.R. Research of physical properties of mixed biodiesel after processing in a homogenizer [Text] / R.R. Kushlik // Proceedings of the Tavria State Agrotechnological University. – Melitopol, TDATU, 2016. 16 vol. 2. – P. 146–152.

9. Kushlyk Ruslan. Research on the effect of ultrasonic, electromagnetic and mechanical treatment of blended biodiesel on viscosity [Text] / Ruslan Kushlyk, Igor Nazarenko, Roman Kushlyk, Volodymyr Nadykto // Eastern European Journal of Advanced Technologies. 2/1 (86), 2017. – 34–41.

10. Nazarenko I.P. Theoretical preconditions for the preparation of a mixture of biofuel components in an ultrasound field [Text] / I.P. Nazarenko, R.R. Kushlyk // Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko. Technical sciences. Issue 187 "Problems of energy supply and energy saving in the agroindustrial complex of Ukraine". – Kharkiv: KhNTUSG, 2017. – P. 113–116.

### **Proceedings certifying approbation of the materials of the dissertation**

11. Kushlyk R.R. Problems of the use of mixed biofuels from rapeseed–methyl ether and diesel fuel [Text] / R. R. Kushlyk // Collection of abstracts of reports of the International scientific and technical conference. "Problems of modern energy and automatics in the system of nature management" Kyiv, NUBiP, December 14–18, 2015. – P. 28–29.

12. Kushlyk R.R. Method of processing of mixed biodiesel [Text] / R.R.Kushlik // Collection of abstracts of the XVII International scientific conference "Modern problems of agricultural mechanics" (October 17–18, 2016) / Ministry of Education and Science of Ukraine, Sumy National Agrarian University. – Sumy, 2016. – P. 195–196

13. Kushlyk R.R. Analysis of the influence of ultrasonic, microwave and mechanical waves on the viscosity of mixed biodiesel [Text] / R.R.Kushlik, I.P.Nazarenko // Collection of abstracts of the VI International Scientific and Technical Conference. "Problems of modern energy and automatics in the system of natural resources use": Kyiv, NUBiP, May 15–19, 2017. – P. 9–10

14. Kushlyk R.R. Results of experimental studies of biofuel compositions treated with electrophysical methods [Text] / R. R. Kushlyk // Collection of abstracts of VII International scientific–practical conference of memory of I.I.Martinen and on the occasion of the 85 th anniversary of the Taurian state agrotechnological university "Energy–supply of technological processes". Melitopol, TDATU, June 8–9, 2017. – P. 58–60.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	21
<b>1. СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	28
1.1. Основні причини заміни світлих нафтопродуктів на мінерально– рослинне пальне.....	28
1.2. Аналітичний огляд альтернативних біопалив й особливостей їх застосування.....	30
1.3. Аналіз існуючих пристроїв для обробки мінерально–рослинного пального.....	37
1.4. Використання ультразвуку і НВЧ електромагнітного поля для обробки сумішевого біопального.....	45
1.5. Висновки по розділу і задачі дослідження .....	49
<b>2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІОПАЛЬНОГО</b> .....	50
2.1. Обґрунтування параметрів ультразвукового поля.....	50
2.2. Аналіз роботи електроакустичної системи при обробці сумішевого біопального в кавітаційному режимі.....	51
2.3. Висновки за розділом.....	67
<b>3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ, НВЧ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ І МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СУМІШЕВЕ БІОПАЛЬНЕ</b> .....	69
3.1. Програма досліджень.....	69
3.2. Методика дослідження основних фізико–хімічних показників дизельного пального, МЕРО і сумішевих біопалив .....	69
3.2.1. Об’єкт і апаратура для дослідження.....	69
3.2.2. Методика проведення експериментальних досліджень.....	71
3.2.3. Аналіз результатів експериментальних досліджень в’язкості, густини і прозорості дизельного пального, МЕРО і сумішевих біопалив.....	73



3.3. Методика оцінки впливу ультразвукової обробки на в'язкість і густину сумішевого біопального.....	76
3.3.1. Об'єкт і апаратура для дослідження.....	76
3.3.2. Методика ультразвукової обробки сумішевого біопального.....	78
3.3.3. Аналіз результатів експериментальних досліджень ультразвукової обробки сумішевого біопального.....	79
3.4. Методика оцінки впливу НВЧ електромагнітної обробки на в'язкість і густину сумішевого біопального.....	84
3.4.1. Об'єкт і апаратура для дослідження.....	84
3.4.2. Методика НВЧ електромагнітної обробки сумішевого біопального...	86
3.4.3. Аналіз результатів експериментальних досліджень НВЧ електромагнітної обробки сумішевого біопального.....	87
3.5. Методика оцінки впливу механічної обробки сумішевого біопального в гомогенізаторі на в'язкість і густину.....	91
3.5.1. Об'єкт і апаратура для дослідження.....	91
3.5.2. Методика механічної обробки сумішевого біопального в гомогенізаторі.....	93
3.5.3. Аналіз результатів експериментальних досліджень механічної обробки сумішевого біопального в гомогенізаторі.....	93
3.6. Аналіз результатів одночасної обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем сумішевого біопального.....	97
3.7. Експериментальні дослідження тангенса кута діелектричних втрат в необроблених пробах і пробах оброблених ультразвуком, НВЧ електромагнітним полем і в механічному гомогенізаторі.....	102
3.8. Методика обробки результатів повного факторного експерименту.....	105
3.8.1. Побудова планів повного факторного експерименту .....	105
3.8.2. Результати повного факторного експерименту.....	106
3.9. Висновки по розділу.....	109

<b>4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОБРОБКИ СУМІШЕВОГО БІОПАЛЬНОГО.....</b>	<b>111</b>
4.1. Технічні вимоги до електротехнологічного комплексу.....	111
4.2. Розробка конструкції електротехнологічного комплексу для обробки сумішевого біопального ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем.....	112
4.3. Обґрунтування параметрів коливальної системи.....	117
4.4. Підбір потужності ультразвукового генератора і НВЧ пристрою.....	122
4.5. Розробка схеми електричної принципової електротехнологічного комплексу.....	126
4.6. Висновки по розділу.....	131
<b>5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОБРОБКИ СУМІШЕВОГО БІОПАЛЬНОГО.....</b>	<b>133</b>
5.1. Експериментальні дослідження електротехнологічного комплексу по сумісному ультразвуковому і НВЧ електромагнітному впливу на вихідний параметр.....	133
5.2. Випробування електротехнологічного комплексу в виробничих умовах.....	137
5.3. Результати виробничих досліджень біопального приготовленого в електротехнологічному комплексі.....	141
5.3.1. Методика виробничих досліджень.....	141
5.3.2. Підготовка до проведення виробничих досліджень.....	142
5.3.3. Проведення виробничих досліджень.....	142
5.3.4. Обробка і аналіз виробничих досліджень.....	143
5.3.5. Результати моторних досліджень.....	144
5.4. Економічна оцінка результатів дослідження .....	146
5.5. Оцінка надійності електротехнологічного комплексу.....	149
5.6. Висновки по розділу.....	151

<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>152</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>154</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>168</b>

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ  
ВИМІРЮВАННЯ, СКОРОЧЕНЬ**

МЕРО – метиловий ефір ріпакової олії;

ДП – дизельне паливо;

НВЧ ЕМП надвисокочастотне електромагнітне поле;

РО – ріпакова олія;

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;

МТА – машино–тракторний агрегат;

УЗ – ультразвук;

УЗГ – ультразвуковий генератор;

$\text{tg}\delta$  – тангенс кута діелектричних втрат

ВТ – високовольтний трансформатор;

БПН – блок подвоєння напруги;

М – магнетрон;

БП – блок підмагнічування;

МГ – магнітостриктор.

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** У березні 2007 р. у Брюсселі відбулася зустріч представників країн Європейського Союзу. На ній було прийнято рішення про те, що частка поновлюваних джерел енергії до 2020 р. повинна скласти 20% від загального споживання енергетичних ресурсів, із яких 10% має становити біопаливо [1].

Сучасне сільське господарство є одним із основних споживачів дизельного пального. Відсутність в Україні достатньої кількості власних запасів нафтових палив приводить до необхідності реструктуризації паливно-енергетичного комплексу шляхом зменшення споживання моторних палив за рахунок застосування енергозберігаючих технологій та переходу на альтернативні види палив.

Проведений аналіз різних видів альтернативних палив показав, що для України найбільш перспективним є застосування сумішевого мінерально–рослинного пального, яке складається із метилового ефіру ріпакової олії (МЕРО) і дизельного пального (ДП).

В 2015 році в Україні введено стандарт «Паливо дизельне ЄВРО». Технічні умови. ДСТУ 7688:2015. Стандарт передбачає сертифікацію дизельного пального з добавкою об'ємної частки метилових/етилових естерів жирних кислот (МЕЖК): В0–у разі їх відсутності; В5–не більше ніж 5%; В7 – понад 5% та не більше ніж 7%.

Як показує практика, при зростанні частки МЕРО у ДП більше 7%, в'язкість біопального підвищується. Унаслідок цього відбувається коксування паливної апаратури, зниження потужності дизельного двигуна і зростання витрат ним пального.

Такий стан речей створює народногосподарську проблему, яка полягає в економії енергоресурсів в сільськогосподарському виробництві. Через зростання попиту на нафту у світі буде безперервно зростати її вартість і дефіцит. Негативні наслідки цієї ситуації можуть призвести до зменшення виробництва продукції рослинництва. Враховуючи те, що Україна споживає для потреб аграрно–промислового комплексу близько двох мільйонів тон «світлих» нафтопродуктів, то

одним із шляхів вирішення даної проблеми є впровадження біопального з високим вмістом МЕРО в дизельне пальне. Проте основними труднощами при вирішенні даної проблеми є те, що великий вміст МЕРО призводить до зниження функціональних характеристик сільськогосподарських мобільних агрегатів.

Для усунення даної проблеми висунута наукова гіпотеза про те, що одночасна обробка сумішевого біопального ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем при більшій концентрації МЕРО ніж 7%, може привести до покращення його функціональних властивостей, що в кінцевому етапі призведе до зменшення його споживання на одиницю продукції без погіршення експлуатаційних характеристик мобільних агрегатів.

Пошуки шляхів вирішення цієї задачі слід вважати актуальним напрямом наукових досліджень.

**Зв'язок теми дисертації з науковими програмами.** Дослідження, що склали основу дисертаційної роботи, виконувались в Таврійському державному агротехнологічному університеті за державною програмою «Розробка енерго–ресурсозберігаючих електротехнологій та пристроїв підвищення продуктивності та якості біологічних об'єктів з використання електромагнітних полів різного спектрального діапазону» (2016–2020 рр. № державної реєстрації № 0116U002722) та державною програмою «Підвищення надійності технічних та зрошувальних систем та комплексів АПК» (2016–2020 рр. № державної реєстрації №0116U002743), роль автора у виконанні яких полягала в теоретичному обґрунтуванні параметрів електротехнологічного комплексу, експериментальних дослідженнях впливу ультразвукової, НВЧ електромагнітної і механічної обробки з метою покращення функціональних властивостей біопального, виготовленню і випробуванні електротехнологічного комплексу в виробничих умовах.

**Мета досліджень.** Метою дисертаційного дослідження є обґрунтування параметрів електротехнологічного комплексу обробки сумішевого біопального для покращення його функціональних властивостей.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні *задачі*:

1. Провести аналіз причин заміни світлих нафтопродуктів на мінерально-рослинні палива, аналіз рослинних палив і існуючих пристроїв обробки мінерально-рослинних палив для покращення їх функціональних властивостей.

2. Теоретично обґрунтувати параметри електротехнологічного комплексу для покращення функціональних властивостей біопального.

3. Експериментально обґрунтувати і дослідити вплив ультразвуку на в'язкість біопального в залежності від часу обробки, інтенсивності і частоти, вплив НВЧ електромагнітного поля і вплив обробки пального в механічному гомогенізаторі на в'язкість в залежності від часу обробки.

4. Розробити і випробувати в виробничих умовах електротехнологічний комплекс для покращення функціональних властивостей біопального.

5. Економічно обґрунтувати ефективність використання електротехнологічного комплексу для покращення функціональних властивостей біопального.

*Об'єкт дослідження* – процес гомогенізації сумішевого біопального ультразвуком, НВЧ електромагнітним полем та механічною обробкою.

*Предмет дослідження* – закономірності процесу гомогенізації під дією ультразвуку, НВЧ електромагнітного поля та механічної обробки на в'язкість біопального.

*Методи дослідження.* В основу методів дисертаційного дослідження покладено елементи теорії пружності і теорії коливань, методи теорії звуку, теорії електроакустичних перетворювачів, теоретичні основи електротехніки.

Експериментальні дослідження проводили із застосуванням ультразвукової, НВЧ електромагнітної установок і механічного гомогенізатора з використанням контрольних і вимірювальних засобів підвищеної точності. Достовірність отриманих результатів досліджень обумовлена застосуванням методів регресійного аналізу та методів метрології.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

Основні положення роботи, які визначають новизну наукових результатів досліджень, полягають у наступному:

*вперше* – доказано зменшення в'язкості сумішевого біопального, яке складається із мінерального дизельного пального і МЕРО після сумісної обробки його ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем, що дає можливість зменшити коксування паливної апаратури і зменшити витрати пального по відношенню до необробленого біопального. Отримано графічні залежності в'язкості біопального від часу обробки, частоти і інтенсивності ультразвуку, потужності НВЧ електромагнітного поля, що дозволило визначити параметри обробки.

*вперше* – отримано залежності тангенса кута діелектричних втрат від концентрації МЕРО в дизельному пальному необробленому і обробленому ультразвуком, НВЧ електромагнітним полем і в механічному гомогенізаторі, що надало можливість визначати технологічні параметри обробки експрес–методом та корегувати їх в виробничих умовах.

*удосконалено* – алгоритм вибору технологічних параметрів, при яких рекомендується проводити обробку сумішевого біопального ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем, що на відміну від існуючих, містить фактори: час обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем, потужність ультразвуку в камері, потужність НВЧ електромагнітного поля, що надало можливість покращити функціональні властивості біопального.

**Практичне значення результатів досліджень** полягає у підтвердженні гіпотези щодо техніко–економічної доцільності покращення функціональних властивостей біопального шляхом його обробки ультразвуком та НВЧ електромагнітним полем, що дозволило зменшити годинні витрати біопального.

На основі отриманих теоретичних і експериментальних даних розроблено електротехнологічний комплекс для обробки сумішевого біопального, який пройшов випробування і впровадження в фермерському господарстві «Каріна» Веселівського району Запорізької області і в ТОВ «Укргарден» Мелітопольського



району Запорізької області, що засвідчується відповідними документами (акти впровадження наукової розробки від 27.09.17р і 10.10.17р відповідно). Також електротехнологічний комплекс впроваджено в учбовий процес на кафедрі «Електротехнологія і теплові процеси» ТДАТУ (акт впровадження наукової розробки від 21.09.17). Спосіб покращення якості сумішевого біопального захищено патентом України 110097UA, МПК (2016.01) F02M 27/08, H15/00, C10L 1/00.

**Особистий внесок здобувача** полягає в проведенні аналітичного огляду альтернативних біопалив й особливостей їх застосування, аналізу існуючих пристроїв для обробки біопалив [50,55]; теоретичному обґрунтуванні параметрів електротехнологічного комплексу [74]; експериментальних дослідженнях впливу ультразвукової, НВЧ електромагнітної і механічної обробки сумішевого біопального [79,80,82,83,85,86]; проектуванню і виготовленню електротехнологічного комплексу для обробки сумішевого біопального; проведенню лабораторних досліджень і виробничих випробовувань електротехнологічного комплексу в лабораторіях ТДАТУ та в умовах фермерського господарства «Каріна» Веселівського району Запорізької області і ТОВ «Укргарден» Мелітопольського району Запорізької області.

**Апробація результатів досліджень.** Основні результати досліджень доповідались на:

– II Міжнародній науково–практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК». Секція №2 «Перспективи розвитку електротехнології в біотехнічних системах АПК». Київ, НУБІП, 15–16 жовтня 2014 р.

– науково – технічній конференції науково-педагогічних працівників за підсумками роботи в 2014 році «Сучасні проблеми землеробської механіки». Секція №4 «Механізація та електрифікація виробничих процесів у сільськогосподарському виробництві» м. Дніпропетровськ, ДДАЕУ, 4–5 березня 2015 р.

– науково – практичній студентській конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». Секція №3

«Автоматизовані електромеханічні системи» м. Харків, ХНТУСГ ім. П.Василенка, 2 квітня 2015р.

– XI Міжнародному форумі молоді «Молодеж и сельскохозяйственная техника в XXI веке» присвячена 85 – річчю утворення університету. Секція №10 «Использование топливно–смазочных материалов» Харків: ХНТУСХ. 9–10 квітня 2015р.

– Міжнародній науково– практичній конференції «Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК». м. Мелітополь, 7 – 14 квітня 2015 року. – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Т.4 Технічні науки (ч.1).

– IV Міжнародній науково – технічній конференції присвяченій пам'яті академіка І.І.Мартиненка «Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України». Секція 5 «Електромеханічні системи технологічних процесів аграрного виробництва». Мелітополь, ТДАТУ, 10 – 14 червня 2015 р.

– Міжнародній науково – практичній конференція «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». Секція №5 «Вплив електромагнітних полів та пружних коливань на біологічні об'єкти сільськогосподарського призначення» Харків: ХНТУСХ. 12–13 листопада 2015р.

– Міжнародній науково – технічній конференції «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористуванні». Секція 1 «Електротехнології в біотехнічних системах» м. Київ, 14–18 грудня 2015 р.

– XVII–тій міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» присвяченій 116–річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка. Секція №5 «Автоматизація та енергетика в АПК» м. Суми, 17–18 жовтня 2016 р.

– Міжнародній науково–практичній конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». Секція №3 «Електрообладнання та раціональне використання електричної енергії в АПК» м. Харків, ХНТУСГ імені Петра Василенка, 3 – 4 листопада 2016р.

– IV-й міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористуванні». Секція №1 «Електротехнології в біотехнічних системах». м. Київ, 15–19 травня 2017 р.

– VII Міжнародній науково-практичній конференції пам'яті І.І.Мартиненка та з нагоди 85-річчя Таврійського державного агротехнологічного університету «Енергозабезпечення технологічних процесів». Секція №2 «Електро – та нанотехнології» м. Мелітополь, ТДАТУ, 8–9 червня 2017 р.

**Публікації.** За результатами досліджень здобувачем опубліковано 14 друкованих праць із яких 8 у фахових виданнях України, 1 – у закордонному виданні, 1 патент, 4 – тези доповідей. Із 14 публікацій 6 написані автором особисто.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку літератури з 129 найменувань та 8 додатків на 61 сторінці. Дисертація викладена на 167 сторінках і включає 12 таблиць та 64 рисунка.

## РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1. Основні причини заміни світлих нафтопродуктів на мінерально-рослинне пальне

Протягом всього двадцятого століття йшов інтенсивний розвиток нафтовидобувної та нафтопереробної галузей промисловості в світі. Відкривалися нові родовища нафти і розроблялися більш досконалі технології її переробки. Це стимулювалося зростанням потреби у пальному нафтового походження, головним чином на потреби транспорту, без якого вже важко уявити собі сучасне людство. Темпи зростання чисельності автотранспорту до кінця двадцятого століття набули лавиноподібного характеру, що, в сукупності з обмеженими запасами нафти в надрах землі призвело до проблеми енергетичної кризи, що почалася в кінці сімдесятих – на початку вісімдесятих років двадцятого століття.

Основною причиною заміни нафтових продуктів на інші є те, що світові запаси нафти з кожним роком скорочуються, а нові родовища знаходяться все рідше. Відомо, що основними постачальниками рідких вуглеводнів на світовий ринок є країни Близького Сходу (Ірак, Саудівська Аравія, Іран), які володіють найбільшими сировинними ресурсами (рис. 1.1). В даний час у світі щороку добувається близько 3 млрд. т. нафти. При збереженні такого рівня видобутку нафти її запасів може вистачити на 50 років. Причому через зростання попиту на нафту буде безперервно зростати її дефіцит, який до 2025 р. досягне 16 млн. барелів (2,5 млн. т.) в день [7,8].

Другою причиною, що вимагає зниження споживання нафтового пального на рівноцінні продукти, є негативний вплив цього палива на навколишнє середовище. Застосування нафтових палив при експлуатації двигунів внутрішнього згорання викликає забруднення атмосфери речовинами, що утворюються при неповному згоранні цих палив, або при хімічних реакціях, що супроводжують процес згорання. Сюди відносяться оксид вуглецю, важкі вуглеводні, сажа, діоксид і тетраоксид

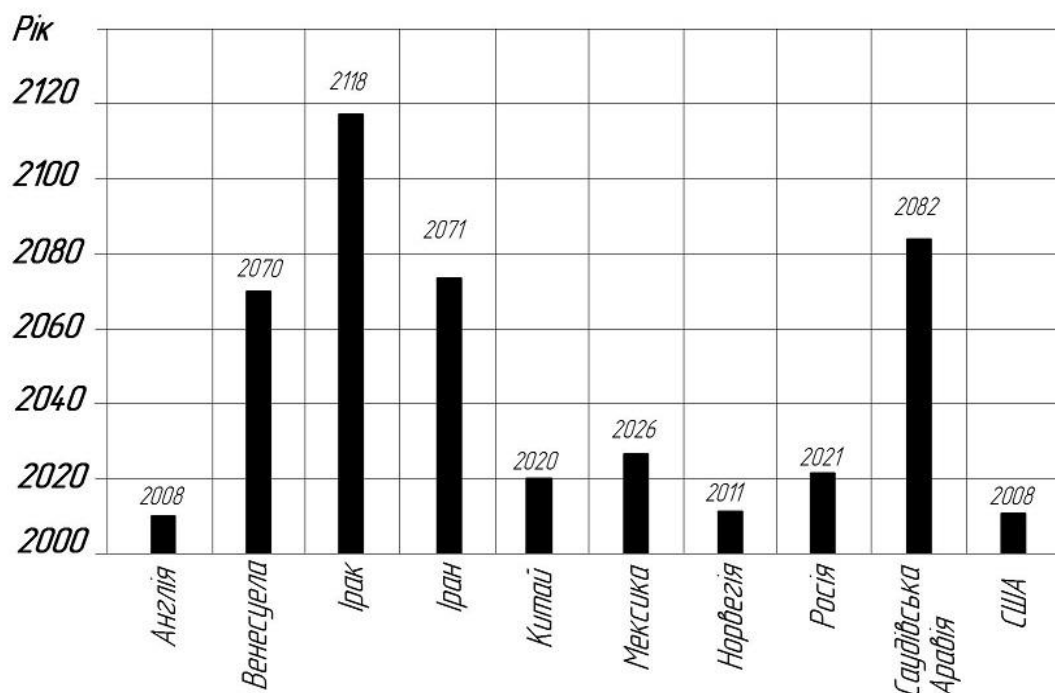


Рис. 1.1. Прогнозовані (за даними організації країн–експортерів нафти ОПЕК) терміни виснаження нафтових родовищ

азоту, сполуки сірки, які потрапляють в пальне з сирої нафти і є причиною кислотних дощів.

При транспортних, складських і заправних операціях відбуваються протоки і підтікання нафтових палив, які призводять до тривалого забруднення ними ґрунту, водних джерел, водойм і ґрунтових вод. Це викликає загибель флори і фауни, що призводить до тяжких розладів здоров'я людей.

Негативним наслідком застосування нафтових палив є також викид в атмосферу при їх згоранні великої кількості діоксиду вуглецю, який безпосередньо не впливає на організм людини, але створює в атмосфері так званий «парниковий ефект», який є причиною глобального потепління, що здатне викликати непередбачені зміни клімату і такі катаклізми світового масштабу, як танення льодовиків і пов'язане з цим підвищення рівня світового океану, тайфуни, повені, посухи тощо[7,8].

Співставлення наведених вище даних свідчить про необхідність застосування в дизелях інших видів палив. Таке розширення діапазону застосовуваних пального

можливе при використанні «всеїдних» дизелів, здатних працювати на різних нафтових і альтернативних паливах.

## **1.2 Аналітичний огляд альтернативних біопалив й особливостей їх застосування**

Першим етапом забезпечення «всеїдності» дизелів стала розробка і впровадження так званих «багатопаливних» двигунів, що працюють на різних нафтових паливах (дизельних, бензинах, керосинах, реактивних паливах) [9,10].

Проблема «всеїдності» двигунів тісно пов'язана з завданням розширення і найбільш раціонального використання паливних ресурсів. Це обумовлено можливістю більш гнучкого пристосування двигунів до зміни паливного балансу, що визначається видобутком нафти, споживанням різних її фракцій, витратами на виробництво і транспортування різних нафтопродуктів, використанням альтернативних палив, отриманих з природного газу, кам'яного вугілля, горючих сланців, біомаси та інших сировинних ресурсів. Рішення проблеми «всеїдності» двигунів дозволяє забезпечити їх безперебійну мобільну роботу в умовах дефіциту того чи іншого виду пального, що особливо важливо для двигунів сільськогосподарського призначення.

Другим етапом забезпечення «всеїдності» дизелів стала розробка і впровадження альтернативних палив [9,10].

Євросоюзом планується до 2020 р. перевести близько чверті (23 %) всього автомобільного парку Європи на альтернативні палива: природний газ – 10 % (23,5 млн. автомобілів), біогаз – 8 % (18,8 млн. автомобілів), водень (паливні елементи) – 5 % (11,7 млн. автомобілів) [11].

Найбільш перспективними з альтернативних палив є палива, одержувані з газової сировини, вугілля та сланців, а також палива рослинного походження [12].

Так в Європі розширюється застосування на транспорті пального з ріпакової олії та продуктів її хімічної переробки: метилового ефіру і метилового спирту [13 – 15].

Відсутність в Україні достатньої кількості власних запасів нафтового пального і високих цін в світі на світлі нафтопродукти приводить до необхідності реструктуризації паливно–енергетичного комплексу шляхом зменшення споживання моторного пального. По цій причині необхідно шукати заміну продуктам переробки нафти.

Використання в якості моторного пального продуктів органічної (рослинної) сировини є доцільним з точки зору відновлюваності сировинних ресурсів. Ці продукти не містять сполук сірки і утворюють при згорянні набагато менше таких шкідливих речовин, як оксид вуглецю, багатоатомні вуглеводні, сажа, оксиди азоту. Тому найбільш перспективним напрямком заміщення нафтових палив альтернативними продуктами в Україні є використання в якості пального для двигунів внутрішнього згорання палив, отриманих з біологічної сировини.

Нами проведено аналіз досвіду використання палив для дизелів з рослинних олій. Сьогодні відомі два напрями застосування біопалива з рослинних олій. Перше пов'язане з їх безпосереднім використанням в якості пального, або в суміші з нафтовим дизельним пальним.

Другий напрямок пов'язаний з технологіями глибокої хімічної переробки рослинних олій в ефіри їх жирних кислот і використанням в якості пального, або в суміші з нафтовим дизельним пальним.

По першому напрямку з безпосереднім використанням в якості пального рослинних олій присвячені роботи Шашева А.В., Кочеткова М.Н., Пономарева В.Е., Вальєхо М.П. та інших дослідників. Позитивним моментом використання натуральних рослинних олій в чистому вигляді є його низька собівартість при умові його отримання в господарстві [16–21].

Недоліком є те, що використання в дизелях неочищених рослинних олій ускладнюється його високою в'язкістю і утворення відкладень і нагару на соплах паливних форсунках і в циліндрах. Враховуючи те, що температура поршня при

низькому навантаженні включаючи холостий хід знижується, то рослинна олія знаходячись на стінках поршня не здатна до випаровування і займання і при змішуванні з повітрям вона повністю не згорає. Неспалена олія проникає в картер, змішується з моторним маслом, погіршує його якість, що в кінцевому етапі призводить до виходу із роботи двигуна.

При роботі дизеля на ріпаковій олії потужність знижується в середньому до 2,6%, питомі ефективні витрати пального при номінальній потужності на РО були на 60% більші ніж на дизельному пальному, ефективний к.к.д. знижується на 23%, димність збільшується на 64% [16–21].

Також до недоліків можна віднести наступне: збільшення максимального тиску паливоподачі на 20%, зменшення максимального тиску газів всередині циліндра на 8%, збільшення температури відпрацьованих газів на 5–7%, зменшення індикаторного к.к.д на 5–8 %, збільшення питомих індикаторних витрат пального на 40–60 г / (кВт·год). До переваг можна віднести: зменшення вмісту у відпрацьованих газах оксидів азоту більш ніж на 20% і сажі на 20–70%.

В якості заходів щодо оптимізації процесу згорання рослинної олії в ДВЗ авторами [16–21] пропонуються наступні заходи: змінити кут випередження впорскування пального на 2–3°, забезпечити температуру ріпакової олії в системі живлення дизеля рівній 40–45°C, збільшити тиск початку паливоподачі для існуючої системи до 20 МПа, застосовувати розпилювачі зі збільшеним на 10% ефективним прохідним перетином і розпилювачі спеціальної конструкції. Також рекомендується перехід до двох бакової паливної системи, тобто прогрів двигуна внутрішнього згорання і закінчення роботи трактора проходить на дизельному пальному.

Також по першому напрямку з використанням в якості пального сумішевого пального ріпакової олії і дизельного пального в різних пропорціях присвячені роботи Лінькова О.Ю., Іванова В.А., Савельєва Г.С., Коршунова Д.А., Турлакова Я.В., Фоміна В.Н., Шустера А.Ю., Фадєєва С.А., Коваленко В.П., Улюкіної Е.А., Островського Е.А. та інших дослідників [22–29].



Базуючись на аналізі і систематизації даних та інших робіт необхідно відзначити, що при використанні альтернативних сумішевих палив з рослинної олії і дизельного пального в ДВЗ необхідно вирішувати комплексну задачу, яка потребує проведення численних наукових досліджень з адаптації двигуна для роботи на цих паливах і, у першу чергу, дослідження процесів сумішоутворення та згоряння.

Огляд існуючих моделей процесів сумішоутворення та згоряння показав, що різні дослідники вивчали процеси утворення сумішей в різних пропорціях. Для дослідження обирались різноманітні пропорції ріпакової олії (РО) та дизельного пального (ДП): суміші 10%:90%; 15%:85%; 20%:80%; 25%:75%; 50%:50%; 75%:25%; 90%:10% [22–29].

Найбільш прийнятним з екологічної і економічної точок зору є використання суміші ріпакової олії і дизельного пального в пропорції 50:50. Проте в основному дослідники сходяться на ефективній роботі ДВЗ на сумішах РО10%:ДП90%; РО15%:ДП85%; РО20%:ДП80%; а також РО20%:ДП70%+10% бензину АИ-80, які є оптимальними для роботи ДВЗ, так як збільшення витрат пального, падіння потужності двигуна і викиди відпрацьованих газів при цих відношеннях мінімальні. Пропонуються раціональні параметри роботи дизеля на альтернативному пальному – це підвищення тиску впорскування до 90...100 МПа, збільшення кількості отворів розпилювача форсунки до 6, зниження тиску надувного повітря до 0,2 МПа. Дані заходи дають можливість знизити на 7% витрати суміші РО і ДП [22–29].

По другому напрямку з використанням технологій глибокої хімічної переробки рослинних олій в ефіри їх жирних кислот присвячені роботи Дідюра В.А., Бурякова А.С., Ліскутіної А.П, Малахова К.С., Шматок О.І., Фокіна Р.В., Громакова А.В., Киреева Н.С., та інших дослідників [30–35].

Аналіз результатів досліджень роботи [36] показав, що ефективна потужність двигуна на номінальному режимі зменшується на 0,8–3,1%. Погодинні (л/год) і питомі (г/кВт·год) витрати пального при цьому збільшуються на 1,9–4,2% і на 2,5–7,5% відповідно. Водночас, наявність вуглеводнів у відпрацьованих газах зменшується на 1,8–8,3% по відношенню до роботи на мінеральному дизельному

пальному [30–35].

Найбільш розповсюджена сьогодні технологія виробництва біопального для дизельних двигунів базується на проведенні процесу переетерифікації (алкоголізу) рослинних олій або жирів метиловим спиртом у присутності лужних каталізаторів.

В результаті отримують метилові ефіри рослинних олій (біодизель), які за своїми характеристиками близькі до традиційного дизельного пального. В додатку 2 (табл.2.11) представлено характеристики традиційного дизельного пального і метилового ефіру ріпакової олії (МЕРО) [37].

В порівнянні з паливом із нафти для автотракторної техніки МЕРО на основі ріпакової олії має такі переваги [38]: високе цетанове число, біодизельне пальне рослинного походження, а отже воно не має бензинового запаху; біологічна нешкідливість, менший викид  $\text{CO}_2$ , в вихлопних газах знаходиться менше монооксиду вуглецю  $\text{CO}$ , неспалених вуглеводів  $\text{CH}$ , окислів азоту  $\text{NO}_x$ , залишкових частинок і сажі, набагато менша кількість сірки, висока температура спалаху.

В порівнянні з паливом із нафти для автотракторної техніки біодизельне пальне на основі ріпакової олії має такі недоліки: висока температура помутніння, відносно низька теплота згорання, біодизель володіє властивостями розчинника (під впливом РМЕ гумові елементи паливної апаратури і двигуна руйнуються значно швидше), наявність гліцерину призводить до утворюються нагару і сажі.

Аналізуючи роботу дизельного двигуна на товарному дизельному пальному і МЕРО за параметрами робочого циклу, економічними та екологічними показниками встановлено незначне зменшення ефективної потужності дизеля на номінальному режимі в середньому від 0,8 до 3,1%; перехід на МЕРО призводить до збільшення витрати пального на 1,8%, питомої ефективної витрати пального – на 2,5%, ефективна потужність знижується на 0,8%, а димність відпрацьованих газів зменшується на 8,4% [31].

Істотне поліпшення показників дизеля при його роботі відбувається на сумішевих паливах. Встановлено, що при роботі дизельного двигуна на біопальному з вмістом МЕРО не більше 20%, витрата пального не змінюється, зі збільшенням вмісту МЕРО до 100% витрата зростає на 17,8%. Експлуатаційні показники

машино–тракторного агрегату (МТА), що працюють на біопальному із співвідношенням 20% МЕРО та 80% ДП, відповідають показникам роботи МТА на ДП, тому що вони знижуються менш ніж на 1%, при співвідношенні його компонентів 50% МЕРО та 50% ДП продуктивність знижується, а витрата пального збільшується на 10%. Найкращою композицією біопального за показниками роботи МТА є композиція 20% МЕРО та 80% ДП, яка знижує експлуатаційні витрати МТА на 5–6% в порівнянні з роботою агрегатів на ДП [39].

Таким чином, основними перевагами МЕРО і його паливних композицій в зрівнянні з товарним дизельним паливом є: ідентичність фізичних властивостей (густина, в'язкість і ін.), добра займистість, високе цитанове число (54–56%), досить висока теплота згорання (38,644–41,167 МДж/кг), кращі змащувальні і екологічні властивості по викидам оксиду вуглецю і димності.

До недоліків МЕРО і його біопаливних композицій необхідно віднести: втрати потужності (до 7–9%), підвищені питомі ефективні витрати пального (на 8–11,5%), підвищена швидкість закоксування вогневої поверхні камери згорання і розпилювачів форсунок, велика агресивність до резино–технічних виробів і лакофарбових покриттів, гірші екологічні властивості по оксиду азоту (за рахунок меншої наявності кисню). При застосуванні даного виду пального виникає необхідність у використанні хімічно стійких резинових і пластмасових елементів паливної системи, тобто модернізація паливної системи трактора [40,41].

Аналізуючи досвід використання біопального країнами ЄС та інших країн необхідно відзначити, що лідерами виробництва та споживання біодизеля із ріпакової олії є Німеччина, Франція, Італія і США. У Німеччині таке пальне випускають 12 централізованих заводів і 80 нецентралізованих. Виробництвом цього виду пального займається 8 німецьких фірм, воно відпускається більш ніж на 800 заправних станціях. Біодизельне пальне марки «Bio-Diesel» відпускається в Німеччині на АЗС разом з іншими марками пального [8].

США є провідною країною, яка виробляє соєву олію. Три заводи фірми Proctor and Gamble виробляють біодизельне пальне з соєвої олії після екстракції з

нього гліцерину, який іде на виробництво мила і розчинників. У найближчій перспективі в США планується на 20% замінити звичайне дизельне пальне біодизельним пальним і використовувати його на морських судах, міських автобусах і вантажних автомобілях [42]. Іншою країною, в якій в промислових масштабах для виробництва моторного пального використовуються рослинні олії, є Малайзія. Для отримання метилового ефіру використовується пальмова олія. Цей ефір застосовують в якості пального для міських автобусів Mercedes–Benz [43].

В Великобританії нафтове дизельне пальне змішують з рослинною олією, яке на 20% дешевше дизельного пального. Одночасно вирішується проблема утилізації 70 млн. літрів рослинної олії – відходів харчової промисловості [44,45].

Французькими дослідниками встановлено, що при добавці в нафтове пальне до 30% біодизеля, двигун і сам автомобіль не потребують додаткового опрацювання, його технічні показники не погіршуються, періодичність ремонтів і технічного обслуговування не збільшується. Це підтверджено багаторічною практикою експлуатації автомобілів на такому сумішевому пальному [46]. Слід зазначити, що на відміну від багатьох країн Євросоюзу, Франція не пішла по шляху використання чистого біопального, а воліла добиватися переходу як можна більшого числа автотранспортних засобів з дизельними двигунами на нафтове дизельне пальне з невеликою кількістю рослинних добавок [47].

В Австралії і ряді країн Тихоокеанського басейну застосовують арахісову і кокосову олію, для умов Бразилії фірмою «Катерпиллер» рекомендується суміш рослинних олій із соєвих бобів, соняшnikової олії або земляних орехів з дизельним пальним у відношенні 1: 9. Але основним біопаливом у Європі і Північній Америці є метиловий ефір ріпакової олії [48].

По аналітичному огляду альтернативних біопалив й особливостей їх застосування в працях ТДАТУ і віснику Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка були опубліковані наукові статті [49,50] відповідно.

### 1.3. Аналіз існуючих пристроїв для обробки мінерально-рослинного пального

Виготовлення сумішевого біопального потребує обробки його компонентів (рослинної олії, метил ефіру ріпакової олії) з дизельним паливом. Дві різнорідні і не змішувані рідини – спирт і рослинна олія при обробці створюють емульсію типу «спирт в олії». Якщо швидкість складної хімічної реакції визначається (лімітується) швидкістю її найбільш повільної стадії, то швидкість елементарних реакцій – їх енергією активації. Її визначають як енергію, необхідну для здійснення ефективного зіткнення молекул, що приводить до хімічної взаємодії. У хімічну взаємодію вступають тільки активні молекули, що володіють енергією, достатньою для здійснення даної реакції. Для перекладу неактивних молекул в активні їм потрібно додати необхідну додаткову енергію – цей процес називається активацією. Від вибору відповідного обладнання або пристроїв для зазначеної стадії процесу, по суті, залежить ефективність використовуваної технології [32].

Для виробництва метилового ефіру ріпакової олії (МЕРО), застосовують технологічні лінії, які включають в свій склад ємності для олії, ємності для метанолу і каталізатора КОН і реактор, в якому проходить постійне змішування даних компонентів за допомогою механічної мішалки на протязі 8 годин при температурі 40°C. Внаслідок хімічної реакції утворюються дві нові речовини – метиловий ефір ріпакової олії, відомий також як біодизель і гліцерин. Після закінчення реакції суміші дають відстоятись. На загал частка біодизелю в одержаному продукті становить в середньому 75%, решта – гліцерин [51].

Недоліком даної технології виробництва МЕРО є невисокий вихід метилових ефірів (від 75 до 85%), неможливість проведення безперервного процесу, велика маса і габарити.

В міру збільшення потреби в біодизельному пальному відбувався пошук найбільш ефективних технологій та біореакторів. Виявлено, що традиційну циклічну технологію витіснила багатореакторна безперервна технологія, що використовує кілька біореакторів, об'єднаних в єдиний ланцюг.

Недоліком багатореакторної технології в цілому, включаючи проведення трьохстадійного безперервного метаноліза, є складність технологічного процесу, в якому тривалість реакції залежить від числа реакторів, а велика маса і габарити установок зумовлюють високу вартість отримання біодизельного пального.

Гідродинамічні змішувачі є ефективними апаратами, які виконують дві функції: обробки і перекачки рідини і їх застосовують як в технологічних лініях для виробництва МЕРО, так і для приготування сумішевого біопального. На рис. 1.2 приведено технологічну схему гідродинамічного змішувача, який встановлено в технологічну лінію виробництва сумішевого біопального [34].

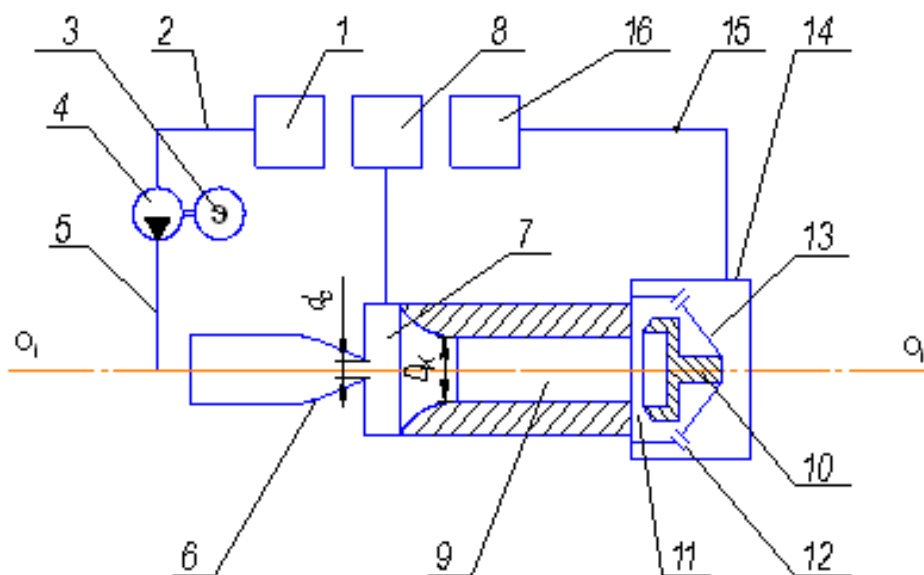


Рис. 1.2. Технологічна схема гідродинамічного змішувача:

1 – ємність з ДП; 2 – усмоктувальна гідравлічна лінія; 3 – електродвигун; 4 – насос; 5 – напірна гідравлічна лінія; 6 – сопло; 7 – приймальна камера; 8 – ємність з МЕРО; 9 – камера змішування; 10 – відбивач; 11 – щілинне сопло; 12 – отвір; 13 – конус; 14 – корпус; 15 – зливна гідравлічна лінія; 16 – ємність з біопальним

В табл. 1.1. приведено результати зрівняння механічних і гідродинамічних апаратів.

Таблиця 1.1.

## Результати зрівняння механічного і гідродинамічного апаратів

Показники	Тип апарата	
	Механічний	Гідродинамічний
Тривалість реакції естерифікації, хв.	150	5
Тривалість отримання біодизеля, хв.	15	5
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год.	1,2	3

Встановлено, що при функціонуванні дизельного двигуна на біопальному, яке пройшло через гідродинамічний апарат з вмістом МЕРО не більше 20%, витрата пального не змінюється, зі збільшенням вмісту МЕРО до 100% витрата зростає на 17,8%. Експлуатаційні показники МТА, що працюють на отриманому біопальному із співвідношенням 20% МЕРО та 80% ДП, відповідають показникам роботи МТА на ДП, тому що вони знижуються менш ніж на 1%, при співвідношенні його компонентів 50% МЕРО та 50% ДП продуктивність знижується, а витрата пального збільшується на 10% [34].

Недоліками гідродинамічного апарату є недостатньо якісна обробка суміші, недотримання заданого відсоткового співвідношення оброблених рідин, неможливість зміни об'ємних витрат рідини і контролю інтенсивності процесу обробки пального.

Для активації молекул метанолу та триацилгліцеридів рослинної олії пропонується використовувати біореактор, реакційний обсяг якого заповнений феромагнітними частинками, які вчиняють під дією зовнішнього обертового електромагнітного поля складні імпульсно-коливальні рухи. Обертове електромагнітне поле не тільки приводить в рух феромагнітні частинки, що перемішують реакційну масу, але й чинить додатковий вплив на реагенти. Ефективність обробки призводить до зміни параметрів масопередачі в бік її інтенсифікації, вплив електромагнітного поля – до різкого підвищення енергії активації вихідних сполук і збільшенню швидкості хімічної реакції [32]. Технологічна лінія приготування сумішевого пального включає стандартний набір

технологічного обладнання до якого входять ємність для олії, ємності для метанолу і каталізатора КОН, насосів і реактора, який включає апарат вихрового електромагнітного поля, систему охолодження апарату вихрового електромагнітного поля. Отриманий МЕРО після реактора насосом подається в сепаратор, звідки фаза сирого гліцерину надходить в резервуар для його зберігання, а метиловий ефір – в апарати очищення і резервуар для зберігання біопального. Далі МЕРО і дизельне пальне подаються в роторний апарат, а з нього, проходячи через іонізатор, сумішеве дизельне пальне відпускається кінцевому споживачеві.

Недоліком даної технологічної лінії є те що після сепаратора незначна частина сирого гліцерину залишається в МЕРО, малий термін зберігання приготовленого біопального, розшарування пального.

Для ефективної роботи автотракторних дизелів, які працюють на біопальному розроблені механічні пристрої для отримання біопального, які забезпечують підтримку необхідного складу суміші при заправці трактора. Прикладом таких апаратів є роторно–пульсаційні апарати в яких реалізується комплекс факторів впливу на оброблюване середовище (рис.1.3.) [36].

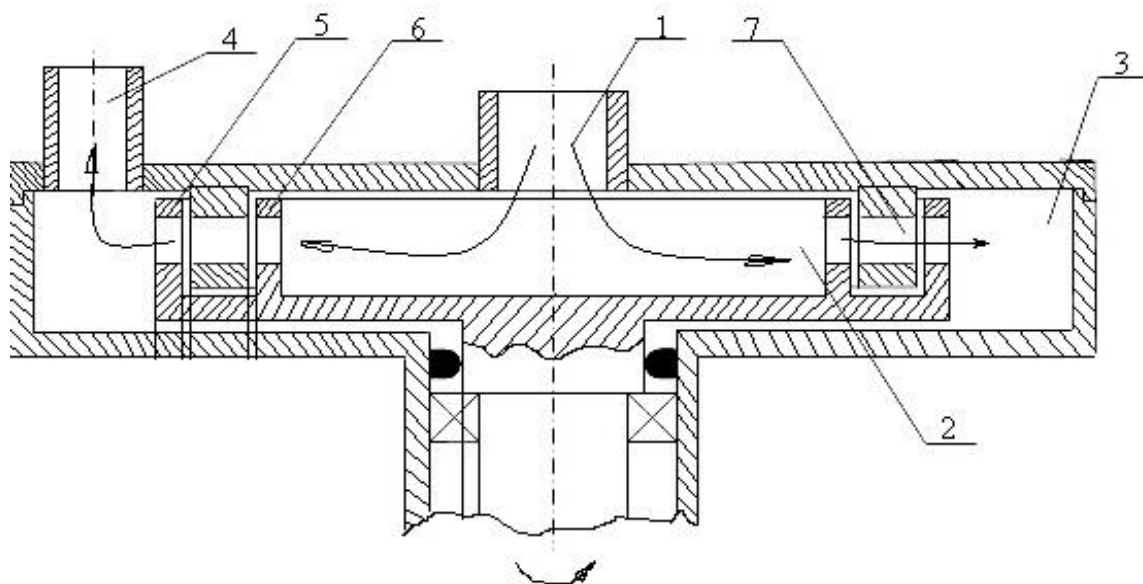


Рис. 1.3. Схема модифікованого роторного апарату: 1 – вхідний патрубков; 2 – порожнина ротора; 3 – робоча камера; 4 – вихідний патрубков; 5 – канал зовнішнього ротора; 6 – канал внутрішнього ротора; 7 – канал статора



Модифікований роторний апарат складається з вхідного патрубку 1, порожнини ротора 2, робочої камери 3, вихідного патрубку 4, каналів зовнішнього ротора 5, каналів внутрішнього ротора 6 і каналів статора 7.

В роторно–пульсаційних апаратах відбувається багатофакторний енергетичний вплив на оброблювані рідкі різномірні середовища в імпульсній формі, яка обумовлює інтенсифікацію кінетики метаноліза рослинних олій, процесу змішування нафтового дизельного пального та біодизеля, а також зниження енерговитрат (до 35%) при проведенні технологічних процесів отримання біопального в порівнянні з традиційними апаратами з механічною обробкою і ТЕНами. У робочому об'ємі роторного апарату локалізується істотна потужність: оброблювана рідина при русі через апарат піддається багатофакторному впливу, що полягає в інтенсивній кавітації, пульсаціях і захопуванні кавітаційних бульбашок, жорсткому кумулятивному впливі, високих зсувних зусиллях, її активації. Все це призводить до різкої інтенсифікації процесу метаноліза і поліпшенні якості пального за рахунок деструкції його молекул [36].

Аналіз результатів випробувань дизелів на біопальному обробленого в роторно–пульсаційних апаратах показує практичну можливість істотного поліпшення їх екологічних показників при роботі на сумішевому пальному до 20 %: ефективна потужність дизеля на номінальному режимі зменшується на 0,8–3,1% (дане зменшення обумовлено зниженням теплоти згорання сумішевого пального); годинна витрата і питома ефективна годинна витрата зростають відповідно на 1,9–4,2% і на 2,5–7,5%, а вміст вуглеводнів у відпрацьованих газах зменшується на 1,8–8,3% по відношенню до роботи на товарному дизельному пальному; зменшення викидів СО у відпрацьованих газах до 18–20%; зниження задимленості до 35%. Проведені дослідження показали можливість істотного поліпшення показників дизеля при його роботі на сумішевих паливах [36].

Одним із шляхів підвищення ефективності використання біопального є обробка його ультразвуком безпосередньо в системі живлення двигуна [29,52].

Ультразвуковий прилад на основі магнітострикційного випромінювачів звуку і генератора ультразвуку представляє собою циліндричну ємність, в яку встановлені випромінювачі ультразвуку (рис.1.4).

У ємність вмонтовані вхідний і вихідний патрубки. Біопальне В20, надходячи з паливного бака 1, потрапляє в ємність ультразвукового приладу 2, де обробляється ультразвуком, далі по паливопроводам 3 пальне поступає в фільтр грубої очистки 4, фільтр тонкої очистки 5, насос для підкачки пального 6, паливний насос високого тиску. Ультразвуковий генератор встановлений безпосередньо на ємності з випромінювачами ультразвуку. Прилад підключається до електричної системи трактора [29,52].

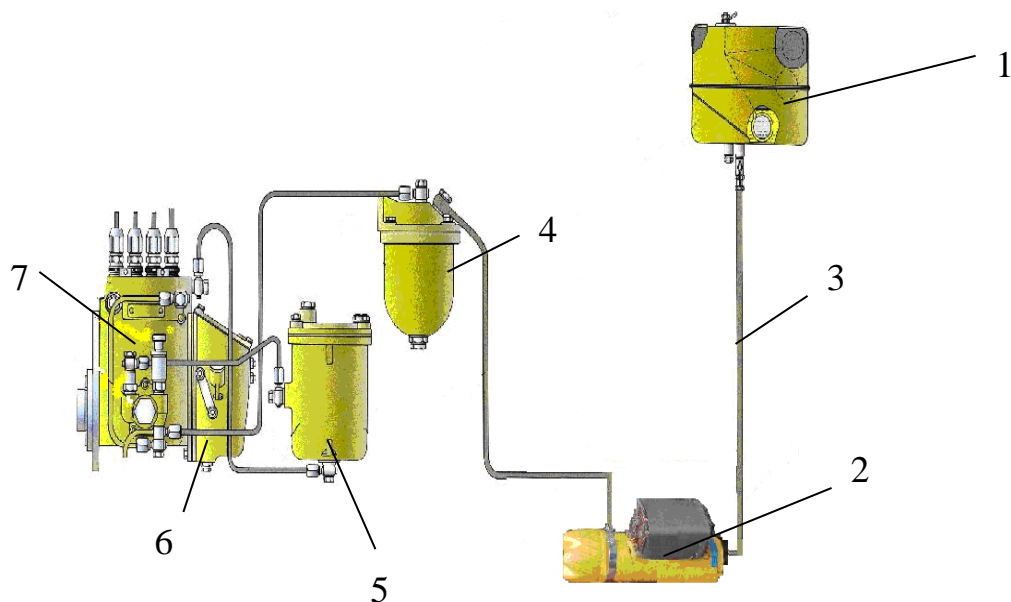


Рисунок 1.4 Схема установки ультразвукового приладу в системі живлення трактора паливом: 1 – бак для пального; 2 – ультразвуковий прилад; 3 – паливопроводи з'єднувальні; 4 – фільтр грубої очистки; 5 – фільтр тонкої очистки; 6 – насос для підкачування пального; 7 – насос паливний високого тиску.

Недоліком даного пристрою для ультразвукової обробки біопального є незначне зниження в'язкості пального, у зв'язку з малою пропускнуою здатністю ультразвукового випромінювача, а так само робота пристрою тільки при позитивних температурах повітря, так як в пристрої не передбачено підігріву біопального.

Змішувачі-фільтри мінерального пального і рослинної олії знайшли застосування в системі живлення дизелів автотракторної техніки. Змішувач-фільтр мінерального пального і рослинної олії (рис.1.5) включає корпус 1 з вхідними 12, 13 каналами, розташованими діаметрально [53]. У нижній частині корпусу 1 закріплений стакан 2, що має зливну пробку 6. Всередині склянки 2 розташована пустотіла вісь 3 з двома радіальними отворами 4, 5 і вихідним каналом 14, розміщена співвісно склянці 2 і корпусу 1. На осі 3 закріплений фільтруючий елемент 8, а в нижній частині осі встановлений заспокоювач 7. Фільтруючий елемент 8 являє собою втулку 9 з сітчастою набивкою 10 і багатодирчату шайбу 11. Технічний результат полягає в додатковому очищенню та підвищенні інтенсивності перемішування мінерального пального і рослинної олії [53].

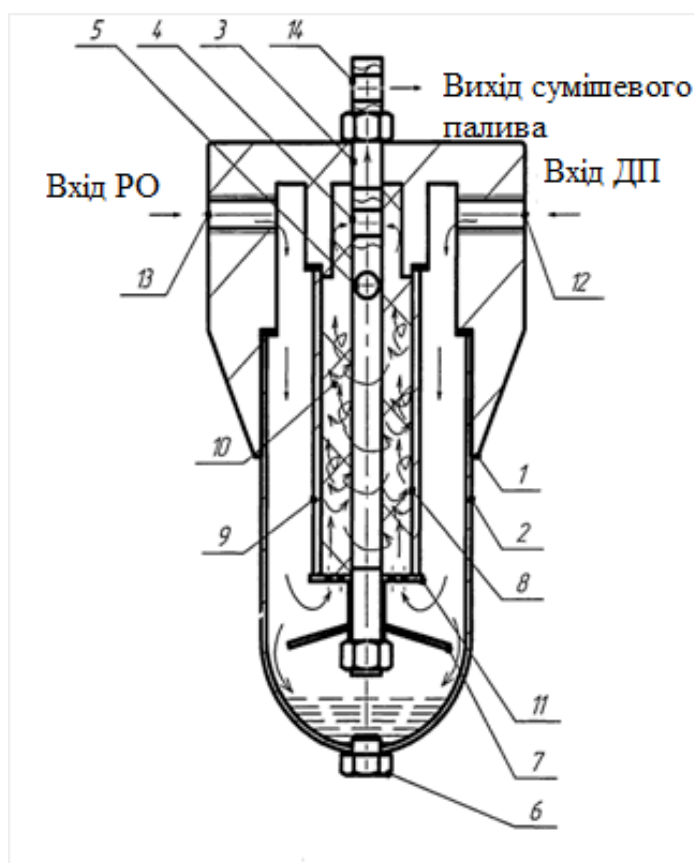


Рис. 1.5. Змішувач-фільтр мінерального пального і рослинної олії: 1 – корпус; 2 – стакан; 3 – пустотіла вісь; 4,5 – радіальні отвори; 6 – зливна пробка; 7 – заспокоювач; 8 – фільтруючий елемент, 9 – втулка, 10 – сітчана набивка; 11 – шайба; 12,13 – вхідні канали; 14 – вихідний канал

Недоліком змішувача-фільтра є недостатньо якісне перемішування мінерального пального і рослинної олії, а також неможливість додаткового очищення в процесі змішування.

Для обробки компонентів сумішевого біопального безпосередньо в потоці доцільно використовувати апарат струминного типу, в якому здійснюється процес інжекції [54]. Принципова схема струминного змішувача наведена на рис.1.6.

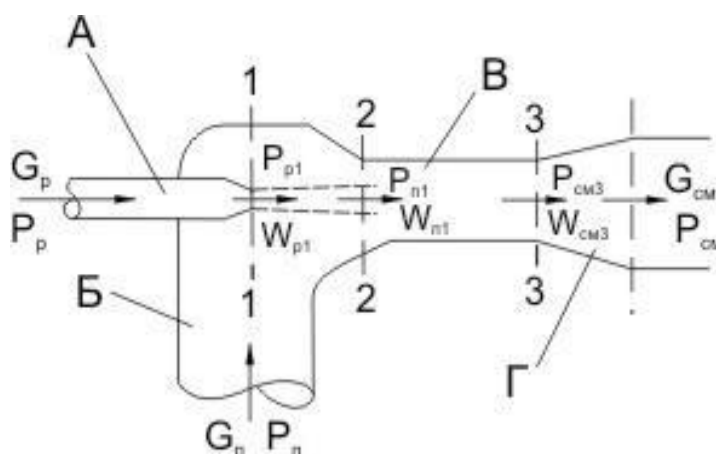


Рис. 1.6. Принципова схема струминного змішувача: А – робоче сопло; Б – приймальна камера; В – змішувальна камера; Р – дифузор; G – масова витрата, кг/с; P – тиск, Па; W – швидкість потоку рідини, м/с; індекси «р», «н» та «см» відносяться відповідно до параметрів робочого потоку рідини (подається через сопло), інжекції потоку і потоку суміші.

В таблиці 1.2 приведено обчислені значення оптимальних співвідношень між площами перерізів виходу з змішувальної камери і виходу з сопла у залежності від коефіцієнта інжекції.

Таблиця 1.2.

Обчислені значення оптимальних співвідношень між площами перерізів виходу з змішувальної камери і виходу з сопла

$u$	0	1	2	3	4	5	6	10
$\left(\frac{f_{cm3}}{f_{p1}}\right)_{opt}$	1,11	3,8	7,25	11,6	16,9	23,2	30,3	66,4

По аналізу існуючих пристроїв для обробки мінерально–рослинних палив в працях ТДАТУ була опублікована наукова стаття [55].

Недоліком практично всіх існуючих технологій виробництва біопального є використання апаратів періодичної дії з перемішувачами, у яких неможлива суттєва інтенсифікація тепломасообмінних процесів. Найважливішими стадіями, від яких безпосередньо залежить якість кінцевого продукту, є процеси обробки, метаноліза і рівень однорідності (гомогенізації), досягнутий при обробці товарного дизельного пального і МЕРО. Експериментально встановлено, що для інтенсифікації процесу отримання біопального тільки кавітаційного впливу на рослинні олії і метанол недостатньо. Необхідний подальший пошук ресурсозберігаючих технологій отримання якісного біопального, в яких інтенсифікація процесу досягається за рахунок багатofакторного впливу на реагенти зовнішніх силових полів різної фізичної природи. Безсумнівний інтерес у цьому плані представляють технічні рішення, спрямовані на створення пристроїв з механічним, кавітаційним, електричним та електромагнітним впливом. Одним із шляхів вирішення даної проблеми є використання ультразвуку та НВЧ електромагнітного поля для обробки сумішевого біопального з метою покращення функціональних властивостей біопального.

#### **1.4. Використання ультразвуку і НВЧ електромагнітного поля для обробки сумішевого біопального**

Для переведення роботи серійно випущеної автотракторної техніки на біопальне для дизелів необхідно не тільки модернізувати штатні системи живлення ДВЗ, але і використовувати різні методи фізико–хімічної обробки пального, до яких відноситься НВЧ електромагнітна і ультразвукова обробка.

Ультразвукова обробка є дієвим методом покращення фізичних, хімічних, теплотворних і експлуатаційних властивостей біопалив. Дія ультразвуку на біопальне обумовлена ефектом акустичної кавітації, тобто створенням в рідині пульсуючих бульбашок, заповнених газом. Після короткочасного існування, частина

бульбашок захоплюється, при цьому спостерігається локальне миттєве підвищення тиску, температури [56,57]. Поєднання таких різнорідних фізичних процесів, які діють одночасно на оброблюване пальне сприяє інтенсивній обробці і отриманню стійкої, однорідної емульсії, що дає змогу інтенсифікувати наступний процес згоряння. Приготування стійких емульсій, заключається в рівномірному розподілу однієї рідини в іншій і задача такого розподілу є дуже непростю. Однак, необхідність застосування емульсій для обробки рослинної олії з дизельним пальним змушує іти на створення спеціальних установок для їх отримання [58].

Для отримання таких емульсій можуть використовуватись пристрої механічного, електричного і електромагнітного НВЧ типів. В табл. 1.3. приведено дані про стійкість найбільш широко використовуваних сумішей ріпакової олії і дизельного пального В20 і В33, отриманих механічним шляхом і за допомогою ультразвукових ванн [29].

Таблиця 1.3.

Стійкість емульсій ріпакової олії і дизельного пального

Спосіб отримання емульсії	Час отримання 1 л емульсії,с	Стійкість емульсії, год.	
		В20	В33
		20% РО і 80%ДП	33%РО і 67%ДП
Механічний	300	1,5	1,1
Ультразвуковий	60	150	135

Із табл.1.3. видно, що стійкість емульсії із застосуванням ультразвуку, набагато вища, ніж отримана звичайною обробкою перемішуванням.

При використанні НВЧ електромагнітного поля досліджувалась стабільність сумішевого біопального (РО+ДП) отриманого двома способами – механічним перемішуванням і обробкою суміші НВЧ–генератором. Встановлено, що суміш пального з різною концентрацією компонентів стабільна на протязі 3–4 місяців, а після 6 місяців зберігання з'являються незначні зміни в кінематичній в'язкості в верхній і нижній точках судів [60].

Як в ультразвуковому полі так і при обробці НВЧ електромагнітному полі можна отримати емульсії з розмірами агрегатів  $10^{-10}$  мкм. Емульсії із таким малим розміром молекул є стійкими і не розшаровуються на протязі певного часу.

Найбільш широке застосування в низькочастотному діапазоні ультразвуку отримали випромінювачі магнітострикційного і п'єзоелектричного типів [57]. Основу магнітострикційного перетворювача складає сердечник із магнітострикційного матеріалу (нікелю, спеціальних сплавів або феритів) в формі стержня, або кільця. П'єзоелектричні перетворювачі для даного діапазону частот мають звичайну стержневу конструкцію в вигляді пластини із п'єзокераміки або п'єзоелектричного кристала, зажатою між двома металевими блоками. В магнітострикційних і п'єзоелектричних перетворювачах, розрахованих на звукові частоти, використовуються гнучкі коливання пластин і стрижнів або радіальні коливання кілець. В середньочастотному діапазоні ультразвуку застосовуються виключно п'єзоелектричні випромінювачі в вигляді пластин із п'єзокераміки або кристалів п'єзоелектриків (кварца, дигідрофосфату калія, ніобата літія та ін.), які створюють повздовжні або зсувні резонансні коливання по товщині. ККД п'єзоелектричних і магнітострикційних перетворювачів складає 50 – 90% [57].

При приготуванні емульсій рослинної олії і дизельного пального за допомогою ультразвуку необхідно враховувати, що для кожної речовини існує гранична концентрація отриманої емульсії. Максимальна концентрація емульсії отриманої за допомогою ультразвуку без застосування стабілізуючих речовин, складає в середньому 355 (максимальна концентрація емульсії, отриманих механічним збиванням, менше 15%). Застосування стабілізаторів (емульгаторів) дозволяє отримати емульсії з концентрацією більше 50% [61,62].

Відомі існуючі ультразвукові прилади для обробки пального ультразвуком. Наприклад, пристрій для акустичного надуву двигуна внутрішнього згорання (патент №2241128) [63], що використовується для ультразвукової обробки пального безпосередньо в двигуні. Даний прилад містить впускний трубопровід і підхідні до циліндра патрубки, а також випромінювач звуку. По меншій мірі, один випромінювач звуку вмонтований у впускний трубопровід, який пов'язаний з

електронним блоком управління і випромінює звук в простір впускного трубопроводу при надходженні заряду газо–повітряної суміші в циліндр двигуна при впуску, або при розрідженні поблизу впускного клапана в кінці процесу впуску в момент перекриття клапанів. У каналі головки циліндра перед впускним клапаном встановлений додатковий клапан, положення якого фіксується датчиком, пов'язаним з електронним блоком управління. При цьому на початку такту впуску додатковий клапан тільки частково відкривається, а потім відкривається повністю. Кількість і розташування джерела (джерел) звуку визначається для даної конкретної системи впуску експериментально. Джерело звуку виконано у вигляді гучномовця.

Недоліком даного пристрою для акустичного надуву двигуна внутрішнього згоряння є недостатня ефективність надуву.

Відомо також пристрій для ультразвукової обробки пального повітряної суміші в карбюраторах (патент №2244846) [64], який представляє пристрій для подрібнення великих крапель пального за допомогою ультразвукової обробки паливо–повітряної суміші в карбюраторах двигунів із зовнішнім сумішоутворенням. Пристрій містить ультразвуковий генератор ультразвуку, випромінювач, який встановлений безпосередньо в камері змішувача карбюратора і випромінює при цьому коливання в двох напрямках, в яких найбільш вірогідна поява великих крапель пального.

Таким чином, в існуючих приладах обробки пального не враховуються багато факторів, таких як, потужність приладу, його геометричні параметри, які дозволять домогтися поліпшенню техніко–економічних показників дизельного двигуна.

Також однією з найважливіших переваг ультразвукової обробки є надто тонке подрібнення рідин (до  $0,1...0,05\mu\text{м}$ ), що змінює їх фізико–хімічні властивості, що сприяє зниженню зносу (за рахунок появи великої кількості жирних кислот). Також поліпшується згорання паливної суміші в двигуні внутрішнього згоряння (за рахунок подрібнення рідин) і, як наслідок, поліпшення екологічних показників двигуна, поліпшення змащувальних властивостей обробленого ультразвуком сумішевого біопального [62–65].



## 1.5. Висновки по розділу і задачі дослідження

1. Аналіз літературних джерел показав, що основною проблемою застосування сумішевого біопального в дизельних двигунах внутрішнього згорання є необхідність адаптації паливної системи шляхом введення в неї додаткових пристроїв, або покращення функціональних властивостей сумішевих палив шляхом їх попередньої обробки.

2. Сумішеве біопальне, яке застосовується в дизелях з часом розшаровується на вихідні складові, що не задовільняє вимогам, які пред'являються до якості пального.

3. Зважаючи на недостатньо вивчений вплив ультразвуку та НВЧ електромагнітного поля для покращення функціональних властивостей сумішевих біопалив, розробка електротехнологічного комплексу для обробки біопального ультразвуком та НВЧ електромагнітним полем представляє значний теоретичний і практичний інтерес.

В дисертаційній роботі необхідно вирішити наступні задачі:

1. Теоретично обґрунтувати параметри електротехнологічного комплексу для покращення функціональних властивостей біопального.

2. Дослідити вплив ультразвуку на в'язкість біопального в залежності від часу обробки, інтенсивності і частоти, вплив НВЧ електромагнітного поля і вплив обробки пального в механічному гомогенізаторі на в'язкість в залежності від часу обробки.

3. Розробити, виготовити і випробувати в виробничих умовах електротехнологічний комплекс для покращення функціональних властивостей біопального.

4. Економічно обґрунтувати ефективність використання електротехнологічного комплексу для покращення функціональних властивостей біопального.

## **2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІОПАЛЬНОГО**

Для забезпечення якісної обробки складових біопального використано ультразвукову обробку в сукупності з обробкою у надвисокочастотному електромагнітному полі. Ультразвукову обробку потрібно вести в кавітаційному режимі, який забезпечує перемішування завдяки гідродинамічним течіям на макрорівні і кавітації на мікрорівні. Надвисокочастотна електромагнітна обробка дозволяє здійснити рівномірний нагрів і обробку суміші одночасно з ультразвуковим впливом. При опроміненні сумішевого пального НВЧ частотою 2,45 ГГц відбувається його обробка і нагрівання в змінному електричному полі, під дією якого матеріал поляризується, при цьому здійснюється робота по подоланню сил внутрішніх зв'язків атомів, молекул, заряджених комплексів. Більша частина цієї роботи перетворюється в тепло. Потужність, яка виділяється в біопальному, зазвичай відноситься до одиниці об'єму. Так як вихідна (корисна) мікрохвильова потужність магнетрона знаходиться в межах 100 – 800 Вт (стандарт ІЕС – 705), то необхідна потужність НВЧ пристрою для електротехнологічного комплексу буде визначатись після проведення експериментальних досліджень.

### **2.1. Обґрунтування параметрів ультразвукового поля**

Для забезпечення кавітаційного режиму параметри ультразвукового поля (інтенсивність і частота) повинні мати певні значення. Відомо, що кавітаційний режим найбільш ефективний в діапазоні частот від 20 до 200 кГц [56,66]. В цьому діапазоні для отримання ультразвуку раціонально використовувати магнітострикційні перетворювачі, при цьому найпоширеніший діапазон частот з технічних зручностей лежить в межах від 20 до 40 кГц.

Для забезпечення ультразвукової кавітації в цьому діапазоні інтенсивність ультразвуку складає від 1 до 5 Вт/см<sup>2</sup> [66–68].

При розповсюдженні ультразвуку в середовищі його інтенсивність зменшується, що характеризується коефіцієнтом поглинання. Величина цього коефіцієнту для рідини незначна. Але у разі, якщо рідина насичена кавітаційними бульбашками коефіцієнту поглинання в залежності від інтенсивності може досягати для рідини з в'язкістю 4 мПа·с біопального величини 1 дБ/см при інтенсивності 5 Вт/см<sup>2</sup> [66]. Тому приймаємо середній коефіцієнту поглинання 0,5 дБ/см (0,0575 Нп/см).

Відстань на якій інтенсивність зменшиться від однієї величини до іншої розраховується за формулою [67]:

$$l = \frac{10}{\alpha} \log \frac{W_1}{W_2}, \quad (2.1)$$

де  $l$  – довжина камери обробки (навантаження), см;

$\alpha$  – коефіцієнт поглинання, дБ/см.

$W_1, W_2$  – інтенсивність ультразвуку на початку та в кінці камери обробки відповідно, Вт/см<sup>2</sup>.

Розрахунок відстані за формулою (2.1) при  $\alpha=0,5$  дБ/см,  $W_1=5$  Вт/см<sup>2</sup>,  $W_2=1$  Вт/см<sup>2</sup>, дає результат  $l=14$  см.

## **2.2. Аналіз роботи електроакустичної системи при обробці сумішевого біопального в кавітаційному режимі**

Для теоретичного аналізу наведемо співвідношення для параметрів ультразвукової хвилі [69].

Діюче значення коливальної швидкості ультразвукової хвилі:

$$v = \frac{P}{\rho \cdot c} = \frac{P}{\xi} = \frac{f}{S \cdot \xi} = \frac{f}{S \cdot \rho \cdot c}, \quad (2.2)$$

де  $v$  – діюче значення коливальної швидкості, м/с;

$p$  – діюче значення тиску, Па;

$\rho$  – густина речовини, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  – швидкість звуку в речовині, м/с;

$\zeta$  – питомий акустичний опір матеріалу, Па·с/м;

$f$  – сила, Н;

$S$  – площа, м<sup>2</sup>

Інтенсивність ультразвуку:

$$W = \frac{P}{S} = \frac{p^2}{\rho \cdot c} = v^2 \cdot \rho \cdot c = p \cdot v, \quad (2.3)$$

де  $P$  - потужність ультразвуку, Вт.

Електроакустична система включає генератор електричних коливань ультразвукової частоти, електроакустичний перетворювач та камеру (рис. 2.1).

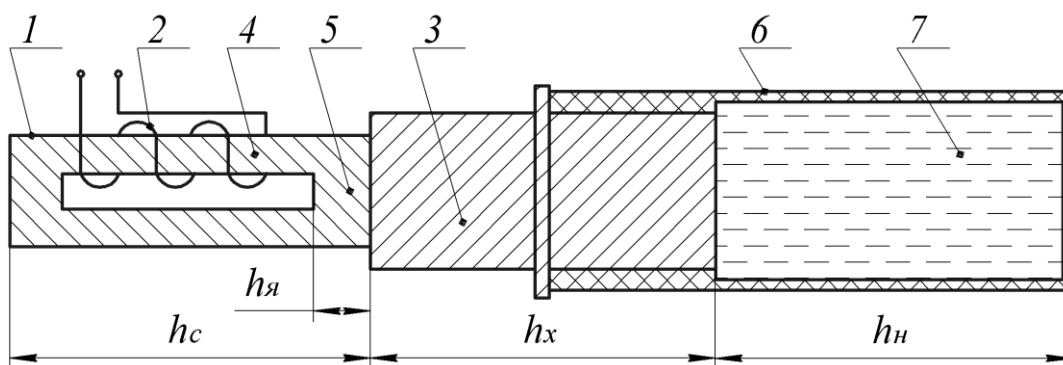


Рис. 2.1. Електроакустична система для обробки сумішевого біопального: 1 – пакет пластин; 2 – обмотка збудження і підмагнічування; 3 – хвилевод; 4 – активні стрижні пакету; 5 – ярмо пакету; 6 – камера обробки; 7 – біопальне

Рідина, що знаходиться в камері обробки являє собою акустичне навантаження для перетворювача. В загальному випадку навантаження буде комплексним опором. В якості електроакустичного перетворювача застосовується магнітострикційний перетворювач. Він складається з пакету пластин з магнітострикційного мате-

ріалу 1, обмотки збудження і підмагнічування 2 та хвилеводу 3. Пакет пластин складається з активних стержнів 4, в яких магнітний потік співпадає з напрямом розповсюдження ультразвукової хвилі та ярма (накладки) 5, яка є пасивною частиною з точки зору генерування хвиль і є елементом, що замикає магнітопровід. Ультразвукові коливання збуджуються в активних стрижнях пакету 4 і через хвилевод 3 розповсюджуються в камеру обробки 6 з шаром біопального 7.

Аналіз роботи електроакустичної системи будемо вести на підставі еквівалентної схеми заміщення (рис. 2.2) [70]. Вона включає електромеханічний трансформатор  $T$  на електричній стороні якого враховано індуктивний опір обмотки збудження  $x_e$  та опір електричних втрат  $r_{e.e}$ . На механічній стороні послідовно з'єднані акустичні опори активних стрижнів пакету  $Z'_c$ , ярма пакету  $Z'_я$ , хвилеводу  $Z'_x$ , навантаження  $Z'_н$  та опір механічних втрат  $R_e$ , що приведені до активних стрижнів пакету.

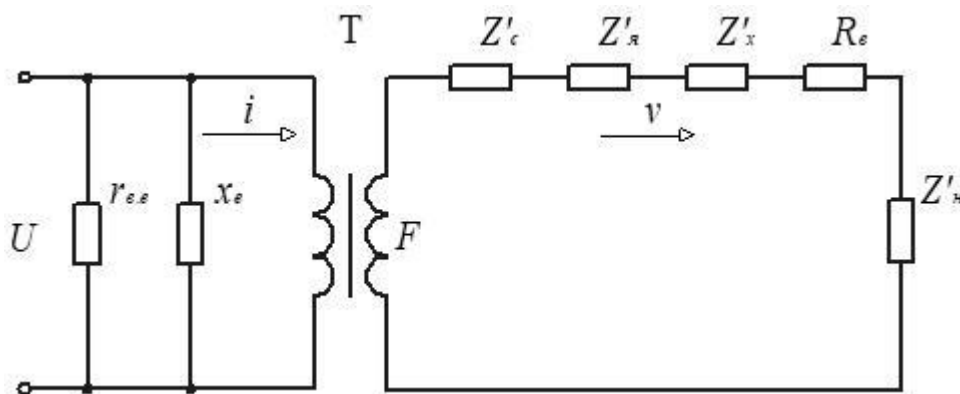


Рис. 2.2. Еквівалентної схеми заміщення електроакустичного перетворювача

Для розрахунку акустичних опорів еквівалентної схеми заміщення, приведені до активних стрижнів пакету запишемо відповідні входні опори елементів електроакустичної системи.

Вхідний опір хвилеводу [71]:

$$Z_{BX.X} = \xi_X S_X \frac{Z_{BX.H} \cos(k_X h_X) - j \xi_X S_X \sin(k_X h_X)}{\xi_X S_X \cos(k_X h_X) - j Z_{BX.H} \sin(k_X h_X)}, \quad (2.4)$$

де  $Z_{\text{вх.х}}$  – вхідний опір хвилеводу, кг/с;

$\xi_{\text{х}}$  – питомий акустичний опір матеріалу хвилеводу, Па·с/м;

$S_{\text{х}}$  – площа перерізу хвилеводу, м<sup>2</sup>;

$k_{\text{х}}$  – хвильове число матеріалу хвилеводу, рад/м.

$h_{\text{х}}$  – довжина хвилеводу, м;

$Z_{\text{вх.н}}$  – вхідний опір навантаження, кг/с.

Хвильове число:

$$k = \frac{\omega}{c}, \quad (2.5)$$

де  $\omega$  – кутова частота, рад/с;

$c$  – швидкість звуку в матеріалі, м/с.

Вхідний опір ярма:

$$Z_{\text{вх.я}} = \xi_{\text{я}} S_{\text{я}} \frac{Z_{\text{вх.х}} \cos(k_{\text{я}} h_{\text{я}}) - j \xi_{\text{я}} S_{\text{я}} \sin(k_{\text{я}} h_{\text{я}})}{\xi_{\text{я}} S_{\text{я}} \cos(k_{\text{я}} h_{\text{я}}) - j Z_{\text{вх.х}} \sin(k_{\text{я}} h_{\text{я}})}, \quad (2.6)$$

де  $Z_{\text{вх.я}}$  – вхідний опір ярма, кг/с;

$\xi_{\text{я}}$  – питомий акустичний опір матеріалу ярма, Пас/м;

$S_{\text{я}}$  – площа перерізу ярма, м<sup>2</sup>;

$k_{\text{я}}$  – хвильове число матеріалу ярма, рад/м.

$h_{\text{я}}$  – довжина ярма, м.

Вхідний опір поглинаючого шару рідини, який є навантаженням електроакустичної системи [71]:

$$Z_{\text{вх.н}} = \xi_{\text{н}} S_{\text{н}} \frac{\xi_{\text{н}} S_{\text{н}} sh(\gamma_{\text{н}} h_{\text{н}}) + j Z_{\text{вх.б}} ch(\gamma_{\text{н}} h_{\text{н}})}{Z_{\text{вх.б}} sh(\gamma_{\text{н}} h_{\text{н}}) + j \xi_{\text{н}} S_{\text{н}} ch(\gamma_{\text{н}} h_{\text{н}})}, \quad (2.7)$$

де  $\xi_{\text{н}}$  – питомий акустичний опір матеріалу навантаження, Пас/м;

$S_{\text{н}}$  – площа перерізу камери навантаження, м<sup>2</sup>;

$k_H$  – хвильове число матеріалу навантаження, рад/м.

$h_H$  – довжина камери навантаження, м;

$Z_{вх.в.}$  – вхідний опір випромінювання, кг/с.

$\gamma_H$  – комплексне хвильове число речовини навантаження, рад/м.

Комплексне хвильове число [71]:

$$\gamma_H = \alpha_H - jk_H, \quad (2.8)$$

де  $\alpha_H$  – коефіцієнт поглинання речовини навантаження,  $m^{-1}$ .

Якщо навантаження на ярмо дорівнює нулю ( $Z_{вх.х}=0$ ), то власний опір ярма з рівняння (2.3) буде дорівнювати:

$$Z_{я} = -j\xi_{я} S_{я} \operatorname{tg}(k_{я} h_{я}), \quad (2.9)$$

де  $Z_{я}$  – власний опір ярма, кг/с.

Ярмо являє собою елемент магнітопроводу і його довжина повинна забезпечувати достатню площу перетину для проходження магнітного потоку. Для ярма виготовленого з пермендіюру з густиною  $8100 \text{ кг/м}^3$ , швидкістю звуку  $5200 \text{ м/с}$ , при площі перетину  $0,0009 \text{ м}^2$  та довжині ярма  $0,015 \text{ м}$  залежності акустичних опорів приведених до стрижнів пакету надані на рис. 2.3. Побудова графічних залежностей здійснювалась за допомогою програми MATLAB [73]. Лістинг для побудови залежностей надані в додатку 1.

Для частоти порядку  $20 \text{ кГц}$  реактивний акустичний опір ярма складає величину близько  $20000 \text{ кг/с}$  (рис. 2.3), і він повинен бути скомпенсований реактивними опорами інших елементів електроакустичної системи.

Вхідний опір навантаження хвилеводу на ярмо пакета, що приведений до його активних стрижнів [70]:

$$Z'_{вх.х} = Z_{вх.я} - Z_{я}, \quad (2.10)$$

$$Z'_{BX.X} = \xi_{\text{я}} S_{\text{я}} \frac{Z_{BX.X} \cos(k_{\text{я}} h_{\text{я}}) - j \xi_{\text{я}} S_{\text{я}} \sin(k_{\text{я}} h_{\text{я}})}{\xi_{\text{я}} S_{\text{я}} \cos(k_{\text{я}} h_{\text{я}}) - j Z_{BX.X} \sin(k_{\text{я}} h_{\text{я}})} + j \xi_{\text{я}} S_{\text{я}} \operatorname{tg}(k_{\text{я}} h_{\text{я}}) =$$

$$= \frac{Z_{BX.X}}{\cos^2(k_{\text{я}} h_{\text{я}}) \left(1 - j \frac{Z_{BX.X}}{\xi_{\text{я}} S_{\text{я}}} \operatorname{tg}(k_{\text{я}} h_{\text{я}})\right)}, \quad (2.11)$$

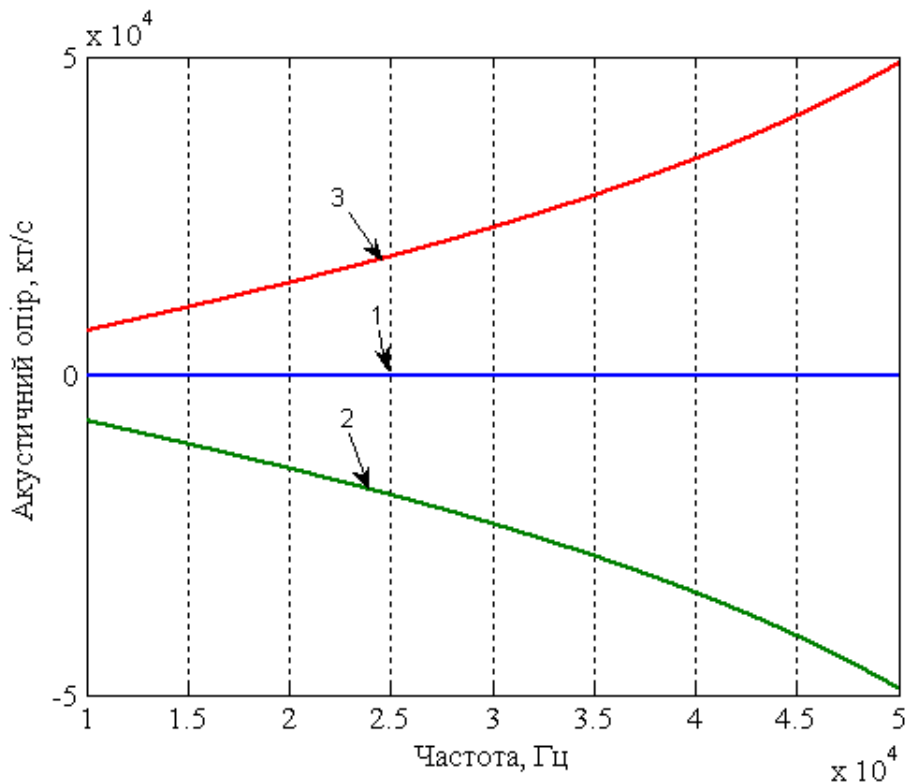


Рис. 2.3. Залежності акустичних опорів яра, приведених до стрижнів пакету від частоти ультразвуку: 1– активний опір; – реактивний опір; 3 – повний опір

Власний опір хвилеводу отримуємо з рівняння (2.2) при умові  $Z_{\text{вх.н}}=0$ :

$$Z_x = -j \xi_x S_x \operatorname{tg}(k_x h_x), \quad (2.12)$$

де  $Z_x$  - власний опір хвилеводу, кг/с.

Власний опір хвилеводу, що приведений до активних стрижнів пакету отримуємо за результатами підстановки виразу для  $Z_x$  з формули (2.12) у формулу (2.11):



$$Z'_x = \frac{Z_x}{\cos^2(k_y h_y) \left(1 - j \frac{Z_x}{\xi_y S_y} \operatorname{tg}(k_y h_y)\right)} = \frac{-j \xi_x S_x \operatorname{tg}(k_x h_x)}{\cos^2(k_y h_y) \left(1 - \frac{\xi_x S_x \operatorname{tg}(k_x h_x)}{\xi_y S_y} \operatorname{tg}(k_y h_y)\right)}, \quad (2.13)$$

На рис. 2.4. представлена залежність акустичного опору, приведенного до активних стрижнів для хвилеводу виготовленого зі сталі густиною  $7800 \text{ кг/м}^3$ , швидкістю звуку  $6100 \text{ м/с}$ , при площі перетину  $0,0009 \text{ м}^2$  та довжині хвилеводу  $0,11 \text{ м}$ .

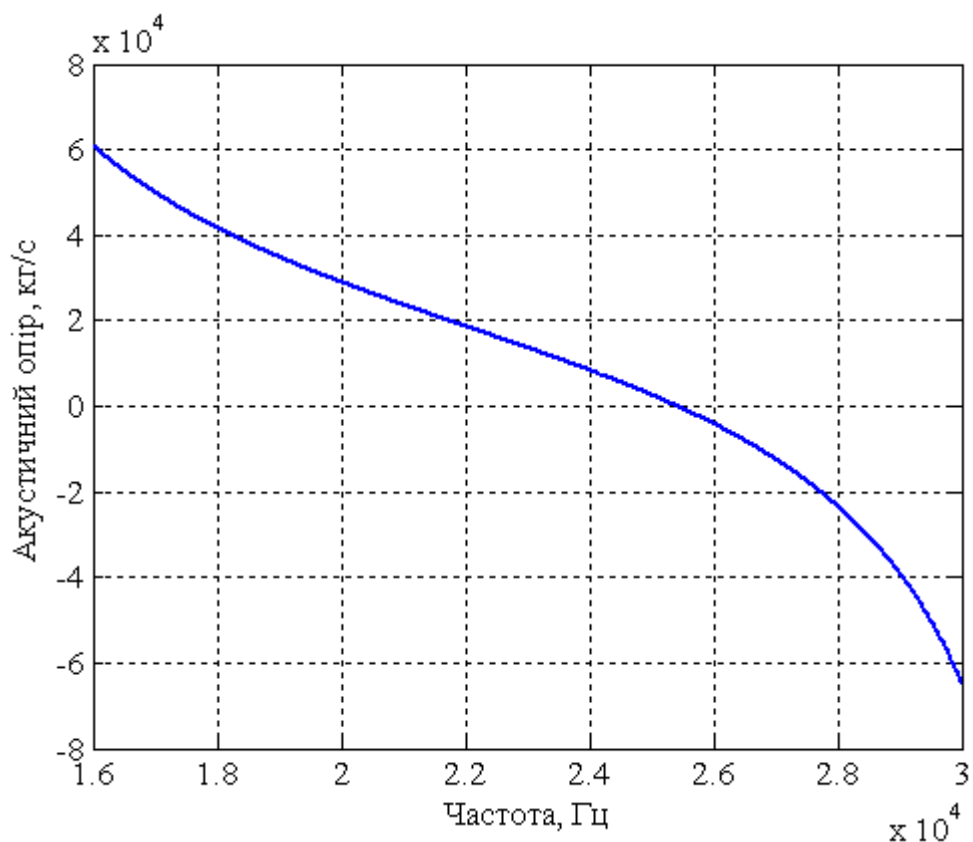


Рис. 2.4. Залежність реактивного опору хвилеводу, приведенного до стрижнів пакету від частоти ультразвуку

Власний реактивний опір хвилеводу повинен бути мінімальним за абсолютною величиною поблизу резонансної частоти перетворювача (рис. 2.4).

Опір навантаження на хвилевод, що приведений до яра:

$$Z_H'' = Z_{BX.X} - Z_X = \xi_X S_X \frac{Z_{BX.H} \cos(k_X h_X) - j \xi_X S_X \sin(k_X h_X)}{\xi_X S_X \cos(k_X h_X) - j Z_{BX.H} \sin(k_X h_X)} + j \xi_X S_X \operatorname{tg}(k_X h_X) =$$

$$= Z \frac{\operatorname{ctg}^2(k_X h_X) + 1}{\operatorname{ctg}^2(k_X h_X) - j \operatorname{ctg}(k_X h_X) \frac{Z_{BX.H}}{\xi_X S_X}}, \quad (2.14)$$

Навантаженням для хвилеводу є поглинаючий шар рідини з у якого вхідний опір випромінювання дорівнює нулю ( $Z_{BX.B}=0$ ). З формули (2.7) отримуємо:

$$Z_H = \xi_H S_H \operatorname{th}(\gamma_H h_H) \quad (2.15)$$

де  $Z_H$  - опір навантаження, кг/с.

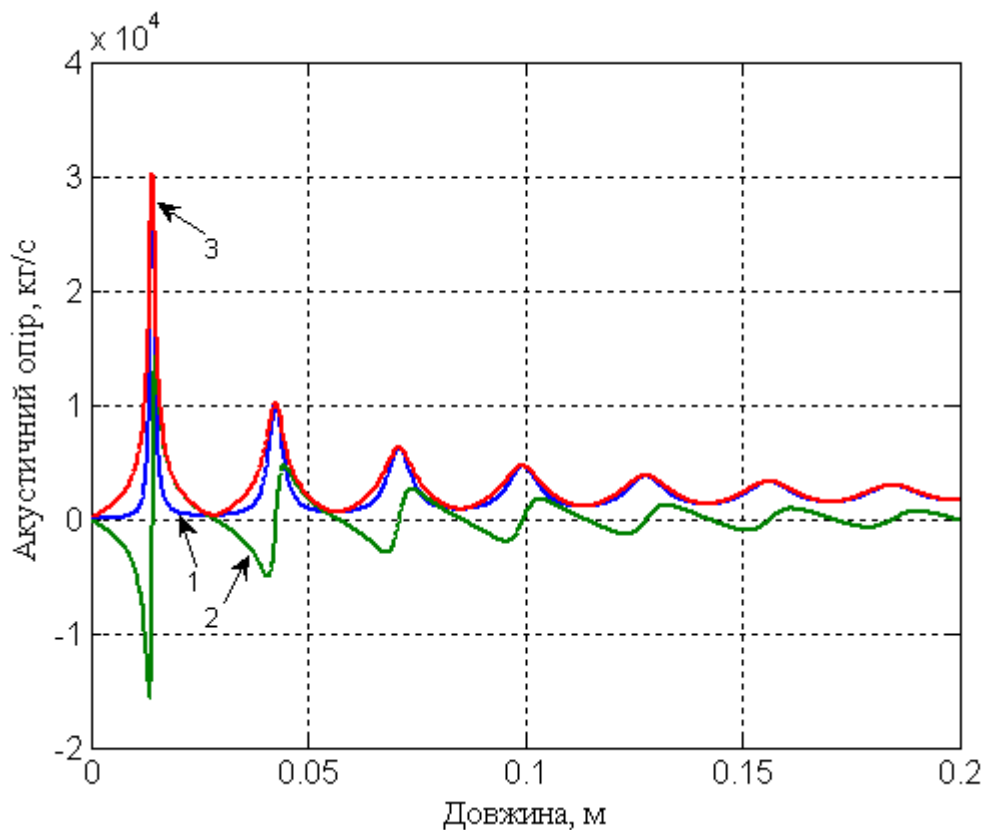


Рис. 2.5. Залежності вхідних акустичних опорів поглинаючого шару рідини від його довжини: 1– активний опір; 2 – реактивний опір; 3 – повний опір

Для кавітуючого в ультразвуковому полі біопального коефіцієнт поглинання  $\alpha=5,75$  Нп/м, швидкість ультразвуку  $c=1250$  м/с, то відповідно до формул (2.5) та (2.8)  $\gamma_H=5,75-j\omega/1250$ . Для таких умов при частоті 22 кГц залежності акустичних опорів від довжини камери обробки мають вигляд, представлений на рис. 2.5.

Отримані залежності мають періодичний затухаючий вигляд і на відстані близько розрахункової (14 см) амплітуда навантаження змінюється від 2000 до 4000 кг/с (рис. 2.5). При фіксованій довжині камери (14 см) та змінній частоті точне значення акустичних опорів навантаження складає величину, що лежить в межах від 1300 до 3500 кг/с (рис. 2.6)

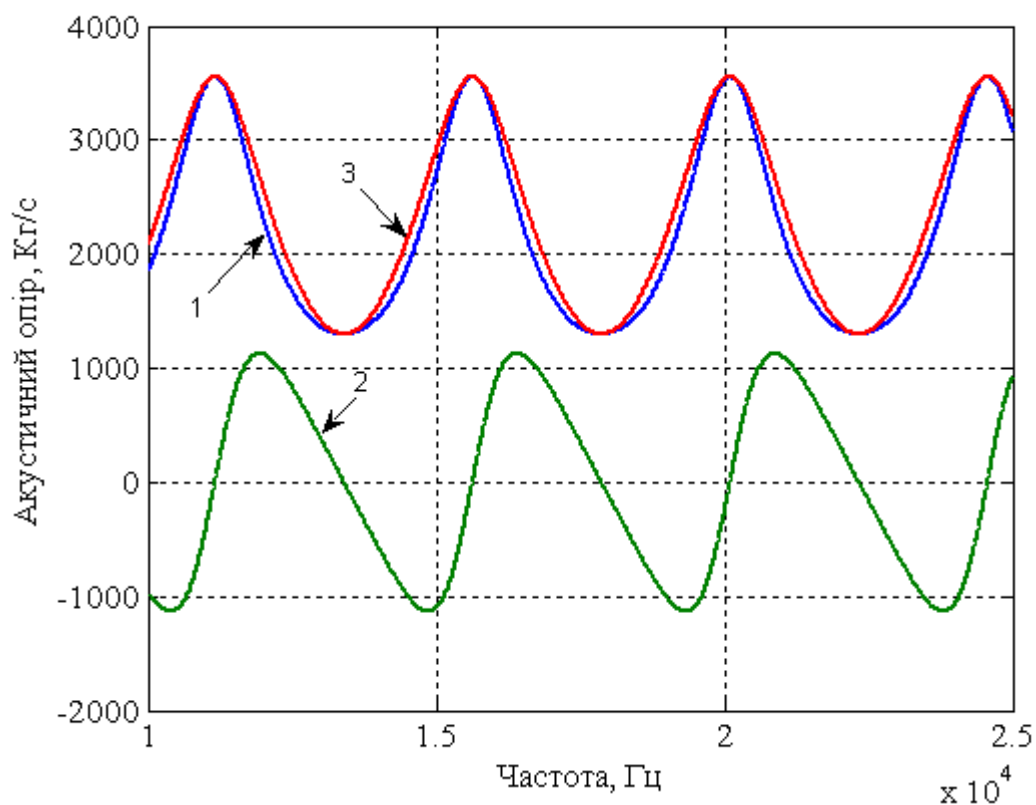


Рис. 2.6. Залежності вхідних акустичних опорів поглинаючого шару рідини від частоти ультразвуку: 1 – активний опір; 2 – реактивний опір; 3 – повний опір

Опір навантаження, що приведений до ярма отримаємо після підстановки виразу (2.15) для  $Z_H$  в формулу (2.14):

$$Z_H'' = \xi_H S_H \operatorname{th}(\gamma_H h_H) \frac{\operatorname{ctg}^2(k_x h_x) + 1}{\operatorname{ctg}^2(k_x h_x) - j \operatorname{ctg}(k_x h_x) \frac{\xi_H S_H \operatorname{th}(\gamma_H h_H)}{\xi_X S_X}}, \quad (2.16)$$

де  $Z_H''$  – опір навантаження, що приведений до ярма, кг/с.

Загальний опір, що приведений до ярма:

$$\begin{aligned} Z_{H.X.}'' &= Z_H'' + Z_X = \\ &= \xi_H S_H \operatorname{th}(\gamma_H h_H) \frac{\operatorname{ctg}^2(k_x h_x) + 1}{\operatorname{ctg}^2(k_x h_x) - j \operatorname{ctg}(k_x h_x) \frac{\xi_H S_H \operatorname{th}(\gamma_H h_H)}{\xi_X S_X}} - j \xi_X S_X \operatorname{tg}(k_x h_x) \end{aligned} \quad (2.17)$$

де  $Z_{H.X.}''$  – загальний опір, що приведений до ярма, кг/с.

Загальний опір навантаження та хвилеводу, що приведений до стрижнів пакету:

$$Z_{H.X.}' = \frac{Z_{H.X.}''}{\cos^2(k_y h_y) \left(1 - j \frac{Z_{H.X.}''}{\xi_Y S_Y} \operatorname{tg}(k_y h_y)\right)}, \quad (2.18)$$

Аналіз формули (2.18) показує (рис. 2.7), що мінімальний сумарний акустичний опір навантаження та хвилеводу, який дає максимальну потужність відповідає частоті 25,5 кГц. Для точного визначення частоти при якій потужність (без врахування механічних втрат) буде максимальною потрібно визначити активний опір навантаження приведений до активних стрижнів пакету.

Опір навантаження, що приведений до стрижнів пакету:

$$Z_H' = Z_Y' - Z_X', \quad (2.19)$$

Якщо  $k_x h_x = \pi$ , тобто хвилевод є напівхвильовий, то опір навантаження, що приведений до стрижнів пакету буде дорівнювати:

$$Z'_H = \frac{\xi_H S_H th(\gamma_H h_H)}{\cos^2(k_{Я} h_{Я}) \left(1 - j \frac{\xi_H S_H th(\gamma_H h_H)}{\xi_{Я} S_{Я}} tg(k_{Я} h_{Я})\right)}, \quad (2.20)$$

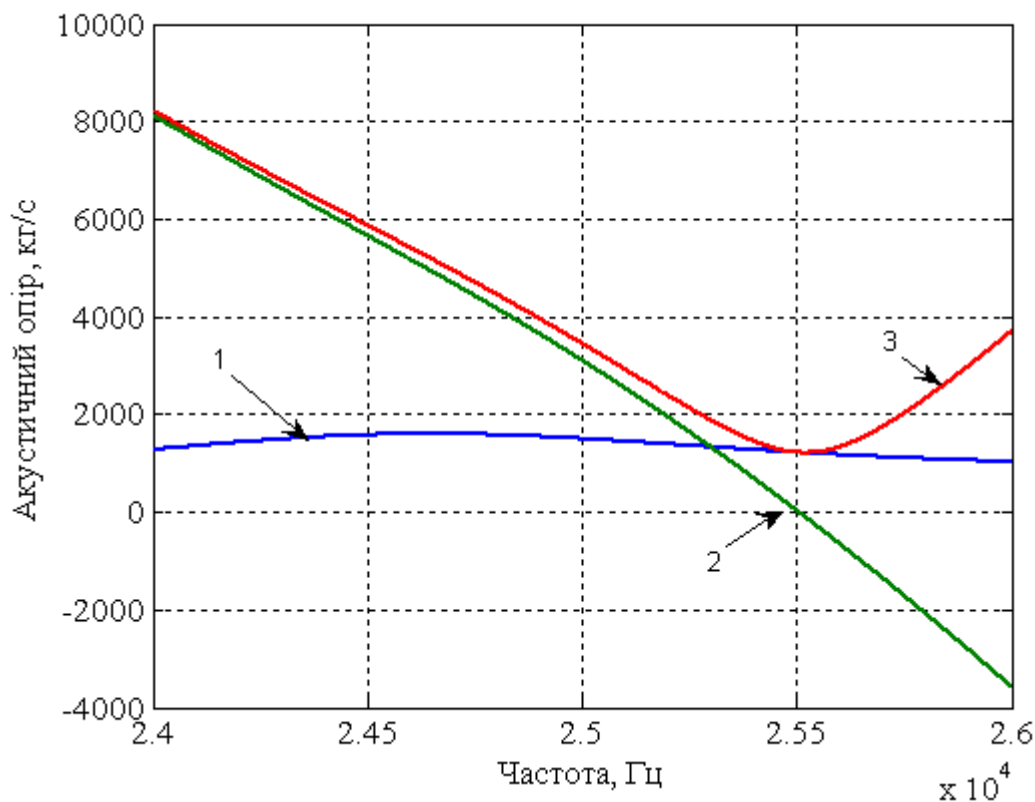


Рис. 2.7. Залежності загального опору, приведенного до стрижнів пакету від частоти ультразвуку: 1– активний опір; 2 – реактивний опір; 3– повний опір

У разі, якщо довжина хвилеводу інша, то опір навантаження, що приведений до стрижнів пакету буде дорівнювати:

$$Z'_H = \frac{\xi_H S_H th(\gamma_H h_H) \frac{ctg^2(k_X h_X) + 1}{ctg^2(k_X h_X) - jctg(k_X h_X)} - j\xi_X S_X tg(k_X h_X)}{\cos^2(k_{Я} h_{Я}) \left(1 - j \frac{\xi_H S_H th(\gamma_H h_H) \frac{ctg^2(k_X h_X) + 1}{ctg^2(k_X h_X) - jctg(k_X h_X)} - j\xi_X S_X tg(k_X h_X)}{\xi_X S_X} tg(k_{Я} h_{Я})\right)}$$

$$-\frac{j\xi_x S_x \operatorname{tg}(k_x h_x)}{\cos^2(k_y h_y) \left(1 - \frac{\xi_x S_x \operatorname{tg}(k_x h_x)}{\xi_y S_y} \operatorname{tg}(k_y h_y)\right)}, \quad (2.21)$$

Аналіз формули (2.21) показує, що на частотах кратних частотам  $1/4$  довжини хвилі активні опори мають максимальні величини (рис. 2.8), при яких потужності дорівнюють 0.

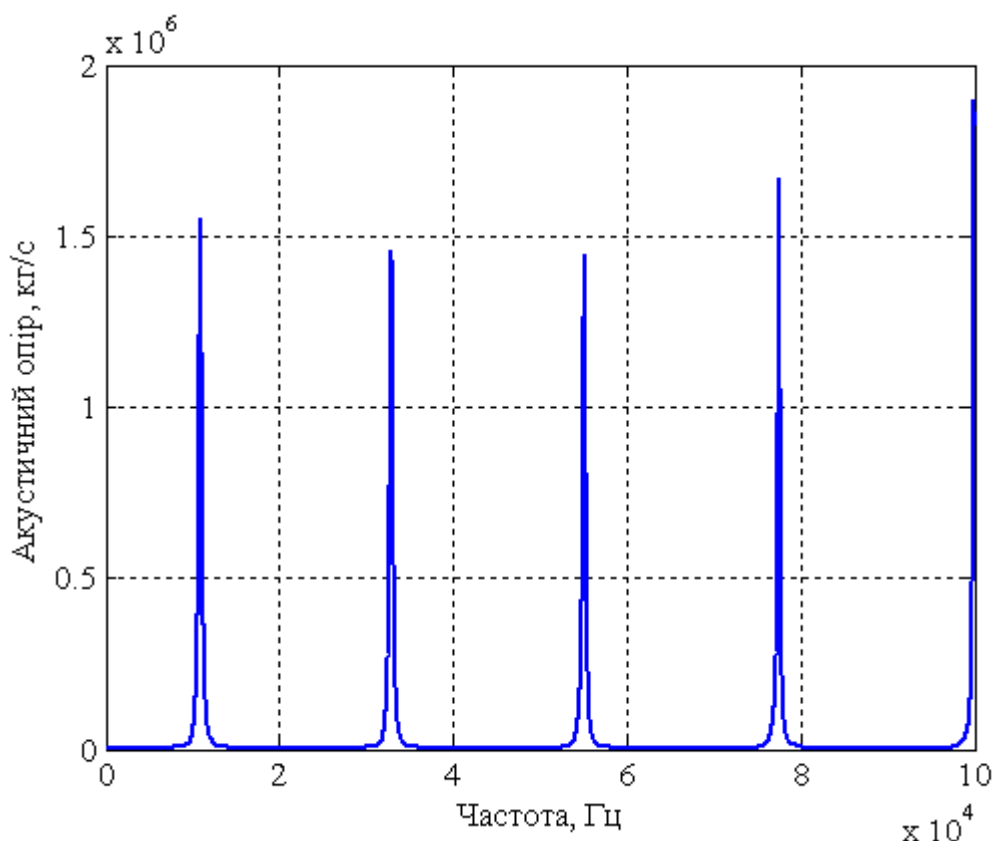


Рис. 2.8. Залежність активного опору навантаження, приведеного до активних стрижнів пакету від частоти ультразвуку

На рис. 2.9 зображені залежності акустичного опору для інтервалу частот від 20 до 25 кГц, тобто близького до напівхвильового резонансу. Мінімальне значення опору для цих залежностей відповідає частоті 22 кГц. Так наближення також не дає оптимального значення частоти ультразвуку.

Для розв'язання задачі обґрунтування частоти для забезпечення максимальної потужності потрібно отримати залежності сили та потужності від частоти ультразвуку. Розглянемо енергетичні характеристики електроакустичної системи, для забезпечення інтенсивності ультразвуку в шарі біопального  $5 \text{ Вт/см}^2$ .

Для забезпечення потрібної інтенсивності в шарі рідини, що являє собою навантаженням, відповідно до схем заміщення (рис. 2.2) та формул (2.2), (2.3) коливальна швидкість повинна складати:

$$v = \sqrt{\frac{W \cdot S}{|Z_H'|}}, \quad (2.22)$$

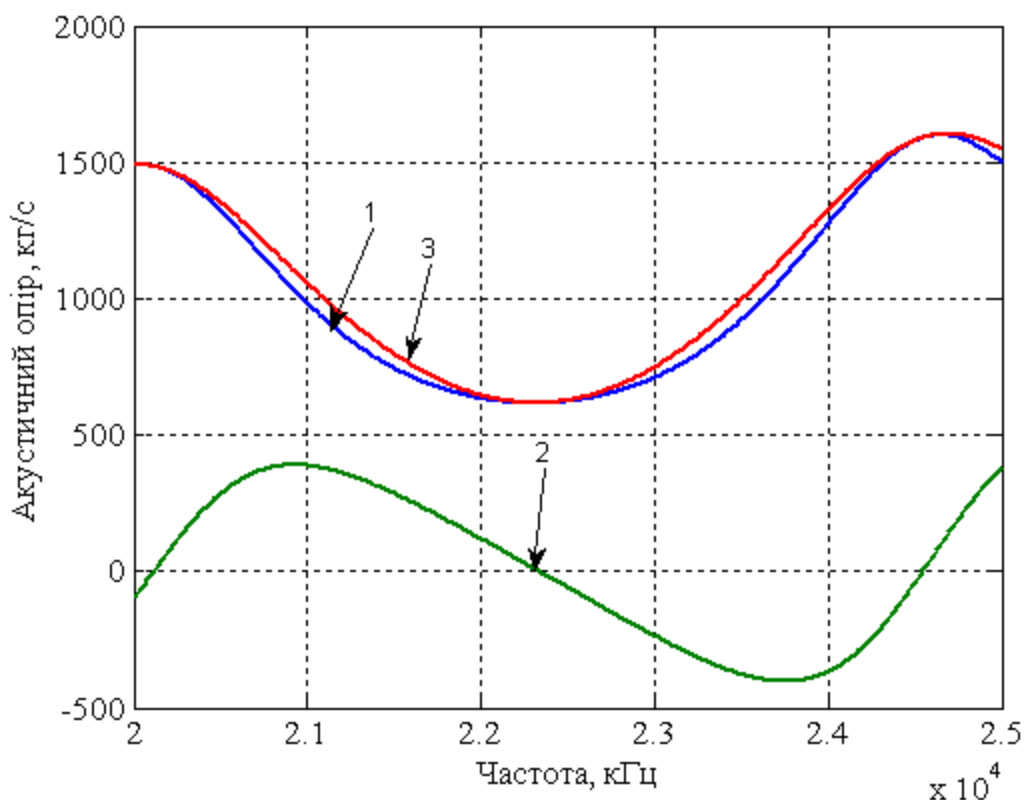


Рис. 2.9. Залежність опору навантаження, приведенного до активних стрижнів пакету від частоти ультразвуку: 1 – активний опір; 2 – реактивний опір; 3 – повний опір

Сила в стрижнях пакету відповідно схеми заміщення (рис. 2.2):

$$\dot{F} = v \cdot (Z_H' + Z_X' + Z_Y' + Z_C), \quad (2.23)$$

де  $Z_C$  – опір стрижнів пакету, кг/с.

Опір стрижнів пакету:

$$Z_c = i \cdot \xi_c S_c \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{k_c \cdot h_c}{2}\right), \quad (2.24)$$

де  $\xi_c$  – питомий акустичний опір матеріалу стрижнів, Па·с/м;

$S_c$  – площа перерізу стрижнів, м<sup>2</sup>;

$k_c$  – хвильове число матеріалу стрижнів, рад/м;

$h_c$  – довжина стрижнів, м.

На рис. 2.10. надана залежність активної сили, що діє на ярмо пакета зі сторони активних стрижнів пакету в діапазоні частот від 15 до 30 кГц. З аналогічних залежностей для активної, реактивної та повної складових сили, але в діапазоні частот від 22,7 до 22,9 кГц (рис. 2.11.) очевидно, що максимальна сила відповідає частоті 22,8 кГц, яка і буде оптимальною з точки зору максимальної активної енергії, що виділяється в навантаженні. Мінімальне значення повної сили 180 Н відповідає частоті механічного резонансу системи.

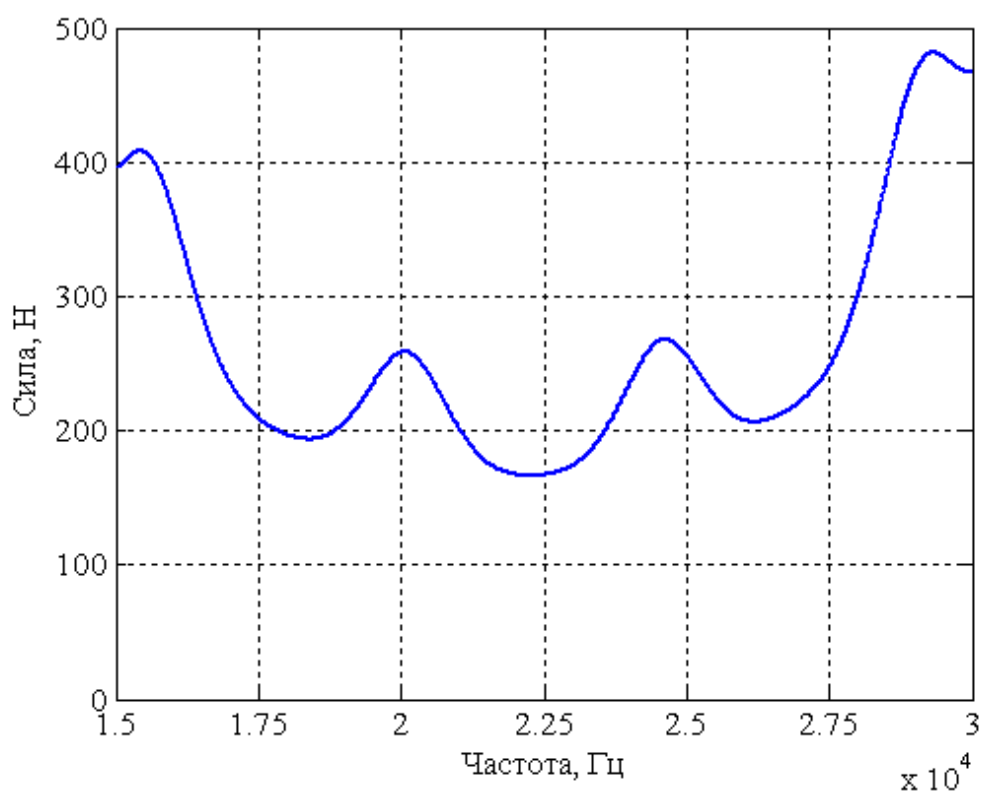


Рис. 2.10. Залежність активної сили в стрижнях пакету від частоти ультразвуку при інтенсивності в навантаженні 5 Вт/см<sup>2</sup>



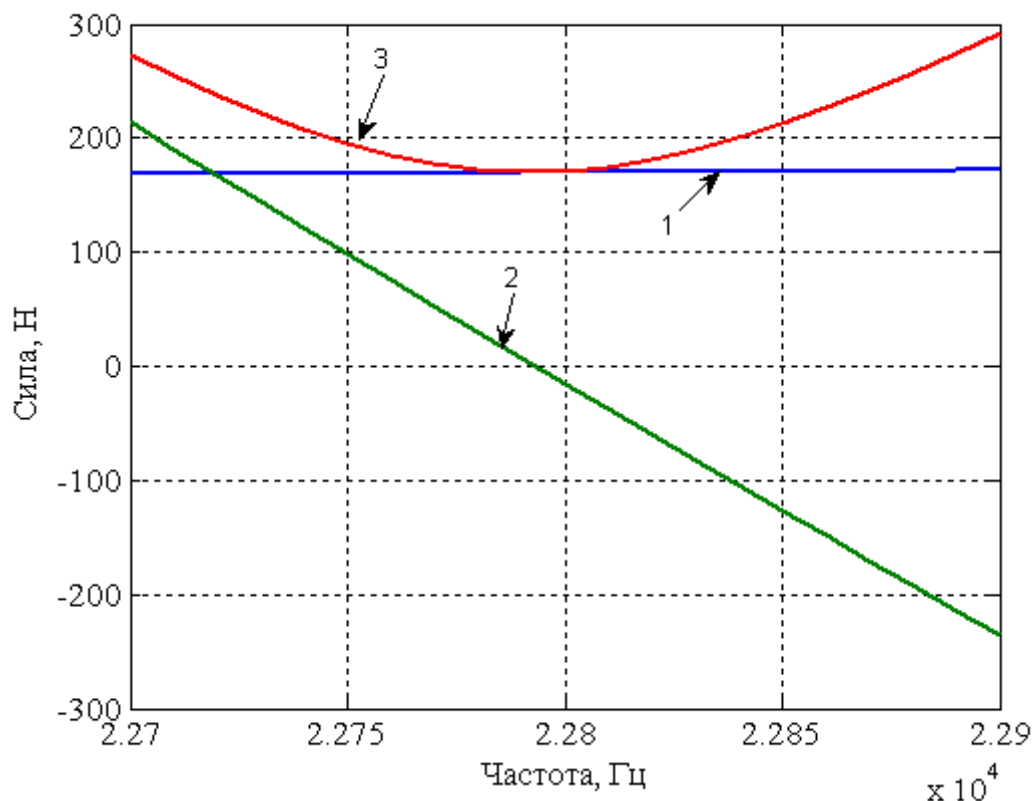


Рисунок 2.11. Залежність сили в стрижнях пакету від частоти ультразвуку при інтенсивності в навантаженні  $5 \text{ Вт/см}^2$ : 1 – активна сила; 2 – реактивна сила; 3 – повна сила

Комплексна потужність в шарі рідини визначається формулою:

$$S_M = v^2 \cdot Z'_H, \quad (2.25)$$

Залежності потужностей від частоти (рис. 2.12) підтверджують, що максимальна потужність відповідає частоті 22,8 кГц.

Для аналізу та електричних розрахунків електроакустичного перетворювача еквівалентну схему заміщення потрібно перетворити до електричних величин на підставі

$$\varphi = \frac{\alpha_M}{\omega \cdot n}, \quad (2.26)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт електромеханічного зв'язку, Н/Вб;

$\alpha_m$  – магнітострикційна константа матеріалу, Н/В;

$n$  – кількість витків обмотки збудження.

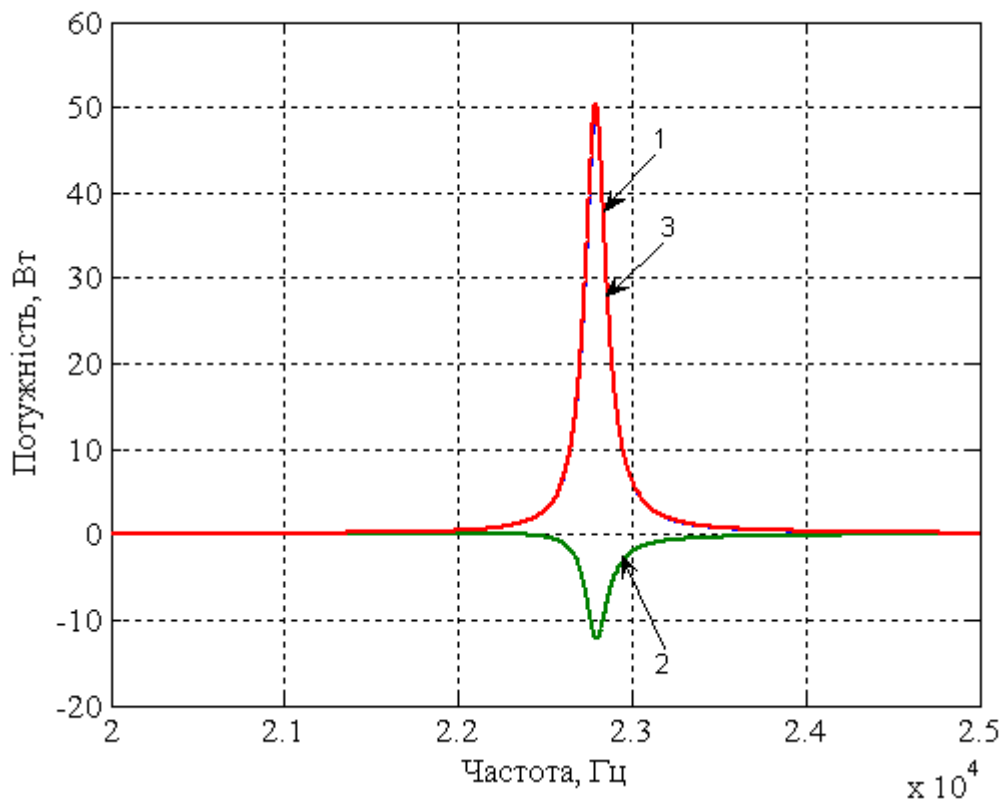


Рис. 2.12. Залежність потужності в шарі навантаження від частоти ультразвуку при силі в стрижнях пакету 180 Н: 1 – активна потужність; 2 – реактивна потужність; 3 – повна потужність

В отриманій еквівалентній схемі заміщення електроакустичного перетворювача перетвореній до електричних величин (2.13.) електричні опори розраховуються за формулою:

$$Z_E = \frac{Z_M}{\varphi^2}, \quad (2.27)$$

де  $Z_E$  – електричний опір Ом;

$Z_M$  – механічний опір, кг/с.

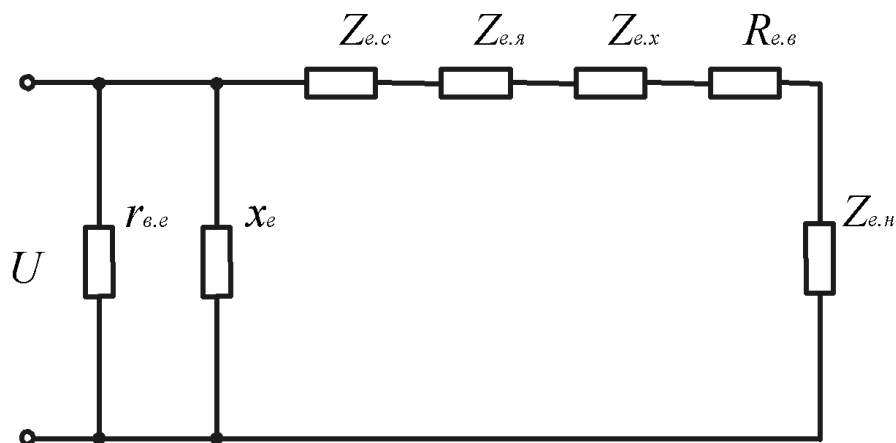


Рис. 2.13. Еквівалентна схема заміщення електроакустичного перетворювача перетворена до електричних величин

Якщо прийняти частоту 22 кГц, кількість витків - 70, а магнітострикційну постійну  $\beta=2,2 \cdot 10^6$  Н/Вб (пермендюр) [72] то коефіцієнт електромеханічного зв'язку  $\varphi=2,26$  Н/В.

Тоді напруга на магнітострикційному перетворювачі розраховується за формулою:

$$U = \frac{F}{\varphi}, \quad (2.28)$$

де  $U$  – напруга на магнітострикційному перетворювачі, В.

Для розглянутих умов (сила в стрижнях пакету дорівнює 180 Н), при механоакустичному к.к.д.=50% напруга на перетворювачі повинна складати 145,4 В (в 2 рази більше ніж розрахована за формулою 2.28). Залежності електричної потужності в шарі навантаження від частоти ультразвуку (рис. 2.14.) відрізняються від ідеальних залежностей рис. 2.12. шириною резонансної кривої. По аналізу роботи електроакустичної системи при обробці сумішевого біопального в кавітаційному режимі опублікована наукова стаття [74].

### 2.3. Висновки за розділом

1. Для забезпечення обробки складових біопального отримані

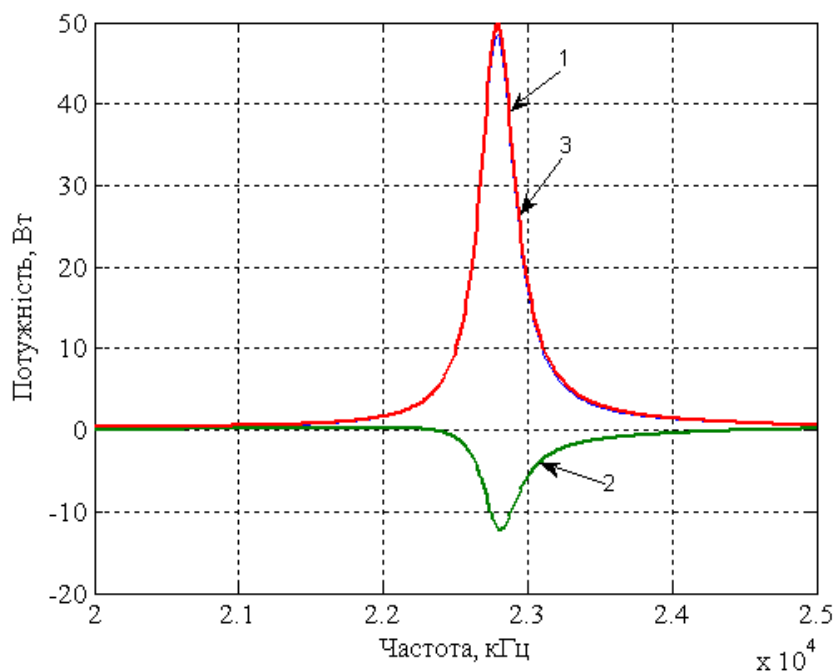


Рис. 2.14. Залежність електричної потужності в шарі навантаження від частоти ультразвуку при напрузі 92 В та механо–акустичному к.к.д.=50%: 1 – активна потужність; 2 – реактивна потужність; 3 – повна потужність

теоретичні результати надають можливість визначити електричні і механічні характеристики електроакустичної системи для обґрунтування та розрахунку складових електроакустичної системи: магнітострикційного перетворювача, хвилеводу та камери.

2. Для забезпечення інтенсивності ультразвуку від  $5 \text{ Вт/см}^2$  на торці хвилеводу до  $1 \text{ Вт/см}^2$  в кінці камери довжина камери не повинна перевищувати 14 см.

3. Врахування коефіцієнту поглинання  $\alpha=5,75 \text{ Нп/м}$  для біопального дозволило визначити втрати енергії в шарі рідини та визначити параметри еквівалентної схеми заміщення.

4. Для найбільш точного визначення резонансної частоти потрібно використовувати залежність потужності від частоти. Відхилення частоти від резонансної на 100 Гц призводить до відхилення потужності на 10%, тому необхідно підтримувати частоту ультразвуку з точністю не менше 0,5%.

### **3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ, НВЧ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ І МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СУМІШЕВЕ БІОПАЛЬНЕ**

#### **3.1. Програма досліджень**

Програма досліджень включала:

- лабораторні дослідження в'язкості і густини дизельного пального, МЕРО і сумішевих біопалив на основі дизельного пального і МЕРО;
- лабораторні дослідження впливу ультразвукової обробки на в'язкість і густину сумішевого біопального;
- лабораторні дослідження впливу НВЧ електромагнітної обробки на в'язкість і густину сумішевого біопального;
- лабораторні дослідження впливу механічної гомогенізації на в'язкість і густину сумішевого біопального;
- лабораторні комбіновані дослідження впливу ультразвукової і НВЧ електромагнітної обробки на в'язкість і густину сумішевого біопального.
- визначення тангенса кута діелектричних втрат в необроблених і оброблених сумішах УЗ, НВЧ електромагнітним полем і в гомогенізаторі;
- дослідження факторів, які впливають на в'язкість сумішевого біопального.

#### **3.2. Методика дослідження основних фізико–хімічних показників дизельного пального, МЕРО і сумішевих біопалив**

##### **3.2.1. Об'єкт і апаратура для дослідження**

Враховуючи переваги та недоліки МЕРО по відношенню до дизельного пального необхідно відзначити, що в Україні так і в країнах світу спостерігається деяка настороженість до використання чистого МЕРО в двигунах внутрішнього

згорання, тому на першому етапі досліджень перед нами була поставлена задача визначити вплив добавок МЕРО в дизельне пальне на характеристики сумішей.

Для дослідження було вибрано товарне мінеральне дизельне пальне Л–0,2–62 [75] і метиловий ефір ріпакової олії, який було вироблено на підприємстві ТОВ "Біонафта України" (м. Павлоград, Україна).

На рис. 3.1., 3.2. і 3.3. представлена експериментальна установка для дослідження основних фізико–хімічних показників дизельного пального, МЕРО і сумішевого біопального до якого входить наступне технологічне обладнання:

- фотокалориметр КФК– 2, рис. 3.1, а;
- водяний термостат УН– 8, рис. 3.1, б;
- електрична мішалка, рис 3.2, а;
- віскозиметр ВПЖ – 4 для вимірювання в'язкості пального рис 3.2, б;
- ареометр, для вимірювання густини пального рис 3.2, в;
- колби з приготовленими пробами, рис 3.3.



а)



б)

Рис. 3.1. Експериментальна лабораторна установка: а) фотокалориметр КФК– 2, б) водяний термостат УН– 8 з віскозиметром ВПЖ– 4

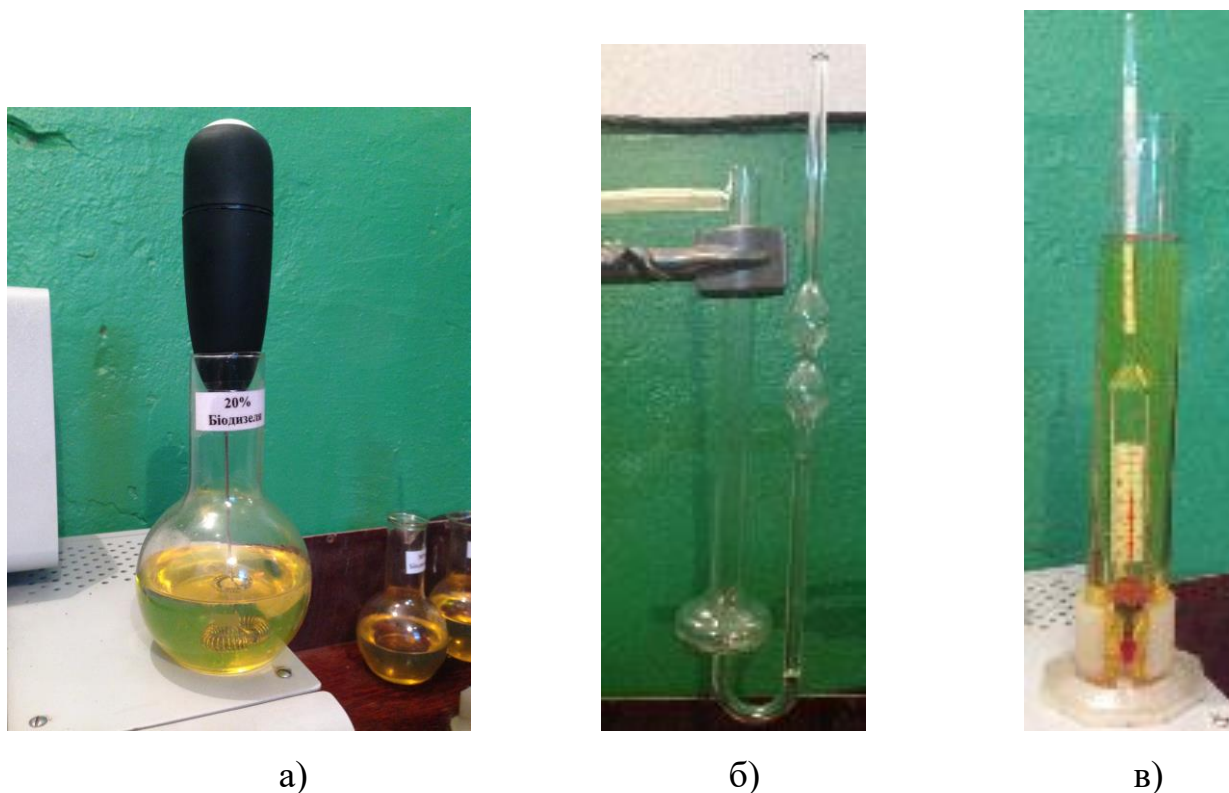


Рис. 3.2. Експериментальна лабораторна установка: а) електрична мішалка, б) віскозиметром ВПЖ – 4, в) ареометр



Рис. 3.3. Колби з приготовленими пробами: 50%ДП+50%МЕРО, 60%ДП+40%МЕРО, 70%ДП+30%МЕРО, 40%ДП+20%МЕРО, 90%ДП+10%МЕРО

### 3.2.2. Методика проведення експериментальних досліджень

Методика проведення експериментальних досліджень заключалась в наступному: перед початком роботи ємності в яких готувались проби промивались

розчинником і просушувались на повітрі. В кожену із 5 ємностей заливали по 300 мл сумішевого пального, яке складалось із 30 мл МЕРО і 270 мл дизельного пального, 60 мл МЕРО і 240 мл дизельного пального, 90 мл МЕРО і 210 мл дизельного пального, 120 мл МЕРО і 180 мл дизельного пального і 150 мл МЕРО і 150 мл дизельного пального. Суміші перемішували лабораторною електричною мішалкою на протязі 2 хвилин (рис. 3.2,а).

Наступний етап включав в себе визначення в'язкості, густини, прозорості дизельного пального, МЕРО і приготвлених проб.

Для визначення кінематичної в'язкості дизельного пального, МЕРО і їх сумішей застосовувався віскозиметр ВПЖ–4, в якому вимірювання в'язкості засновано на визначенні часу витікання через капіляр певної кількості рідини із вимірювального резервуару.

Кінематична в'язкість дизельного пального, МЕРО і їх сумішей визначалась по формулі [76]:

$$V = \frac{g}{980,7} \cdot t \cdot k \quad (3.1)$$

де  $V$  – кінематична в'язкість,  $\text{мм}^2/\text{с}$ ;

$g$  – прискорення сили тяжіння в місці виміру,  $\text{м}/\text{с}^2$  ;

$t$  – час витікання через капіляр певної кількості рідини,  $\text{с}$ ;

$k$  – постійна віскозиметра,  $\text{мм}^2/\text{с}^2$ .

Згідно технічного паспорту на віскозиметр капілярний скляний ВПЖ– 4 за № 1854 в якому діаметр капіляра складає 0,62 мм, величина  $k= 0,01052$ .

Для визначення кінематичної в'язкості віскозиметр (рис.3.2,б) промивали розчинником, просушували і заливали в нього контрольну пробу. Віскозиметр з рідиною поміщували в водяний термостат (рис. 3.1, б) і термостатували при температурі  $20^\circ\text{C}$  на протязі 15 хв. Далі по методиці, яка описана в інструкції на віскозиметр ВПЖ–4 розраховували в'язкість контрольної проби. Далі контрольна проба заливалась в пробірку для подальшого спостереження. Густина контрольної проби визначали в ареометрі (рис. 3.2,в). Перед дослідженням ареометр промивали



розчинником, просушували і заливали в нього контрольну пробу. Далі по методиці, яка описана в інструкції на ареометр визначали густину контрольної проби.

Для визначення прозорості дизельного пального, МЕРО і приготовлених сумішевих проб використовували фотокалориметр КФК-2 (рис.3.1,а). Перед початком вимірювання були підібрані дві однакові кювети, промиті розчинником і просушені. В одну із кювет заливали дизельне пальне і визначали його прозорість в відсотках. Для цього підібрали «світлофільтр» який мав максимальну чутливість для даної рідини і перемикачем «чутливість» встановили позицію в діапазоні 1–3. Далі перемикачем «установка 100» і «грубо» встановлювали на шкалі фотокалориметра для дизельного пального 100%.

В другу кювету заливали МЕРО і приготовлені проби і по чергово проводили вимірювання прозорості рідини в % відносно дизельного пального з трьохкратною повторністю.

### **3.2.3. Аналіз результатів експериментальних досліджень в'язкості, густини і прозорості дизельного пального, МЕРО і сумішевих біопалив**

В'язкість є однією із важливих характеристик дизельного пального. Вимірювання в'язкості проводились з п'ятикратним підрахунком в дослідній точці, а також з трьохкратною повторністю всього експерименту. При проведенні експерименту вимірювання рондомізувались.

В дизельному пальному марки Л-0,2-62 і МЕРО при температурі 20°C з п'ятикратною повторністю були визначні в'язкість і густина за допомогою віскозиметра і ареометра. Так середня в'язкість в ДП марки Л-0,2-62 склала 4,301 мм<sup>2</sup>/с, а в МЕРО – 11,630 мм<sup>2</sup>/с. Середня густина ДП склала 841 кг /м<sup>3</sup>, а в МЕРО – 896 кг/м<sup>3</sup>. Потім були виміряні в'язкість і густина в приготовлених пробах сумішевих біопалив. Так середня в'язкість в сумішевих пробах склала:

10% МЕРО + 90% ДП – 4,664 мм<sup>2</sup>/с;

20% МЕРО + 80% ДП – 5,047 мм<sup>2</sup>/с;

30% МЕРО + 70% ДП – 5, 587 мм<sup>2</sup>/с;

40% МЕРО + 60% ДП – 6,392 мм<sup>2</sup>/с;

50% МЕРО + 50% ДП – 7,004 мм<sup>2</sup>/с.

Середня густина в приготовлених сумішевих пробах складала:

10% МЕРО + 90% ДП – 841 кг/м<sup>3</sup> ;

20% МЕРО + 80% ДП – 846 кг/м<sup>3</sup>;

30% МЕРО + 70% ДП – 852 кг/м<sup>3</sup>;

40% МЕРО + 60% ДП – 859 кг/м<sup>3</sup>;

50% МЕРО + 50% ДП – 863 кг/м<sup>3</sup>.

Середня прозорість МЕРО складала 90% по відношенню до дизельного пального, яка була прийнята за 100%, а середня прозорість сумішевих біопалив складала:

10% МЕРО + 90% ДП – 90,5% ;

20% МЕРО + 80% ДП – 91,0%;

30% МЕРО + 70% ДП – 91,5%;

40% МЕРО + 60% ДП – 92,0%;

50% МЕРО + 50% ДП – 92,5%.

Слід зазначити, що результати випробувань МЕРО залежать від технології його виробництва. Порівняльні випробування МЕРО, приготовленими за різними технологіями, виявили, що МЕРО, виготовлений за спрощеною технологією має на 10% гірший ККД, ніж МЕРО, отриманий за налагодженою технологією, що пояснюється недостатньою глибиною переробкою і очисткою сировини [77].

Тому для порівняльних випробувань нами було взято МЕРО виготовлене на підприємстві ТОВ "Біонафта України" за спрощеною технологією, і МЕРО (БІО ЕСТ), яке виготовлено за налагодженою технологією, і дане МЕРО за своїми характеристиками наближено до стандарту Європи EN 14214 [78].

На рис. 3.4 і 3.5 і в табл. 3.1 і 3.2 представлено порівняльні результати досліджень в'язкості і густини дизельних палив, МЕРО і сумішевих біопалив Васильєва І.П. з Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля м. Луганськ (БІО ЕСТ) і Кушлика Р.Р. ТОВ "Біонафта України" [78].

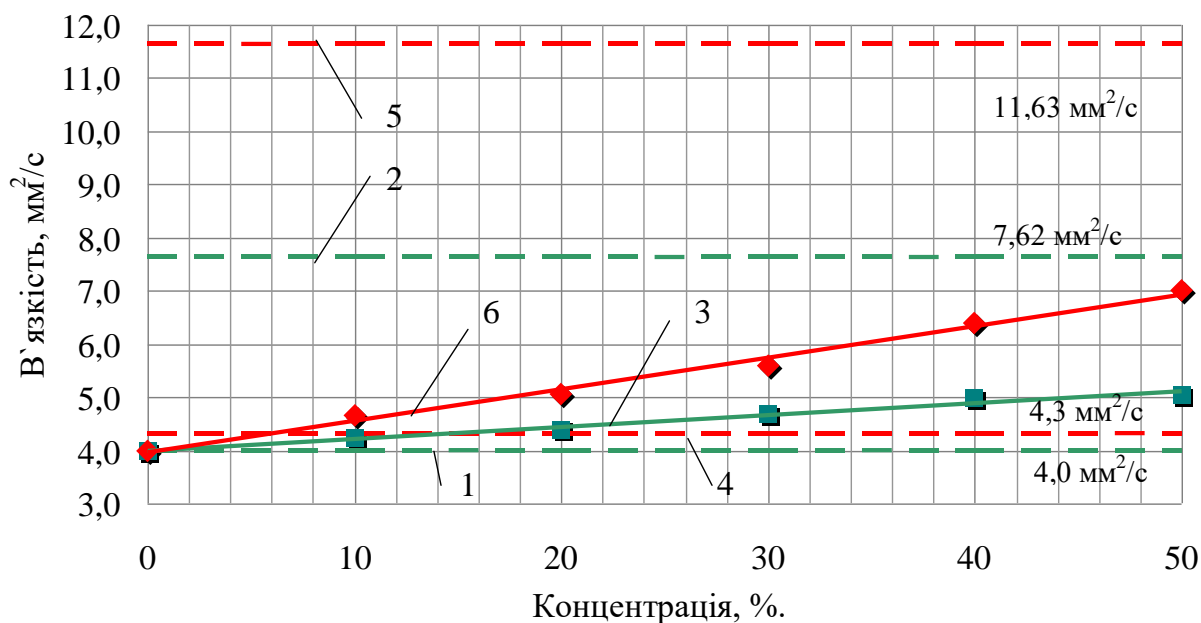


Рис. 3.4. Залежність в'язкості біопального від концентрації МЕРО в дизельному пальному: 1, 2 і 3 – в'язкість дизельного пального, МЕРО і сумішевого пального Васильєва І.П., відповідно; 4, 5 і 6 – в'язкість дизельного пального, МЕРО і сумішевого пального Кушлика Р.Р., відповідно

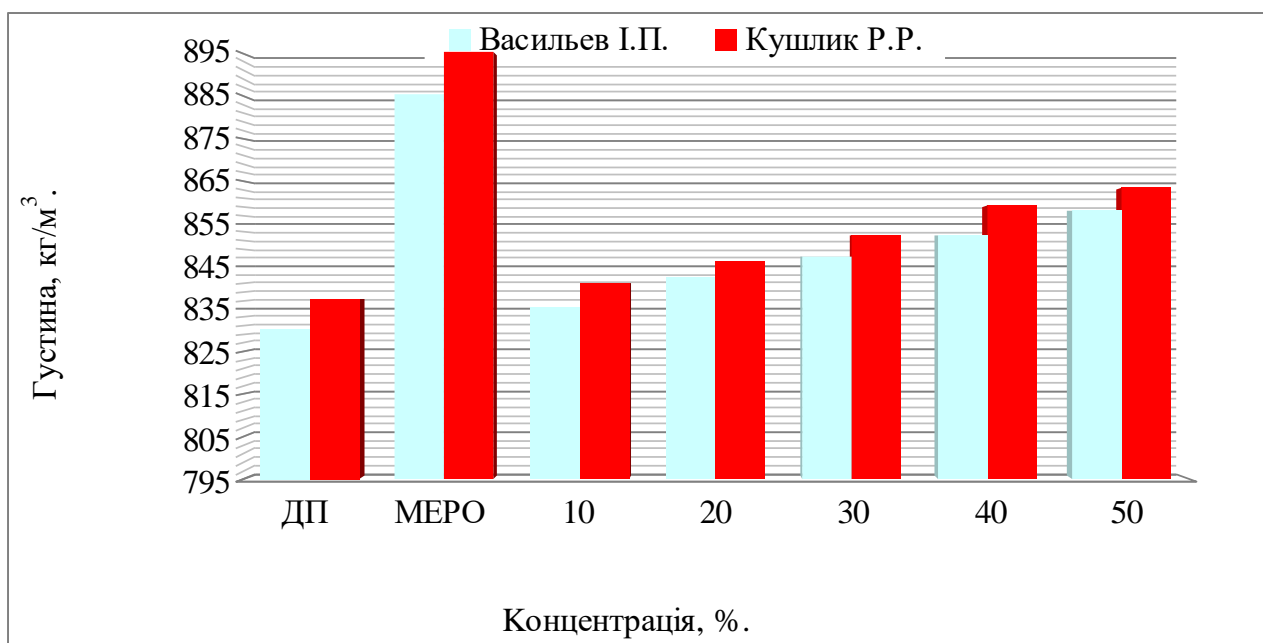


Рис. 3.5. Залежність густини біопального від концентрації МЕРО в дизельному пальному

Таблиця 3.1.

Значення в'язкості дизельного пального, МЕРО і їх сумішей

ПІБ	ДП	МЕРО	Концентрація МЕРО, %				
			10	20	30	40	50
Васильєв І.П.	4,0	7,62	4,22	4,38	4,69	4,98	5,04
Кушлик Р.Р.	4,301	11,633	4,664	5,047	5,587	6,392	7,004

Таблиця 3.2.

Значення густини дизельного пального, МЕРО і їх сумішей

	ДП	МЕРО	Концентрація МЕРО, %				
			10	20	30	40	50
Васильєв І.П.	830	885	835	842	847	852	858
Кушлик Р.Р.	840	895	841	846	852	859	863

### 3.3. Методика оцінки впливу ультразвукової обробки на в'язкість і густину сумішевого біопального

#### 3.3.1. Об'єкт і апаратура для дослідження

За об'єкт дослідження прийнято процес гомогенізації сумішевого біопального під дією ультразвуку. Предметом дослідження є закономірності впливу ультразвуку на в'язкість і густину біопального.

Експериментальна лабораторна установка складається із ультразвукового генератор УЗГ–3–04 (рис. 3.6, а), який працює на частоті ультразвуку 18, 22 і 44 кГц і магнітострикційного випромінювача типу ПМС з ємністю для обробки біопального. В ємність заливається 600 мл. рідини. (рис. 3.6, б) [79,80].

На рис. 3.7 представлено контрольні необроблені і оброблені ультразвуком проби.

Експериментальні зразки сумішей готували із дизельного пального і МЕРО у процентному відношенні: 90 % ДП + 10 % МЕРО (суміш 1), 80 % ДП + 20 % МЕРО (суміш 2), 70 % ДП + 30 % МЕРО (суміш 3), 60 % ДП + 40 % МЕРО (суміш 4), 50 % ДП + 50 % МЕРО (суміш 5). Обробку сумішей проводили протягом 5, 10 і 15 хв.



а)



б)

Рис. 3.6. Експериментальна лабораторна ультразвукова установка: а) ультразвуковий генератор УЗГ-3-04, б) магнітострикційний випромінювач з ємністю для обробки біопального



Рис. 3.7. Контрольні необроблені і оброблені ультразвуком проби на протязі 5, 10 і 15 хвилин

### 3.3.2. Методика ультразвукової обробки сумішевого біопального

Однією з основних величин, що характеризують джерело ультразвукових хвиль є інтенсивність ультразвуку. Інтенсивність ультразвуку може досягати десятків ватів на квадратний сантиметр, викликаючи в рідині специфічні явища – кавітацію і вихрові акустичні течії. Інтенсивність ультразвуку, при якій виникає акустична кавітація в дослідному зразку, залежить від його газовмісту, зовнішнього тиску, в'язкості, температури середовища, частоти ультразвуку [57].

Для визначення залежності в'язкості від інтенсивності ультразвуку нами були проведені дослідження сумішевого біопального 10% МЕРО + 90% ДП, в якому в'язкість склала 4,664 мм<sup>2</sup>/с. На рис. 3.8 представлені залежності кінематичної в'язкості від інтенсивності ультразвуку, на частоті ультразвуку 22,8 кГц при обробці біопального 3, 5 і 7 хвилин.

Як видно із рис.3.8. із збільшенням інтенсивності ультразвуку від 1 до 5 Вт/см<sup>2</sup> в'язкість біопального зменшується. Однак при збільшенні часу обробки від 5 хвилин і більше показники в'язкості майже однакові. Таким чином можна зробити висновок, що достатня інтенсивність ультразвукової обробки сумішевого біопального складає 4 – 5 Вт/см<sup>2</sup>.

Також були проведені дослідження залежності інтенсивності акустичного випромінювання від частоти ультразвуку на сумішевому біопальному 10% МЕРО + 90% ДП, в якому в'язкість склала 4,664 мм<sup>2</sup>/с. Як показали результати досліджень інтенсивність акустичного випромінювання від частоти в діапазоні 22 – 44 кГц практично не змінюється.

Після виміру в'язкості і густини контрольних необроблених проб і відбору контрольних зразків в пробірки починається етап обробки приготовлених проб ультразвуком в наступній послідовності:

- в ємність магніостриктора заливається одна із приготовлених проб;
- на магніострикційний перетворювач подається напруга частотою 22,8 кГц від ультразвукового генератора і проводиться настройка частоти генератора на резонансну частоту магніострикційного перетворювача.

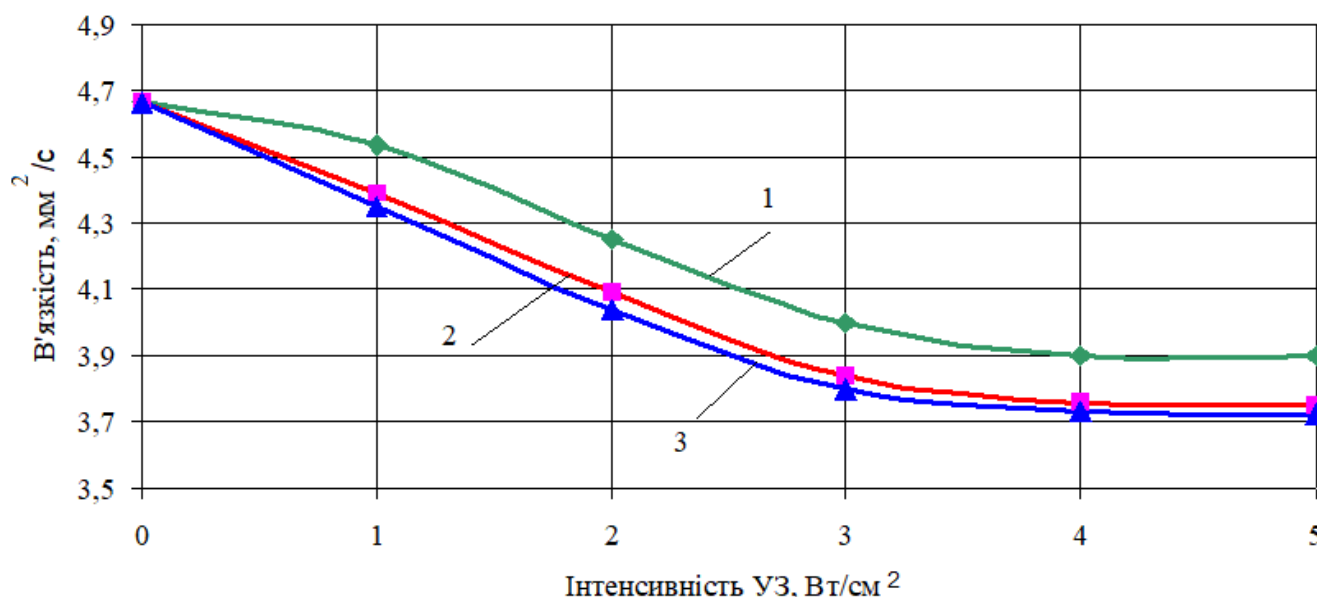


Рис. 3.8 Залежність в'язкості біопального від інтенсивності обробки ультразвуком: 1- 3 хв. ; 2 – 5 хв; 3 – 7 хв

Змінюємо напругу, яка подається з генератора на магнітострикційний перетворювач і повторюємо попередні пункти методики. При цьому напруга вольтметра на генераторі на резонансній частоті повинна мати мінімальне значення.

- включаємо секундомір для підрахунку тривалості обробки. Тривалість ультразвукової обробки складає 5, 10, 15 хвилин;
- після одного із зазначеного часу генератор вимикають, при цьому обробка контрольної проби закінчується;
- оброблена проба охолоджується до температури 20°C і проводиться вимірювання в'язкості і густини по описаній методиці в розділі 3.2.2.

### 3.3.3. Аналіз результатів експериментальних досліджень ультразвукової обробки сумішевого біопального

Вимірювання в'язкості проводилось з трьохкратним підрахунком в дослідній точці, а також з трьохкратною повторністю всього експерименту. При проведенні експерименту вимірювання рандомізувались [79,80,81].

Результати визначення в'язкості сумішевого біопального, обробленого ультразвуком протягом 5 хв, представлені на рис. 3.9. і додатку 2 табл. 2.1 – 2.5.

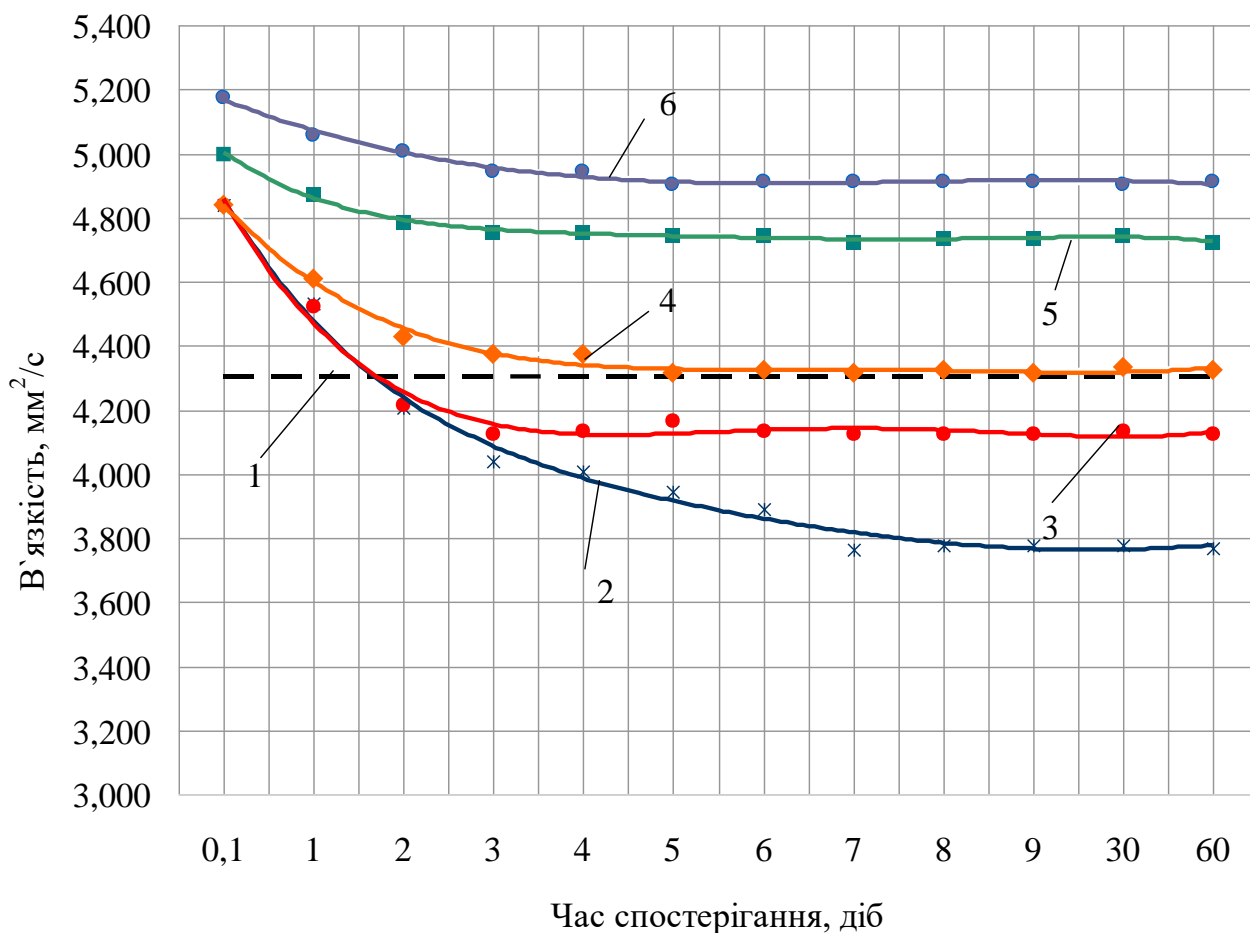


Рис. 3.9. Залежності в'язкості сумішевого біопального від часу спостереження після обробки ультразвуком протягом 5 хв: 1 – ДП; 2, 3, 4, 5 і 6 – суміші 1, 2, 3, 4 і 5 відповідно

Аналізуючи залежності (рис. 3.9.) необхідно відзначити, що в сумішах 1 і 2 (10 і 20% МЕРО в ДП) в'язкість зменшилась на 19,0% і 18,29% відповідно по відношенню до необробленого пального. По відношенню до дизельного пального в'язкість в сумішах 1 і 2 зменшилась на 12,2 % і 4,1 % відповідно, що дозволило покращити функціональні властивості біопального.

Досить цікавим є і той факт, що у сумішок з меншою часткою МЕРО інтенсивність зменшення її в'язкості є вищою. Так, в'язкість сумішок 1 і 2 (криві 2 і 3 на рис. 3.9) через 1,5 доби спостереження стає нижчою за в'язкість чистого дизельного пального (лінія 1, рис. 3.9).



На рис. 3.10. і в додатку 2 табл. 2.6. представлено залежності кінцевої в'язкості сумішевого біопального обробленого ультразвуком 5, 10, 15 хвилин від концентрації МЕРО.

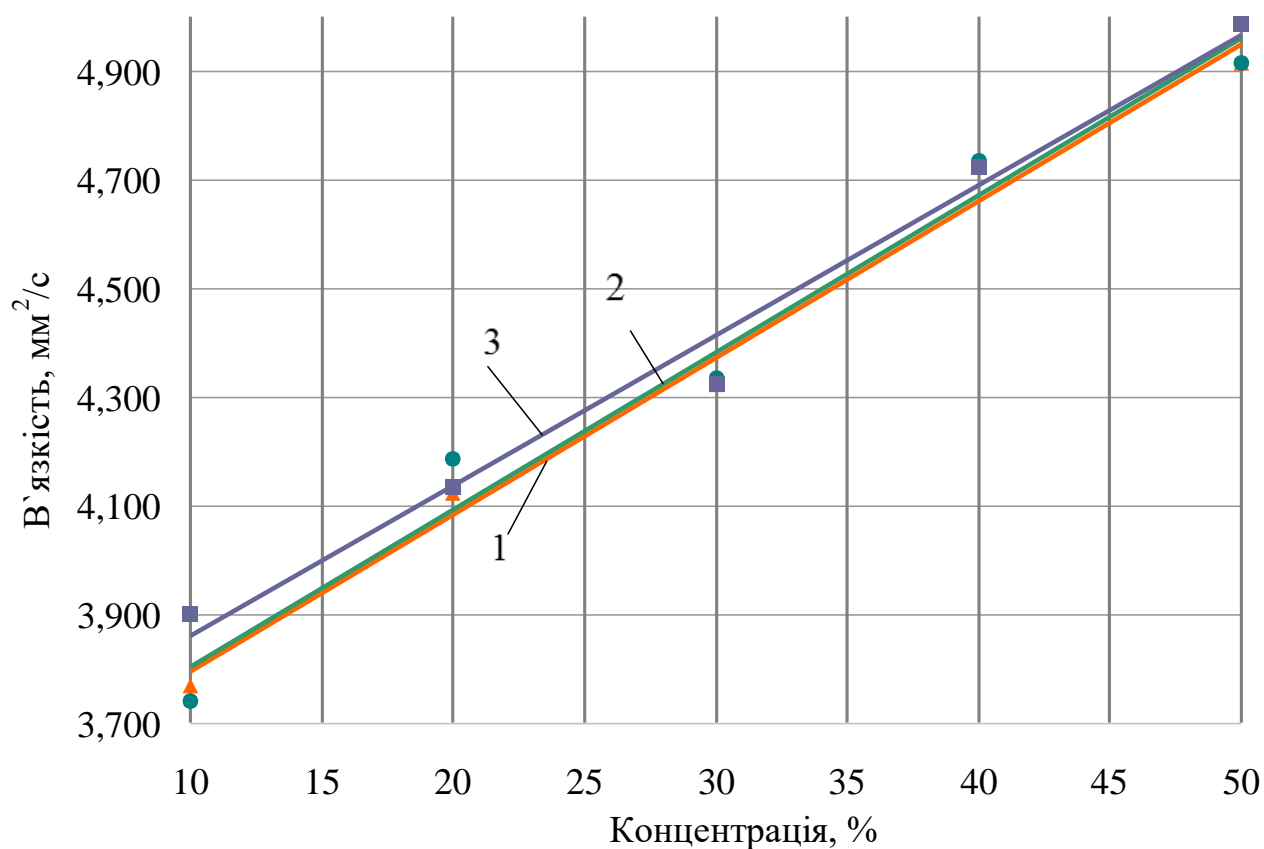


Рис. 3.10. Залежності кінцевої в'язкості сумішевого біопального при його обробленні ультразвуком протягом: 1 – 5 хв; 2 – 10 хв; 3 – 15 хв

Як видно із рис. 3.10. збільшення часу обробки усіх п'яти досліджуваних сумішей ультразвуком тривалістю більше 5 хв істотних переваг не дає. [79,80].

В табл. 2.7. (додаток 2) приведено вимірювання густини дизельного пального, МЕРО і їх сумішей після обробки ультразвуком через 0,1, 30 і 60 діб. На рис. 3.11. представлені результати вимірювання густини дизельного пального, МЕРО і їх сумішей після обробки ультразвуком через 0,1 добу. Аналіз даних досліджень показує, що після обробки біопального густина всіх сумішей знизилась в середньому від 1 кг/м<sup>3</sup> до 2 кг/м<sup>3</sup>, проте через 7 діб спостереження густина всіх проб зрівнялась.

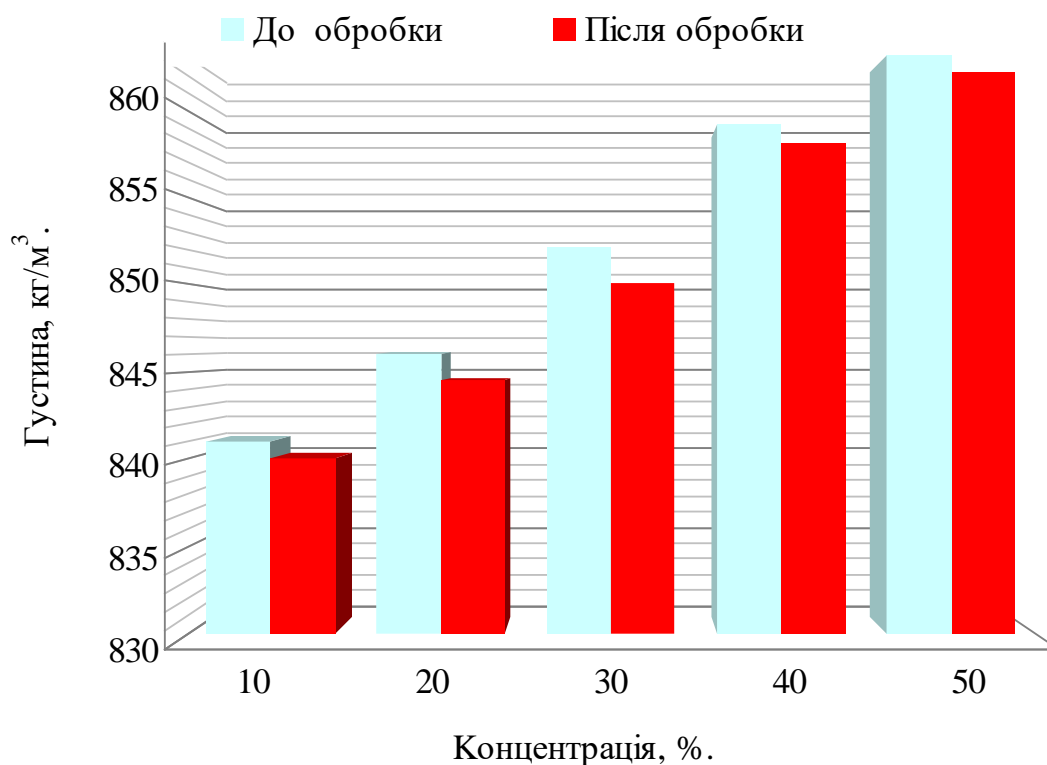


Рис. 3.11. Залежність густини біопального від концентрації МЕРО в ДП до обробки і після обробки ультразвуковими хвилями через 0,1 добу

На фотокалориметрі проводились дослідження ДП, МЕРО і їх сумішей на прозорість після 10, 30, 60 днів зберігання. При прозорості дизельного пального 100%, прозорість МЕРО склала 90%. Прозорість контрольних проб всіх сумішей МЕРО після обробки ультразвуком знаходилась в діапазоні 90,5–92,5%.

Як було зазначено вище збільшення часу обробки усіх п'яти досліджуваних сумішей ультразвуком тривалістю більше 5 хв істотних переваг не дало, то перед нами була поставлена задача провести обробку біопального ультразвуком на протязі 20 с., 1хв., 3 хв. і визначити оптимальний час обробки біопального.

Для визначення впливу ультразвуку на в'язкість біопального попередньо відібрані проби сумішей 1, 2 і 3 обробляли ультразвуком протягом 20, 60 і 180 с. Результати визначення в'язкості сумішевого біопального представлені в додатку 2 (табл. 2.8– 2.10) і на рис. 3.12.

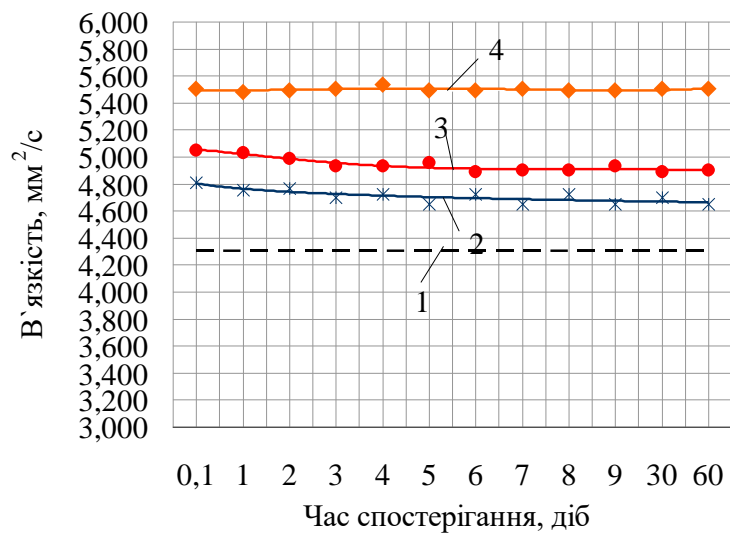
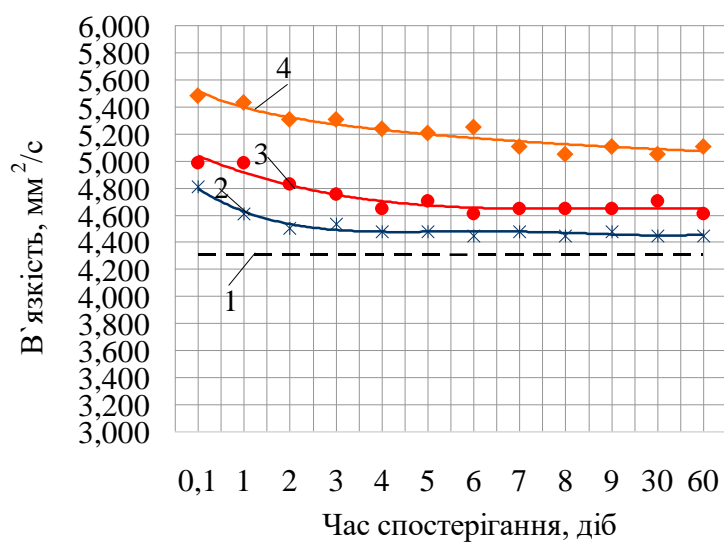
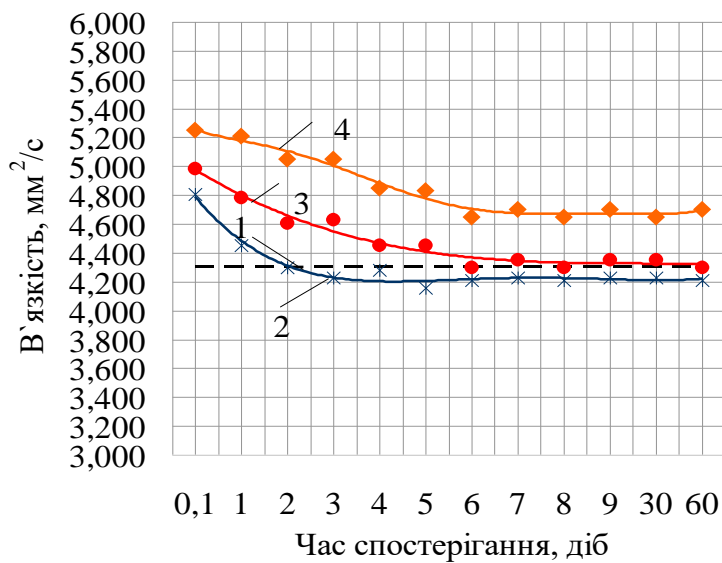
*a**б**в*

Рис. 3.12. Динаміка зміни в'язкості біопального після обробки ультразвуком: *a* – 20 с; *б* – 60 с; *в* – 180 с; 1 – ДП; 2, 3, 4 – суміші 1, 2 і 3 відповідно

Слід звернути увагу на те, що зі збільшенням часу обробки пального з 20 до 180 с кінцеве значення в'язкості покращилось. Водночас, при 3 хв обробки показники в'язкості пального мають гірші значення, ніж при його обробці протягом 5 хв (рис. 3.9).

Таким чином, обробка сумішей 90%ДП+10%МЕРО, 80%ДП+20%МЕРО, 70%ДП+30%МЕРО ультразвуком на протязі 5 хвилин оптимальна для покращення в'язкості біопального.

### **3.4. Методика оцінки впливу НВЧ електромагнітної обробки на в'язкість і густину сумішевого біопального**

#### **3.4.1. Об'єкт і апаратура для дослідження**

За об'єкт дослідження прийнято процес гомогенізації сумішевого біопального обробленого НВЧ електромагнітним полем. Предметом дослідження є закономірності впливу НВЧ електромагнітного поля на в'язкість і густину біопального в залежності від часу обробки. Загальний вигляд експериментальної лабораторної установки для обробки сумішей мінерального дизельного пального і МЕРО представлено на рис. 3.13. Установка включає в себе: 1– НВЧ модуль, 2– захисний кожух, 3– ємність для обробки сумішей дизельного пального і МЕРО, 4 – витяжка [81,83].

Експериментальні зразки сумішей готували із дизельного пального і МЕРО у процентному відношенні: 90% ДП + 10% МЕРО (суміш 1), 80% ДП + 20% МЕРО (суміш 2), 70% ДП + 30% МЕРО (суміш 3), 60% ДП + 40% МЕРО (суміш 4), 50% ДП + 50% МЕРО (суміш 5). Обробку сумішей проводили протягом 5, 10 і 15 хв на частоті 2,45 ГГц. На рис. 3.14. представлено колби з приготовленими пробами дизельного пального і МЕРО для обробки НВЧ електромагнітним полем, а на рис. 3.15. представлено пробірки з відібраними контрольними пробами і обробленими пробами НВЧ електромагнітним полем на протязі 5, 10 і 15 хвилин.

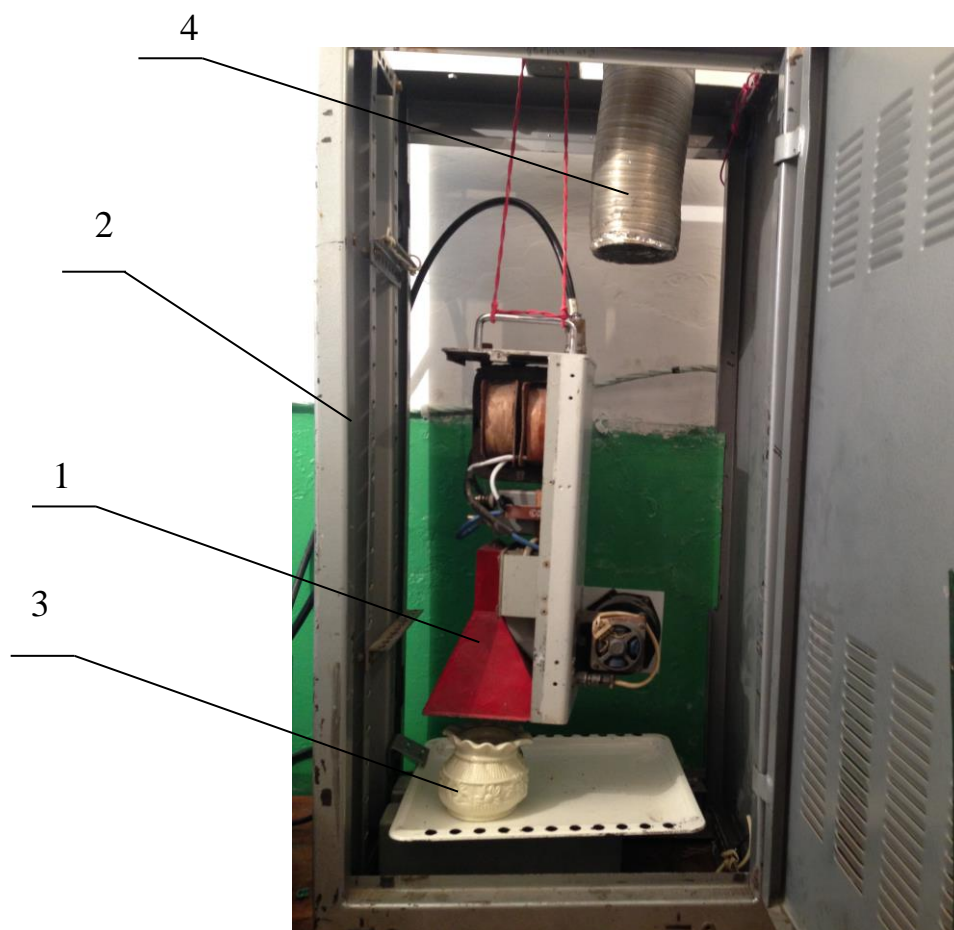


Рис. 3.13. Загальний вигляд експериментальної лабораторної установки для обробки сумішей мінерального дизельного пального і МЕРО НВЧ електромагнітним полем: 1– НВЧ модуль, 2 – захисний кожух, 3 – ємність для обробки сумішей дизельного пального і МЕРО, 4 – витяжка



Рис. 3.14. Колби з приготовленими пробами дизельного пального і МЕРО



Рис. 3.15. Пробірки з відібраними контрольними пробами і обробленими пробами НВЧ ЕМП на протязі 5, 10 і 15 хвилин

### 3.4.2. Методика НВЧ електромагнітної обробки сумішевого біопального

Методика НВЧ обробки сумішевого біопального аналогічна методиці обробки пального ультразвуком, яка описана в розділі 3.2.2. за виключенням:

- в ємність 3 заливається одна із приготовлених проб біопального;
- включається витяжка 4;
- з дистанційного пульта керування подається напруга на НВЧ модуль 1, який знаходиться в захисному кожусі 2;
- включається секундомір для підрахунку тривалості обробки;
- тривалість НВЧ обробки складає 5, 10, 15 хвилин;
- після одного із зазначеного часу натискають кнопку «стоп», при цьому обробка контрольної проби закінчується;
- вимірюється температура нагрівання проби;
- оброблена проба охолоджується до температури 20°C і проводяться вимірювання в'язкості і густини по методиці, яка описана в пункті 3.2.2. [81,83].

### 3.4.3. Аналіз результатів експериментальних досліджень НВЧ електромагнітної обробки сумішевого біопального

В додатку 3 (табл. 3.7) і на рис. 3.16. представлено отримані дані по температурі нагрівання сумішей дизельного пального і МЕРО в залежності від часу обробки НВЧ електромагнітним полем при потужності обробки 900 Вт.

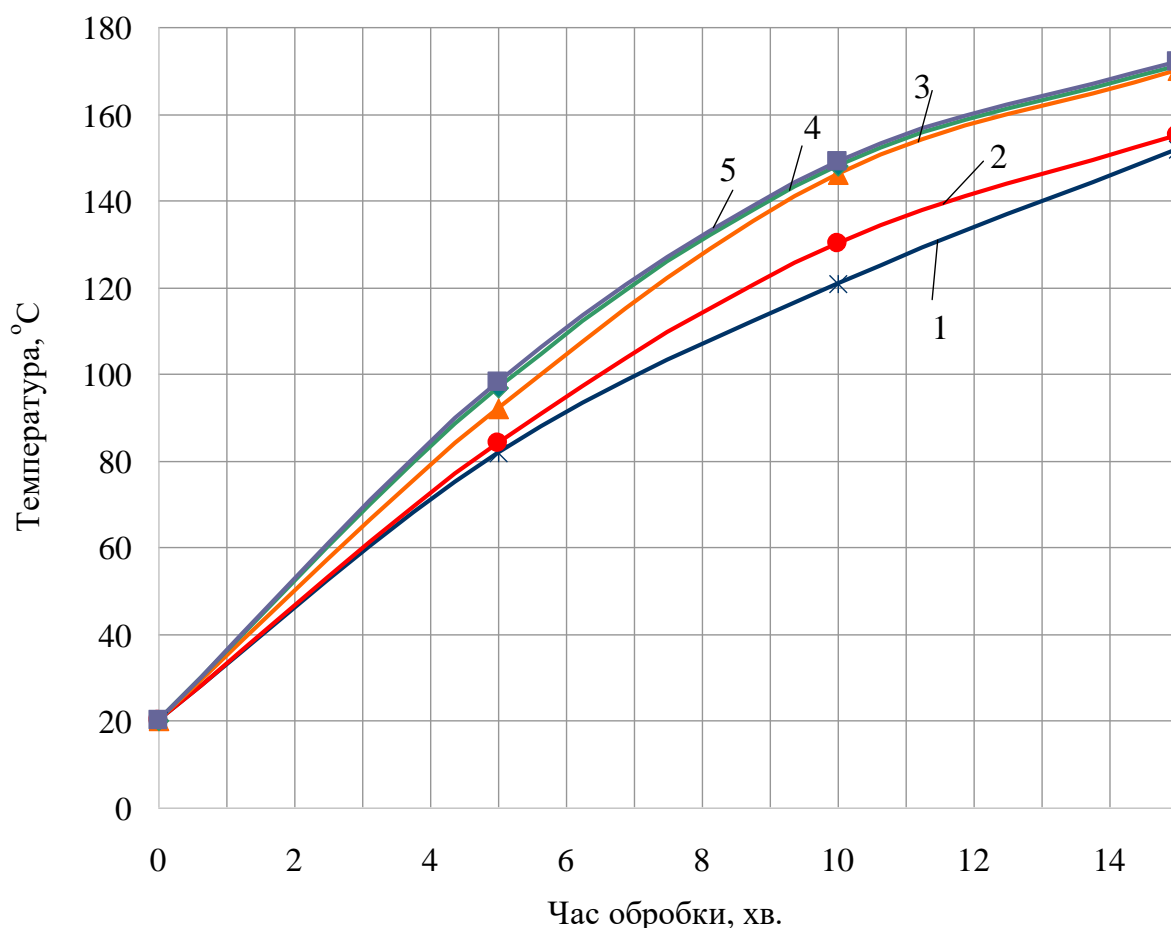


Рис. 3.16. Залежності температури суміші ДП і МЕРО від часу обробки: 1, 2, 3, 4 і 5 – суміші 1, 2, 3, 4 і 5 відповідно

Аналіз даних рис. 3.16. свідчить, що чим більша частка МЕРО в пробах дизельного пального і часу нагрівання сумішок, тим більшою стає їх температура. Наприклад, при обробці сумішей дизельного пального і МЕРО протягом 5 хв температура зразків знаходилась в діапазоні 82–98 °C, 10 хв – 121–149 °C і 15 хв – 152–172 °C [81,83].

В додатку 3 (табл. 3.1–3.5) приведені експериментальні дані вимірювання в'язкості в дизельному пальному, МЕРО і сумішевих паливах не оброблених і оброблених НВЧ електромагнітним полем при температурі зразків 20°C .

Результати визначення в'язкості сумішевого біопального, обробленого НВЧ електромагнітним полемі протягом 5 хв у відповідних пропорціях від часу спостереження, представлені на рис. 3.17. Причому, на правій стороні рис. 3.17 приведені результати в'язкості необроблених зразків, а на лівій – результати в'язкості оброблених зразків НВЧ електромагнітним полем.

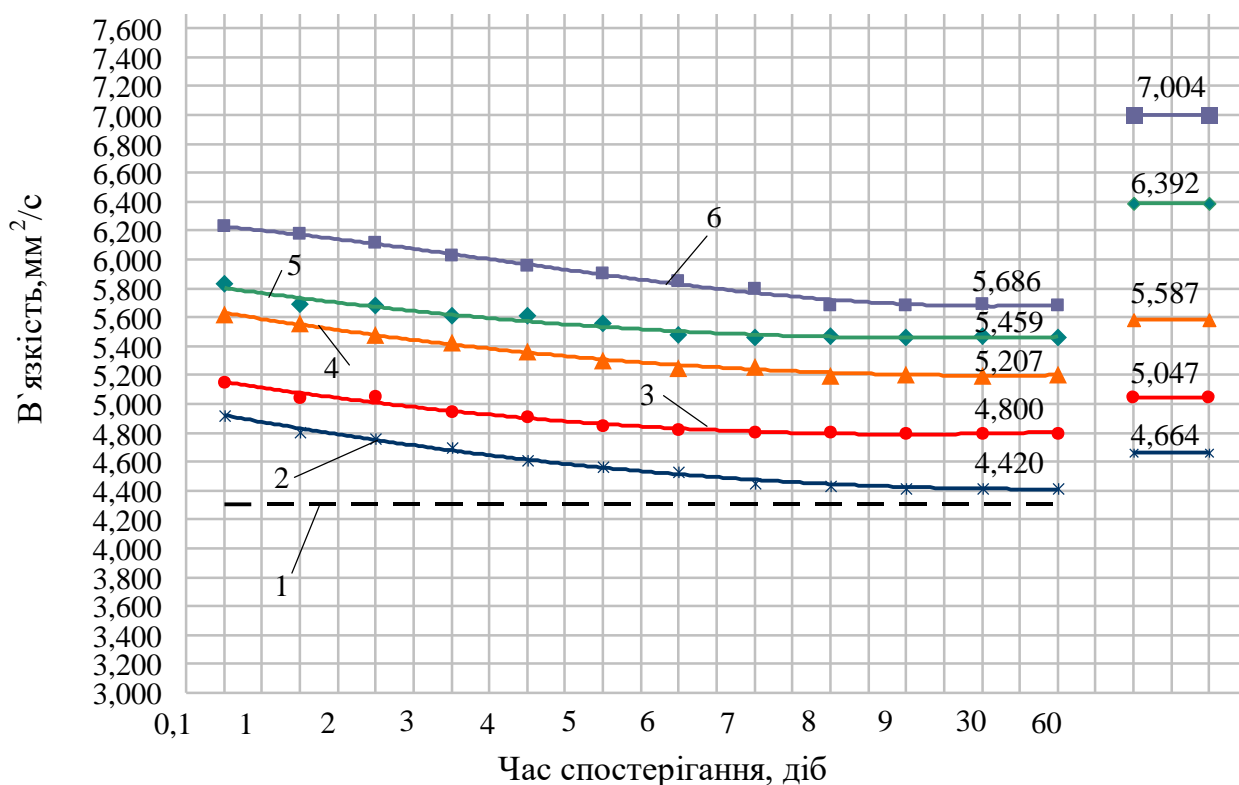


Рис. 3.17. Залежності в'язкості сумішевого біопального від часу спостереження після обробки НВЧ електромагнітним полем протягом 5 хв:

1 – ДП; 2, 3, 4, 5 і 6 – суміші 1, 2, 3, 4 і 5 відповідно

Слід звернути увагу на те, що після обробки суміші 1 (крива 2) в'язкість пального зменшилась на 5,2% по відношенню до необробленого зразка. У суміші 2 (крива 3) цей показник зменшився на 4,9% , у суміші 3 (крива 4) – на 6,8%, у суміші 4 (крива 5) – на 14,6% і у суміші 5 (крива 6) – на 18,8%.

Аналізуючи дані результати, необхідно відзначити, що по відношенню до



необроблених зразків в'язкість оброблених зразків знизилась. Проте, вона не стала меншою, ніж ж у дизельного пального – тобто  $4,301 \text{ мм}^2/\text{с}$  (крива 1).

В додатку 3 (табл. 3.6.) і на рис. 3.18. представлено залежності встановленої (кінцевої) в'язкості від концентрації МЕРО в сумішевому біопальному, обробленого НВЧ електромагнітним полем протягом 5, 10 і 15 хв.

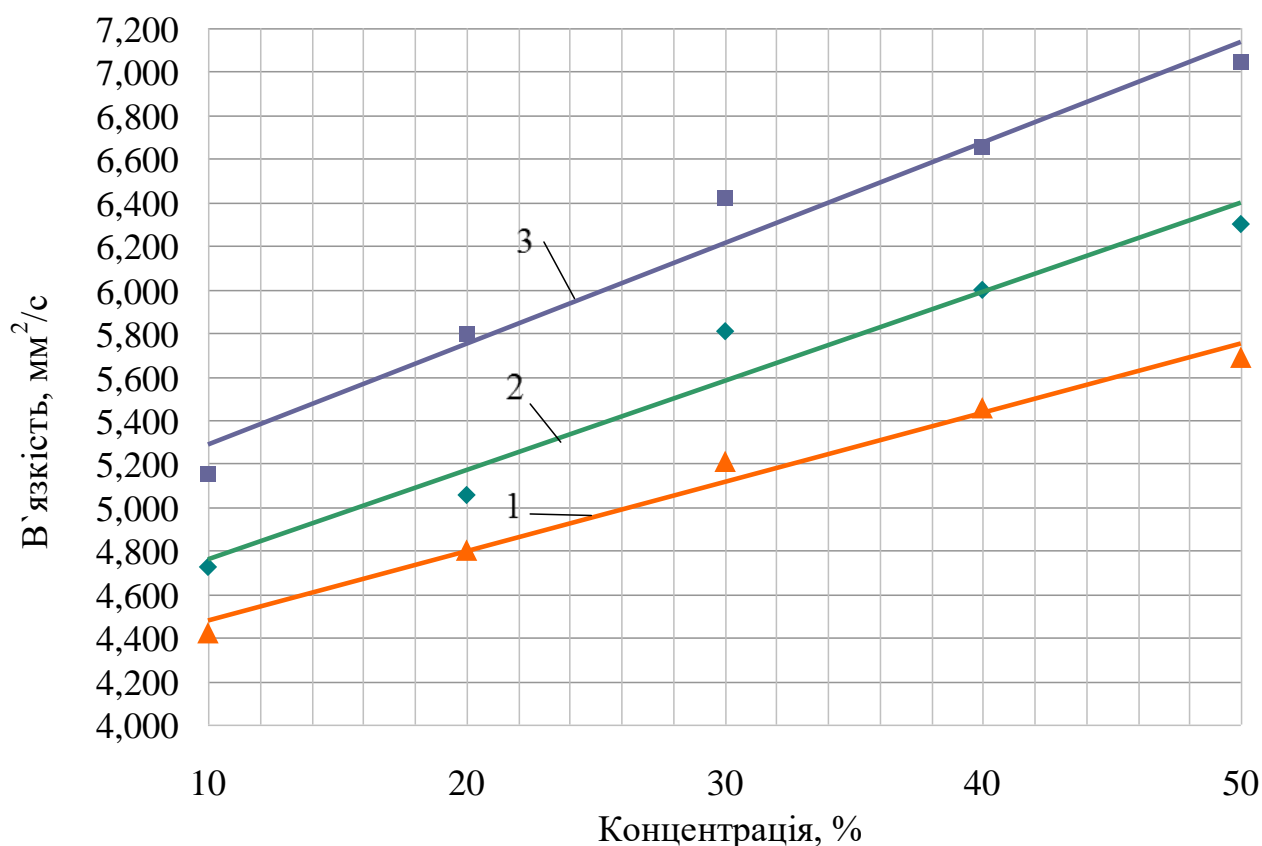


Рис. 3.18. Залежності кінцевої в'язкості біопального від концентрації МЕРО і часу впливу НВЧ електромагнітного поля протягом:

1 – 5 хв; 2 – 10 хв; 3 – 15 хв

Як можна бачити з рис. 3.18, досліджувані залежності мають лінійний характер. Причому, збільшення часу обробки сумішевого пального впливає на зміну його кінцевої в'язкості. Так, при обробці НВЧ електромагнітним полем приготовлених зразків протягом 10 хв кінцева в'язкість всіх проб зросла у середньому на 6,4 % по відношенню до проб, оброблених протягом 5 хв. Обробка приготовлених зразків протягом 15 хв призвела до зростання кінцевої в'язкості на

14,2 % по відношенню до проб, оброблених протягом 5 хв. [81,83].

В додатку 3 (табл. 3.8.) представлені результати вимірювання густини ДП, МЕРО і їх сумішей після обробки НВЧ електромагнітним полем.

На рис. 3.19 представлено залежності густини біопального від концентрації МЕРО в дизельному пальному до обробки і після обробки НВЧ електромагнітним полем на протязі 5, 10 і 15 хвилин через 0,1 добу спостерігання.

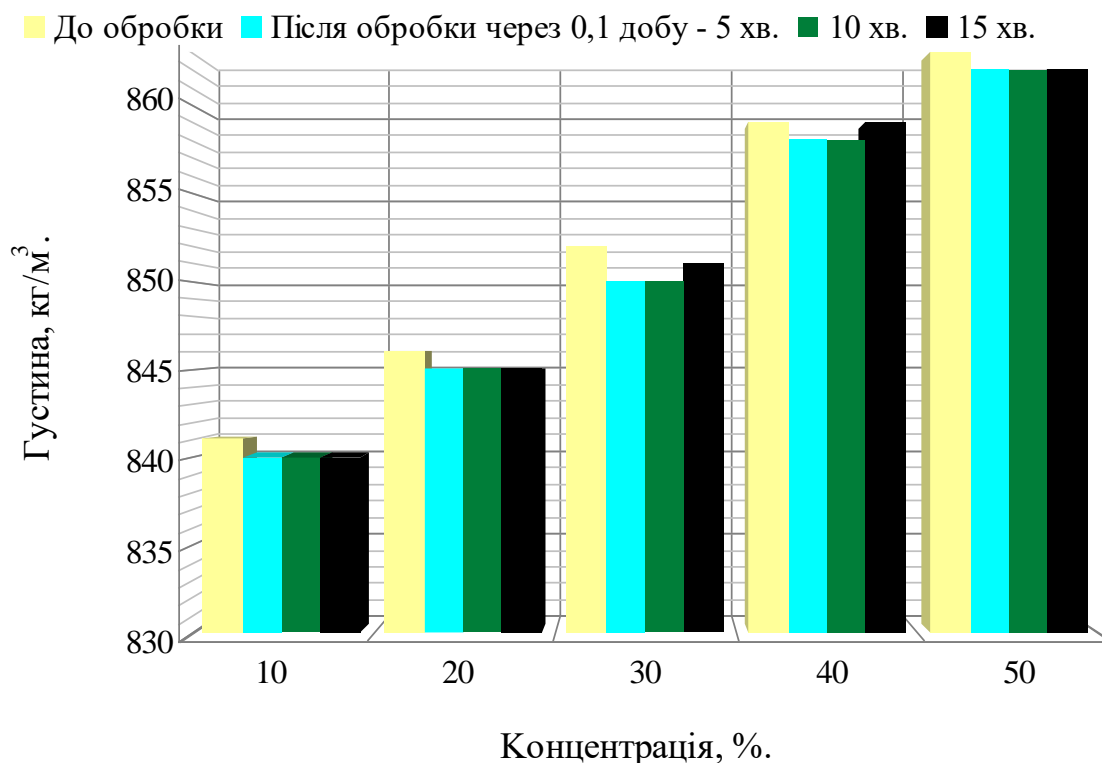


Рис. 3.19. Залежність густини біопального від концентрації МЕРО в дизельному пальному до обробки і після обробки НВЧ електромагнітним полем на протязі 5, 10 і 15 хвилин через 0,1 добу.

Аналіз даних досліджень показує, що після обробки біопального густина всіх сумішей знизилась в середньому від 1 кг/м<sup>3</sup> до 2 кг/м<sup>3</sup>. Проте на протязі 7 діб спостерігання густина всіх оброблених проб зрівнялась з густиною сумішей до обробки НВЧ електромагнітним полем [81,83].

На фотокалориметрі проводились дослідження дизельного пального, МЕРО і їх сумішей на прозорість після 10, 30, 60 днів спостерігання після обробки НВЧ

електромагнітним полем. При прозорості дизельного пального 100%, прозорість МЕРО склала 90%. Прозорість контрольних проб всіх сумішей МЕРО після обробки НВЧ електромагнітним полем знаходилась в діапазоні 90,5–93,5%. Розшарування біопального на протязі 2 місяців не зафіксовано.

### **3.5. Методика оцінки впливу механічної обробки сумішевого біопального в гомогенізаторі на в'язкість і густину**

#### **3.5.1. Об'єкт і апаратура для дослідження**

За об'єкт дослідження прийнято процес гомогенізації сумішевого біопального обробленого в гомогенізаторі. Предметом дослідження є закономірності впливу механічної обробки на в'язкість і густину біопального в залежності від часу обробки.

Експериментальна лабораторна установка складається із гомогенізатора типу MPW–302 і блока керування ST–2. (рис.3.21.). Швидкість обертання мішалки гомогенізатора 9000 об/хв. Об'єм ємності гомогенізатора складає 400 мл, потужність двигуна 300 Вт, напруга мережі – 220 Вт [84].

Експериментальні зразки сумішей готували із дизельного пального і МЕРО у процентному відношенні: 90 % ДП + 10 % МЕРО (суміш 1), 80 % ДП + 20 % МЕРО (суміш 2), 70 % ДП + 30 % МЕРО (суміш 3), 60 % ДП + 40 % МЕРО (суміш 4), 50 % ДП + 50 % МЕРО (суміш 5). Обробку сумішей проводили протягом 5, 10 і 15 хв.

Загальний вигляд гомогенізатора представлений на рис. 3.20. На рис. 3.21. представлено пробірки з відібраними контрольними пробами і обробленими пробами в гомогенізаторі на протязі 5, 10 і 15 хвилин.

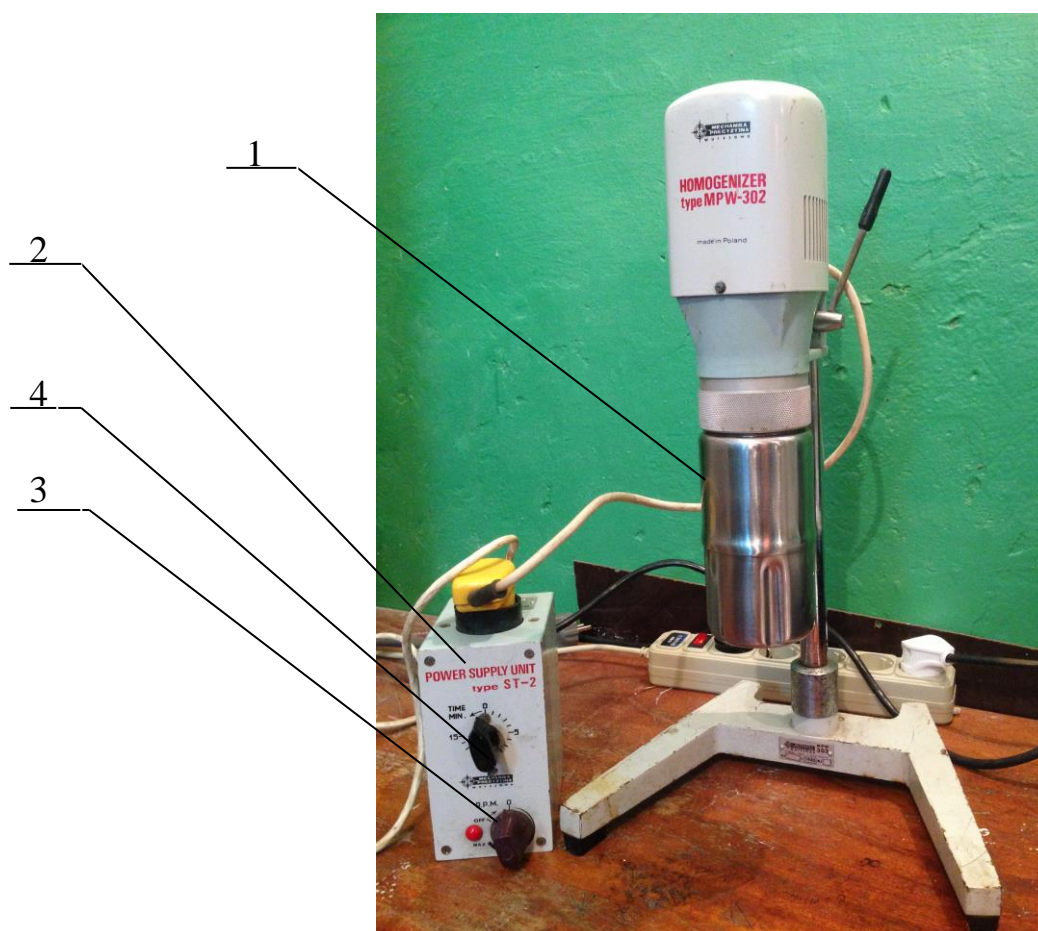


Рис. 3.20. Загальний вигляд гомогенізатора MPW-302: 1 – ємність гомогенізатора; 2 – блок керування ST-2; 3 – регулятор напруги; 4 – перемикач тривалості механічної обробки



Рис. 3.21. Пробірки з відібраними контрольними пробами і обробленими пробами в гомогенізаторі на протязі 5, 10 і 15 хвилин

### **3.5.2. Методика механічної обробки сумішевого біопального в гомогенізаторі**

Методика механічної обробки сумішевого біопального в гомогенізаторі аналогічна методиці обробки пального ультразвуком, яка описана в розділі 3.2.2. за виключенням:

- в ємність 1 гомогенізатора заливається одна із приготовлених проб біопального;
- в блоці керування ST-2 2 регулятором 3 включається напруга і перемикачем 4 виставляється тривалість механічної обробки 5, 10, 15 хвилин;
- після зазначеного часу гомогенізатор автоматично виключається;
- після обробки суміші дизельного пального і МЕРО вимірюється температура нагрівання проби;
- оброблена проба охолоджується до температури 20°C і проводяться вимірювання в'язкості, густини і прозорості біопального [84].

### **3.5.3. Аналіз результатів експериментальних досліджень механічної обробки сумішевого біопального в гомогенізаторі**

В додатку 4 (табл. 4.7.) приведено дані по температурі нагрівання сумішей дизельного пального і МЕРО в залежності від часу обробки в гомогенізаторі, а на рис. 3.22. представлено залежності температури нагрівання сумішей дизельного пального і МЕРО в залежності від часу обробки в гомогенізаторі.

Слід зазначити, що чим більша частка МЕРО в пробах дизельного пального і більший час його обробки, тим більша температура нагрівання зразків. Так, при обробці сумішей біопального протягом 5 хв температура зразків знаходилась в діапазоні 46–54 °С, за тривалості обробки 10 хв – 66–74 °С і 15 хв – 79–87 °С.

В додатку 4 (табл. 4.1–4.5) приведено експериментальні дані вимірювання в'язкості в дизельному пальному, МЕРО і сумішевих паливах не оброблених і оброблених в гомогенізаторі при температурі зразків 20°C.

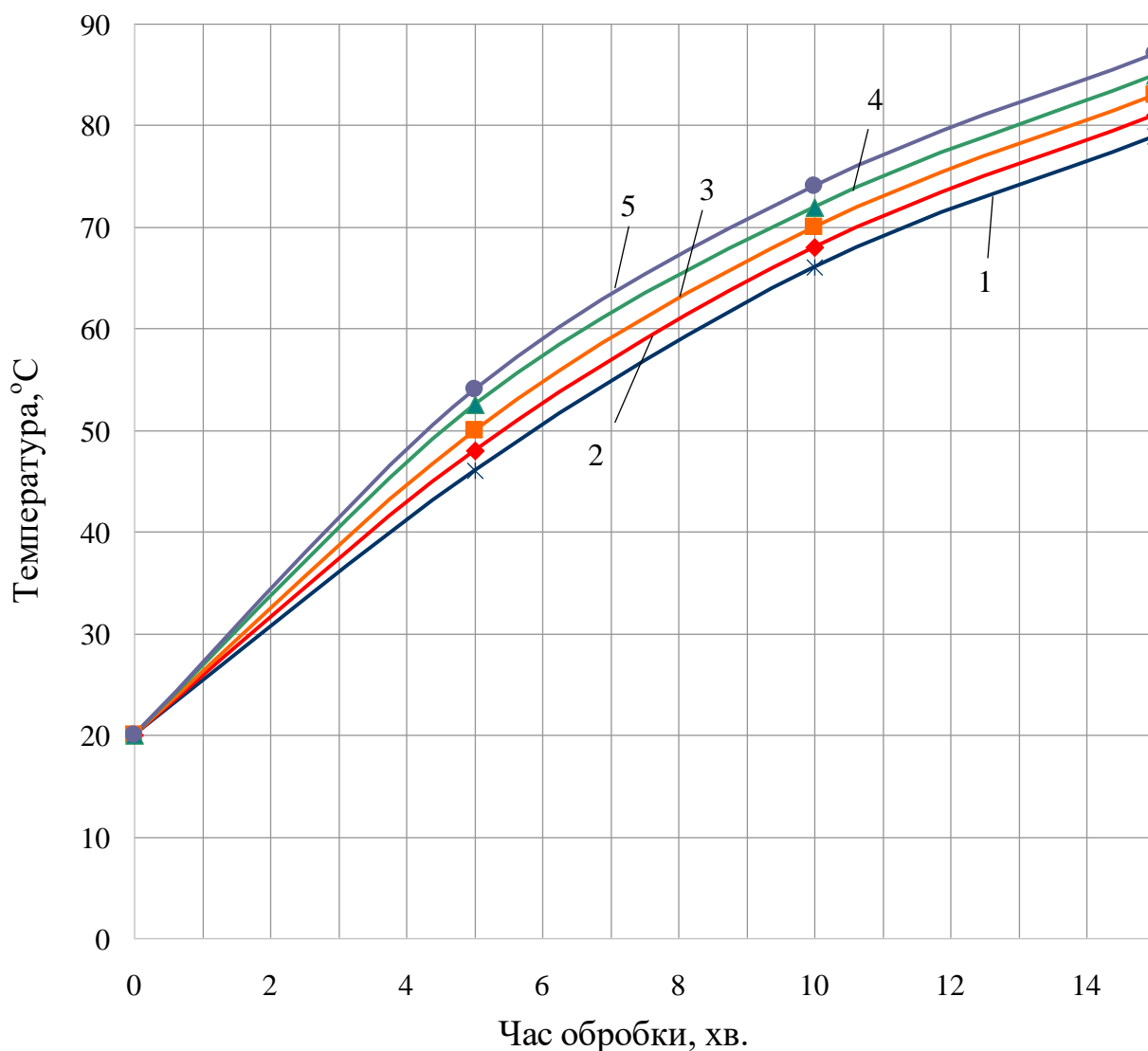
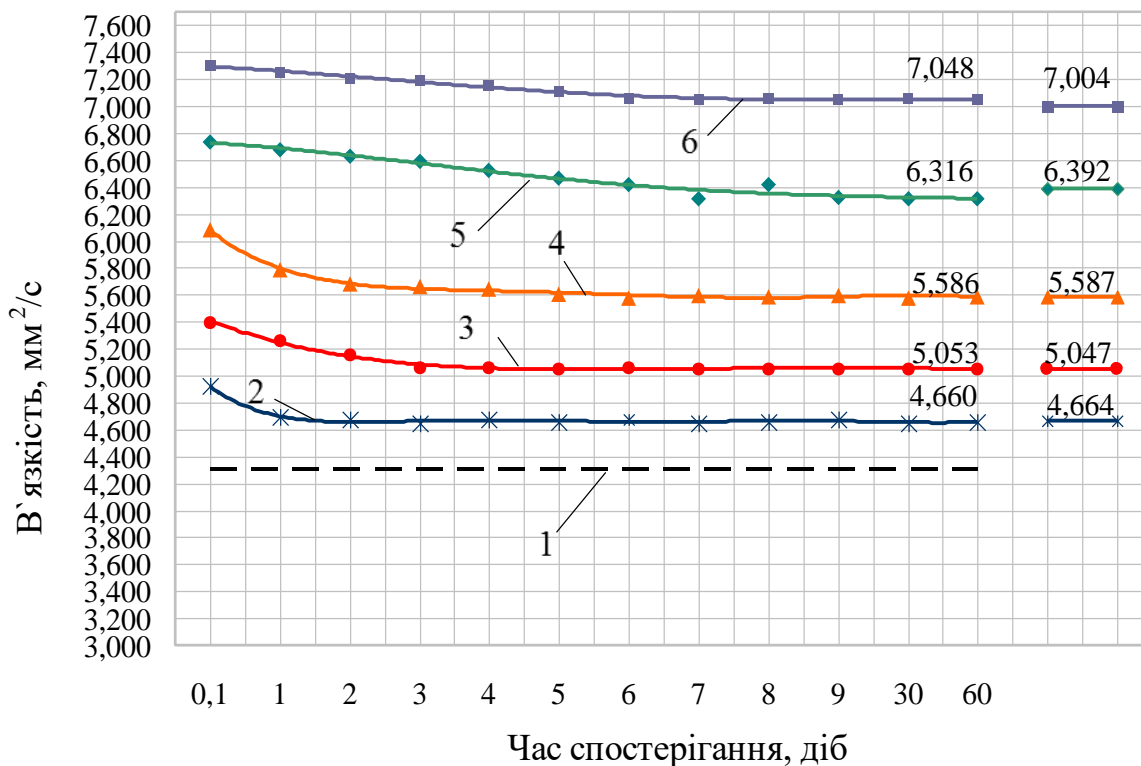


Рис. 3.22. Залежності температури біопального від часу його обробки: 1, 2, 3, 4 і 5 – суміші 1, 2, 3, 4 і 5 відповідно

Результати визначення в'язкості сумішевого біопального, обробленого в гомогенізаторі протягом 5 хв, представлені на рис. 3.23.

З правої його сторони приведені результати в'язкості необроблених зразків, а з лівої – результати в'язкості оброблених зразків в гомогенізаторі.

Слід звернути увагу на те, що кінцеве значення в'язкості сумішевого біопального, обробленого протягом 5 хв в гомогенізаторі, по відношенню до його необробленого стану не змінилось [84]. В додатку 4 (табл. 4.6) і на рис. 3.24 представлено залежності кінцевої в'язкості від концентрації МЕРО в сумішевому біопальному після обробки в гомогенізаторі на протязі 5, 10 і 15 хвилин.



В

Рис. 3.23. Залежності в'язкості сумішевого біопального від часу спостереження після обробки в гомогенізаторі протягом 5 хв: 1 – ДП; 2, 3, 4, 5 і 6 – суміші 1, 2, 3, 4 і 5 відповідно

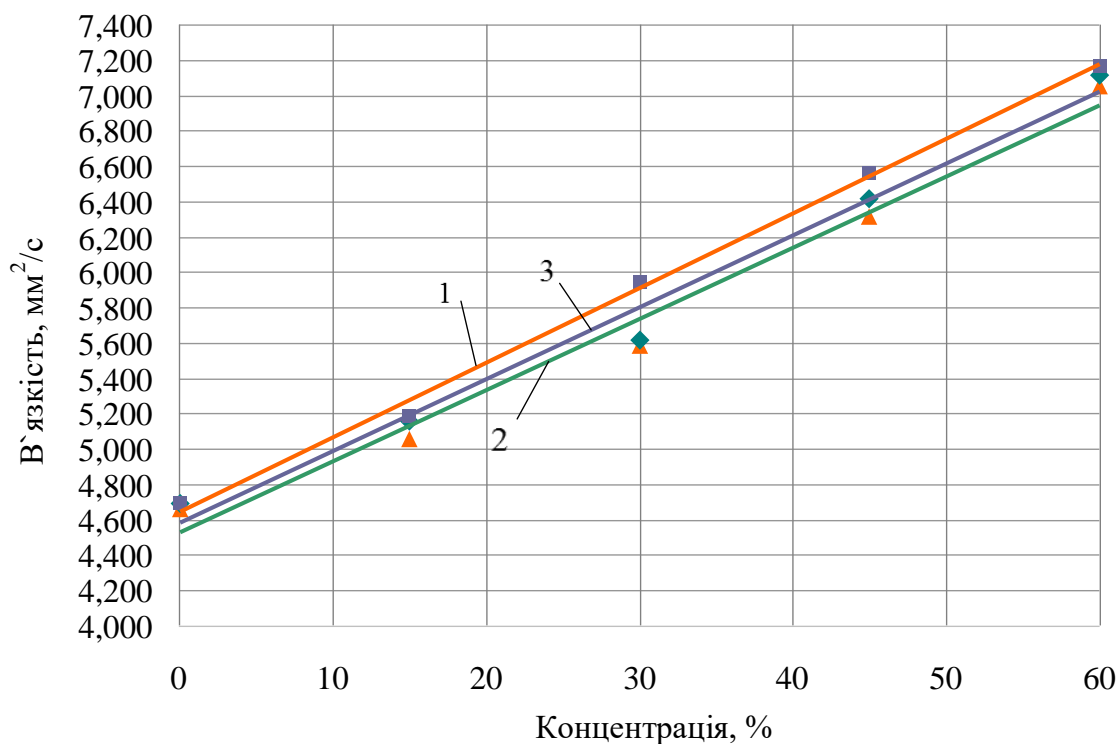


Рис. 3.24. Залежність зміни кінцевої в'язкості біопального при його обробленні в гомогенізаторі: 1 – 5 хв; 2 – 10 хв; 3 – 15 хв

Як можна бачити, усі залежності мають лінійний характер. Із збільшенням концентрації МЕРО в'язкість біопального збільшується, причому збільшення часу обробки сумішевого пального не впливає на зміну кінцевої в'язкості.

В додатку 4 (табл. 4.8.) представлені результати вимірювання густини дизельного пального, МЕРО і їх сумішей після обробки в гомогенізаторі.

На рис. 3.25. представлено залежність густини біопального від концентрації МЕРО в дизельному пальному до обробки і після обробки в гомогенізаторі на протязі 5, 10 і 15 хвилин через 0,1добу. Аналіз даних досліджень показує, що після обробки біопального густина всіх сумішей знизилась в середньому від 1 кг/м<sup>3</sup> до 2 кг/м<sup>3</sup>. Проте на протязі 7 діб спостереження густина всіх оброблених проб зрівнялась з густиною сумішей до обробки [84].

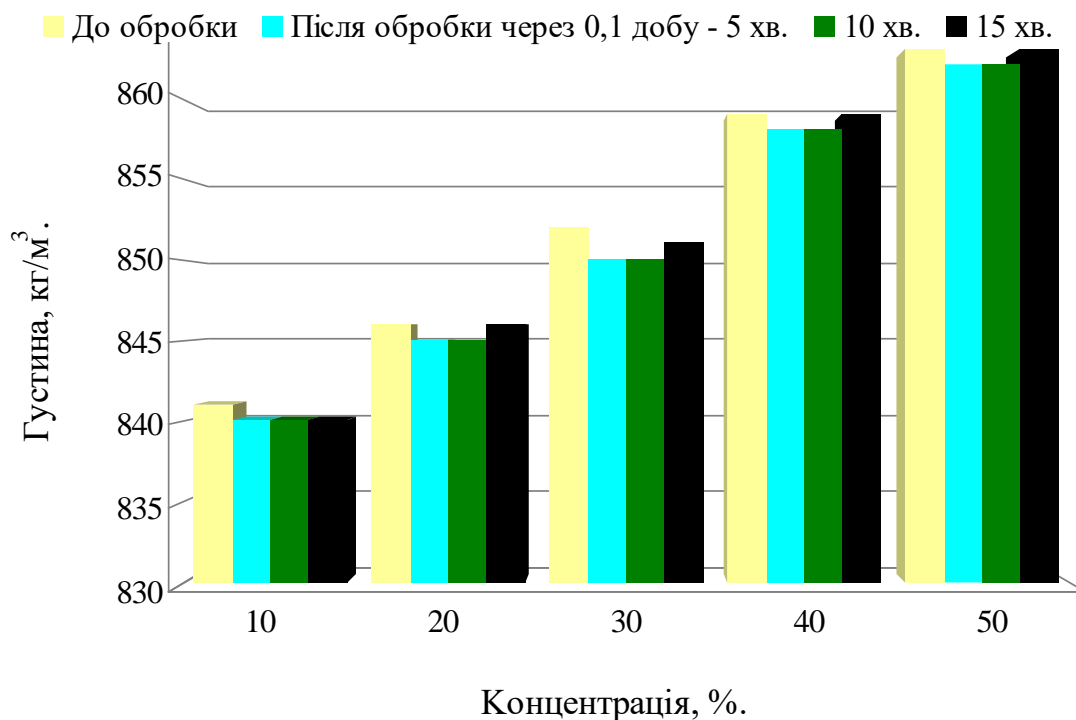


Рис. 3.25. Залежність густини біопального від концентрації МЕРО в дизельному пальному до обробки і після обробки в гомогенізаторі на протязі 5, 10 і 15 хвилин через 0,1добу.

На фотокалориметрі проводились дослідження дизельного пального, МЕРО і їх сумішей на прозорість після 10, 30, 60 днів зберігання після обробки в



гомогенізаторі. При прозорості дизельного палива 100%, прозорість МЕРО склала 90%. Прозорість контрольних проб всіх сумішей МЕРО після обробки в гомогенізаторі знаходилась в діапазоні 92,5–95,5%. Розшарування біопального на протязі 2 місяців не зафіксовано.

### **3.6. Аналіз результатів одночасної обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем сумішевого біопального**

В даному розділі перед нами була поставлена задача провести одночасну обробку біопального ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем на протязі 1 хв., 3хв., 5 хв. і визначити оптимальний час обробки.

Методика сумісної ультразвукової і НВЧ електромагнітної обробки сумішевого біопального аналогічна методикам обробки біопального, які були описані в розділах 3.3.2 і 3.4.2 з тією різницею, що ємність магнітостриктора встановлювалась в горизонтальному положенні під рупором НВЧ модуля в НВЧ камері. Скважність роботи НВЧ модуля складала 35%.

В додатку 5 (табл. 5.8.) і на рис. 3.26. представлено отримані дані по температурі нагрівання сумішей 1,2 і 3 (10, 20 і 30% МЕРО в ДП) дизельного пального і МЕРО в залежності від часу сумісної обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем.

Слід зазначити, що чим більша частка МЕРО в пробах дизельного пального і більший час його обробки, тим більша температура нагрівання зразків. Так, при обробці сумішей біопального протягом 1 хв температура зразків знаходилась в діапазоні 31–35 °С, за тривалості обробки 3 хв – 46–50 °С і 5 хв – 58–63 °С [84].

В додатку 5 (табл.5.1 – 5.3.) представлені результати вимірювання в'язкості біопального після обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем, а на рис. 3.27–3.29 представлено залежності зміни в'язкості від часу спостереження при одночасній обробці сумішей ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем на протязі 1, 3 і 5 хвилин.

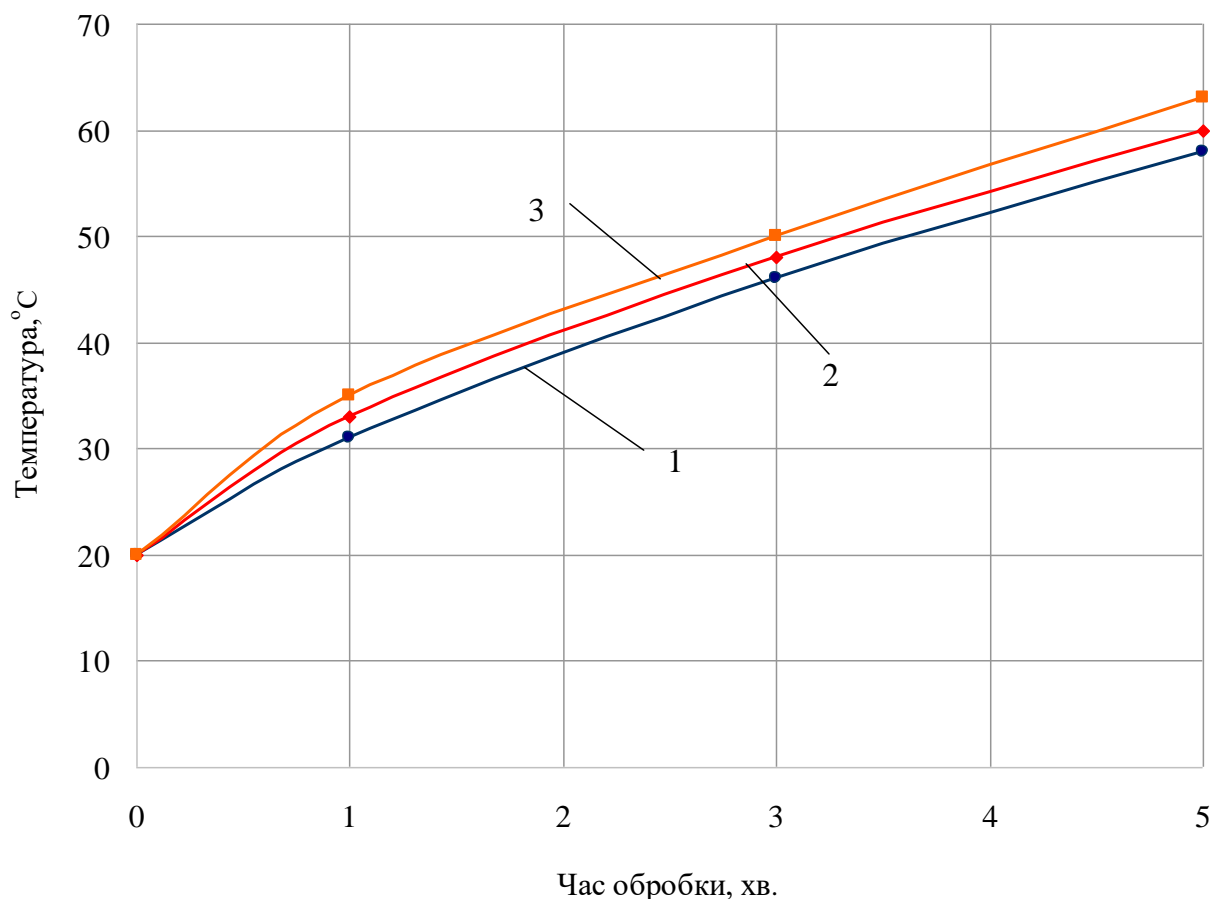


Рис. 3.26. Залежності температури біопального від часу його обробки: 1, 2 і 3 – суміші 1, 2 і 3 відповідно

Слід звернути увагу на те, що при обробленні сумішей 1, 2 і 3 на протязі 1 хв (рис.3.27) кінцеве значення в'язкості покращилось, але незначно, хоча вона стала меншою ніж в'язкість необроблених контрольних проб.

При обробленні сумішей 1, 2 і 3 на протязі 3 хв. (рис. 3.28.) необхідно відзначити, що в'язкість зменшилась суттєво і для суміші 1 (крива 2) вона склала  $3,902 \text{ мм}^2/\text{с}$ , а в контрольній пробі –  $4,664 \text{ мм}^2/\text{с}$ . В дослідній суміші 2 (крива 3) кінцева в'язкість склала  $4,250 \text{ мм}^2/\text{с}$ , а в контрольній пробі –  $5,047 \text{ мм}^2/\text{с}$ . В суміші 3 (крива 4) кінцева в'язкість склала  $4,481 \text{ мм}^2/\text{с}$ , а в контрольній пробі –  $5,587 \text{ мм}^2/\text{с}$ .

Результати досліджень сумісного впливу ультразвуку і НВЧ електромагнітного поля на в'язкість біопального при обробці сумішей 1, 2 і 3 протягом 5 хв представлені на рис. 3.29.

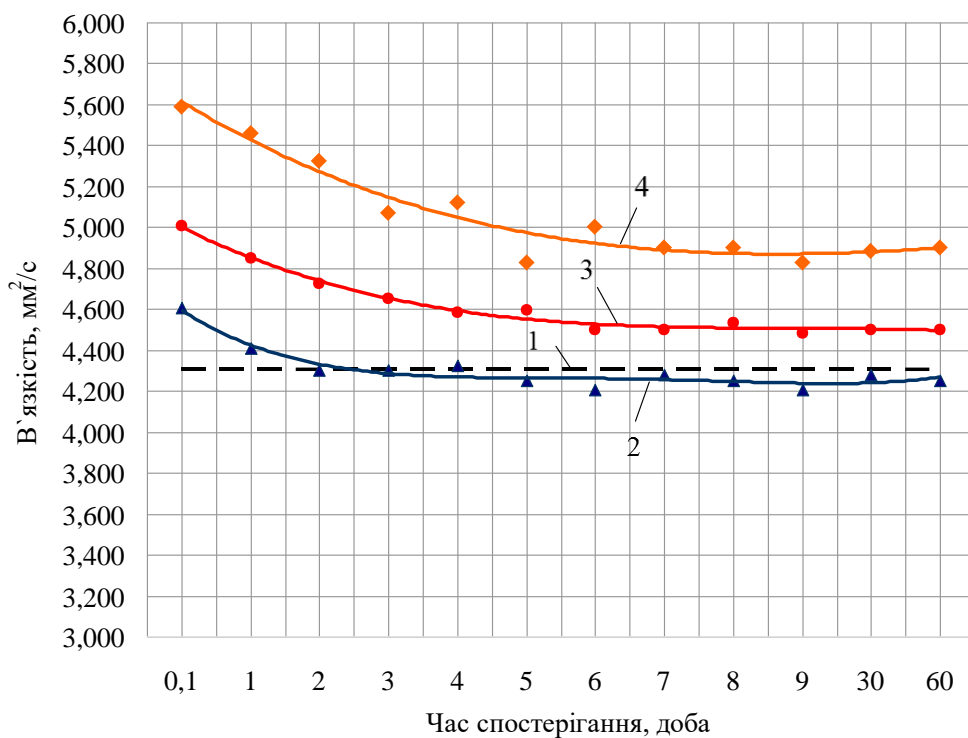


Рис. 3.27. Залежності в'язкості сумішевого біопального від часу спостереження після обробки пального ультразвуком і НВЧ ЕМП протягом 1 хв: 1 – ДП; 2, 3, 4 – суміші 1, 2, і 3 відповідно

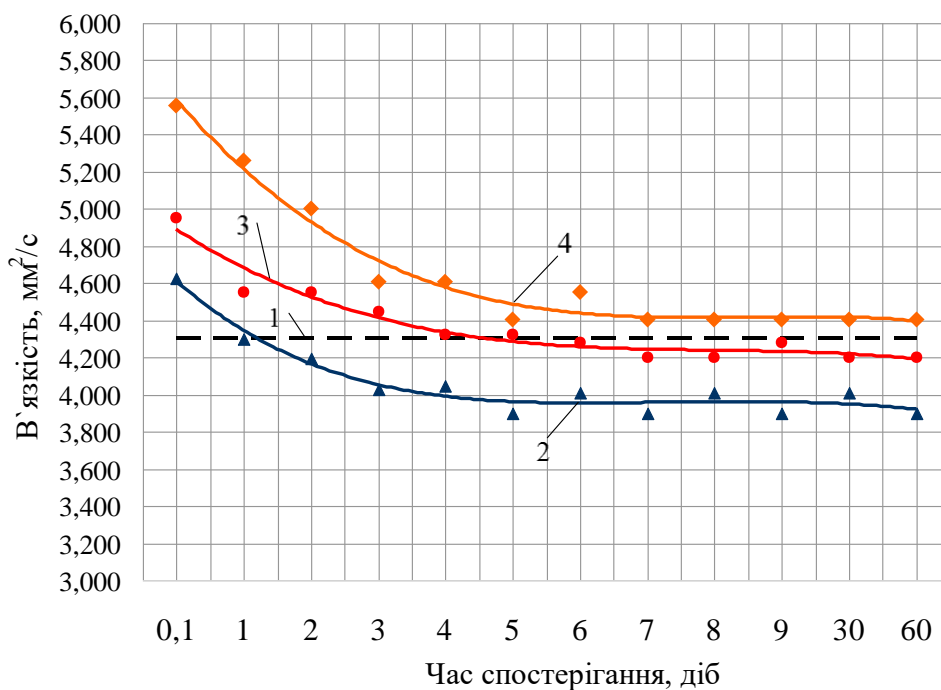


Рис. 3.28. Залежності в'язкості сумішевого біопального від часу спостереження після обробки пального ультразвуком і НВЧ ЕМП протягом 3 хв: 1 – ДП; 2, 3, 4 – суміші 1, 2, і 3 відповідно

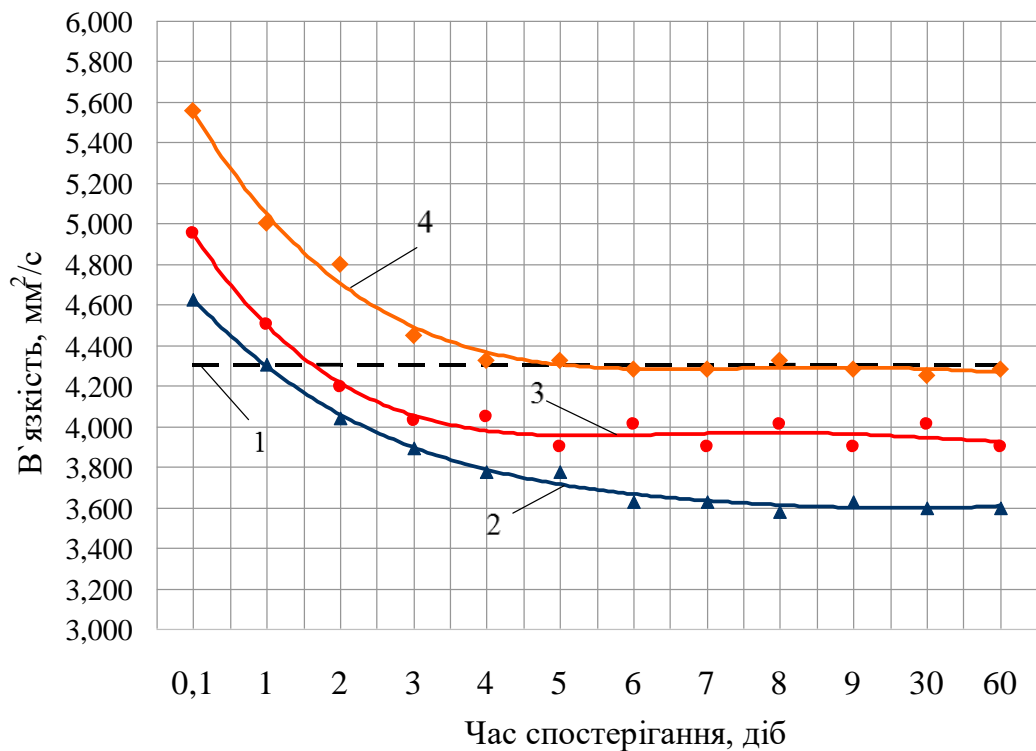


Рис. 3.29. Залежності в'язкості сумішевого біопального від часу спостереження після обробки пального ультразвуком і НВЧ ЕМП протягом 5 хв: 1 – ДП; 2, 3, 4 – суміші 1, 2, і 3 відповідно

При обробці суміші 1 ультразвуком 5 хв (рис.3.9) кінцева в'язкість складала  $3,777\text{мм}^2/\text{с}$ , а при сумісній УЗ і НВЧ обробці 5 хв (рис.3.29) кінцева в'язкість складала  $3,600\text{мм}^2/\text{с}$ , що на 4,68% менше. Суміш 2 при обробці УЗ 5 хв (рис. 3.9) кінцева в'язкість складала  $4,124\text{мм}^2/\text{с}$ , а при сумісній УЗ і НВЧ обробці 5 хв (рис.3.29) кінцева в'язкість складала  $3,902\text{мм}^2/\text{с}$ , що на 5,38 % менше. В суміші 3 при обробці УЗ 5 хв (рис.3.9) кінцева в'язкість складала  $4,324\text{мм}^2/\text{с}$ , а при сумісній УЗ і НВЧ обробці 5 хв (рис.3.29) кінцева в'язкість складала  $4,250\text{мм}^2/\text{с}$ , що на 1,71% менше [86]. Таким чином, сумісна обробка сумішей 1 і 2 УЗ і НВЧ ЕМП протягом 5 хв дозволила зменшити в'язкість біопального на 22,8% і 22,69% відповідно по відношенню до необробленого біопального, що обґрунтовує доцільність сумісної обробки.

Отримані під час дослідів значення можуть лежати в межах можливої помилки при вимірюваннях [88,89]. Якщо задатись максимально допустимою похибкою при вимірюванні в'язкості і густини сумішевого біопального, то можна розрахувати похибки даних величин.

Середньоквадратична абсолютна похибка вимірювань складе:

$$\delta = \sqrt{\delta_{V_E}^2 + \delta_{V_K}^2 + \delta_{\rho_E}^2 + \delta_{\rho_K}^2 + \delta_Q^2 + \delta_K^2 + \delta_{\Gamma}^2}, \quad (3.2)$$

де  $\delta_{V_E}$  - похибка вимірювання в'язкості в еталонному зразку, мм<sup>2</sup>/с;

$\delta_{V_K}$  - похибка вимірювання в'язкості в контрольному зразку, мм<sup>2</sup>/с;

$\delta_{\rho_E}$  - похибка вимірювання густини в еталонному зразку, кг/м<sup>3</sup> ;

$\delta_{\rho_K}$  - похибка вимірювання густини в контрольному зразку, кг/м<sup>3</sup> .

$\delta_Q$  - похибка вимірювання температури зразка, °С;

$\delta_K$  - похибка вимірювання складеної концентрації зразків, мас.%;

$\delta_{\bar{A}}$  - похибка вимірювання градуювання вимірювальних приладів, %

Відносна похибка  $E_F$  побічної величини, яка буде визначатись  $F=F(x_1...x_n)$  може бути вирахована по наступній формулі [88,89].

$$E_F \approx \frac{1}{F} \left| \frac{dF}{dX} \right| \Delta X_1 + \dots + \frac{1}{F} \left| \frac{dF}{dX_n} \right| \Delta X_n, \quad (3.3)$$

де  $\Delta X_1 \dots \Delta X_n$  – абсолютні похибки вимірювання величини;

$X_1 \dots X_n$  – безпосередньо величини, які визначаються із експерименту.

Похибки, які зв'язані з неточністю визначення температури  $E_Q$  і концентрації  $E_K$  вираховуються по формулі

$$E_Q = \frac{1}{F} \left| \frac{dF}{dQ} \right| \Delta Q, \quad (3.4)$$

$$E_K = \frac{1}{F} \left| \frac{dF}{dK} \right| \Delta K, \quad (3.5)$$

Відносна похибка визначення в'язкості з врахуванням 3.3–3.5 може бути оцінена наступними відношеннями [88,89].

$$E_{c1} = \frac{V}{t} \Delta v + \frac{\rho}{t} \Delta \rho + \frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dQ} \right) \Delta Q + \frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dK} \right) \Delta K + \frac{\delta X}{L}, \quad (3.6)$$

В даному випадку два перших вирази враховують вклад в похибку вимірювання в'язкості і густини, які зв'язані з неточностями визначення безпосередньо виміряних величин, третій і четвертий вирази враховують неточності при вимірюванні температури  $Q$  і складання концентрації зразків, п'ятий вираз враховує похибку градування приладів. Абсолютні похибки в визначенні безпосередньо величин в експериментах кінематичної в'язкості і густини згідно досліджень, які були проведені в даній роботі були наступного порядку:  $\Delta \rho = 0,08\%$ ;  $\Delta Q = 0,02\%$ ;  $\Delta V = 0,16\%$ ; величина  $\Delta \delta X$  – порядку  $0,13\%$ . Похибка вимірювання  $Q$  і  $K$  склали:  $\frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dQ} \right) \Delta Q = 0,2\%$ ,  $\frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dK} \right) \Delta K = 0,3\%$ .

Сумарна похибка  $E_{c1}$  вимірювання абсолютних величин значень в'язкості і густини і її вклади будуть дорівнювати

$$E_{c1} = 0,08 + 0,02 + 0,16 + 0,13 + 0,2 + 0,3 = 0,89 \approx 0,9\%$$

### **3.7. Експериментальні дослідження тангенса кута діелектричних втрат в необроблених пробах і пробах оброблених ультразвуком, НВЧ електромагнітним полем і в механічному гомогенізаторі**

На установці «Тангенс – 3М–3» було проведено вимірювання тангенса кута діелектричних втрат ( $\text{tg}\delta$ ) в ДП, МЕРО, контрольних необроблених сумішах і оброблених сумішах ультразвуком, НВЧ ЕМП і в гомогенізаторі, який проводився в хімічній лабораторії Мелітопольських високовольтних електричних мереж. Протоколи вимірювань тангенса кута діелектричних втрат приведені в додатку 2 на рис. 2.1–2.3., додатку 3 на рис.3.1. і 3.2., додатку 4 на рис. 4.1. і 4.2.

На рис. 3.30. представлено загальний вигляд установки для вимірювання діелектричних втрат рідких діелектриків «Тангенс – 3М–3».



Рис. 3.30. Загальний вигляд установки для вимірювання діелектричних втрат рідких діелектриків «Тангенс – 3М–3»

В додатку 4 (табл 4.9.) і на рис. 3.31. представлено результати вимірювання тангенса кута діелектричних втрат в ДП, МЕРО і сумішах необроблених і оброблених ультразвуком, НВЧ ЕМП і в механічному гомогенізаторі [82]. Аналізуючи залежності  $\text{tg}\delta$  від концентрації МЕРО в ДП до обробки і після обробки ультразвуком необхідно відзначити, що із збільшенням МЕРО в ДП  $\text{tg}\delta$  в необроблених пробах (крива 1) зростає із 6,981 до 35,899, а в оброблених ультразвуком пробах (крива 2) із 5,147 до 19,704. В зрівнянні із необробленими пробами  $\text{tg}\delta$  в оброблених сумішах ультразвуком зменшився, що свідчить про покращення чистоти і якості продукту. Різниця  $\text{tg}\delta$  між необробленими пробами і обробленими пробами склала від 20,67% до 45,11% (додаток 4 табл.4.9).

Аналізуючи залежності тангенса кута діелектричних втрат від концентрації МЕРО в ДП до обробки і після обробки НВЧ ЕМП необхідно відзначити, що із збільшенням МЕРО в ДП  $\text{tg}\delta$  в оброблених НВЧ ЕМП пробах (крива 3) зростає із 5,221 до 14,737. В зрівнянні із необробленими пробами  $\text{tg}\delta$  в оброблених сумішах НВЧ ЕМП зменшився, що свідчить про покращення чистоти і якості продукту [82].

Різниця  $\text{tg}\delta$  між необробленими пробами і обробленими пробами склала від 25,21% до 58,94% [83]. (додаток 4 табл.4.9).

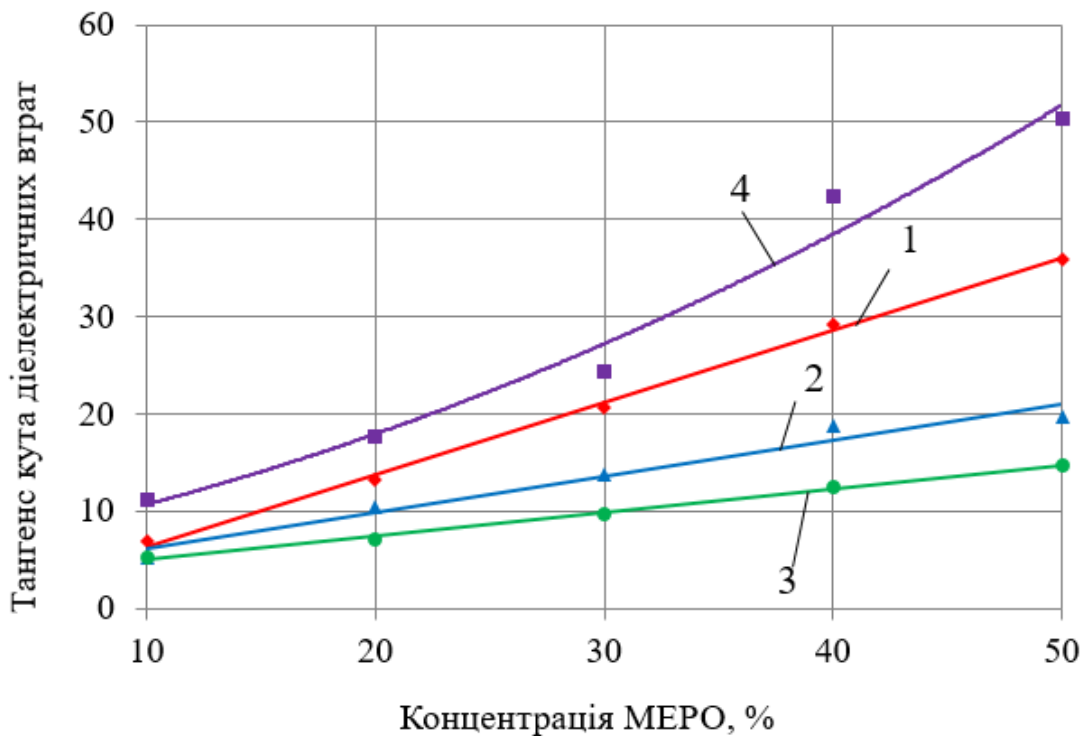


Рис. 3.31. Залежність тангенса кута діелектричних втрат від концентрації МЕРО в дизельному пальному до обробки і після обробки ультразвуком, НВЧ електромагнітним полем і в гомогенізаторі: 1 – необроблені проби; 2 – проби оброблені ультразвуком; 3 – проби оброблені в НВЧ електромагнітному полі; 4 – проби оброблені в гомогенізаторі

Аналізуючи залежності  $\text{tg}\delta$  від концентрації МЕРО в ДП до обробки і після обробки в гомогенізаторі необхідно відзначити, що із збільшенням МЕРО в ДП  $\text{tg}\delta$  в оброблених пробах в гомогенізаторі (крива 4) зростає із 11,246 до 50,288. В зрівнянні із необробленими пробами (крива 1)  $\text{tg}\delta$  в оброблених сумішах гомогенізатором (крива 4) суттєво збільшився по відношенню до необроблених проб, що свідчить про погіршення чистоти і якості продукту. Різниця  $\text{tg}\delta$  між необробленими пробами (крива 1) і обробленими пробами (крива 4) склала від 15,64% до 37,92% (додаток 4 табл.4.9). Таким чином, вимірювання  $\text{tg}\delta$  дає змогу експрес-методом визначати ефективність обробки біопального як ультразвуком, НВЧ електромагнітним полем так і механічною обробкою.



### 3.8. Методика обробки результатів повного факторного експерименту

#### 3.8.1 Побудова планів повного факторного експерименту

Дослідження факторів, які впливають на в'язкість сумішевого біопального дозволило виділити три основних фактори:  $x_1$  – потужність обробки ультразвуком – Р, Вт;  $x_2$  – час обробки – Т, хв.;  $x_3$  – потужність обробки НВЧ електромагнітним полем, Р, Вт [90,91].

В табл.3.3. представлені рівні варіювання контрольного фактору.

Таблиця 3.3.

Фактор	Рівень варіювання			Інтервал варіювання
	-1	0	+1	
$X_1$ – потужність обробки УЗ, Вт	10	30	50	$\Delta P=20$
$X_2$ – час обробки, хв.	1	3	5	$\Delta T=2$
$X_3$ - потужність обробки НВЧ ЕМП, Вт	100	200	300	$\Delta P=100$

В табл. 3.4. задаємося можливими поєднаннями рівнів факторів для нашого прикладу в кодових і натуральних змінних.

Таблиця 3.4.

Порядк. номер	Потужність УЗ		Час обробки		Потужність НВЧ	
	$P_{УЗ}$ , Вт	$X_1$	Т, хв.	$X_2$	$P_{НВЧ}$ , Вт	$X_3$
1	10	–	1	–	100	–
2	50	+	1	–	100	–
3	10	–	5	+	100	–
4	50	+	5	+	100	–
5	10	–	1	–	300	+
6	50	+	1	–	300	+
7	10	–	5	+	300	+
8	50	+	5	+	300	+

При реалізації дослідів були отримані результати, які характеризують вихідний параметр «у – в'язкість », які зведені в табл.3.5.

Результати дослідів, які характеризують вихідний параметр

Поряд.номер	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	$\bar{y}$	S <sup>2</sup> <sub>n</sub>
1	-	-	-	4,720	4,280	4,650	0,142
2	+	-	-	4,300	4,810	4,55	0,130
3	-	+	-	4,770	4,520	4,645	0,0312
4	+	+	-	3,788	4,050	3,919	0,0343
5	-	-	+	4,641	5,041	4,841	0,08
6	+	-	+	4,300	4,740	4,52	0,115
7	-	+	+	5,139	4,590	4,86	0,151
8	+	+	+	3,721	3,861	3,791	0,00405
9	0	0	0	3,920	3,840	3,88	0,0032
							S <sub>E</sub> = 0,691

### 3.8.2. Результати повного факторного експерименту

Виконуємо розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії. Для полегшення процедури розрахунку коефіцієнтів скористаємося розрахунковою матрицею ПФЕ. Заповнимо стовпчики табл. 3.6 значенням похідних  $x_{in}$ ,  $\bar{y}_n$  і  $x_{jn}$ ,  $\bar{y}_n$ , де індекс n означає номер дослідів. Строки  $\sum_{n=1}^N$  і  $v_{ij}$  заповнимо в процесі розрахунку.

По результатам експериментальних досліджень впливу потужності ультразвуку і НВЧ електромагнітного поля на в'язкість сумішевого біопального отримано рівняння регресії, яке встановлює зв'язок взаємного впливу потужності ультразвуку і НВЧ електромагнітного поля, а також часу обробки на в'язкість сумішевого біопального.

Після обробки результатів повно факторного експерименту (табл. 3.6) отримано рівняння регресії в закодованій формі.

Розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії

Номер досліджу	$x_1 \bar{y}$	$x_2 \bar{y}$	$x_3 \bar{y}$	$x_1 x_2 \bar{y}$	$x_1 x_3 \bar{y}$	$x_2 x_3 \bar{y}$	$\bar{y}$
1	- 4,650	- 4,650	- 4,650	+ 4,650	+ 4,650	+4,560	4,650
2	+ 4,55	- 4,55	- 4,55	- 4,55	- 4,55	+ 4,55	4,55
3	- 4,645	+ 4,645	- 4,645	- 4,645	+4,645	- 4,645	4,645
4	+3,919	+3,919	- 3,919	+3,919	- 3,919	- 3,919	3,919
5	- 4,841	- 4,841	+ 4,841	-4,841	- 4,841	- 4,841	4,841
6	+ 4,52	- 4,52	+ 4,52	- 4,52	+ 4,52	- 4,52	4,52
7	- 4,86	+ 4,86	+ 4,86	+ 4,86	- 4,86	+ 4,86	4,86
8	+3,791	+3,791	+3,791	+3,791	+3,791	+3,791	3,791
9	0	0	0	0	0	0	3,88
$\sum_{n=1}^N$	-2,216	-1,347	0,248	-1,336	-0,564	-0,164	39,66
$B_{ij}$	-0,277	-0,168	0,031	-0,167	-0,0705	-0,0205	$B_0 = 4,407$

$$y = 4,407 - 0,277X_1 - 0,168X_2 + 0,031X_3 - 0,167X_1X_2 - 0,0705X_1X_3 - 0,0205X_2X_3 \quad (3.7)$$

де  $X_1$  – потужність обробки ультразвуком, Вт;

$X_2$  – час обробки, с;

$X_3$  – потужність обробки НВЧ електромагнітним полем, Вт;

$X_1 X_2$  – взаємодія потужності ультразвуку і часу обробки;

$X_1 X_3$  – взаємодія потужності ультразвуку і потужності НВЧ обробки;

$X_2 X_3$  – взаємодія потужності НВЧ і часу обробки в закодованому виді.

По абсолютній величині коефіцієнтів судять про дальшу силу впливу того чи іншого фактору на протікання процесу. Розрахунок значимості коефіцієнтів починають з визначення їх дисперсій, яка для нашого прикладу склала  $S_i^2 = 0,000233$ .

Коефіцієнти  $b_i$ ,  $b_{i\gamma}$  рахуються значущими, якщо:

$$|b_i - b_{iy}| \geq t_{кр} \sqrt{S_i^2} \quad (3.8)$$

де  $t_{кр}$  – критичне значення розподілення критерія Стюдента для заданого рівня значності  $\alpha$  і  $f_2$  степенем свободи. Приймаємо для нашого прикладу  $f_2=8$  для рівня значення  $\alpha=0,05$   $t_{кр} = 2,31$  [90].

$$t_{кр} \sqrt{S_i^2} = 2,31 \sqrt{0,000233} = 0,0353$$

Таким чином, всі коефіцієнти в рівнянні регресії, які перевершують по абсолютній величині значення 0,0353 є значимими і залишаються для перевірки адекватності отриманої моделі.

З врахуванням значимості коефіцієнтів рівняння регресії буде мати вигляд:

$$y = 4,407 - 0,277X_1 - 0,168X_2 - 0,167X_1X_2 - 0,0705X_1X_3 \quad (3.9)$$

Аналіз рівняння (3.9) показує, що найбільший вплив на зменшення в'язкості сумішевого пального надає потужність ультразвуку, час обробки, взаємодія потужності обробки і часу, а також взаємодія потужності ультразвуку і НВЧ електромагнітної обробки.

Перевірка моделі на адекватність по критерію Фішера ( $F_{кр} = 5,32$  [90] для заданого рівня значимості  $\alpha$  (приймаємо  $\alpha=0,05$ ) і  $f_1=5$ , а  $f_2 = 8$  дала позитивний результат.

Отже

$$F = 1,08 < F_{кр} = 5,32 \quad (3.10)$$

Так як розрахункове значення критерія Фішера не перевершує критичного висловлене раніше припущення про надійність (адекватність) отриманого рівняння не відкидається.

### 3.9. Висновки по розділу

1. Для обробки сумішевого біопального рекомендуються наступні технологічні параметри: значення резонансної частоти ультразвукових коливань системи повинна бути 22,8 кГц; інтенсивність ультразвуку – 5 Вт/см<sup>2</sup>; потужність НВЧ електромагнітного поля – 100 Вт із скважністю роботи 35%; час сумісної обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем – 5 хв. при масі біопального, яке обробляється – 600 мл.

2. Встановлено, що обробка сумішей 1 і 2 ультразвуком протягом 5 хвилин дозволила зменшити в'язкість біопального на 19,0% і 18,29% відповідно по відношенню до необробленого пального. По відношенню до мінерального дизельного пального в'язкість в сумішах 1 і 2 зменшилась на 12,2 % і 4,1 % відповідно, що дозволило покращити функціональні властивості біопального.

3. Вплив НВЧ електромагнітного поля на суміші дизельного пального з МЕРО протягом 5 хв дозволяє зменшити їх в'язкість у середньому на 5,6 %. Збільшення часу НВЧ обробки сумішевого пального до 10, 15 хвилин призвело до збільшення температури зразків, що суттєво вплинуло на погіршення кінцевої в'язкості. Так при обробці НВЧ електромагнітним полем приготовлених проб на протязі 10 хвилин кінцева в'язкість всіх проб зросла в середньому на 6,4 % по відношенню до оброблених проб на протязі 5 хвилин, а обробка приготовлених проб на протязі 15 хвилин призвела до зростання кінцевої в'язкості на 14,2% по відношенню до оброблених проб на протязі 5 хвилин.

4. Обробка сумішей біопального в механічному гомогенізаторі не призвела до зменшення в'язкості біопального і після 60 діб спостереження залишилась на тому ж рівні, що і до обробки.

5. Встановлено, що сумісна обробка сумішей 1 і 2 ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем протягом 5 хвилин дозволила зменшити в'язкість біопального на 22,8% і 22,69% відповідно по відношенню до необробленого біопального, що обґрунтовує доцільність сумісної обробки.

6. Встановлено, що стабілізація функціональних властивостей біопального

(в'язкість і густина) відбувається через 7 діб після обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем. Це обумовлює необхідність відповідної витримки часу перед використанням біопального.

7. Встановлено, що у сумішах 1–5 оброблених ультразвуком, тангенс кута діелектричних втрат ( $\text{tg}\delta$ ) зменшився по відношенню до контрольних проб в межах 26,27–45,11%. У цих же сумішах, але оброблених у НВЧ електромагнітним полем, величина  $\text{tg}\delta$  зменшилась в межах 25,21–58,94%, що однозначно свідчить про покращення чистоти і якості пального. Водночас, в сумішах пального, оброблених у гомогенізаторі, тангенс кута діелектричних втрат збільшився по відношенню до контрольних проб в межах 15,64–37,92%, що свідчить про погіршення якості пального. Вимірювання величини тангенса кута діелектричних втрат надає можливість експрес-методом визначати ефективність обробки біопального та корегувати її в виробничих умовах.

8. Сумарна похибка вимірювання абсолютних величин значень в'язкості і густини і її вклади склали 0,9 %.

9. Аналіз рівняння регресії показав, що найбільший вплив на зменшення в'язкості сумішевого біопального надає потужність ультразвуку, час обробки, взаємодія потужності ультразвукової обробки і часу, а також взаємодія потужності ультразвуку і НВЧ електромагнітної обробки. Перевірка моделі на адекватність по критерію Фішера для заданого рівня значимості ( $\alpha=0,05$ ) дала позитивний результат.

## 4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОБРОБКИ СУМІШЕВОГО БІОПАЛЬНОГО

### 4.1. Технічні вимоги до електротехнологічного комплексу

Електротехнологічний комплекс призначений для обробки сумішевого біопального ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем в пропорціях 90%ДП+10%МЕРО, 80%ДП+20%МЕРО, 70%ДП+30%МЕРО з метою покращення його функціональних властивостей.

На основі проведених досліджень впливу ультразвуку і НВЧ електромагнітного поля на в'язкість і густину сумішевого біопального розробка електротехнологічного комплексу повинна задовільняти ряду технічних вимог:

1. Забезпечити зменшення в'язкості сумішевого біопального 90%ДП+10%МЕРО, 80%ДП+20%МЕРО, 70%ДП+30%МЕРО при його обробці в електротехнологічному комплексі ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем до значень в'язкості, які були отримані на експериментальній установці (розділ 3).

2. Передбачити індикацію електротехнологічного комплексу, блоковість конструкцій.

3. Передбачити використання уніфікованих виробів у відповідності із вимогами ДСТУ, їх достатню надійність.

4. Середньоквадратичне відхилення помилок, які будуть вноситись електротехнологічним комплексом при обробці сумішевого біопального не повинно перевершувати 0,1 середньоквадратичних відхилень значень даних ознак.

5. Електротехнологічний комплекс повинен забезпечити індивідуальне користування в виробничих умовах, можливість встановлення у взривонебезпечних приміщеннях.

6. Комплекс повинен мати невелику вартість, простоту в обслуговуванні і ремонті.

## 4.2. Розробка конструкції електротехнологічного комплексу для обробки сумішевого біопального ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем

Для переведення автотракторної техніки, що серійно випускається на сумішеве біопальне необхідно модернізувати штатні системи живлення дизелів, або використовувати різноманітні методи покращення функціональних властивостей біопального, до яких відноситься ультразвукова і НВЧ електромагнітна обробка.

Ультразвукова обробка є діючим методом покращення фізичних, хімічних, теплотворних і експлуатаційних властивостей біопального. Вплив ультразвуку на біопальне обумовлено ефектом кавітації, тобто виникненням в рідині пульсуючих бульбашок, заповнених газом [56,57,62,63]. Після короткочасного існування частина бульбашок закривається, при цьому спостерігається локальне миттєве підвищення тиску і температури [92–94]. Поєднання таких різнорідних фізичних процесів, що впливають одночасно на оброблюване біопальне, сприяє інтенсивній обробці і отриманню стійкої, однорідної дисперсної емульсії.

Усі дослідження, проведені після процесу ультразвукової обробки кавітації, підтвердили глибокі структурні зміни в молекулярному складі вуглеводнів. Навіть проста деполімеризація будь-якого рідкого пального вже прирівнюється до його активування, що істотно покращує повноту згорання пального, знижує шкідливі викиди, збільшує економічність двигуна і довжину його міжремонтного пробігу.

Кавітація руйнує зв'язки між окремими частинами молекул, впливає на зміну структурної в'язкості. Під впливом кавітації великої інтенсивності упродовж тривалого часу порушуються С–С зв'язки в молекулах парафіну, внаслідок чого відбуваються зміни фізико-хімічного складу (зменшення молекулярної ваги, температури кристалізації та ін.) і властивостей нафтопродуктів (в'язкість, густина, температури спалаху та ін.). Для розриву зв'язків в молекулах вуглеводневих з'єднань необхідно забезпечити надскладну багатокомпонентну систему, якою є нафта і нафтопродукти, багатофакторною енергетичною дією в імпульсній формі.

При розриві зв'язку С–Н від вуглеводневої молекули відривається водень, при розриві зв'язку С–С – вуглеводнева молекула розривається на дві нерівні частини.



При обробці кавітації вуглеводневої сировини відбувається деструкція молекул, викликана мікрокрекінгом молекул і процесами іонізації. В результаті протікання цих процесів в системі накопичуються "активовані" частки: радикали, іони, іонно-радикальні утворення. Окрім цього, кавітація супроводжується і частковим руйнуванням самих молекул [92–94].

З виникненням вільних радикалів ще більше ініціюються процеси згорання. Таким чином полегшений фракційний склад (при тому ж типі повітряного потоку) не лише полегшує зимовий пуск двигуна, але робить згорання пального рівномірним і економічним. Ультразвукова обробка кавітацією біопального з метою зменшення в'язкості, підвищення його пускових і низькотемпературних якостей є одним з ефективних способів впливу на пальне і забезпечує виконання покладених на автомобільну техніку завдань в суворих кліматичних умовах при низьких температурах [95,96].

Особливий інтерес з точки зору покращення функціональних властивостей сумішевого пального викликає дія на біопальне НВЧ електромагнітного поля. До однієї з найбільш перспективних сфер застосування мікрохвильової обробки відноситься обробка нафти і нафтопродуктів [97–99]. Зокрема, у [100] описані експериментальні дослідження по фізичному моделюванню процесів нагріву речовин різної в'язкості, що імітують нагрів нафтопродуктів. Якщо замість традиційних способів нагріву використати нагрів за допомогою енергії НВЧ коливань, то із-за проникнення хвилі в глиб об'єкту відбувається перетворення цієї енергії в тепло не на поверхні, а в його об'ємі, і тому можна добитися інтенсивнішого наростання температури при більшій рівномірності нагріву в порівнянні з традиційними способами нагріву. Остання обставина у ряді випадків призводить до поліпшення якості продукту.

НВЧ впливає на молекули дизельного пального і МЕРО, які знаходяться у нафтопродукті. При опроміненні сумішевого пального НВЧ частотою 2,45 ГГц молекули дизельного пального і метил ефіру ріпакової олії починають різко коливатися. В результаті цих процесів йде тертя між молекулами і за рахунок тертя утворюється тепло. Воно і розігріває біопальне. Робоча частота магнетрона

співпадає з частотою резонансу молекул біопального, тому молекули починають рухатися дуже швидко і виникає реакція кипіння, або випаровування [101].

З метою покращення функціональних властивостей сумішевого біопального 90%ДП+10%МЕРО, 80%ДП+20%МЕРО, 70%ДП+30%МЕРО шляхом ультразвукової і НВЧ електромагнітної обробки запропоновано електротехнологічний комплекс ультразвукової і НВЧ електромагнітної обробки біопального структурна схема якого представлена на рис. 4.1.



Рис.4.1. Схема структурна електротехнологічного комплексу

Схема структурна електротехнологічного комплексу відображає принцип роботи пристрою в самому загальному вигляді. Електротехнологічний комплекс включає в себе блок перемикачів режимів роботи, до виходу якого підключено ультразвуковий і НВЧ електромагнітні блоки. Ультразвуковий блок включає в себе блок регулювання потужності, блок підмагнічування, УЗ генератор і вимірювальний блок. НВЧ електромагнітний блок включає в себе блок регулювання потужності, НВЧ генератор і вимірювальний блок.

По функціональному призначенню електротехнологічний комплекс складається із трьох основних частин:

- блоку перемикачів режимів роботи;

- НВЧ електромагнітного блоку;
- ультразвукового блоку.

На рис.4.2. представлена схема електрична функційна електротехнологічного комплексу

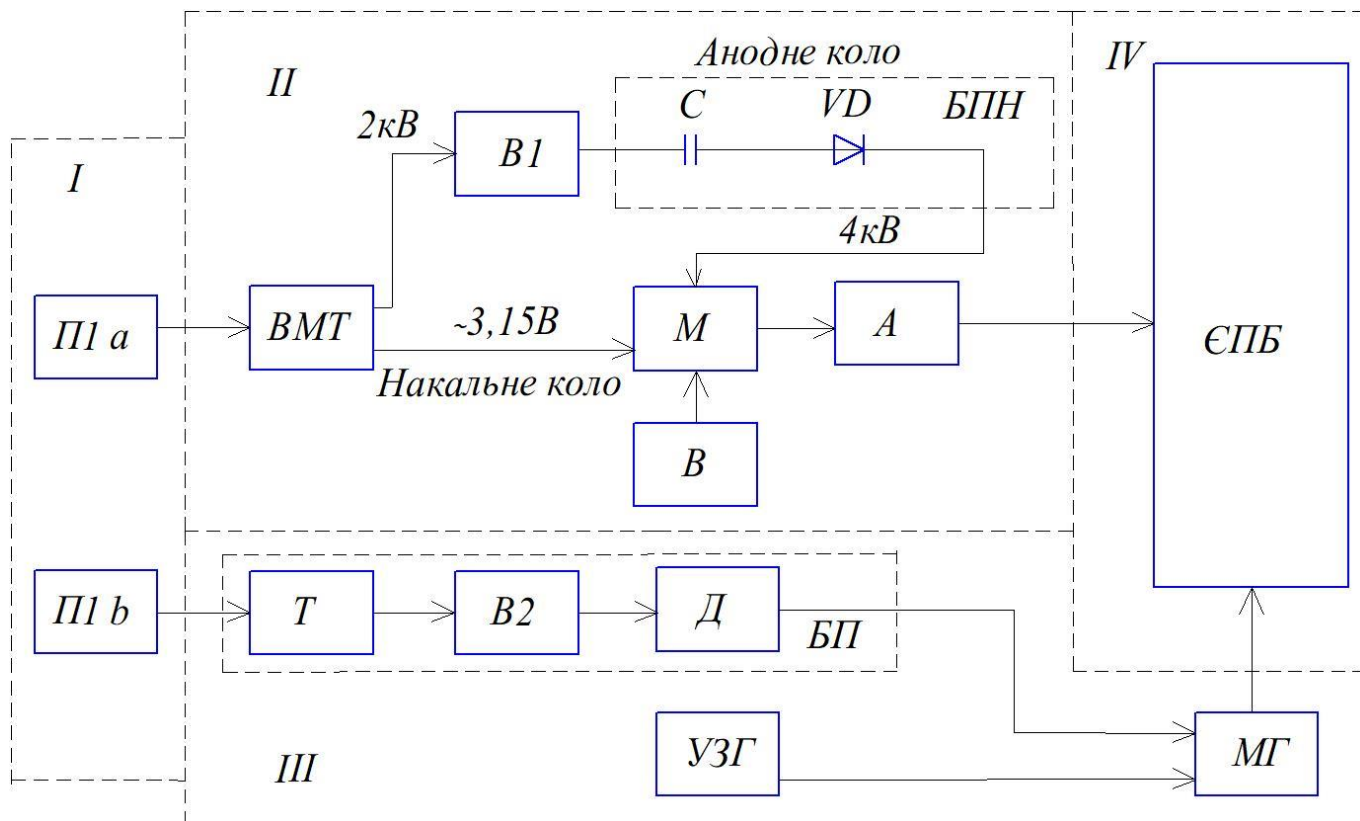


Рис.4.2. Схема електрична функційна електротехнологічного комплексу

I – блок перемикачів режиму роботи; II – НВЧ електромагнітний блок; III – ультразвуковий блок; IV – НВЧ камера для обробки біопального; П1а,б – перемикач режимів роботи; ВМТ – високовольтний мережевий трансформатор; В1 – випрямляч; С – високовольтний конденсатор; VD – високовольтний діод; БПН – блок подвоєння напруги; М – магнетрон; А – антена; В – вентилятор; Т – трансформатор; В2 – випрямляч; Д – дросель; БП – блок підмагнічування; УЗГ – ультразвуковий генератор; МГ – магніостриктор; ЄПБ - ємність для обробки біопального.

НВЧ електромагнітний блок включає в себе високовольтний трансформатор 1, до первинної обмотки якого підводиться змінна напруга мережі 220В. З однієї із вторинних обмоток знімається змінна напруга 3,15В, яка підводиться до розжарювальної обмотки магнетрона. Розжарювальна обмотка потрібна для

генерації (емісії) електронів. Варто відмітити, що струм, споживаний цією обмоткою, може досягати 10А.

З другої вторинної обмотки високовольтного трансформатора ВМТ через високовольтний конденсатор С і високовольтний діод VD знімається постійна напруга 4 кВ, яка призначена для живлення анода магнетрона. Струм анода невеликий і складає до 300 мА.

Високовольтний конденсатор С має вбудований резистор, який служить для розряду конденсатора після вимкнення НВЧ пристрою. Високовольтний діод VD є комбінованим елементом і складається з цілої низки послідовно включених діодів. Це дозволяє складеному діоду працювати з високою напругою.

Головним елементом НВЧ електромагнітного блоку є магнетрон М. Це особлива вакуумна лампа, що генерує надвисокочастотне випромінювання. Після подачі напруги на магнетрон М потік вільних електронів, емітованих розжарювальною обмоткою, починають свій шлях у вакуумній лампі М. Особлива траєкторія переміщення вільних носіїв створює НВЧ хвилі. Вони відводяться з магнетрона М за допомогою спеціальної антени А і поступають в НВЧ камеру ІV для обробки біопального, в якій встановлено ємність з біопальним ЄПБ. За наявності нештатної ситуації і перегріванні магнетрона М в комплексі встановлено термовимикач, який розмикає ланцюг і магнетрон М перестає працювати. При цьому термовимикач вибрано з невеликим запасом на температуру відключення – 120 – 145 °С. Вихідна (корисна) потужність магнетрона складає 100 – 800 Вт.

Камера для обробки сумішевого біопального виготовлена з металу, яка покрита фарбою "під емаль". Необхідно відзначити, що саме камера ІV НВЧ електромагнітного пристрою є елементом НВЧ – пристрою, оскільки представляє, по суті, резонатор, в якому виникає електромагнітне випромінювання.

Електронно–акустичний блок ІІІ включає в себе ультразвуковий генератор УЗГ і блок підмагнічування БП до складу якого входять трансформатор напруги Т, випрямляч В2 і дросель Д, які підключені до магнітостриктора МГ. Ультразвуковий генератор УЗГ під'єднується до магнітострикційного навантаження через кабель типу КГ–3–0,75 перетином 0,75 мм<sup>2</sup> на жилу. При роботі

магніостриктора МГ через кабель обмеженого перерізу майже вся потужність від блоку підмагнічування виділяється в опорі кабелю і обмотці збудження. Напруга збудження подається на обмотку збудження, яка на резонансній частоті має активний опір, на інших частотах – індуктивний опір. Ці фактори обумовлюють технічні особливості генератора, які полягають у вбудованому джерелі стабілізованого струму для роботи з кабелем опором до 100 Ом і підвищеній вихідній напрузі збудження.

### **4.3. Обґрунтування параметрів коливальної системи**

Основною рушійною силою при ультразвуковій дії є кавітація – явище створення і захоплення парогазових бульбашок, що забезпечують реалізацію енергоємних технологічних процесів. Для їх практичної реалізації потрібні джерела випромінювання – ультразвукові коливальні системи.

Відомі ультразвукові коливальні системи, що складаються з п'єзоелектричного перетворювача, розміщеного в корпусі і ультразвукового випромінювача, в яких п'єзоелектричний перетворювач забезпечує перетворення енергії електричних коливань, що поступають від електронного генератора в механічні (пружні) коливання ультразвукової частоти, механічні коливання посилюються концентраторами (при необхідності) і передаються на випромінювач і через поверхню випромінювача, що коливається, передаються в оброблюване середовище.

Дані коливальні системи мають, як правило, малу поверхню випромінювання. Це обмежує їх функціональні можливості в частині забезпечення ультразвукового випромінювання через великі поверхні, що виключає промислову обробку великих об'ємів рідких середовищ.

Завдяки універсальності технологічного застосування, можливості отримання високих значень амплітуд швидкостей поверхні випромінювання і великої питомої і повної акустичної потужності найбільше поширення отримали магніострикційні перетворювачі [103–106]. Ультразвукова магніострикційна

коливальна система проточного типу представлена рис. 4.3 і складається із перетворювача 1 трансформатора коливань 2 і корпусу охолодження 3.

У перетворювачі (активному елементі коливальної системи) створюється знакозмінна механічна сила. При проходженні по обмотці змінного струму в стержні виникає змінне електромагнітне поле, яке намагнічує стержень. Магнітне поле створює в напрямленні осі стержня пружні напруги і деформації, які змінюються в такт із зміною поля, тобто стержень буде періодично змінювати довжину. Однак в силу незалежності деформації від напрямлення поля частота коливань стержня буде в два рази більшою частоти зміни магнітного поля. В цілях уникнення ефекту зворотної частоти застосовують постійне поле, яке накладається на змінне поле. Постійне поле викликає постійну деформацію стержня.

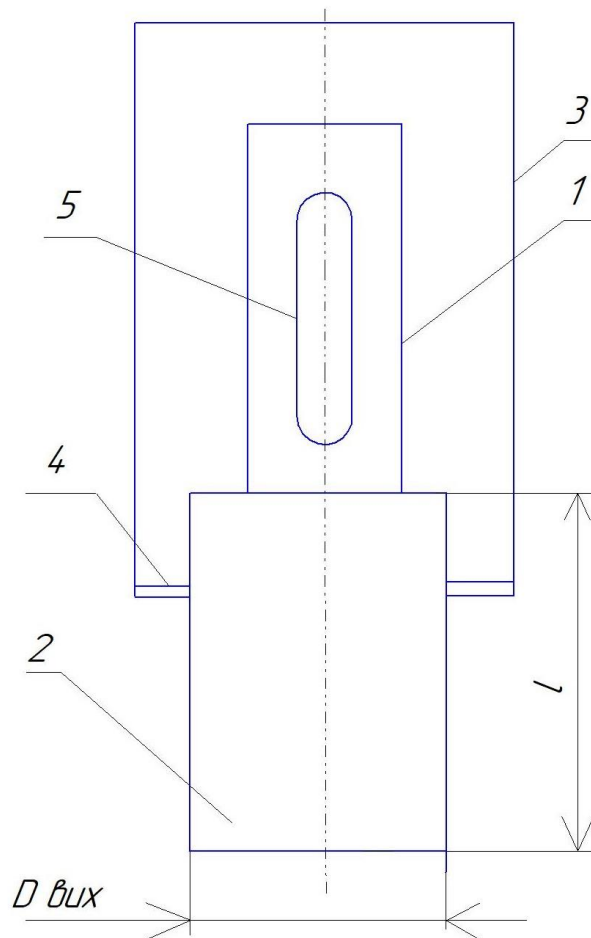


Рис. 4.3. Ультразвукова магнітострікційна коливальна система: 1 – магнітострікційний перетворювач, 2 – трансформатор коливань, 3 – корпус, 4 – гайка накидна з ущільнювачем, 5 – вікно перетворювача.

В результаті накладення змінного поля і постійного (воно більше амплітуди змінного поля) виникає результуюче поле змінної величини, яке має однакове направлення. В цьому випадку деформація стержня проходить в такт із зміною поля, тобто на протязі першого на півперіоду постійна деформація збільшується, а на протязі другого – зменшується, тому частота коливань стержня дорівнює частоті збудження струму. Коли частота збудження поля співпадає з власною частотою пружних коливань стержня, настає резонанс і амплітуда коливань стержня буде максимальною [103].

Елемент системи (пасивний), що погоджує, здійснює трансформацію швидкостей, узгодження механічного опору зовнішнього навантаження і внутрішнього опору активного елемента. Випромінювач створює ультразвукове поле в оброблюваному об'єкті або безпосередньо діє на нього. Для підсилення амплітуди коливань магнітострикційного перетворювача, значення якої недостатнє для виконання технологічних задач, застосовують трансформатор коливань 2 (рис. 4.3), який є проміжною ланкою між перетворювачем і ультразвуковим інструментом [103].

Трансформатор коливань визиває зміну резонансної частоти перетворювача, так як є приєднувальним навантаженням.

Вплив даного навантаження на частоту коливань дуже непостійний і залежить від певних факторів: якості кріплення трансформатора коливань, до перетворювача, його термообробки і т.д. Крім того, існують розрахункові формули, які дають певну похибку, тому бажано визначити оптимальну область амплітудних значень системи перетворювач – трансформатор коливань. Як показали результати дослідів, при довжині трансформатора, який перевершує розрахункову резонансну, крива залежності амплітуди від довжини убуває плавно [103].

Важливою технічною характеристикою перетворювачів і випромінювачів є рівномірність поля випромінювання. Амплітуда зміщення випромінювачів перетворювачів з діафрагмами ненастроєного типу істотно змінюється від центру до периферії, що обумовлює велику нерівномірність поля випромінювання [103].

Слід зазначити, що нерівномірне поле випромінювання (для ряду процесів негативна сторона перетворювача) саме по собі дає ряд технологічних переваг. Центральна зона типового перетворювача з ненастроєною діафрагмою (ПМС–6) характеризується дуже інтенсивною кавітацією. В той же час інтенсивність на периферійних ділянках хоча і ослаблена, все ж достатня для здійснення деяких корисних ефектів кавітацій (наприклад, очищення від легких жирових і механічних забруднень). Це дозволяє при заданій повній потужності розвинути у перетворювача велику поверхню випромінювання і здійснити збудження ультразвукових коливань у великих об'ємах рідин [103].

Найважливішою характеристикою ультразвукових коливальних систем є резонансна частота. Обумовлено це тим, що ефективність технологічних процесів визначається амплітудою коливань (значень коливальних зміщень), а максимальні значення амплітуд досягаються при збудженні ультразвукової коливальної системи на резонансній частоті. Значення резонансної частоти ультразвукових коливальних систем мають бути в межах дозволених діапазонів (для УЗ апаратів  $22 \pm 1,65$ кГц).

Характеристикою коливальної системи є добротність – відношення накопиченої в резонансній системі енергії до витрат її за період. Добротність визначає гостроту піків і вид амплітудно–частотної залежності, а також ширину робочого частотного діапазону, якщо система працює при змінюваній частоті, наприклад, внаслідок зміни навантаження, розмірів інструментів та ін. Зазвичай коливальна система навантажена по одній з граничних поверхонь, а збудлива сила прикладена до іншої. Тоді, розглядаючи дію збудливої сили на навантаження, можна приписати системі властивості трансформатора швидкості і ввести поняття коефіцієнта трансформації [103].

У коливальній системі завжди є з'єднання, що забезпечують механічний зв'язок її елементів. З'єднання можуть бути нероз'ємними, а при необхідності заміни концентратора, інструменту і тому подібне – роз'ємними. Коливальну систему з корпусом і облаштуваннями струмопроводу, охолодження, та ін. часто виконують у вигляді окремого вузла. Цей вузол повинен задовольняти ряду вимог:

– працювати в заданому діапазоні частот і зміни механічного навантаження;



- мати достатню потужність;
- забезпечувати необхідну інтенсивність випромінювання або амплітуду коливань інструменту;
- бути міцним і зносостійким.

Обов'язкові дотримання вимог техніки безпеки і досягнення можливо більш високого ККД.

Якість роботи всякої коливальної системи залежить від величини внутрішніх механічних втрат. Безповоротні втрати, що виникають в стержневій системі, визначаються значеннями коливальної швидкості і активного опору. У свою чергу, активний опір характеризується внутрішнім тертям в матеріалі, з якого зроблена ця система. Оскільки величина коливальної швидкості залежить від енергії пружних коливань, що вводиться в систему, єдиним параметром, що характеризує цей матеріал з точки зору його здатності поглинати енергію, є активний опір, еквівалентний втратам в цьому матеріалі [103].

Втрати в ультразвукових коливальних системах залежать, передусім, від матеріалу, з якого вони зроблені.

Використовувана в проточному ультразвуковому приладі для обробки біопального коливальна система повинна задовольняти ряду загальних вимог:

- працювати в заданому частотному діапазоні;
- забезпечувати отримання 100% емульсій при усіх варіаціях швидкості протікання сумішевого біопального;
- забезпечувати необхідну інтенсивність випромінювання або амплітуду коливань;
- мати максимально можливий коефіцієнт корисної дії;
- частини ультразвукової коливальної системи, що контактують з оброблюваною речовиною повинні мати кавітаційну і хімічну стійкість;
- мати жорстке кріплення в корпусі;
- повинна мати мінімальні габарити і вагу;
- повинна виконувати вимоги техніки безпеки [103].

#### 4.4. Підбір потужності ультразвукового генератора і НВЧ пристрою

Особливістю розвитку і удосконалювання генераторних схем для ультразвукових технологій стало те, що технологічні джерела ультразвуку, які є навантаженням для генератора, тривалий час практично не змінювались. Тому по мірі появи нових типів активних елементів (тиристори, транзистори) відбувалось удосконалення генераторних схем в сторону розширення функційних можливостей, частотного діапазону, підвищення надійності і питомих габаритних показників УЗ генераторів, а також підвищення коефіцієнту корисної дії.

Першим значним кроком вперед стала поява схем мостових і напівмостових тиристорних інверторів, дозволивших відійти із режиму активного підсилення, який знижує к.к.д. схеми до 30–40% і вийти в ключовому режимі на рівень 60–70% [103].

Розробка схем ультразвукових транзисторних генераторів розвивалась по двом напрямкам: генератори з незалежним збудженням і автогенераторні схеми.

Генератор з незалежним збудженням складається із задаючого генератора і каскадів підсилення коливань. Схема задаючого каскаду генератора, число каскадів підсилення і принципова електрична схема генератора вибирається виходячи із показників джерела живлення: призначення, габаритних розмірів, маси, к.к.д., загальної вартості, наявності серійного випуску комплектуючих виробів і.т.п.

Задаючий генератор є одним із важливих елементів схеми джерела живлення. Частота такого автогенератора визначається в основному параметрами його коливального контуру  $L, C (R, C)$  [103].

Автогенераторні схеми бувають з трансформаторним зворотним зв'язком, в якому величина зворотного зв'язку визначається коефіцієнтом трансформації і з індуктивним зв'язком, в яких настроювання частоти відбувається зміною ємності або індуктивності.

Застосування тиристорів і транзисторів дозволило створити генератори по потужності необхідного діапазону. Висока робоча напруга сучасних транзисторів дозволили реалізувати електричні схеми генераторів з безтрансформаторними

джерелами живлення, що забезпечило багатократне зниження габаритних розмірів і маси технологічних апаратів.

Для виключення впливу вищих гармонік, узгодження генератора з коливальною системою здійснюється за допомогою коригуючих фільтрів, які на основній частоті приводять вхідний опір навантаження до активної величини, а на найвищих гармоніках значно підвищують комплексний опір навантаження [103].

Завданням розрахунку потужності ультразвукового генератора є визначення параметрів обмотки перетворювача і вибір до нього ультразвукового генератора.

На рис.4.4. представлено форму і розмір двох стержньового пакету магніострикційного перетворювача ПМС.

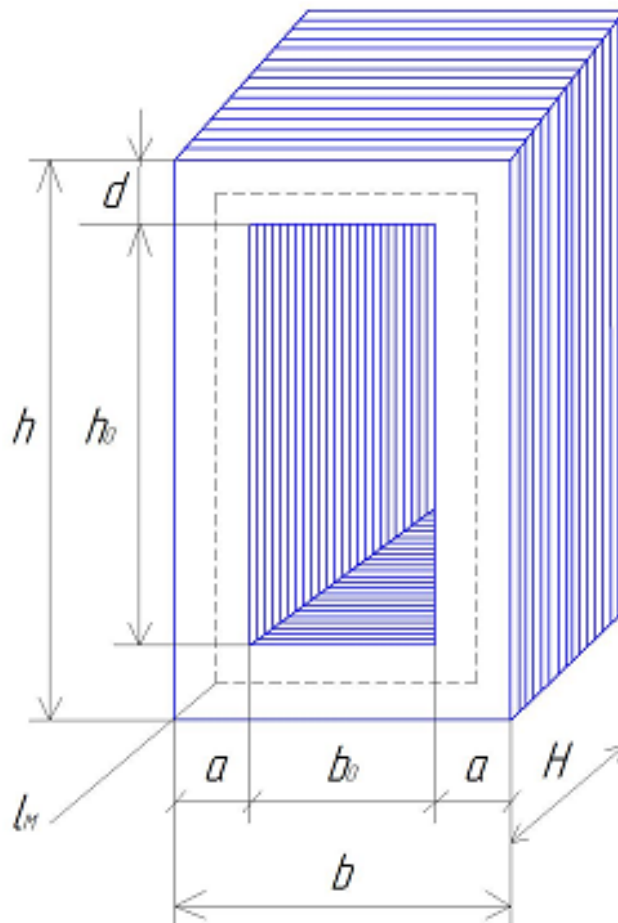


Рис.4.4. Форма і розмір двох стержньового пакету магніострикційного перетворювача ПМС:  $a$ ,  $h_0$  – ширина і активна довжина магніострикційних стержнів,  $b_0$  – ширина вікна,  $h$ ,  $b$ ,  $H$  – висота, ширина і товщина пакету,  $a$  – ширина накладки,  $l_M$  – довжина середньої лінії магнітного поля в пакеті

Послідовність розрахунку наступна:

Резонансна частота (частота ультразвуку) для пакету з прямокутних пластин визначається, як

$$f = \frac{C}{2h}, \quad (4.1)$$

де  $C$  - швидкість ультразвуку для пакету магнітострикційного перетворювача, м/с

$$f = \frac{5200}{2 \cdot 0,118} = 22034 \text{Гц}$$

Розраховуємо кількість витків обмотки збудження та підмагнічування

$$n = \frac{H_0 \cdot e}{I}, \quad (4.2)$$

$$n = \frac{10^3 \cdot 0,21}{3} = 70 \text{витків}$$

Визначаємо магнітну індукцію збудження

$$B = \frac{U_n}{4,44 \cdot f \cdot S \cdot n}, \quad (4.3)$$

$$B = \frac{150}{4,44 \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 70} = 0,07 \text{Тл}$$

Визначаємо коефіцієнт електромеханічного зв'язку

$$\varphi = \frac{\lambda_m}{\omega \cdot n}, \quad (4.4)$$

$$\varphi = \frac{2,2 \cdot 10^7}{2 \cdot 3,14 \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 70} = 2,26$$

Визначаємо площу основи камери

$$S = K \frac{\Pi \cdot t}{l}, \quad (4.5)$$

де  $K$  – коефіцієнт ефективного об'єму камери, Приймаємо  $K=0,2 \dots 0,3$ ;

$\Pi$  – продуктивність,  $\frac{м^3}{хв}$  Приймаємо  $\Pi=126 \frac{см^3}{хв}$ ;

$t$  – час знаходження в камері (час обробки), хв. Приймаємо  $t=5$  хв;

$l$  – висота камери обробки, см  $l=14$ см.

$$S = \frac{0,2 \cdot 126 \cdot 5}{14} = 9см$$

Визначаємо потужність в камері

$$P = S \cdot I, \quad (4.6)$$

$$P = 9 \cdot 5 = 45Вт$$

Акустичний опір навантаження, приведений до стержня пакету (2.21)

$$Z_n^1 = 600кг / с$$

Опір навантаження, який приведений до електричних величин

$$Z_{EH} = \frac{Z_H^1}{\varphi^2}, \quad (4.7)$$

$$Z_{EH} = \frac{600}{2,26^2} = 117,5 \text{ Ом}$$

Визначаємо напругу на навантаженні

$$U = \sqrt{P \cdot Z_{EH}}, \quad (4.8)$$

$$U = \sqrt{45 \cdot 117,5} = 72,7 \text{ В}$$

Визначаємо напругу на генераторі при  $\eta_{MA} = 50\%$

$$U_G = 2 \cdot U \quad (4.9)$$

$$U_G = 2 \cdot 72,7 = 145,4 \text{ В}$$

Згідно проведених розрахунків номінальна потужність в ультразвуковій камері склала  $P_H = 45 \text{ Вт}$ , напруга на навантаженні  $U = 72,7 \text{ В}$ , напруга на генераторі  $U_{H \text{ УЗГ}} = 145,4 \text{ В}$ .

В електротехнологічному комплексі застосовано стандартні блоки із НВЧ пристроїв, які працюють на частоті  $2,45 \text{ ГГц}$ , на номінальній потужності  $P_H = 100 \text{ Вт}$ . із скважністю роботи  $35\%$ , номінальній напрузі  $U_H = 220 \text{ В}$ .

#### **4.5. Розробка схеми електричної принципової електротехнологічного комплексу**

При розробці схеми електричної принципової електротехнологічного комплексу були використані методи розрахунків елементів цифрових [107–111], аналогових [112–116], та цифро-аналогових [117,118] пристроїв. На рис. 4.5. представлена схема електрична принципова ультразвукового генератора.

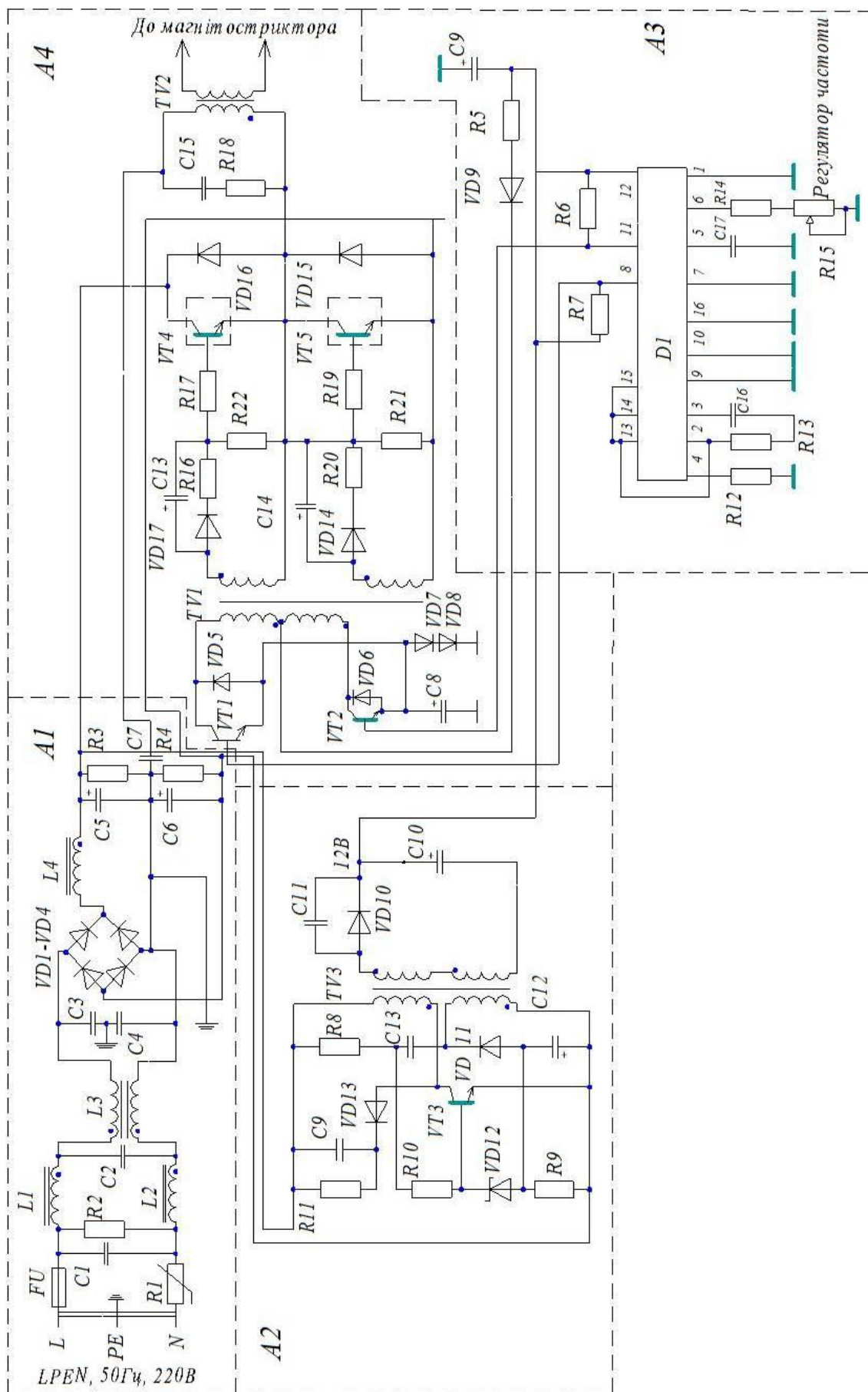


Рис. 4.5. Схема електрична принципова ультразвукового генератора

Схему УЗ генератора можна умовно поділити на 4 частини:

A1 – мережевий випрямляч, який складається із мережевого фільтра, до складу якого входять дроселі L1, L2, L3, конденсатори C1, C2, C3, C4, резистори R1, R2 і випрямляч на діодах VD1–VD4, дросель L4, конденсатори C5, C6, C7 і резистори R3, R4.

A2 – блок живлення задаючого генератора (12В), який зібрано на транзисторі VT3 і трансформаторі TV3, резисторах R8, R9, R10, R11, конденсаторах C9, C10, C11, C12, C13, діодах, VD10, VD11, VD13, стабілітроні VD12.

A3 – задаючий генератор до складу якого входять мікросхема D1, яка виконана на базі TL494 з можливістю регулювання частоти резистором R15 вихід якого іде на вихідний каскад A4. Також до складу задаючого генератора входять резистори R5, R6, R7, R12, R13, R14, конденсатори C9, C16, C17, діод VD9.

A4 – вихідний каскад, до складу якого входять трансформатори TV1 і TV2, транзистори VT1, VT2, VT4, VT5, діоди VD5, VD6, VD7, VD8, VD14, VD15, VD16, VD17, резистори R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22, конденсатори C8, C13, C14, C15.

Принцип дії схеми електричної принципової ультразвукового генератора наступний: змінна напруга 220В подається через мережевий фільтр на випрямляч VD1–VD4. Постійна напруга 310В знімається з мережевого випрямляча і подається на високочастотний перетворювач.

Високочастотний перетворювач – це двухтактний інвертор, який виконано по схемі напівмоста. Перетворювач працює на частоті 18–24 кГц і навантажений на високочастотний силовий трансформатор TV2.

Управління напівмостовим інвертором виконується ШИМ–контролером. Принцип дії високочастотного перетворювача наступний: на нього приходить постійна напруга 310В з мережевого випрямляча VD1 – VD4 і конденсаторів фільтра C5, C6. В базові кола потужних транзисторів VT4, VT5 подаються прямокутні імпульси позитивної полярності з частотою біля 22кГц.



Погоджувальний трансформатор TV1 є ланкою між мікросхемою D1 і потужними ключовими транзисторами VT4, VT5. Задаючий генератор зібраний на мікросхемі TL494 (D1). Змінним резистором R15 регулюється частота в межах 18–24 кГц. Вихідні прямокутні імпульси з ніжок 8 і 11 мікросхеми D1 поступають на транзистори VT1, VT2 погоджувального каскаду.

Живлення 12В для задаючого генератора подається із блока живлення зібраного на транзисторі VT3 і трансформатора TV3.

Схема електрична принципова електротехнологічного комплексу для обробки біопального представлена на рис. 4.6.

Дану схему можна умовно поділити на 3 блоки:

I – блок перемикачів режимів роботи;

II – НВЧ електромагнітний блок;

III – ультразвуковий блок.

Блок перемикачів режимів роботи SA1(a) і SA1(b) призначений для вибору необхідного режиму роботи, а саме НВЧ, УЗ блоків і сумісного НВЧ+УЗ блоків.

НВЧ блок складається із вимірювальної головки PA1 (1–10В), мережевого фільтра L1, C1, C2, C3, вентилятора охолодження магнетрона M1, високовольтного трансформатора TV1, випрямляючого діода VD5 і конденсатора C4 для живлення магнетрона і сам магнетрон VL1. На вході до мережевого фільтра підключено блок A1 для регулювання потужності магнетрона.

Принцип дії НВЧ генератора наступний: перемикачем SA1(b) через блок керування потужністю магнетрона A1 поступає змінна напруга 220В через мережевий фільтр на високовольтний трансформатор TV1. Обмотка №2 трансформатора TV1 живить накал магнетрона змінною напругою 3,15В.

З обмотки №3 через конденсатор C4 і діод VD5 напруга 4 кВ подається на магнетрон, який випромінює в НВЧ камеру високочастотні імпульси. Для регулювання потужності магнетрона служить блок A1, принцип дії якого заключається в подачі напруги з певним інтервалом на трансформатор TV1. Ультразвуковий блок складається із блока підмагнічування, блока УЗ генератора з фільтром і вимірювального блока.

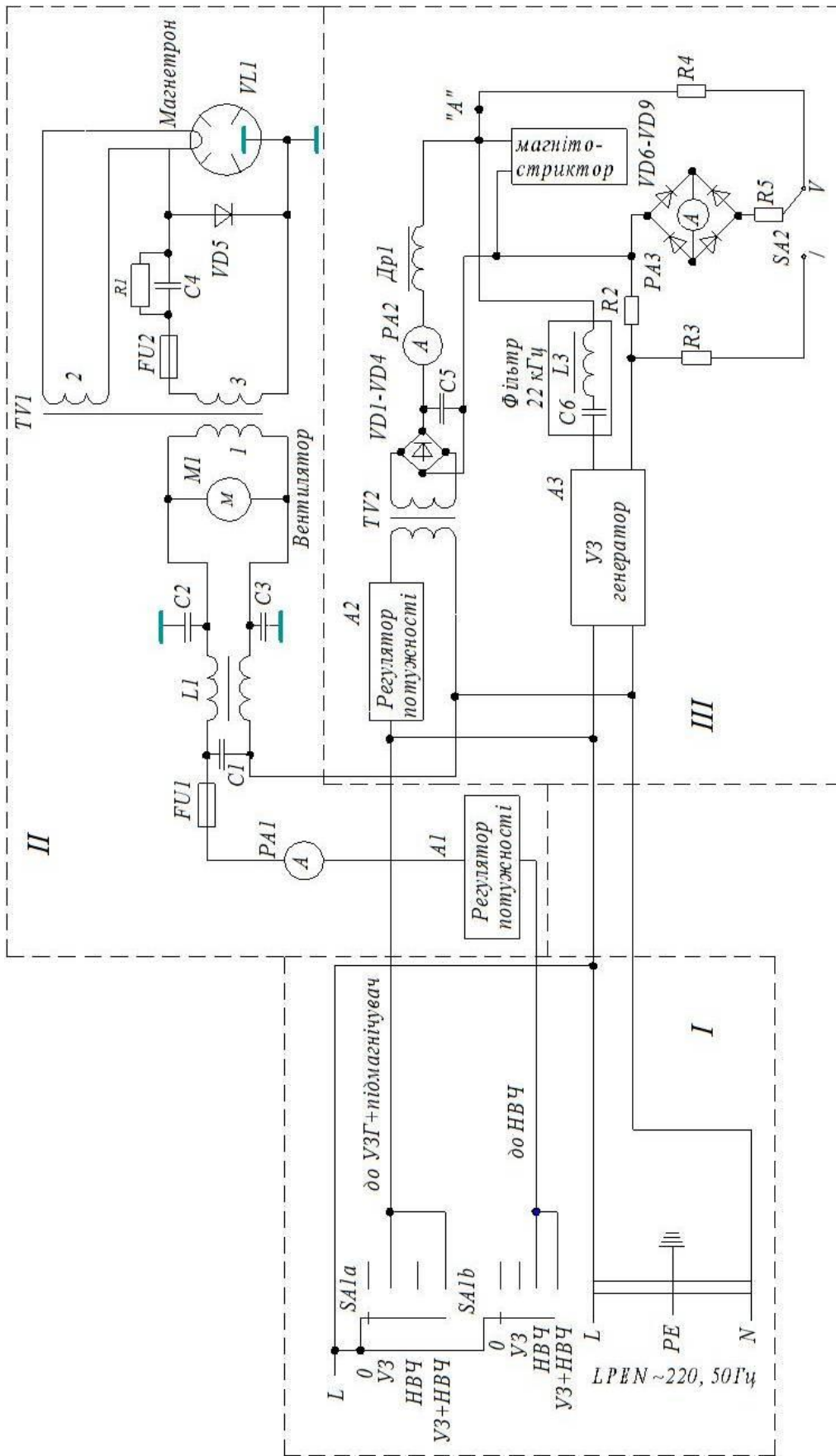


Рис.4.6. Схема електрична принципова електротехнологічного комплексу для обробки біопального

Блок підмагнічування складається із регулятора потужності А2, трансформатора TV2, випрямних діодів VD1–VD4, конденсатора С5, вимірювальної головки РА2, дроселя L1.

В блок ультразвукового генератора входить сам блок УЗ генератора і фільтр на 22кГц зібраний на конденсаторі С6 і дроселі L3.

Вимірювальний блок складається із вимірювальної головки РА3, випрямних діодів VD6–VD9, резисторів R2– R5 і перемикача SA2 режиму вимірювання напруги і струму.

Принцип дії блоку підмагнічування. З перемикача SA1(a) змінна напруга поступає на трансформатор TV2 через регулятор потужності А2. Регулятором потужності А2 регулюється вихідна напруга з трансформатора TV2, тим самим змінюючи струм підмагнічування. З трансформатора TV2 понижена напруга поступає на випрямний міст VD1–VD4 і конденсатор С5. Випрямлена напруга подається на магніостриктор через вимірювальну головку РА2 (0–5А) і дросель L1. Даний дросель призначений для блокування проходу високочастотної змінної напруги з УЗ генератора. Регулятором потужності задається необхідний струм підмагнічування (біля 2,5А).

Живлення магніостриктора частотою 22,8 кГц виконує УЗ генератор через полосовий фільтр. Полосовий фільтр (С6,L3) для УЗ генератора служить для перетворення прямокутних імпульсів, які виходять із УЗ генератора в синусоїдальний сигнал, необхідний для роботи магніостриктора.

Вимірювальний блок служить для вимірювання напруги і струму магніостриктора. Для вимірювання напруги сигнал знімається з точки «А» (безпосередньо з магніостриктора), а струм з резистора R2 по падінню напруги на ньому. Перемикачем SA2 вибирається вимірювання напруги чи струму.

#### **4.6. Висновки по розділу**

1. Обґрунтовано параметри електротехнологічного комплексу: в якому потужність УЗ генератора склала 150Вт, потужність ультразвуку в камері скала 45

Вт, напруга ультразвукового генератора склала 145,4 В, а потужність НВЧ пристрою – 100 Вт із скважністю роботи 35%.

2. Розроблені структурна і функціональна схеми електротехнологічного комплексу для обробки сумішевого біопального ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем.

3. Розроблені схеми електричні принципові ультразвукового генератора і електротехнологічного комплексу для обробки біопального.

4. Вибраний метод обробки біопального і параметри функціонування елементів принципової схеми електротехнологічного комплексу забезпечує можливість обробки біопального з метою покращення його функціональних властивостей .

## 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОБРОБКИ СУМІШЕВОГО БІОПАЛЬНОГО

### 5.1. Експериментальні дослідження електротехнологічного комплексу по сумісному ультразвуковому і НВЧ електромагнітному впливу на вихідний параметр

Для проведення обробки сумішевого біопального в виробничих умовах було виготовлено електротехнологічний комплекс, який показано на рис.5.1., 5.2. і рис. 5.3. Лабораторні дослідження проводились на сумішах товарного мінерального дизельного пального Л-0,2-62 і метиловому ефірі ріпакової олії, який було вироблено на підприємстві ТОВ "Біонафта України" (м. Павлоград, Україна).



Рис. 5.1. Загальний вигляд електротехнологічного комплексу для обробки сумішевого біопального



Рис. 5.2. Передня панель електротехнологічного комплексу для обробки сумішевого біопального

По методиці, яка була викладена в розділі 3.2.2. були приготовлені проби. Експериментальні зразки сумішей готували із дизельного пального і МЕРО у процентному відношенні: 90 % ДП + 10 % МЕРО (суміш 1), 80 % ДП + 20 % МЕРО (суміш 2), 70 % ДП + 30 % МЕРО (суміш 3) в кількості 100 л на кожен пробу.

Вимірювання в'язкості приготовлених проб проводилось з трьохкратним підрахунком в дослідній точці, а також з трьохкратною повторністю всього експерименту. При проведенні експерименту вимірювання рандомізувались. Так середня в'язкість в сумішевих пробах склала:

10% МЕРО + 90% ДП – 4,66 мм<sup>2</sup>/с;

20% МЕРО + 80% ДП – 5,05 мм<sup>2</sup>/с;

30% МЕРО + 70% ДП – 5,59 мм<sup>2</sup>/с;

Середня густина в приготовлених сумішевих пробах склала:

10% МЕРО + 90% ДП – 841 кг/м<sup>3</sup> ;

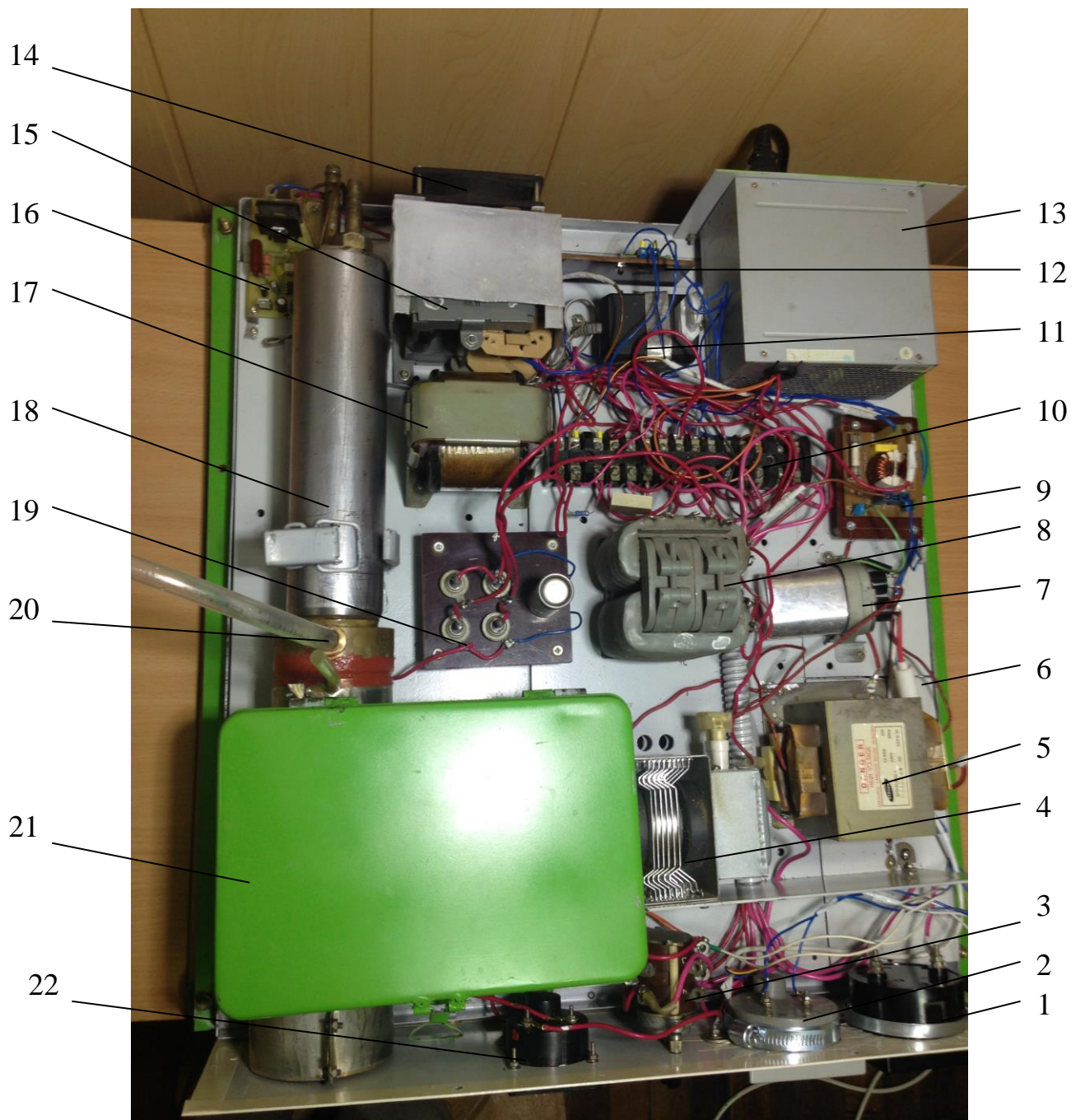


Рис.5.3. Загальний вигляд електротехнологічного комплексу з середини: 1 – амперметр НВЧ генератора; 2 – вольтметр (амперметр) УЗ генератора; 3 – перемикач; 4 – магнетрон; 5 – високовольтний трансформатор; 6 – високовольтний діод; 7 – високовольтний конденсатор; 8 – трансформатор; 9 – НВЧ фільтр; 10 – клемна колодка; 11 – блок живлення; 12 – блок перемикання вольтметра на амперметр; 13 – УЗ генератор; 14 – вентилятор; 15 – дросель УЗ генератора; 16 – блок вмикання і вимикання магнетрона; 17 – дросель; 18 – магнітостриктор; 19 – випрямляч; 20 – горловина для заливання біопального; 21 – НВЧ і УЗ камера для обробки біопального; 22 – амперметр підмагнічування ПМС

20% МЕРО + 80% ДП – 846 кг/м<sup>3</sup>;

30% МЕРО + 70% ДП – 852 кг/м<sup>3</sup>;

Після виміру в'язкості і густини контрольних необроблених проб і відбору контрольних зразків в пробірки починається етап обробки приготовлених проб в електротехнологічному комплексі в наступній послідовності:

– в бак об'ємом 100 літрів заливали суміш 1;

– відкривався вентиль бака і заповнювалась ємність магніостриктора 2;

– включається електротехнологічний комплекс і на протязі 5 хвилин проходить обробка біопального;

– далі відкривається вентиль ємності магніостриктора і оброблене біопальне буде поступово витікати, а на його місце буде поступати із бака свіже необроблене біопальне.

– вентиль магніостриктора відрегульований таким чином, що поступаюче свіже біопальне знаходиться під дією ультразвуку і НВЧ електромагнітного поля 5 хвилин;

– після обробки 100 літрів біопального суміші 1 в електротехнологічному комплексі згідно з ДСТУ 4488:2005 «Нафта і нафтопродукти. Методи відбирання проб» були відібрані проби в 3 різних точках, після чого визначалась в'язкість і густина оброблених проб по методиці, яка описана 3.2.2.

По аналогічній методиці були оброблені суміші 2 і 3 і визначена їх в'язкість і густина.

В табл. 5.4. (додаток 5) приведені результати вимірювання в'язкості біопального сумішей 1, 2 і 3 оброблених на протязі 5 хвилин в електротехнологічному комплексі. На основі отриманих даних були побудовані залежності в'язкості від часу спостереження для сумішей 1, 2 і 3, які представлені на рис. 5.4.

Слід звернути увагу на те, що при обробці сумішевого біопального в електротехнологічному комплексі УЗ і НВЧ ЕМП протягом 5 хв його в'язкість зменшилась і має приблизно ті ж значення, що і у варіанті сумісної обробки УЗ і НВЧ ЕМП на експериментальній установці протягом 5 хв (табл.5.1–5.3, додаток 5).



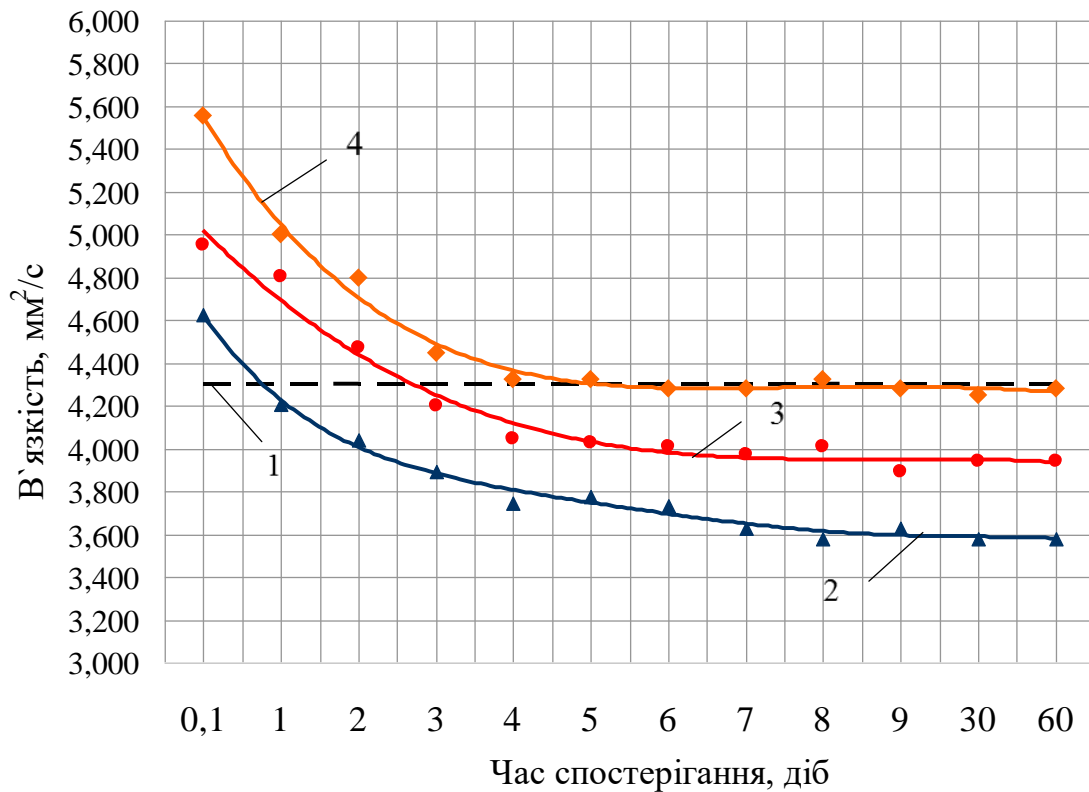


Рис. 5.4. Залежності в'язкості сумішевого біопального від часу спостереження після обробки в електротехнологічному комплексі протягом 5 хв: 1 – ДП; 2, 3 і 4 – суміші 1, 2, 3 відповідно

В табл. 5.7. (додаток 5) представлені результати вимірювання густини сумішевого біопального після його обробки в електротехнологічному комплексі, а на рис. 5.5. показані залежності густини біопального від концентрації МЕРО в ДП до обробки і після обробки в комплексі через 0,1 добу спостереження.

Аналіз даних досліджень показує, що після обробки біопального через 0,1 добу спостереження густина всіх сумішей знизилась в середньому від  $1 \text{ кг/м}^3$  до  $2 \text{ кг/м}^3$ . Проте через 7 діб спостереження густина всіх сумішей стала такою ж як була до обробки.

## 5.2. Випробування електротехнологічного комплексу у виробничих умовах

З метою перевірки в виробничих умовах працездатності комплексу,

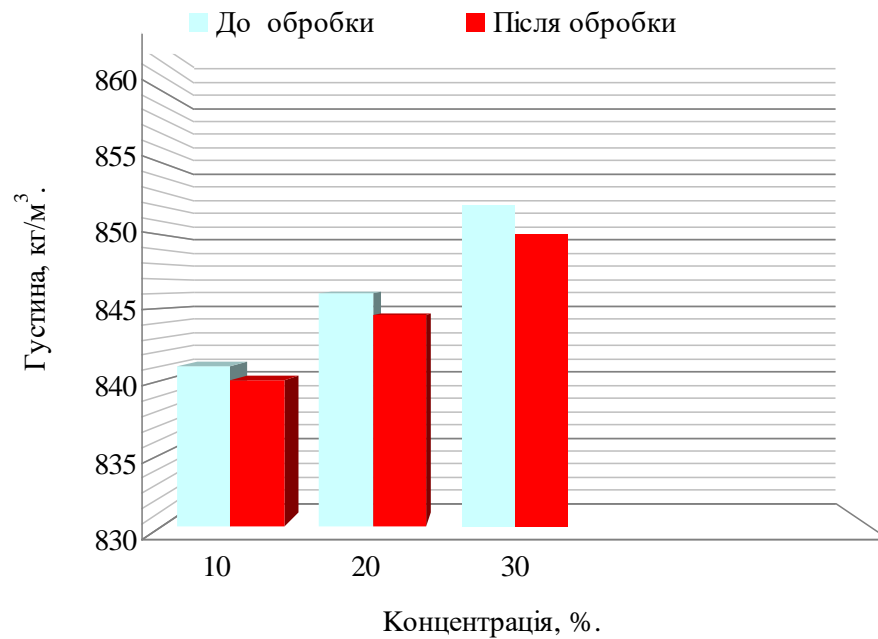


Рис. 5.5. Залежність густини біопального від концентрації MEPO в дизельному пальному до обробки і після обробки в електротехнологічному комплексі через 0,1 добу спостереження

оцінці його точності і продуктивності були проведені випробування в фермерському господарстві «Каріна» Веселівського району Запорізької області та ТОВ «Укргарден» Мелітопольського району Запорізької області. Випробування проводились у відповідності з ДСТУ ГОСТ 33–2003 (ІСО 3104–94) Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості (ГОСТ 33–2000 (ІСО 3104–94). ІДТ), ДСТУ EN ISO 3675:2012 Нафта сира та нафтопродукти рідкі. Метод лабораторного визначення густини ареометром (EN ISO 3675:1998, ІДТ). Нафта і нафтопродукти. Методи відбирання проб ДСТУ 4488:2005 [120–122].

Виробничі дослідження проводились на сумішах товарного мінерального дизельного пального Л–0,2–62 і метиловому ефірі ріпакової олії, який було вироблено на підприємстві ТОВ "Біонафта України" (м. Павлоград, Україна).

По методиці, яка була викладена в розділі 3.2.2. були приготовлені проби. Експериментальні зразки сумішей готували із дизельного пального і MEPO у

процентному відношенні: 90 % ДП + 10 % МЕРО (суміш 1), 80 % ДП + 20 % МЕРО (суміш 2), 70 % ДП + 30 % МЕРО (суміш 3) в кількості 100 л на кожен пробу.

Вимірювання в'язкості приготуваних проб проводилось з трьохкратним підрахунком в дослідній точці, а також з трьохкратною повторністю всього експерименту. При проведенні експерименту вимірювання рандомізувались. Так середня в'язкість в сумішевих пробах складала:

10% МЕРО + 90% ДП – 4,6 мм<sup>2</sup>/с;

20% МЕРО + 80% ДП – 5,0 мм<sup>2</sup>/с;

30% МЕРО + 70% ДП – 5,5 мм<sup>2</sup>/с.

Середня густина в приготуваних сумішевих пробах складала:

10% МЕРО + 90% ДП – 841 кг/м<sup>3</sup> ;

20% МЕРО + 80% ДП – 846 кг/м<sup>3</sup>;

30% МЕРО + 70% ДП – 852 кг/м<sup>3</sup>.

Після виміру в'язкості і густини контрольних необроблених проб і відбору контрольних зразків в пробірки починається етап обробки приготуваних проб в електротехнологічному комплексі. Методика обробки проб описана в розділі 5.1.

В табл. 5.1. приведена вибірка кількості відібраних проб із бака оброблених в електротехнологічному комплексі.

Якість обробки проб в електротехнологічному комплексі визначалась дійсним коефіцієнтом точності, значення якого визначалось по наступній формулі [123]

$$K_T = \frac{X_i}{X_m} \cdot 100 \quad (5.1)$$

де  $X_i$  – кількість проб, в яких в'язкість біопального була близькою до в'язкості в пробах при лабораторних дослідженнях;

$X_m$  – загальна кількість проб

Результати виробничих випробувань електротехнологічного комплексу по обробці сумішей біопального 1, 2 і 3 представлені в табл. 5.2.

Вибірка кількості оброблених проб в електротехнологічному комплексі при проведенні виробничих випробувань

Назва показника	Концентрація МЕРО в біопальному		
	Суміш 1	Суміш 2	Суміш 3
1. Кількість проб відібраних з бака	14	13	16
2. Кількість проб, в яких була виявлена в'язкість в межах 3,629 – 3,580 мм <sup>2</sup> /с	13	–	–
2. Кількість проб, в яких була виявлена в'язкість в межах 4,008 – 3,892 мм <sup>2</sup> /с	–	13	–
2. Кількість проб, в яких була виявлена в'язкість в межах 4,281 – 4,197 мм <sup>2</sup> /с	–	–	15

Проведені дослідження показали, що:

– електротехнологічний комплекс дозволяє проводити обробку сумішевого біопального ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем з метою зменшення в'язкості з точністю 95,5%;

– для встановлення кінцевої в'язкості обробленого біопального достатньо 7 діб;

– виробничі випробування показали надійну роботу електротехнологічного комплексу, простоту обслуговування і використання.

Даний електротехнологічний комплекс впроваджено в фермерському господарстві «Каріна» Веселівського району Запорізької області і в ТОВ «Укргарден» Мелітопольського району Запорізької області. Результати виробничих випробувань підтвержені актами, які приведені в додатку 6А,6Б.

Результати виробничих випробувань електротехнологічного комплексу по обробці сумішей біопального 1, 2 і 3 при умові:

час обробки – 5 хв.,  $t_{\text{вразка}} = 20^{\circ}\text{C}$ ;  $v_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}$ ;  $v_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}$ ;

Назва показника	Кількість і точність обробки проб
1. Час спостереження для визначення в'язкості однієї суміші, діб	10
2. Кількість проб відібраних із бака:	
Суміш 1	14
Суміш 2	13
Суміш 3	16
3. Точність обробки відібраних проб, %	
Суміш 1	92,8
Суміш 2	100
Суміш 3	93,7
4. Середній коефіцієнт точності, %	95,5

Також електротехнологічний комплекс впроваджено в учбовий процес на кафедрі «Електротехнологія і теплові процеси» Таврійського державного агротехнологічного університету, акт впровадження якого приведений в додатку 6В.

### **5.3. Результати виробничих досліджень біопального приготовленого в електротехнологічному комплексі**

#### **5.3.1. Методика виробничих досліджень**

Об'єктом виробничих досліджень є орний агрегат в складі трактора МТЗ–82 з двухкорпусним плугом ПЛН–2–35. Основною задачею виробничих досліджень є визначення витрат ДП, сумішевого пального В20, і сумішевого пального В20, обробленого в електротехнологічному комплексі при навантаженні трактора 100% і на холостому ході при різних частотах обертання колінчастого вала двигуна.

При проведенні виробничих досліджень змінювалась швидкість руху орного агрегату  $V_{op}$ , глибина оранки і вид пального. Реєстрованим параметром при цьому були витрати пального за експеримент  $G_{п}$  і час проведення експерименту  $t_{з.д.}$ .

Окрім цього в журналі досліджень фіксувались температура повітря навколишнього середовища, температура охолоджувальної рідини і температура пального.

Програма виробничих досліджень включала в себе: підготовку до проведення виробничих досліджень, проведення виробничих досліджень, обробку і аналіз результатів виробничих досліджень.

### **5.3.2. Підготовка до проведення виробничих досліджень**

Для проведення досліджень була вибрана ділянка без ухилів, яка розмічалася на підготовчі і залікові ділянки, а також відзначалися відмітки для прямолінійного водіння. Трактор перед проведенням виробничих досліджень пройшов ТО №2 відповідно до заводської інструкції з експлуатації і відповідав технічним вимогам. Для виміру і реєстрації необхідних параметрів застосовувався витратомір пального і електронний секундомір. Витратомір пального кріпився до остову трактора з правого боку. Робоча швидкість визначалася через час проходження залікової ділянки відомої довжини. На тракторі була встановлена ємність 30 літрів, яка через вентель була підключена до паливної системи двигуна. В ємність по чергово заливали біопальне В20 необроблене в електротехнологічному комплексі і біопальне В20 оброблене в електротехнологічному комплексі.

### **5.3.3. Проведення виробничих досліджень**

Проведення виробничих досліджень виконувались у відповідності з ДСТУ ГОСТ 7057–2003 Трактори сільськогосподарські. Методи випробування (ГОСТ 7057–2001, ІДТ). У методику виміру витрати пального були внесені деякі зміни, що не зачіпають принцип проведення досліджень. Для підвищення точності результатів

виміру витрати пального проводився на заліковій ділянці завдовжки не 80 метрів, а 500 метрів. Методика проведення досліду полягала в наступному. Перед початком проведення досліджень, тракторист встановлював необхідну глибину оранки, робив запуск двигуна і його прогрівання до досягнення номінального температурного режиму 85–90 °С. На початку підготовчої ділянки тракторист по команді оператора включав задану передачу, встановлював номінальну частоту обертання колінчастого валу двигуна і виходив на прямолінійну траєкторію руху. При перетині лінії залікової ділянки перший помічник оператора прочитує початкові свідчення з витратоміру пального. Повторність досліду триразова.

#### 5.3.4. Обробка і аналіз виробничих досліджень

Враховуючи те, що метою виробничих досліджень є визначення впливу різних видів пального на паливно–економічні характеристики трактора нами визначалась середня швидкість руху трактора по виразу

$$V_p = 3,6 \frac{l_{з.д.}}{t_{з.д.}} \quad (5.2)$$

де  $l_{з.д.}$  – довжина залікової ділянки, м;

$t_{з.д.}$  – час проходження залікової ділянки.

Витрати пального за експеримент визначали по наступній формулі

$$G_n = (h_n - h_k) \cdot k \cdot \rho \quad (5.3)$$

де  $h_n$  – початковий рівень пального, см;

$h_k$  – кінцевий рівень пального, см;

$k$  – коефіцієнт тарировки, см/см<sup>3</sup>;

$\rho$  – густина пального, кг/м<sup>3</sup>

### 5.3.5. Результати моторних досліджень

Згідно методики, яка була описана в розділі 5.3.1, були проведені зрівняльні моторні випробування товарного дизельного пального, сумішевого пального В20 і сумішевого пального В20, обробленого в електротехнологічному комплексі. Аналіз результатів моторних випробувань показав, що ефективні паливно – економічні показники дизеля при роботі на сумішевому біопальному В20 виявилися гірші, ніж при роботі на сумішевому біопальному В20 обробленому в електротехнологічному комплексі і товарному дизельному пальному.

В табл. 5.5 (додаток 5) приведено результати витрат пального при різних частотах обертання колінчастого вала дизеля Д–243 при 100% навантаженні, а на рис. 5.6 залежності погодинних витрат пального від частоти обертання двигуна Д–243 в умовах регуляторної характеристики.

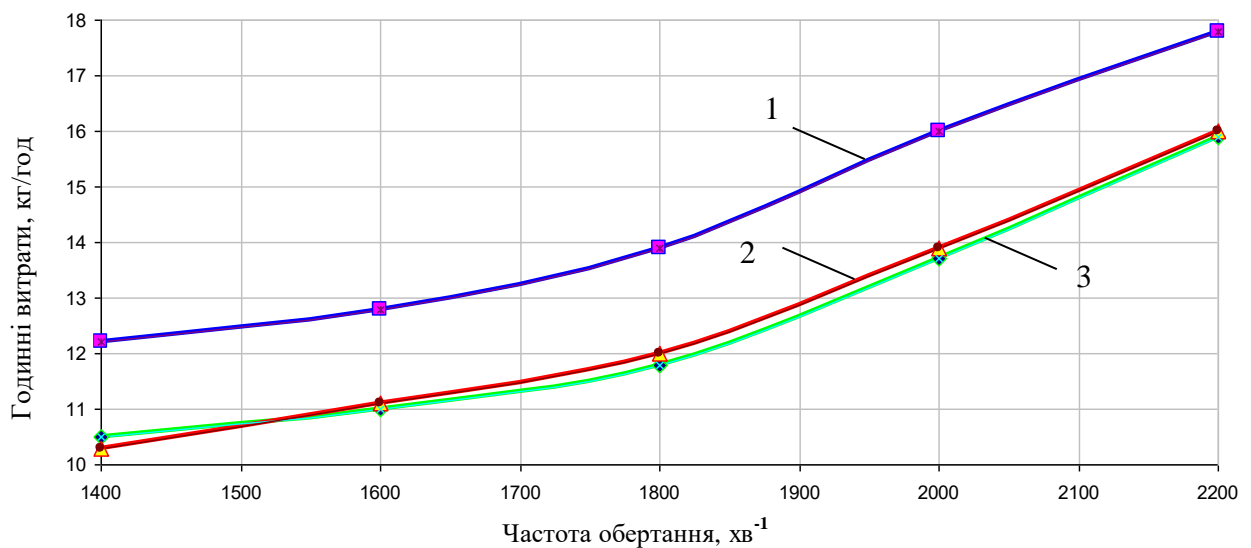


Рис.5.6. Залежності погодинних витрат пального від частоти обертання двигуна Д–243 при 100% навантаженні: 1 – 80% дизельного пального + 20% МЕРО; 2 – 80% дизельного пального + 20% МЕРО обробленого в електротехнологічному комплексі; 3 – дизельне пальне

Годинні витрати пального при частоті обертання колінчастого вала 2200 об./хв дизеля Д–243 при 100% навантаженні (рис. 5.6) найменші на товарному дизельному пальному, які склали 15,9 кг/год. Годинні витрати біопального В20



обробленого в електротехнологічному комплексі склали 16,1 кг/год, а в необробленому біопальному – 17,8 кг/год, тобто на 9,5% стали більшими ніж в обробленому біопальному В20 в електротехнологічному комплексі.

На режимі холостого ходу паливна економічність дизеля при роботі на біопальному В20 в порівнянні з 100% ДП погіршилась. В табл. 5.6 (додаток 5) і на рис. 5.7 приведено результати витрат пального при різних частотах обертання колінчастого вала на холостому ході.

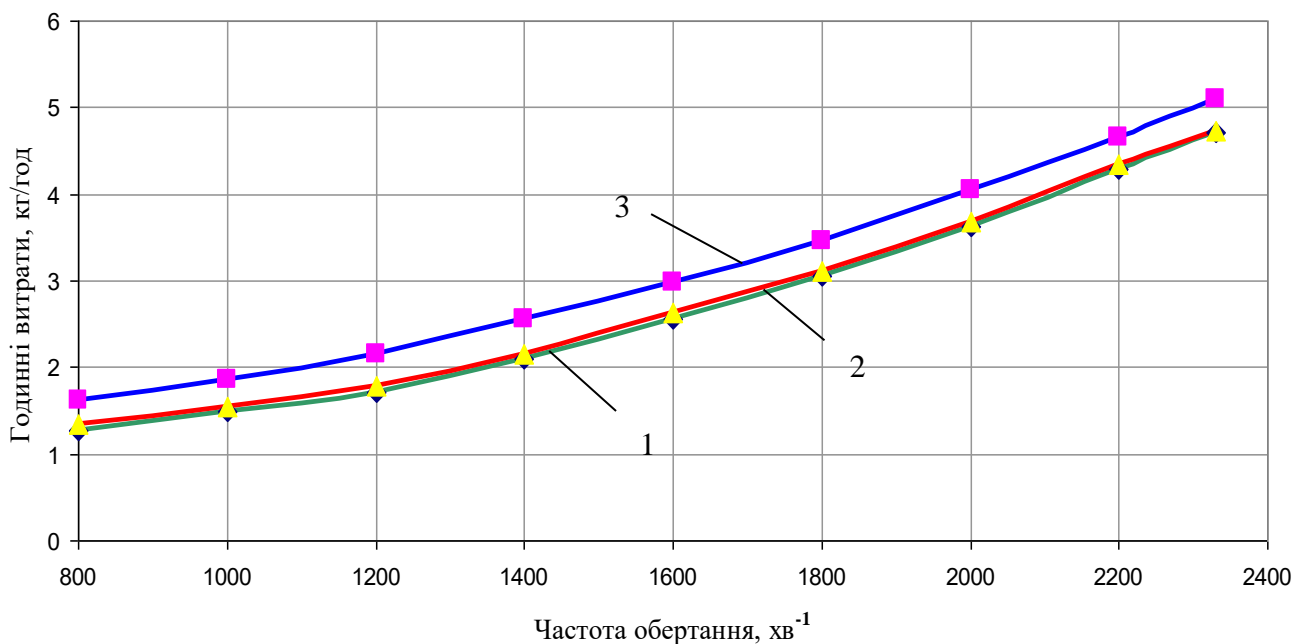


Рис.5.7. Залежності погодинних витрат пального від частоти обертання двигуна Д–243 на холостому ході: 1 – дизельне пальне; 2 – 80% дизельного пального + 20% МЕРО обробленого в електротехнологічному комплексі; 3 – 80% дизельного пального + 20% МЕРО необробленого в електротехнологічному комплексі

Так, при мінімально–стійкій частоті обертання  $800 \text{ хв}^{-1}$  годинна витрата дизельного пального складає 1,27 кг/год, при роботі на біопальному В20, обробленому в електротехнологічному комплексі – 1,30 кг/год, а при роботі на біопаливі В20 необробленому в електротехнологічному комплексі – 1,52 кг/год; при максимальній частоті обертання  $2330 \text{ хв}^{-1}$  відповідно до 4,71 кг/год, 4,73 кг/год і 4,95 кг/год. З графіків 5.6 і 5.7 видно, що обробка сумішевого пального В20 в

електротехнологічному комплексі підвищує економічність дизеля і наближає її до роботи на дизельному пальному.

Зменшення погодинних витрат обробленого біопального по відношенню до необробленого при різних частотах обертання двигуна Д-243 при 100% навантаженні (рис.5.6) і на холостому ході (рис.5.7) можна пояснити тим, що при обробці ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем відбувається розрив зв'язків молекул біопального із створенням радикалів, які мають більшу здатність до займання, ніж замкнені молекули. Це явище сприяє повнішому згоранню паливної суміші і, як наслідок, зниженню димності відпрацьованих газів. Крім того, при обробці біопального ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем відбувається зниження його в'язкості, що в кінцевому результаті позитивно впливає на далекобійність струменя пального, що розпилюється в камері згорання [23,29].

#### **5.4. Економічна оцінка результатів дослідження**

Економічна ефективність роботи дизелів автотракторної техніки, заправочні станції яких оснащені електротехнологічним комплексом для обробки сумішевого біопального, визначається шляхом порівняння витрат пального при роботі на мінеральному дизельному пальному, при роботі на сумішевому біопальному В20 і при роботі на обробленому електротехнологічним комплексом сумішевому біопальному В20.

Ефективність від використання нових видів моторних палив визначається по прийнятій методиці [124, 125].

Розрахунок витрат на виготовлення електротехнологічного комплексу приведений в додатку 7.

Для розрахунку річної економії від застосування електротехнологічного комплексу для обробки сумішевого біопального В20 приймаємо, що дизель Д-243 трактора МТЗ-82 працює на дизельному пальному, сумішевому пальному В20 і сумішевому біопальному В20, який оброблений в електротехнологічному комплексі.

Річні затрати на моторне пальне визначається як

$$C_T = T_{\text{нг}} \cdot G_T \cdot C_{\text{кц сдп}} \quad (5.4)$$

де  $T_{\text{нг}}$  – річне нормативне напрацювання трактора,  $T_{\text{нг}} = 1200$  мото·год.;

$G_T$  – середні годинні витрати дизельного пального і сумішевого пального двигуном трактора при частоті обертання колінчатого вала 2200 об/хв. при навантаженні 100% згідно розрахунків (додаток 5 табл.5.5) приймаємо: для дизельного пального  $G_T = 15,9$  кг/год, необробленого сумішевого пального В20  $G_T = 17,8$  кг/год, для обробленого сумішевого пального в електротехнологічному комплексі  $G_T = 16,1$  кг/год.

$C_{\text{кц сдп}}$  – комплексна ціна дизельного сумішевого пального, грн./кг

$$C_{\text{кпсдп}} = \frac{C_{\text{дп}} \cdot K_1 + C_{\text{меро}} \cdot K_2}{K_1 + K_2} \quad (5.5)$$

де  $C_{\text{дп}}$ ,  $C_{\text{меро}}$  – комплексна ціна дизельного пального і МЕРО, грн./кг;

Ціну 1 кг мінерального дизельного пального приймаємо  $C_{\text{дп}} = 20$  грн/кг (в цінах 2017 р). Ціна МЕРО розрахована при умові, що воно виробляється в господарстві із своєї ріпакової олії на міні–установці продуктивністю 1200 літрів на добу. Приймаємо  $C_{\text{меро}} = 18,50$  грн/кг [126].

$K_1$ ,  $K_2$  – доля дизельного пального і МЕРО в дизельному сумішевому пальному, %  $K_1 = 80\%$ ,  $K_2 = 20\%$ .

$$C_{\text{кпсдп}} = \frac{20,0 \cdot 0,8 + 18,50 \cdot 0,2}{0,8 + 0,2} = 19,7 \text{ грн./кг}$$

Тоді річні затрати на сумішеве біопальне з додаванням 20% МЕРО до дизельного пального, яке необроблене в електротехнологічному комплексі складуть

$$C_{T20\text{н}} = 1200 \cdot 17,8 \cdot 19,7 = 420792 \text{ грн.}$$

Річні затрати на сумішеве біопальне з додаванням 20% МЕРО до дизельного пального, яке оброблене в електротехнологічному комплексі складуть

$$C_{т20об.} = 1200 \cdot 16,1 \cdot 19,7 = 380604 \text{ грн.}$$

Річні затрати при роботі двигуна трактора на дизельному пальному складуть

$$C_{тдп} = 1200 \cdot 15,9 \cdot 20 = 381600 \text{ грн.}$$

Так як річні затрати при роботі двигуна трактора на дизельному пальному і на біопальному обробленому в електротехнологічному комплексі практично однакові, то проведемо розрахунок річної економії грошових затрат на один трактор при його роботі на біопальному В20 необробленого і обробленого в електротехнологічному комплексі, який складе

$$E_p = C_{т20н} - C_{т20об.} \quad (5.6)$$

$$E_p = 420792 - 380604 = 40188 \text{ грн/рік}$$

Термін окупності  $C_o$  електротехнологічного комплексу для обробки сумішевого біопального В20 складе

$$C_o = \frac{C_{себ.}}{E_p} \quad (5.7)$$

$$C_o = \frac{16026,96}{40188} = 0,4 \text{ роки}$$

Показники економічної ефективності приведені в табл. 5.3.

Економічний ефект від використання біопального обробленого в  
електротехнологічному комплексі

Назва показників	Одиниці вимірюван	Варіанти	
		базовий	новий
Собівартість електротехнологічного комплексу	грн.	–	16027
Вартість 1кг мінерального дизельного пального	грн./кг	20,0	–
Комплексна ціна дизельного сумішевого пального В20	грн./кг	–	19,7
Річні затрати на сумішеве біопальне В20 на 1 трактор МТЗ-82	грн.	420792	380604
Річні затрати на дизельне пальне на 1 трактор МТЗ-82	грн.	381600	–
Середні годинні витрати сумішевого біопального В20	кг/год	17,8	16,1
Середні годинні витрати мінерального дизельного пального	кг/год	15,9	–
Зменшення годинних витрат біопального В20 обробленого в електротехнологічному комплексі по відношенню до необробленого біопального В20	%	–	9,5
Річна економія грошових затрат на один трактор МТЗ-82 з двигуном Д–243 при його роботі на біопальному В20 протягом 1200 мото·годин (річне нормативне напрацювання трактора) обробленого в електротехнологічному комплексі по відношенню до необробленого біопального	грн./рік	–	40188
Термін окупності електротехнологічного комплексу	років	–	0,4

### 5.5. Оцінка надійності електротехнологічного комплексу

Ефективна експлуатація розробленого електротехнологічного комплексу по обробці сумішевого біопального на протязі тривалого часу визначається надійністю. Розрахунок апаратної надійності електротехнологічного комплексу проведений

згідно існуючої методики визначення надійності складних систем [127, 128]. При цьому визначалось, що електротехнологічний комплекс працює в нормальних умовах, а величина інтенсивності відказів однотипних елементів, які входять в пристрій однакова і не залежить від часу. Відмова любого із елементів, які входять в склад пристрою приводить до втрати працездатності електротехнологічного комплексу в цілому.

Інтенсивність потоку відмов розрахована по формулі:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot n_j \quad (5.8)$$

де  $\lambda_{\Sigma}$  – сумарна інтенсивність відмов всього пристрою;

$\lambda_i$  – інтенсивність відмов окремих елементів;

$n_j$  – число однотипних елементів.

Час напрацювання на відмову визначається як

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} \quad (5.9)$$

Враховуючи те, що розподіл довговічності електронних елементів підкорюється експонентному закону, то вірогідність безвідмовної роботи електротехнологічного комплексу визначається по формулі

$$P(t) = e^{-K\lambda_{\Sigma}t} \quad (5.10)$$

де  $K$  – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив навколишнього середовища на збільшення інтенсивності відмов, для даного випадку приймаємо  $K=1$  [129]

$t$  – час роботи електротехнологічного комплексу

В результаті розрахунків отримано наступні значення показників надійності

$$\lambda_{\Sigma} = 0,194 \cdot 10^{-3} \text{ 1/год.}$$

$$T_0 = \frac{1}{0,194 \cdot 10^{-3}} = 5155 \text{ год.}$$

$$T_0 = 5155 \text{ год.}$$

$$P(t) = e^{-1,0,194 \cdot 10^{-3} \cdot 1000} = 0,823$$

Ймовірність безвідмовної роботи за 1000 годин склала 0,823

З врахуванням технічної експлуатації електротехнологічного комплексу його надійність можна рахувати достатньою.

## 5.6. Висновки по розділу

1. Електротехнологічний комплекс дозволяє проводити обробку сумішевого біопального ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем з метою зменшення в'язкості з точністю 95,5% .

2. Для встановлення кінцевої в'язкості обробленого біопального в електротехнологічному комплексі достатньо 7 діб.

3. Надійність розробленого електротехнологічного комплексу забезпечує справну роботу на протязі 1000 годин експлуатації з вірогідністю 0,823.

4. Річна економія грошових затрат на один трактор МТЗ-82 з двигуном Д-243 при його роботі на біопальному В20 протягом 1200 мото-годин (річне нормативне напрацювання трактора) обробленого в електротехнологічному комплексі по відношення до необробленого біопального склала 40188 грн/рік.

5. Термін окупності електротехнологічного комплексу склав 0,4 роки.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена задача покращення функціональних властивостей біопального шляхом його обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем в електротехнологічному комплексі, що дало можливість зменшити годинні витрати біопального обробленого в електротехнологічному комплексі по відношенню до необробленого біопального і як наслідок зменшити річні затрати на пальне.

1. Аналіз світового і вітчизняного науково-практичного досвіду показав, що використання добавок метилових ефірів в дизельному пальному більше 7% негативно впливає на якість сумішевого біопального. Як наслідок відбувається коксування паливної апаратури, зниження потужності дизельного двигуна і зростання витрат пального. Один з шляхів усунення цих недоліків є використання ультразвуку і НВЧ електромагнітного поля для обробки біопального.

2. Отримані теоретичні результати надали можливість визначити електричні і механічні характеристики електроакустичної системи для обґрунтування та розрахунку складових даної системи: магнітострикційного перетворювача, хвилеводу та камери. Для забезпечення інтенсивності ультразвуку від  $5 \text{ Вт/см}^2$  на торці хвилеводу до  $1 \text{ Вт/см}^2$  в кінці камери з врахуванням коефіцієнту поглинання  $\alpha=5,75 \text{ Нп/м}$  довжина камери не повинна перевищувати 14 см, а врахування коефіцієнту поглинання  $\alpha=5,75 \text{ Нп/м}$  дозволило визначити втрати енергії в шарі рідини та визначити параметри еквівалентної схеми заміщення для розрахунку електроакустичної системи та визначення її енергетичної ефективності.

3. Встановлено, що обробку сумішевого біопального необхідно проводити при наступних технологічних параметрах: значення резонансної частоти ультразвуку повинна бути 22,8 кГц. Відхилення частоти від резонансної на 100 Гц призводить до відхилення потужності на 10%, тому необхідно підтримувати частоту ультразвуку з точністю не менше 0,5%. Інтенсивність ультразвуку повинна бути  $5 \text{ Вт/см}^2$ ; потужність ультразвуку в камері – 45 Вт; потужність НВЧ електромагнітного поля – 100 Вт із скважністю роботи 35%; час обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем – 5 хвилин при масі біопального – 600



мл, що дозволило покращити функціональні властивості біопального.

4. Встановлено, що обробка сумішей 1 і 2 (10 і 20% МЕРО в ДП) ультразвуком протягом 5 хвилин дозволила зменшити в'язкість біопального на 19,0% і 18,29% відповідно по відношенню до необробленого пального, а сумісна обробка даних сумішей ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем протягом 5 хвилин дозволила зменшити в'язкість біопального на 22,8% і 22,69% відповідно по відношенню до необробленого біопального, що обґрунтовує доцільність сумісної обробки.

5. Встановлено, що стабілізація функціональних властивостей біопального (в'язкість і густина) відбувається через 7 діб після обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем. Це обумовлює необхідність відповідної витримки часу перед використанням біопального.

6. Встановлено, що у сумішах 1–5 оброблених УЗ, тангенс кута діелектричних втрат ( $\text{tg}\delta$ ) зменшився по відношенню до контрольних проб на 20,67–45,11%. У цих же сумішах, але оброблених НВЧ ЕМП, величина  $\text{tg}\delta$  зменшилась на 25,21–58,94%, що однозначно свідчить про покращення чистоти і якості пального. Вимірювання величини тангенса кута діелектричних втрат надає можливість експрес-методом визначати ефективність обробки біопального та корегувати її в виробничих умовах.

7. Розроблений і виготовлений електротехнологічний комплекс дозволяє проводити обробку сумішевого біопального ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем з метою покращення функціональних властивостей біопального. Оброблене біопальне В20 в електротехнологічному комплексі у порівнянні з необробленим біопальним В20 дозволило зменшити годинні витрати на 9,5%.

8. Річна економія грошових затрат на один трактор МТЗ–82 з двигуном Д–243 при його роботі на біопальному В20 протягом 1200 мото-годин (річне нормативне напрацювання трактора) обробленого в електротехнологічному комплексі по відношенню до необробленого біопального склала 40188 грн/рік. Термін окупності електротехнологічного комплексу склав 0,4 роки.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Frankfurter Allgemeine Zeitung. [Text] / Klimaschutz als Schlüssel zu mehr Wachstum, Nr. 57, 2007 S. 11.
2. Передерій, Н.О. Ріпак – стратегічна культура для біоенергетики України [Текст] / Н.О. Передерій // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 2008. – №131. – С. 300-304.
3. Куць, Т.В. Виробництво та переробка олійних культур в Україні [Текст] / Т.В. Куць // Науковий вісник Національного університету біоресурсів та природокористування України. – 2009. – Вип. 141. – С. 196–203.
4. Семенов, В.Г. Производство и применение биодизельного топлива в Украине [Текст] / В.Г.Семенов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2007. – №5. – С.7-8.
5. Громаков, А.В. Оптимальный состав смесового топлива для тракторных двигателей [Текст] / А.В. Громаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – №8. – С. 24-25.
6. Нагорнов, С.А. Моторные исследования работы дизеля на смесовом топливе [Текст] / С.А. Нагорнов, Р.В. Фокин, К.С. Малахов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. - Сер. «Машиностроение». - 2009. – № 4. – С. 122.
7. Девянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей [Текст] / С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов // – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. – 340 с.
8. Марчук О. Экономический анализ биоэнергетики, как источника доходов аграрных предприятий [Текст] / О.Марчук, Х. Хокманн, А. Лисситса. // Discussion paper no. 111– 2007.
9. Сомов В.А. Судовые многотопливные двигатели [Текст] / В.А. Сомов, Ю.Г. Ищук // – Л.: Судостроение, 1984. – 240 с.
10. Duggal V.K. Review of Multi Fuel Engine Concepts and Numerical Modeling of In-Cylinder Flow Processes in Direct Injection Engines [Text] / V.K. Duggal, T.W. Kuo, F.B. Lux // SAE Technical Paper Series. – 1984. – №840005. – P. 1–27.

11. Хачиян А.С. Применение различных топлив и энергетических установок в автомобилях будущего [Текст] / А.С.Хачиян // Двигателестроение. – 2004. – №1. – С. 28–31.
12. Шкаликова В.Н., Патрахальцев Н.Н. Применение нетрадиционных топлив в дизелях [Текст] / В.Н. Шкаликова, Н.Н. Патрахальцев // – М.: Изд-во РУДН, 1993. – 64 с.
13. Georgogianni, K.G. Alkaline conventional and in situ transesterification of cottonseed oil for the production of biodiesel [Text] / K.G.Georgogianni, M.G. Kontominas, P.J. Pomonis, D. Avlonitis, V. Gergis // Energy and Fuels. 22 (2008) 2110–2115.
14. Georgogianni, K.G. Conventional and in situ transesterification of sunflower seed oil for the production of biodiesel [Text] / K.G. Georgogianni, M.G. Kontominas, P.J. Pomonis, D. Avlonitis, V. Gergis // Fuel Processing Technology. 89 (2008) 503–509.
15. Candeia, R.A. Influence of soybean biodiesel content on basic properties of biodiesel-diesel blends [Text] / R.A. Candeia, M.C.D. Silva, J.R. Carvalho Filho, M.G.A. Brasilino, T.C. Bicudo, I.M.G.Santos, A.C. Souza // Fuel. 88 (2009) 738–743.
16. Белов В.М. Применение в дизелях топлива растительного происхождения [Текст] / В.М. Белов, С.Н. Девянин // Научный ж. «Вестник МГАУ»: Техника и технологии агропромышленного комплекса. – 2003. – Вып. 4. – С. 15-21.
17. Савельев Г.С. Биологическое моторное топливо для дизелей на основе рапсового масла [Текст] / Г.С. Савельев, Н.В. Краснощеков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 10. – С. 1-16.
18. Шашев А.В. Совершенствование рабочего процесса дизеля с объемно-пленочным смесеобразованием при использовании в качестве топлива рапсового масла [Текст] / А.В.Шашев // Автореферат дис. канд. тех. наук: 05.04.02. Барнаул, 2008 – 16 с.
19. Кочетков М.Н. Разработка технических средств обеспечения энергоавтономности сельскохозяйственного предприятия при замещении

дизельного топлива рапсовым маслом [Текст] / М.Н.Кочетков // Дис. канд. тех. наук: 05.20.01. Москва, 2010 – 177 с.

20. Пономарев, В.Е. Адаптация малоразмерного высокооборотного дизеля 148,2/7,5 с непосредственным впрыском для работы на рапсовом масле. [Текст] / В.Е.Пономарев // Дис. канд. тех. наук: 05.04.02. Москва, 1998 – 126 с.

21. Вальехо М.П. Применение отдельной подачи топлива растительного происхождения в малоразмерный дизель с целью улучшения его экологических показателей [Текст] / М.П.Вальехо // Дис. канд. тех. наук: 05.04.21. Москва, 2000 – 120 с.

22. Ліньков О.Ю. Вибір та обґрунтування параметрів сумішоутворення та згорання в швидкісному дизелі, який працює на альтернативному паливі [Текст] / О.Ю.Ліньков // Дис. канд. тех. наук: 05.05.03. Харків, 2004 – 178 с.

23. Иванов В.А. Оценка эксплуатационных показателей трактора класса 14кН при работе на растительно-минеральном топливе [Текст] / В.А. Иванов // Дис. канд. тех. наук: 05.20.03. Пенза, 2010 – 188 с.

24. Савельев Г.С. Технологии и технические средства адаптации автотракторной техники к работе на альтернативных видах топлива [Текст] / Г.С.Савельев // Дис. док. тех. наук: 05.20.01. Москва, 2010 – 315 с.

25. Коршунов Д.А. Улучшение эксплуатационных показателей транспортного дизеля путем использования биотоплив на основе рапсового масла [Текст] / Д.А.Коршунов // Автореферат дис. канд. тех. наук: 05.04.02. Москва, 2008 – 18 с.

26. Турлаков Я.В. Эксплуатационные показатели дизельных электростанций лесного комплекса при работе на биотопливе [Текст] / Я.В.Турлаков // Дис. канд. тех. наук: 05.21.01. Москва, 2013 – 178 с.

27. Фомин В.Н. Повышение технико-экономических показателей автотракторных дизелей, работающих на минерально-растительном топливе. [Текст] / В.Н.Фомин // Дис. канд. тех. наук: 05.20.01. Ульяновск, 2011 – 177 с.

28. Шустер А.Ю. Совершенствование показателей транспортного дизеля путем использования двухкомпонентных и многокомпонентных смесевых

биотоплив на основе растительных масел [Текст] / А.Ю.Шустер // Дис. канд. тех. наук: 05.04.02. Москва, 2010 – 171 с.

29. Фадеев С.А. Улучшение показателей тракторных двигателей при работе на биотопливе обработанном ультразвуком [Текст] / С.А.Фадеев // Автореферат дис. канд. тех. наук: 05.20.03. Саратов, 2011 – 14 с.

30. Буряков А.С. Обоснование эксплуатационно-технологических требований к комплексу оборудования для обеспечения сельскохозяйственной техники рапсовым метилэфиром [Текст] / А.С.Буряков // Дис. канд. тех. наук: 05.20.03. Москва, 2011 – 173 с.

31. Лискутина А.П. Улучшение качества и экологических свойств дизельного топлива за счет использования биологического компонента [Текст] / А.П.Лискутина / Дис. канд. тех. наук: 05.20.01 / , Мичуринск-Наукоград РФ, 2006 – 136 с.

32. Малахов К.С. Технология непрерывного получения дизельного смесового топлива с улучшенными свойствами [Текст] / К.С.Малахов // Дис. канд. тех. наук: 05.20.03. Мичуринск, 2010 – 163 с.

33. Шматок О.І. Інтенсифікація тепло технологічних процесів при виробництві біодизельного палива [Текст] / О.І.Шматок // Дис. канд. тех. наук: 05.14.06. 2013 – 175 с.

34. Громаков А.В. Повышение эффективности функционирования машино-тракторных агрегатов за счет применения биотоплива [Текст] / А.В.Громаков // Автореферат дис. канд. тех. наук: 05.20.01. Ростов-на-Дону, 2012 – 21 с.

35. Киреева Н.С. Обоснование использования биотопливных композиций в качестве моторного топлива на тракторах сельскохозяйственного назначения [Текст] / Киреева Н.С // Дис. канд. тех. наук: 05.20.03, Саратов, 2009 – 181 с.

36. Фокин Р.В. Разработка комплексной технологии получения смесового топлива с улучшенными свойствами для дизельных двигателей [Текст] / Р.В.Фокин // Автореферат дис. канд. тех. наук: 05.20.03, Мичуринск – Наукоград РФ, 2008 – 24 с.

37. Железна Т.А. Стан розвитку та перспективи виробництва і застосування рідких палив з біомаси. Частина 2. [Текст] / Т.А.Железна// Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004 – №3. – С 3-8.

38. Кушлик Р.В. Дизельне паливо із ріпаку [Текст] / Р.В.Кушлик, Д.П.Журавель, Р.Р.Кушлик // Праці / Таврійської державної агротехнічної академії . – Вип. 7 том 1 – Мелітополь: ТДАТА, 2007. – С . 145 –151

39. Громаков А.В. Оптимальный состав смесового топлива для тракторных двигателей [Текст] / А.В.Громаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – №8. – С.24–25.

40. Марченко А.П. Альтернативное топливо на основе производных рапсового масла [Текст] / А.П.Марченко, В.Г.Семенов // Химия технологии топлив и масел. – 2003. – №3. – С.31–32.

41. Семенов В.Г. Оценка влияния физико-химических показателей биодизельного топлива на параметры дизеля и его эколого-эксплуатационные характеристики [Текст] / В.Г.Семенов // Междунар. Биоэнергетика – 2008. №8. – СПб. – С.18–19.

42. Широкомасштабные эксперименты по введению рапсового масла в дизельное топливо [Текст] / Автомобильная промышленность США. – 1997. – №3. – С. 5–9.

43. Лютко В.Н. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / В.Н.Лютко, В.Н.Луканин, А.С.Хачиян // – М.: Изд-во МАДИ(ТУ), 2000. – 311 с.

44. Перспективы развития биоэнергетики на основе производства биотоплива второго поколения [Текст] / Докл. на Третьем Междунар. Конгрессе «Биодизель–2008», 26–27 нояб.2008.—М.—2008.—4с.

45. Dorado M.P. The effect of a waste vegetable oil blend with diesel fuel on engine performance [Text] / M.P.Dorado, J.M.Arnal, J.Gomez, A.Gil, F.J.Lopez // Trans. ASAE. – StJosep h(Mich.), 2002; Vol. 45, N3, – P.519–523.

46. Megahed O.A. Rapeseed oil esters as diesel engine fuel [Text] / Energy Sources. // – 2004. – №2. – P.199–126.

47. Sensoz Sevgi. Booil production from an oilseed crop: Fixed–bed pyrolysis of rapeseed (*Brassica napus* L) [Text] / Sensoz Sevgi, Angin Dilek, Yorgum Sait, Koskar Omer Mete // *Energy Sources: Journal of Extraction*. 2000. – V.22. – №10. P.891–899.
48. Donnell, K.P. Results of engine and vehicle testing of semirefined Rapeseed oil [Text] / K.P. Donnell, S.M. Ward, P.B. Nulty // *Trans. ASAE*. – St. Joseph (Mich.) 3 2000. – Vol.43. – №6. – P.1309–1316.
49. Кушлик Р.Р. Аналіз видів біопалив для сільськогосподарської техніки. [Текст] / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип.15 том 2 Мелітополь, ТДАТУ, 2015 р. с. 242–248.
50. Кушлик Р.Р. Альтернативне паливо для сільськогосподарської техніки [Текст] / Р.Р.Кушлик // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 164 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2015. – 169–170 с.
51. Коротич П. «Самогон» для залізних коней [Текст] / П.Коротич // Пропозиція. – 2006. – №6 – С.17–19.
52. Загородских Б.П. Патент № 88396 Российская Федерация, МПК F02M 27/08. Устройство для ультразвуковой обработки биотоплива [Текст] / Б.П.Загородских, С.А.Фадеев: заяв. и патентообладатель СГАУ им. Н.И.Вавилова. – № 2009127033/22; 14.07.2009, опуб. 10.11.2009, Бюл. №31.
53. Уханов А. П. Патент № 2486949 Российская Федерация, МПК B01F5/06. Смеситель фильтр минерального топлива и растительного масла [Текст] / Уханов А. П., Уханов Д. А., Крюков В. В., Сидоров Е. А., Година Е. Д.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Пензенская государственная сельскохозяйственная академия" заявл. 06.04.2012, опубл. 2013, Бюл. №11.
54. Островский Е.А. Комплекс транспортно–складского и заправочного оборудования для обеспечения сельскохозяйственной техники смесевым биотопливом на основе рапсового масла [Текст] / Е.А. Островский // Автореферат дис. канд. тех. наук: 05.20.03. Москва, 2009 – 16 с.

55. Кушлик Р.Р. Установки та пристрої для виробництва ріпако-метилового ефіру та сумішевого біопалива [Текст] / Р.Р.Кушлик, І.П.Назаренко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, ТДАТУ, 2015 р. Вип. 15 том 3 с. 310–317.
56. Голяминова И.П. Ультразвук. Маленькая энциклопедия [Текст] / Под ред. И.П.Голяминой // – М.: Издательство «Советская энциклопедия», 1979. – 400 с.
57. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике [Текст] / Л. Бергман // – М.: Изд-во Иностранной Литературы, 1957. – 726 с.
58. Романенко Е.В. Источники мощного ультразвука [Текст] / под ред. Л.Розенберга // – М.: Наука, 1967; Акуст. Ж., 1957 – 342 с.
59. Шилова Е.П. Опыт применения альтернативных видов топлива для автомобилей и сельскохозяйственной техники [Текст] / Е.П.Шилова, И.В.Крюков // – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – 96 с.
60. Улюкина Е.А. Улучшение эксплуатационных свойств современных и перспективных моторных топлив для сельскохозяйственной техники / Е.А.Улюкина // Дис. док. тех. наук: 05.20.03. М.: 2012 – 317 с.
61. Переик А.Д. Проблемы кавитации [Текст] / А.Д.Переик // – Л: Судостроение, 1966. – 234 с.
62. Ноздрев В.Ф. Молекулярная акустика. / В.Ф.Ноздрев, Н.В.Федорищенко // – М.: Высшая школа, 1974. – 320 с.
63. Пат. №2241128 МПК F02B 29/02 МПК F02B 27/08. Устройство для акустического наддува двигателя внутреннего сгорания. [Текст] / А.В.Васильев // Заявл. 26.03.2002, Оpubл. 20.09.2003.
64. Пат.№2241128 МПК (2005.01) F02M27/08. Устройство для ультразвуковой обработки топливовоздушной смеси в карбюраторах. [Текст] / И.В.Зефиоров, А.В.Мужиков // Заявл. 29.04.2003, Оpubл. 20.01.2005.
65. Fajman M. Practical experience in using biodegradable fillings in Zetor Tractors [Text] / M. Fajman // Zemed.Techn. – 1999. –Vol.45. –N4. –S.155–158.
66. Голых Р. Н. Повышение эффективности ультразвукового кавитационного воздействия на химико–технологические процессы в гетерогенных системах с



несущей висововязкой или неньютоновской жидкостью [Текст] / Р. Н. Голых // дис. канд. техн. наук: 05.17.08. – Бийск: [б. в.], 2014. – 188 с.

67. Голых Р. Н. Гидроакустическая энциклопедия [Текст] / под общ. ред. В. И. Тимошенко, Л. М. Бреховских, Н. А. Дубровский, О. В. Руденко // – Таганрог: Издательство ТРТУ, 1999. – 788 с., илл., таб.

68. Мэзона У. Физическая акустика [Текст] / под ред. У. Мэзона // т. 1, ч. А: Методы и приборы ультразвуковых исследований. – М.: Мир. 1966. – 592 с.

69. Красильников В. А. Введение в акустику [Текст] / В. А. Красильников // – М.: Изд. МГУ, 1992. – 152 с.

70. Донской А. В. Ультразвуковые электротехнологические установки [Текст] / А. В. Донской, О. К. Келлер, Г. С. Кратыш // – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 208 с, ил.

71. Бархатов А. Н. Акустика в задачах [Текст] / А. Н. Бархатов, Н. В. Горская, А. А. Горюнов // под ред. С. Н. Гурбатова и О. В. Руденко. – М.: Наука. Физматлит, 1996. – 336 с.

72. Розенберг Л.Д. Физика и техника мощного ультразвука [Текст] / под ред. Л. Д. Розенберга // кн. 1: Источники мощного ультразвука. – М.: Наука. 1967. – 380 с.

73. Чен К. МАТЛАВ в математических исследованиях [Текст] / К. Чен, П. Джиблин, А. Ирвинг // – М.: Мир, 2001. – 346 с.

74. Назаренко І.П. Теоретичні передумови приготування суміші компонентів біопального в ультразвуковому полі [Текст] / І.П.Назаренко, Р.Р. Кушлик // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 187 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2017. – с. 113–116.

75. Паливо дизельне Л 0,2–62. ГОСТ 305–82. Технічні умови.

76. Вискозиметр капиллярний стеклянный ВПЖ–4. Паспорт АКЛ 2.842.1854 ПС. Заводской номер 7509. Министерство приборостроения, средств автоматизации и систем управления СССР. Союзнауцприбор. 1989 г. – 4 с.

77. Кушлик Р.Р. Проблеми використання сумішевого біопалива із ріпако-метилового ефіру і дизельного палива [Текст] / Р.Р.Кушлик // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції. «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористуванні» м. Київ, НУБіП, 14–18 грудня 2015р. с. 28–29.

78. Васильев И. П. Альтернативные топлива, энергетика. Растительные топлива для дизелей [Текст] / И. П. Васильев // Восточно-украинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск. <http://www.newchemistry.ru/letter.phpn.id>.

79. Назаренко, І.П. Покращення якості сумішевого біодизеля шляхом обробки його акустичним полем [Текст] / І.П. Назаренко, Р.Р. Кушлик, Р.В Кушлик – Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Випуск 6, Том 1. Електронне наукове фахове видання. – Мелітополь, ТДАТУ, 2016 р. с. 164–171.

80. Назаренко, І.П. Ультразвукова обробка сумішевого біодизеля [Текст] / І.П. Назаренко, Р.Р. Кушлик, Р.В Кушлик // Вісник Сумського національного аграрного університету. Випуск 10/1 (29). Суми, 2016 р. с. 174–178.

81. Кушлик Р.Р. Спосіб обробки сумішевого біодизеля [Текст] / Р.Р.Кушлик // Збірник тез доповідей XVII Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (17–18 жовтня 2016 року) / МОН України, Сумський національний аграрний університет. – Суми , 2016. – 195-196 с.

82. Назаренко І.П. Спосіб покращення якості сумішевого біодизеля [Текст] / І.П.Назаренко, Р.Р. Кушлик, Р.В.Кушлик // Патент на корисну модель № 110097. Опубл. 26.09.2016, бюл.№18.

83. Назаренко І.П. Експериментальні дослідження впливу ультразвукових і СВЧ хвиль на в'язкість і густину сумішевого біодизеля [Текст] / І.П.Назаренко, Р.Р. Кушлик // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 175 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2016. – с. 66–68.

84. Кушлик Р.Р. Дослідження фізичних властивостей сумішевого біодизеля після обробки його в гомогенізаторі [Текст] / Р.Р.Кушлик // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, ТДАТУ, 2016 р. Вип. 16 том 2 с. 146–152.
85. Kushlyk Ruslan. Research into effect of ultrasonic, electromagnetic and mechanical treatment of blended biodiesel fuel on viscosity [Text] / Ruslan Kushlyk, Igor Nazarenko, Roman Kushlyk, Volodymyr Nadykto // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2/1 (86), 2017 р. С. 34–41.
86. Кушлик Р.Р. Аналіз впливу ультразвукових, НВЧ і механічних хвиль на в'язкість сумішевого біодизеля [Текст] / Р.Р.Кушлик, І.П.Назаренко // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції. «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування»: м. Київ, НУБіП, 15–19 травня 2017р. с. 9–10
87. Кушлик Р.Р. Результати експериментальних досліджень біопаливних композицій оброблених електрофізичними методами [Текст] / Р.Р.Кушлик // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції пам'яті І.І.Мартинена та з нагоди 85–річчя Таврійського державного агротехнологічного університету «Енергозабезпечення технологічних процесів». м.Мелітополь, ТДАТУ, 8–9 червня 2017 р. 58–60 с.
88. Володарський Є.Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. [Текст] / Є.Т.Володарський, В.В.Кухарчук, В.О.Поджаренко, Г.Б. Сердюк // Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2001. –219с.
89. Новицкий П.Ф. Оценка погрешностей результатов измерений [Текст] / П.Ф.Новицкий, Н.А. Зограф // – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 247 с.
90. Богданович Н.И. Расчеты в планировании эксперимента [Текст] / Н.И.Богданович // – Л.: 1978 г.
91. Надикто В.Т. Основи наукових досліджень / В.Т. Надикто// – Рекомендовано до видання у якості підручника рішенням Вченої ради Таврійського державного агротехнологічного університету (протокол №6 від 28 грудня 2015 р.) Мелітополь, 2015 202 с.

92. Исакович М.А. Общая акустика [Текст] / М.А.Исакович // М.: Наука, 1973, 330 с.
93. Басович А.В. Акустика и ультразвуковая техника [Текст] / А.В. Басович, А.П. Морозов, А.Ф. Назаренко // – Киев: Техника, 1976, 228 с.
94. Биглер В.П. Акустические жидкости [Текст] / В.П. Биглер, В.Ф. Юдаев // М.: – 1978, 24, 289.
95. Немчин А.Ф. Влияние кавитационного воздействия на углеводородное топливо [Текст] / А.Ф. Немчин, В.А. Михайлик, Г.Т. Тодорашко, Е.В. Щепкин // Пром. теплотехника. 2002. Том 24, № 6. С. 60–63.
96. Kenneth S. The Chemical Effects of Ultrasound [Text] / S. Kenneth // Scientific American, 1989, February. – P. 80 – 86.
97. Ковалева Л.А. Исследование устойчивости водонефтяной эмульсии в электромагнитном поле в зависимости от её диэлектрических свойств [Текст] / Л.А. Ковалева, Р.Р. Зиннатуллин // Изд. вузов. Нефть и газ. 2010. № 2. С. 59–63.
98. Фатыхов М.А. Тепломассоперенос в многофазных средах под воздействием высокочастотного электромагнитного излучения [Текст] / М.А. Фатыхов // Химия и компьютерное моделирование. Приложение к спецвыпуску, № 10, 243 с., 2002.
99. Kovaleva L. Dehydrating of heavy crude oil using radiofrequency and microwave radiation: what is better? [Text] / L.Kovaleva, R.Zinnatullin, R. Minnigalimov. // Petroleum Phase Behavior and Fouling. Proc. 11th Annual International Conference. N. Y., 2010. N 031.
100. Kashif M. Oil recovery by using electromagnetic waves [Text] / M. Kashif, N. Yahya, H.M. Zaid. // Journal of Applied Sciences. – 2011. – N 8. – P. 366–370.
101. Комаров В. В. Формулировки математических моделей процессов взаимодействия электромагнитных волн с диссипативными средами в СВЧ – нагревательных системах [Текст] / В.В.Комаров // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2010. –Т. 13. – № 4. – С. 57–63.

102. Изьюрова Г.В. Расчет электрических схем. Примеры и задачи: Учеб. пособие для вузов по спец. электрон. техника [Текст] / Г.В. Изьюрова, Г.В.Королев, В.А.Терехов // – М.: Высшая школа, 1987, – 335 с.
103. Негров Д.А. Ультразвуковые колебательные системы для синтеза полимерных композиционных материалов: монография [Текст] / Д.А.Негров, Е.Н.Еремин, А.А.Новиков, Л.А.Шестель // – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. – 128 с.
104. Луговский А.Ф. Ультразвуковая кавитация в современных технологиях [Текст] / А.Ф.Луговский, Н.В. Чухраев // – К. ВПЦ «Київ ун-т», 2007. – 244 с.
105. Маргулис И.М. Измерение акустической мощности при исследовании кавитационных процессов [Текст] / И.М. Маргулис // Акустический журнал. 2005. Т.51 С. 698–708.
106. Одинцов М.В. Волноводное распространение ультразвука [Текст] / М.В.Одинцов // Молодой ученый. – 2011 - №4. Т.1 – с.46-49
107. Алексенко А.Г. Современная микросхемотехника [Текст] / А.Г. Алексенко // – М.: Энергия, 1979. – 111 с.
108. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах [Текст] / В.С.Гутников // – Л.: Энергия, 1980. – 400 с.
109. Современные линейные интегральные микросхемы и их применение. – М.: Энергия, 1977. – 273 с.
110. Степаненко И.П. Основы микросхемотехники [Текст] / И.П. Степаненко // М.: Советское радио, 1980. – 224 с.
111. Алексенко А.Г. Микросхемотехника [Текст] / А.Г. Алексенко И.И. Шагурин // Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.
112. Алексенко А.Г. Применение прецизионных аналоговых схем [Текст] / А.Г. Алексенко, Е.А.Коломбет, Г.И.Стародуб // – М.: Советское радио, 1980. – 223 с.
113. Кудряшов Б.П.. Аналоговые интегральные микросхемы. Справочник [Текст] / Б.П.Кудряшов, Ю.В.Назаров, Б.В.Тарабрин, В.А.Ушибиев // М.: Радио и связь., 1981. – 160 с.

114. Горшков Е.И. Радиоэлектронные устройства [Текст] / Е.И.Горшков // М.: Радио и связь., 1984. – 400 с.
115. Конфлин Р. Операционные усилители и линейные интегральные схемы [Текст] / Р. Конфлин, Ф. Дрискол // М.: Мир, 1979. – 360 с.
116. Маклюков М.И. Применение аналогових интегральных мікросхем и вычислительных устройств [Текст] / М.И.Маклюков, В.А.Протопопов // М.: Энергия, 1980. – 160 с.
117. Гнатек Ю.Р. Справочник по цифровым и аналого-цифровым преобразователям [Текст] / Ю.Р.Гнатек //– М.: Радио и связь, 1982. – 552 с.
118. Якубовский С.В. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы [Текст] / С.В. Якубовский, Л.Н.Ниссельсон, В.И.Кулешова // – М.: Радио и связь, 1989. – 496 с.
119. Терещук Р.М. Полупроводниковые приемно–усилительные устройства [Текст] / Р.М.Терещук, К.М.Терещук, С.А.Седов // – К.: Наукова думка, 1982. – 671 с.
120. ДСТУ ГОСТ 33-2003 Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічної в'язкості (ГОСТ 33–2000 (ИСО 3104–94), IDT).
121. ДСТУ ГОСТ 31072:2006 Нафта і нафтопродукти. Метод визначення густини, відносної густини та густини в градусах АРІ ареометром (ГОСТ 31072–2002, IDT) (EN ISO 3675:1998, IDT).
122. ДСТУ 4488:2005. Нафта і нафтопродукти. Методи відбирання проб.
123. Купряков Е.М. Стандартизация и качество промышленной продукции [Текст] / Е.М.Купряков // М.: Высшая школа. – 1991. – 304 с.
124. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М.:ГОСНИТИ. – 1981. – 44с.
125. Малашенков К.А. Экономическое обоснование применения альтернативного топлива, используемого с сельском хозяйстве для машино–

тракторных агрегатов [Текст] / К.А.Малашенков // Автореф. дис. канд. экон. наук. – М.: 2000. – 20 с.

126. Річний звіт про виробничу діяльність ВАТ «Укргарден» Мелітопольського району Запорізької області. с. Садове, Мелітопольський район Запорізька область. – 2016 р. – 111 с.

127. Сотсков Б.С. Основы теории и расчета надежности элементов и устройств автоматики и вычислительной техники [Текст] / Б.С.Сотсков // М.: Высшая школа, 1970. – 271 с.

128. Дружинин В.Г. Теория надежности радиоэлектронных систем в примерах и задачах [Текст] / В.Г.Дружинин // М.: Энергия, 1976. – 448 с.

129. Бородин И.Ф. Практикум по основам автоматики и автоматизации производственных процессов [Текст] / И.Ф.Бородин, Н.И.Кирилин // М.: Колос, 1974. – 256.с.

## **ДОДАТКИ**



## **ДОДАТОК 1**

**Лістинг для побудови графічних залежностей**

## Лістинг для розрахунку параметрів електроакустичної системи в середовищі програми MATLAB

Позначення:

$f$  – частота, Гц  
 $h$  – довжина камери, м;  
 $h_1$  – довжина ярма, м;  
 $h_2$  – довжина активних стержнів пакету, м;  
 $h_3$  – довжина хвилеводу, м;  
 $c$  – швидкість звуку в середовищі навантаження, м/с;  
 $c_1$  – швидкість звуку в матеріалі стрижнів пакету та ярмі, м/с;  
 $c_2$  – швидкість звуку в хвилеводу, м/с;  
 $a$  – коефіцієнт поглинання, Нп,м;  
 $S$  – акустичний опір навантаження, кг,с;  
 $S_1$  – акустичний опір стрижнів пакету, кг,с;  
 $S_3$  – акустичний опір хвилеводу, кг,с;  
 $Z_n$  – опір навантаження, кг,с;  
 $Z_{ns}$  – опір навантаження, приведений до стрижнів пакету, кг,с;  
 $Z_j$  – загальний опір, що приведений до ярма ,кг,с;  
 $Z_{js}$  – загальний опір, що приведений до стрижнів пакету, кг,с;  
 $Z_1$  – власний опір ярма, приведений до стрижнів пакету, кг,с;  
 $Z_2$  – опір стрижнів пакету , кг,с;  
 $Z_3$  – власний опір хвилеводу, приведений до стрижнів пакету, кг,с;  
 $W$  – інтенсивність ультразвуку, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $V$  – коливальна швидкість, м/с;  
 $F$  – сила, Н;  
 $P$  – потужність, Вт.

Лістинг:

Рисунок 2.3. Залежності акустичних опорів ярма, приведених до стрижнів пакету від частоти ультразвуку:

```

c1=5200
f=10000:10:50000;
h1=0.015
S1=42640000*0.0009
k1=2*3.14*f/c1;
Z1=-i*S1*tan(k1*h1);
F1=real(Z1);
F2=imag(Z1);
F3=abs(Z1);
plot(f,F1,f,F2,f,F3)
  
```

Рисунок 2.4. Залежність реактивного опору хвилеводу, приведенного до стрижнів пакету від частоти ультразвуку:

```
f=16000:10:30000;
h3=0.12
S1=42640000*0.0009
S3=47580000*0.0009
c1=5200
c2=6100
k1=2*3.14*f/c1;
k2=2*3.14*f/c2;
Z3=-i*S3.*tan(k2*h3)./(cos(k1*h1)).^2./(1-S3*tan(k2*h3).*tan(k1*h1)./S1)
F2=imag(Z3);
plot(f,F2)
```

Рисунок 2.5. Залежності вхідних акустичних опорів поглинаючого шару рідини від його довжини:

```
h=0:0.001:0.2;
S=1250*860*0.002
f=22000
c=1250
k=2*3.14*f/c;
a=5,75;
g=a-i*k
Z=S*(tanh(g*h));
F1=real(Z);
F2=imag(Z);
F3=abs(Z);
plot(h,F1,h,F2,h,F3)
```

Рисунок 2.6. Залежності вхідних акустичних опорів поглинаючого шару рідини від частоти ультразвуку

```
f=10000:10:25000;
h=0.14;
S=1250*860*0.002
c=1250
k=2*3.14*f/c;
a=5,75;
g=a-i*k
Z=S*(tanh(g*h));
F1=real(Z);
F2=imag(Z);
F3=abs(Z);
```

```
plot(f,F1,f,F2,f,F3)
```

Рисунок 2.7. Залежності загального опору, приведенного до стрижнів пакету від частоти ультразвуку

```
f=24000:10:26000;
h=0.14;
h1=0.015
h2=0.11
h3=0.12
S=1062500*0.0009;
S1=42640000*0.0009
S3=47580000*0.0009
c=1250
c1=5200
c2=6100
k=2*3.14*f/c;
k1=2*3.14*f/c1;
k2=2*3.14*f/c2;
a=5.75;
g=a-i*k
Zj=S*(tanh(g*h)).*((cot(k2*h3)).^2+1)./((cot(k2*h3)).^2-
i*cot(k2*h3).*S.*tanh(g*h)./S3)-i*S3.*tan(k2*h3);
Zjs=Zj./(cos(k1*h1)).^2./(1-i*Zj./S1.*tan(k1*h1))
F1=real(Zjs);
F2=imag(Zjs);
F3=abs(Zjs);
plot(f,F1,f,F2,f,F3)
```

Рисунок 2.8. Залежність активного опору навантаження, приведенного до активних стрижнів пакету від частоти ультразвуку

```
f=0:10:100000;
h=0.14;
h1=0.015
h2=0.11
h3=0.12
S=1062500*0.0009;
S1=42640000*0.0009
S3=47580000*0.0009
c=1250
c1=5200
c2=6100
k=2*3.14*f/c;
k1=2*3.14*f/c1;
```

```

k2=2*3.14*f/c2;
a=5.75;
g=a-i*k
Z3=-i*S3.*tan(k2*h3)./(cos(k1*h1)).^2./(1-S3*tan(k2*h3).*tan(k1*h1)./S1)
Zj=S*(tanh(g*h)).*((cot(k2*h3)).^2+1)./((cot(k2*h3)).^2-
i*cot(k2*h3).*S.*tanh(g*h)./S3)-i*S3.*tan(k2*h3);
Zjs=Zj./(cos(k1*h1)).^2./(1-i*Zj./S1.*tan(k1*h1))
Zns=Zjs-Z3;
F1=real(Zns);
F2=imag(Zns);
F3=abs(Zns);
plot(f,F1)

```

Рисунок 2.9. Залежність опору навантаження, приведенного до активних стрижнів пакету від частоти ультразвуку: 1- активний опір; 2- реактивний опір; 3- повний опір

```

f=20000:10:25000;
h=0.14;
h1=0.015
h2=0.11
h3=0.12
S=1062500*0.0009;
S1=42640000*0.0009
S3=47580000*0.0009
c=1250
c1=5200
c2=6100
k=2*3.14*f/c;
k1=2*3.14*f/c1;
k2=2*3.14*f/c2;
a=5.75;
g=a-i*k
Z3=-i*S3.*tan(k2*h3)./(cos(k1*h1)).^2./(1-S3*tan(k2*h3).*tan(k1*h1)./S1)
Zj=S*(tanh(g*h)).*((cot(k2*h3)).^2+1)./((cot(k2*h3)).^2-
i*cot(k2*h3).*S.*tanh(g*h)./S3)-i*S3.*tan(k2*h3);
Zjs=Zj./(cos(k1*h1)).^2./(1-i*Zj./S1.*tan(k1*h1))
Zns=Zjs-Z3;
F1=real(Zns);
F2=imag(Zns);
F3=abs(Zns);
plot(f,F1,f,F2,f,F3)

```

Рисунок 2.10. Залежність активної сили в стрижнях пакету від частоти ультразвуку при інтенсивності в навантаженні 5 Вт/см<sup>2</sup>

```

W=50000
c=1250
c1=5200
c2=6100
f=15000:10:30000;
h=0.14;
h1=0.015
h2=0.11
h3=0.12
S=1062500*0.0009;
S1=42640000*0.0009
S3=47580000*0.0009
c=1250
c1=5200
c2=6100
k=2*3.14*f/c;
k1=2*3.14*f/c1;
k2=2*3.14*f/c2;
a=5.75;
g=a-i*k
Zn=S*(tanh(g*h));
Z1=-i*S1*tan(k1*h1);
Z2=i*S1*cot(k1*h2/2);
Z3=-i*S3.*tan(k2*h3)/(cos(k1*h1)).^2./(1-S3*tan(k2*h3).*tan(k1*h1)/S1)
Zj=S*(tanh(g*h)).*((cot(k2*h3)).^2+1)/((cot(k2*h3)).^2-
i*cot(k2*h3).*S.*tanh(g*h)/S3)-i*S3.*tan(k2*h3);
Zjs=Zj/(cos(k1*h1)).^2./(1-i*Zj/S1.*tan(k1*h1))
Zns=Zjs-Z3;
Z=Zns+Z1+Z2+Z3;
V=(W*0.0009./abs(Zns)).^0.5
F=V.*Z
F1=real(F);
plot(f,F1)

```

Рисунок 2.11. Залежність сили в стрижнях пакету від частоти ультразвуку при інтенсивності в навантаженні 5 Вт/см<sup>2</sup>

```

W=50000
c=1250
c1=5200
c2=6100
f=22700:10:22900;
h=0.14;
h1=0.015

```

```

h2=0.11
h3=0.12
S=1062500*0.0009;
S1=42640000*0.0009
S3=47580000*0.0009
c=1250
c1=5200
c2=6100
k=2*3.14*f/c;
k1=2*3.14*f/c1;
k2=2*3.14*f/c2;
a=5.75;
g=a-i*k
Zn=S*(tanh(g*h));
Z1=-i*S1*tan(k1*h1);
Z2=i*S1*cot(k1*h2/2);
Z3=-i*S3.*tan(k2*h3)/(cos(k1*h1)).^2./(1-S3*tan(k2*h3).*tan(k1*h1)/S1)
Zj=S*(tanh(g*h)).*((cot(k2*h3)).^2+1)/((cot(k2*h3)).^2-
i*cot(k2*h3).*S.*tanh(g*h)/S3)-i*S3.*tan(k2*h3);
Zjs=Zj/(cos(k1*h1)).^2./(1-i*Zj./S1.*tan(k1*h1))
Zns=Zjs-Z3;
Z=Zns+Z1+Z2+Z3;
V=(W*0.0009./abs(Zns)).^0.5
F=V.*Z
F1=real(F);
F2=imag(F);
F3=abs(F);
plot(f,F1,f,F2,f,F3)

```

Рисунок 2.12. Залежність потужності в шарі навантаження від частоти ультразвуку при силі в стрижнях пакету 180 Н:

```

c=1250
c1=5200
c2=6100
f=20000:10:25000;
h=0.14;
h1=0.015
h2=0.11
h3=0.12
S=1062500*0.0009;
S1=42640000*0.0009
S3=47580000*0.0009
c=1250
c1=5200

```

```

c2=6100
k=2*3.14*f/c;
k1=2*3.14*f/c1;
k2=2*3.14*f/c2;
a=5.75;
g=a-i*k
Zn=S*(tanh(g*h));
Z1=-i*S1*tan(k1*h1);
Z2=i*S1*cot(k1*h2/2);
Z3=-i*S3.*tan(k2*h3)/(cos(k1*h1)).^2./(1-S3*tan(k2*h3).*tan(k1*h1)/S1)
Zj=S*(tanh(g*h)).*((cot(k2*h3)).^2+1)/((cot(k2*h3)).^2-
i*cot(k2*h3).*S.*tanh(g*h)/S3)-i*S3.*tan(k2*h3);
Zjs=Zj/(cos(k1*h1)).^2./(1-i*Zj/S1.*tan(k1*h1))
Zns=Zjs-Z3;
Z=Zns+Z1+Z2+Z3;
V=180./Z
F=V.*Zns
P=F.*conj(V)
P1=real(P);
P2=imag(P);
P3=abs(P);
plot(f,P1,f,P2,f,P3)

```

Рисунок 2.14. Залежність електричної потужності в шарі навантаження від частоти ультразвуку при напрузі 92 В та механо-акустичному к.к.д.=50%

```

c=1250
c1=5200
c2=6100
f=20000:10:25000;
h=0.14;
h1=0.015
h2=0.11
h3=0.12
S=1062500*0.0009;
S1=42640000*0.0009
S3=47580000*0.0009
c=1250
c1=5200
c2=6100
k=2*3.14*f/c;
k1=2*3.14*f/c1;
k2=2*3.14*f/c2;
a=5.75;
g=a-i*k

```



```

Kem=0.257
Zn=S*(tanh(g*h))*Kem^2;
Ze1=-i*S1*tan(k1*h1)*Kem^2;
Ze2=i*S1*cot(k1*h2/2)*Kem^2;
Ze3=-i*S3.*tan(k2*h3)./(cos(k1*h1)).^2./(1-
S3*tan(k2*h3).*tan(k1*h1)./S1)*Kem^2
Zj=S*(tanh(g*h)).*((cot(k2*h3)).^2+1)./((cot(k2*h3)).^2-
i*cot(k2*h3).*S.*tanh(g*h)./S3)-i*S3.*tan(k2*h3);
Zjs=Zj./(cos(k1*h1)).^2./(1-i*Zj./S1.*tan(k1*h1))
Zens=(Zjs-Z3)*Kem^2;
Ze=Zens+Ze1+Ze2+Ze3+real(Zens);
I=92./Ze
U=I.*Zens
P=U.*conj(I)
P1=real(P);
P2=imag(P);
P3=abs(P);
plot(f,P1,f,P2,f,P3)

```

## **ДОДАТОК 2**

**Результати обробки сумішевого біопального ультразвуком**

Таблиця 2.1.

Визначення в'язкості суміші 90% дизельного пального і 10% МЕРО після обробки ультразвуком при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 4,664 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв.		Час обробки 10 хв.		Час обробки 15 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	7,40	4,839	7,44	4,881	7,54	4,986
1	7,11	4,534	7,07	4,426	7,09	4,428
2	6,40	4,208	6,40	4,208	6,27	4,071
3	6,24	4,039	6,21	4,008	6,27	4,071
4	6,21	4,008	6,21	4,008	6,14	3,934
5	6,15	3,945	6,15	3,945	6,14	3,934
6	6,10	3,892	5,58	3,766	6,10	3,892
7	5,58	3,766	5,58	3,766	5,58	3,766
8	5,59	3,777	5,58	3,766	5,59	3,777
9	5,58	3,766	5,58	3,766	5,59	3,777
30	5,59	3,777	5,58	3,766	5,59	3,777
60	5,59	3,777	5,58	3,766	5,59	3,777

Таблиця 2.2.

Визначення в'язкості суміші 80% дизельного пального і 20% МЕРО після обробки ультразвуком при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 5,047 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв.		Час обробки 10 хв.		Час обробки 15 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	7,40	4,839	7,46	4,902	7,54	4,986
1	7,10	4,524	6,54	4,355	7,10	4,524
2	6,41	4,218	6,44	4,250	6,56	4,376
3	6,32	4,124	6,38	4,187	6,41	4,218
4	6,33	4,134	6,41	4,218	6,38	4,187
5	6,36	4,166	6,37	4,176	6,40	4,208
6	6,33	4,134	6,40	4,208	6,32	4,124
7	6,32	4,124	6,42	4,229	6,33	4,134
8	6,32	4,124	6,37	4,176	6,34	4,145
9	6,32	4,124	6,33	4,134	6,33	4,134
30	6,33	4,134	6,37	4,176	6,34	4,145
60	6,32	4,124	6,38	4,187	6,33	4,134

Таблиця 2.3.

Визначення в'язкості суміші 70% дизельного пального і 30% МЕРО після обробки ультразвуком при умові:

$$t_{\text{вразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 5,587 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв.		Час обробки 10 хв.		Час обробки 15 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	7,40	4,839	7,40	4,839	7,53	4,975
1	7,18	4,608	7,23	4,660	7,36	4,797
2	7,08	4,427	7,13	4,555	7,28	4,713
3	6,56	4,376	7,10	4,524	7,15	4,576
4	6,56	4,376	6,57	4,386	7,09	4,428
5	6,50	4,313	6,52	4,334	7,09	4,428
6	6,51	4,324	6,51	4,324	6,56	4,376
7	6,50	4,313	6,50	4,313	6,51	4,324
8	6,51	4,324	6,52	4,334	6,51	4,324
9	6,50	4,313	6,51	4,324	6,52	4,334
30	6,52	4,334	6,51	4,324	6,52	4,334
60	6,51	4,324	6,52	4,334	6,51	4,324

Таблиця 2.4.

Визначення в'язкості суміші 60% дизельного пального і 40% МЕРО після обробки ультразвуком при умові:

$$t_{\text{вразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 6,392 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв.		Час обробки 10 хв.		Час обробки 15 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	7,35	4,787	8,00	5,049	8,21	5,270
1	7,43	4,871	7,43	4,871	7,40	4,839
2	7,35	4,787	7,34	4,776	7,34	4,776
3	7,32	4,755	7,31	4,744	7,31	4,744
4	7,32	4,755	7,34	4,776	7,29	4,723
5	7,31	4,744	7,29	4,723	7,31	4,744
6	7,31	4,744	7,31	4,744	7,29	4,723
7	7,29	4,723	7,31	4,744	7,29	4,723
8	7,30	4,734	7,29	4,723	7,29	4,723
9	7,30	4,734	7,31	4,744	7,31	4,744
30	7,31	4,744	7,30	4,734	7,30	4,734
60	7,29	4,723	7,30	4,734	7,29	4,723

Таблиця 2.5.

Визначення в'язкості суміші 50% дизельного пального і 50% МЕРО після обробки ультразвуком при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 7,004 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв.		Час обробки 10 хв.		Час обробки 15 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	8,12	5,176	8,13	5,186	8,15	5,207
1	8,08	5,058	8,09	5,059	8,10	5,155
2	7,56	5,007	7,56	5,007	8,09	5,059
3	7,50	4,944	7,56	5,007	8,08	5,058
4	7,50	4,944	7,49	4,934	7,56	5,007
5	7,46	4,902	7,47	4,913	7,54	4,986
6	7,47	4,913	7,46	4,902	7,56	5,007
7	7,47	4,913	7,47	4,913	7,54	4,986
8	7,47	4,913	7,47	4,913	7,56	5,007
9	7,47	4,913	7,46	4,902	7,54	4,986
30	7,46	4,902	7,46	4,902	7,56	5,007
60	7,47	4,913	7,47	4,913	7,54	4,986

Таблиця 2.6.

Визначення кінцевої в'язкості сумішевого біопального в залежності від концентрації МЕРО після обробки ультразвуком

Час обробки, хв.	Концентрація МЕРО, %				
	10	20	30	40	50
5	3,777	4,124	4,324	4,723	4,913
10	3,766	4,187	4,334	4,734	4,913
15	3,777	4,134	4,324	4,723	4,986

Таблиця 2.7.

Вимірювання густини дизельного пального, МЕРО і їх сумішей після обробки ультразвуком при умові:  $t = 20^{\circ}\text{C}$ ;  $\rho_{\text{МЕРО}} = 895 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho_{\text{д.п.}} = 840 \text{ кг/м}^3$

Час обробки, хв.	Концентрація МЕРО, %					
	10	20	30	40	50	
до обробки	841	846	852	859	863	
0,1 доба	5	840	844,5	850	858	862
	10	840	844,5	850	858	862
	15	840	844,5	850	858	862
30 діб	5	841	846	852	859	863
	10	841	846	852	859	863
	15	841	846	852	859	863
60 діб	5	841	846	852	859	863
	10	841	846	852	859	863
	15	841	846	852	859	863

Мелітопольське високовольтне електричне мере СІЗП

*№ 12/11/19* Протокол № 14  
*20.01.16*

Испытание масла - сокращенное

Масло взято из Диз. палево № \_\_\_\_\_

Тип \_\_\_\_\_

Напряжение \_\_\_\_\_

Мощность \_\_\_\_\_

Проба доставлена \_\_\_\_\_

Время отбора пробы 19.01.16

Испытания 20.01.16

**РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ**

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влагосодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэл. потерь при 90°C 3,5%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: *Шенечная Т.И.* Шенечная Т.И.  
Начальник лаборатории: *Яременко С.Ю.* Яременко С.Ю.

Мелітопольське високовольтне електричне мере СІЗП

*№ 12/11/19* Протокол № 18  
*20.01.16*

Испытание масла - сокращенное

Масло взято из МЕРО (3 контрольные) № \_\_\_\_\_

Тип \_\_\_\_\_

Напряжение \_\_\_\_\_

Мощность \_\_\_\_\_

Проба доставлена \_\_\_\_\_

Время отбора пробы 19.01.16

Испытания 20.01.16

**РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ**

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влагосодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэл. потерь при 90°C 106,64%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: *Шенечная Т.И.* Шенечная Т.И.  
Начальник лаборатории: *Яременко С.Ю.* Яременко С.Ю.

Мелітопольське високовольтне електричне мере СІЗП

*№ 4/11/19* Протокол № 4  
*20.01.16*

Испытание масла - сокращенное

Масло взято из Бюджетное КИТ 10% № \_\_\_\_\_

Тип \_\_\_\_\_

Напряжение \_\_\_\_\_

Мощность \_\_\_\_\_

Проба доставлена \_\_\_\_\_

Время отбора пробы 19.01.16

Испытания 20.01.16

**РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ**

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влагосодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэл. потерь при 90°C 6,98%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: *Шенечная Т.И.* Шенечная Т.И.  
Начальник лаборатории: *Яременко С.Ю.* Яременко С.Ю.

Мелітопольське високовольтне електричне мере СІЗП

*№ 4/11/19* Протокол № 8  
*20.01.16*

Испытание масла - сокращенное

Масло взято из Бюджетное КИТ 20% № \_\_\_\_\_

Тип \_\_\_\_\_

Напряжение \_\_\_\_\_

Мощность \_\_\_\_\_

Проба доставлена \_\_\_\_\_

Время отбора пробы 19.01.16

Испытания 20.01.16

**РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ**

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влагосодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэл. потерь при 90°C 13,10%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: *Шенечная Т.И.* Шенечная Т.И.  
Начальник лаборатории: *Яременко С.Ю.* Яременко С.Ю.

Рис.2.1. Протоколи вимірювань тангенса кута діелектричних втрат (tgδ) в дизельному пальному, МЕРО і контрольних необроблених сумішах 1 і 2

Мелитопольские высоковольтные электрические сети СИЗП

Мелитопольские высоковольтные электрические сети СИЗП

Испытание масла - сокращенное  
 №х. № 4/19 Протокол № 9  
 20.01.16  
 Масло взято из Бюджета КМ 30%  
 Тип \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
 Напряжение \_\_\_\_\_  
 Мощность \_\_\_\_\_  
 Проба доставлена \_\_\_\_\_  
 Время отбора пробы 19.01.16  
 Испытания 20.01.16

Испытание масла - сокращенное  
 №х. № 4/19 Протокол № 10  
 20.01.16  
 Масло взято из Бюджета КМ 40%  
 Тип \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
 Напряжение \_\_\_\_\_  
 Мощность \_\_\_\_\_  
 Проба доставлена \_\_\_\_\_  
 Время отбора пробы 19.01.16  
 Испытания 20.01.16

**РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ**

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влажесодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэл. потерь при 90°C 20,61%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: Шекофф Пшеничная Т.И.  
 Начальник лаборатории: Яремко Яремко С.Ю.

**РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ**

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влажесодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэл. потерь при 90°C 19,262%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: Шекофф Пшеничная Т.И.  
 Начальник лаборатории: Яремко Яремко С.Ю.

Мелитопольские высоковольтные электрические сети СИЗП

Мелитопольские высоковольтные электрические сети СИЗП

Испытание масла - сокращенное  
 №х. № 4/19 Протокол № 11  
 20.01.16  
 Масло взято из Бюджета КМ 50%  
 Тип \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
 Напряжение \_\_\_\_\_  
 Мощность \_\_\_\_\_  
 Проба доставлена \_\_\_\_\_  
 Время отбора пробы 19.01.16  
 Испытания 20.01.16

Испытание масла - сокращенное  
 №х. № 4/19 Протокол № 2  
 20.01.16  
 Масло взято из Бюджета 43,10%  
 Тип \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
 Напряжение \_\_\_\_\_  
 Мощность \_\_\_\_\_  
 Проба доставлена \_\_\_\_\_  
 Время отбора пробы 19.01.16  
 Испытания 20.01.16

**РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ**

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влажесодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэл. потерь при 90°C 35,899%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: Шекофф Пшеничная Т.И.  
 Начальник лаборатории: Яремко Яремко С.Ю.

**РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ**

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влажесодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэл. потерь при 90°C 5,144%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: Шекофф Пшеничная Т.И.  
 Начальник лаборатории: Яремко Яремко С.Ю.

Рис.2.2. Протоколы вимірювань тангенса кута діелектричних втрат (tgδ) в контрольних необроблених сумішах 3, 4 і 5 і обробленій ультразвуком суміші 1

Мелітопольське високовольтне електричне сіті СІЗП

Мелітопольське високовольтне електричне сіті СІЗП

Чех. № 4/19 Протокол № 3  
20.01.16

Чех. № 2/10 Протокол № 4  
20.01.16

Мелітопольський високвольтний електричний мережі  
**ХІМІЧНА ЛАБОРАТОРІЯ**

Испытание масла - сокращенное  
Масло взято из Богдана УЗ 20%  
Тип \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
Напряжение \_\_\_\_\_  
Мощность \_\_\_\_\_  
Проба доставлена \_\_\_\_\_  
Время отбора пробы 19.01.16  
Испытания 20.01.16

Мелітопольський високвольтний електричний мережі  
**ХІМІЧНА ЛАБОРАТОРІЯ**

Испытание масла - сокращенное  
Масло взято из Богдана УЗ 30%  
Тип \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
Напряжение \_\_\_\_\_  
Мощность \_\_\_\_\_  
Проба доставлена \_\_\_\_\_  
Время отбора пробы 19.01.16  
Испытания 20.01.16

РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ

РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влагосодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэ. потерь при 90°C 10,435%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влагосодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэ. потерь при 90°C 13,874%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: Шенечня Т.И.  
Начальник лаборатории: Яремко С.Ю.

Инженер-лаборант: Шенечня Т.И.  
Начальник лаборатории: Яремко С.Ю.

Мелітопольське високовольтне електричне сіті СІЗП

Мелітопольське високовольтне електричне сіті СІЗП

Чех. № 4/19 Протокол № 5  
20.01.16

Чех. № 4/19 Протокол № 6  
20.01.16

Мелітопольський високвольтний електричний мережі  
**ХІМІЧНА ЛАБОРАТОРІЯ**

Испытание масла - сокращенное  
Масло взято из Богдана УЗ 40%  
Тип \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
Напряжение \_\_\_\_\_  
Мощность \_\_\_\_\_  
Проба доставлена \_\_\_\_\_  
Время отбора пробы 19.01.16  
Испытания 20.01.16

Мелітопольський високвольтний електричний мережі  
**ХІМІЧНА ЛАБОРАТОРІЯ**

Испытание масла - сокращенное  
Масло взято из Богдана УЗ 50%  
Тип \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
Напряжение \_\_\_\_\_  
Мощность \_\_\_\_\_  
Проба доставлена \_\_\_\_\_  
Время отбора пробы 19.01.16  
Испытания 20.01.16

РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ

РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влагосодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэ. потерь при 90°C 18,406%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влагосодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэ. потерь при 90°C 29,404%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: Шенечня Т.И.  
Начальник лаборатории: Яремко С.Ю.

Инженер-лаборант: Шенечня Т.И.  
Начальник лаборатории: Яремко С.Ю.

Рис.2.3. Протоколи вимірювань тангенса кута діелектричних втрат (tgδ) в оброблених ультразвуком сумішах 2, 3, 4 і 5



Таблиця 2.8.

Визначення в'язкості суміші 90% дизельного пального і 10% МЕРО після обробки ультразвуком при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 4,664 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 20 с.		Час обробки 1 хв.		Час обробки 3 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	7,37	4,807	7,37	4,807	7,37	4,807
1	7,32	4,755	7,18	4,607	7,03	4,450
2	7,33	4,765	7,08	4,502	6,49	4,302
3	7,27	4,702	7,11	4,534	6,42	4,229
4	7,29	4,723	7,06	4,481	6,47	4,281
5	7,22	4,650	7,06	4,481	6,35	4,155
6	7,29	4,723	7,03	4,449	6,40	4,208
7	7,22	4,650	7,06	4,481	6,42	4,229
8	7,29	4,723	7,03	4,449	6,40	4,208
9	7,22	4,650	7,06	4,481	6,42	4,229
30	7,27	4,702	7,03	4,449	6,42	4,229
60	7,22	4,650	7,03	4,449	6,40	4,208

Таблиця 2.9.

Визначення в'язкості суміші 80% дизельного пального і 20% МЕРО після обробки ультразвуком при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 5,047 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 20 с.		Час обробки 1 хв.		Час обробки 3 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	8,00	5,050	7,54	4,986	7,54	4,986
1	7,58	5,030	7,54	4,986	7,35	4,786
2	7,54	4,986	7,39	4,828	7,18	4,607
3	7,49	4,933	7,32	4,755	7,20	4,628
4	7,49	4,933	7,22	4,650	7,03	4,450
5	7,51	4,954	7,27	4,702	7,03	4,450
6	7,45	4,891	7,18	4,607	6,49	4,302
7	7,46	4,902	7,22	4,650	6,54	4,355
8	7,46	4,902	7,22	4,650	6,49	4,302
9	7,49	4,933	7,22	4,650	6,54	4,355
30	7,45	4,891	7,27	4,702	6,54	4,355
60	7,46	4,902	7,18	4,607	6,49	4,302

Таблиця 2.10.

Визначення в'язкості суміші 70% дизельного пального і 30% МЕРО після обробки ультразвуком при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 5,587 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 20с.		Час обробки 1 хв.		Час обробки 3 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	8,43	5,501	8,41	5,480	8,19	5,250
1	8,41	5,480	8,36	5,428	8,15	5,207
2	8,42	5,491	8,24	5,302	8,00	5,050
3	8,43	5,501	8,24	5,302	8,00	5,050
4	8,45	5,533	8,18	5,238	7,41	4,850
5	8,42	5,491	8,15	5,207	7,39	4,828
6	8,42	5,491	8,19	5,250	7,22	4,650
7	8,43	5,501	8,05	5,102	4,27	4,702
8	8,42	5,491	8,00	5,050	7,22	4,650
9	8,42	5,491	8,05	5,102	4,27	4,702
30	8,43	5,501	8,00	5,050	7,22	4,650
60	8,43	5,501	8,05	5,102	4,27	4,702

Таблиця 2.11.

Характеристики традиційного дизельного пального і МЕРО

Параметри	Дизельне пальне з нафти	МЕРО
Щільність при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	826	877
Поверхневий натяг 20 °С, Н/м	27,1×10 <sup>-3</sup>	30,7×10 <sup>-3</sup>
Кінематична в'язкість при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	3,83	8
Цетанове число, не менше	45	48
Температура, °С:		
спалахування, не менше	60	56
застигання, не більше	-10	-8
Вміст, % :		
сірка	0,2	0,02
зола	0,02	0,02
вода	0	0
Коксування 10% – го залишку, % не більше	0,5	0,3
Іспит на мідній пластині	витримує	витримує
Кислотне число, мг КОН/г	0,06	0,5
Сумарний вміст гліцерину, %	–	0,3
Нижня теплота згорання, МДж/кг	42,5	37,5

### **ДОДАТОК 3**

**Результати обробки сумішевого біопального НВЧ електромагнітним  
полем**

Таблиця 3.1.

Визначення в'язкості суміші 90% дизельного пального і 10% МЕРО після обробки НВЧ електромагнітним полем при умові:

$$t_{\text{вразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 4,664 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв.		Час обробки 10 хв.		Час обробки 15 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	7,48	4,923	7,56	5,007	8,35	5,417
1	7,37	4,807	7,53	4,976	8,28	5,344
2	7,33	4,765	7,47	4,913	8,31	5,376
3	7,27	4,702	7,44	4,881	8,25	5,312
4	7,18	4,608	7,39	4,829	8,19	5,249
5	7,15	4,576	7,41	4,849	8,21	5,271
6	7,11	4,534	7,35	4,787	8,10	5,155
7	7,09	4,427	7,29	4,723	8,17	5,228
8	7,07	4,425	7,27	4,702	8,12	5,176
9	7,05	4,423	7,29	4,723	8,10	5,155
30	7,05	4,420	7,28	4,713	8,10	5,155
60	7,05	4,420	7,29	4,723	8,10	5,155

Таблиця 3.2.

Визначення в'язкості суміші 80% дизельного пального і 20% МЕРО після обробки НВЧ електромагнітним полем при умові:

$$t_{\text{вразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 5,047 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв.		Час обробки 10 хв.		Час обробки 15 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	8,10	5,154	8,25	5,312	9,29	5,985
1	8,00	5,049	8,20	5,260	9,21	5,901
2	8,02	5,052	8,20	5,260	9,21	5,901
3	7,50	4,944	8,16	5,180	9,16	5,849
4	7,46	4,902	8,17	5,228	9,19	5,880
5	7,41	4,849	8,10	5,154	9,10	5,786
6	7,38	4,818	8,16	5,218	9,15	5,838
7	7,37	4,807	8,00	5,049	9,11	5,796
8	7,36	4,797	7,59	5,039	9,13	5,817
9	7,36	4,797	8,09	5,059	9,11	5,796
30	7,36	4,797	8,05	5,055	9,11	5,796
60	7,36	4,797	8,08	5,058	9,11	5,796

Таблиця 3.3.

Визначення в'язкості суміші 70% дизельного пального і 30% МЕРО після обробки НВЧ електромагнітним полем при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 5,587 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв.		Час обробки 10 хв.		Час обробки 15 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	8,50	5,618	9,42	6,122	10,49	6,827
1	8,48	5,554	9,37	6,070	10,45	6,785
2	8,41	5,481	9,30	5,996	10,39	6,722
3	8,36	5,428	9,20	5,891	10,34	6,669
4	8,30	5,365	9,19	5,880	10,29	6,617
5	8,24	5,302	9,16	5,849	10,23	6,554
6	8,19	5,249	9,12	5,807	10,18	6,501
7	8,20	5,260	9,10	5,786	10,13	6,448
8	8,14	5,196	9,13	5,817	10,10	6,417
9	8,15	5,207	9,11	5,796	10,10	6,417
30	8,14	5,196	9,12	5,807	10,10	6,417
60	8,15	5,207	9,12	5,807	10,10	6,417

Таблиця 3.4.

Визначення в'язкості суміші 60% дизельного пального і 40% МЕРО після обробки НВЧ електромагнітним полем при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 6,392 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв.		Час обробки 10 хв.		Час обробки 15 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	9,14	5,828	10,10	6,417	11,17	7,122
1	9,09	5,690	10,00	6,312	11,10	7,048
2	9,00	5,680	9,58	6,291	10,59	6,933
3	8,53	5,607	9,51	6,217	10,56	6,901
4	8,53	5,607	9,45	6,154	10,53	6,869
5	8,48	5,554	9,40	6,101	10,49	6,827
6	8,41	5,481	9,35	6,049	10,45	6,785
7	8,39	5,459	9,30	5,996	10,37	6,701
8	8,40	5,470	9,29	5,985	10,34	6,669
9	8,39	5,459	9,32	6,017	10,32	6,648
30	8,40	5,470	9,31	6,00	10,34	6,669
60	8,39	5,459	9,30	5,996	10,32	6,648

Таблиця 3.5.

Визначення в'язкості суміші 50% дизельного пального і 50% МЕРО після обробки НВЧ електромагнітним полем при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 7,004 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв.		Час обробки 10 хв.		Час обробки 15 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	9,52	6,227	10,35	6,680	12,00	7,574
1	9,47	6,175	10,30	6,627	11,53	7,501
2	9,41	6,112	10,25	6,575	11,47	7,437
3	9,33	6,027	10,20	6,522	11,41	7,374
4	9,26	5,954	10,15	6,469	11,36	7,322
5	9,21	5,901	10,10	6,417	11,31	7,269
6	9,16	5,849	10,10	6,417	11,25	7,206
7	9,11	5,796	10,09	6,321	11,20	7,153
8	9,02	5,682	9,59	6,301	11,14	7,090
9	9,05	5,686	9,58	6,291	11,10	7,048
30	9,09	5,690	10,02	6,314	11,11	7,058
60	9,05	5,686	9,59	6,301	11,10	7,048

Таблиця 3.6.

Визначення кінцевої в'язкості сумішевого біопального в залежності від концентрації МЕРО після обробки НВЧ електромагнітним полем

Час обробки, хв.	Концентрація МЕРО, %				
	10	20	30	40	50
5	4,660	4,955	5,207	5,459	5,686
10	4,723	5,058	5,807	5,996	6,301
15	5,155	5,796	6,417	6,648	7,048

Таблиця 3.7.

Температура нагрівання сумішей дизельного пального і МЕРО в залежності від часу обробки НВЧ електромагнітним полем

Час обробки, хв.	Концентрація МЕРО, %				
	10	20	30	40	50
5	82	84	92	97	98
10	121	130	146	148	149
15	152	155	170	171	172

Вимірювання густини дизельного пального, МЕРО і їх сумішей при умові:

$$t = 20^{\circ}\text{C}; \rho_{\text{меро}} = 895 \text{ кг / м}^3; \rho_{\text{д.п.}} = 840 \text{ кг / м}^3.$$

Час обробки, хв		Концентрація МЕРО, %				
		10	20	30	40	50
до обробки		841	846	852	859	863
0,1 доба	5	840	845	850	858	862
	10	840	845	850	858	862
	15	840	845	851	859	862
30 діб	5	841	846	851	859	862
	10	843	848	852	859	863
	15	845	849	853	860	863
60 діб	5	841	846	851	859	863
	10	843	848	852	859	863
	15	845	849	854	860	863

Мелітопольське високовольтне електричне сети СІЗП

Мелітопольське високовольтне електричне сети СІЗП

Вех. № 14/19 Протокол № 12  
20.01.16

Вех. № 14/19 Протокол № 13  
20.01.16

Испытание масла - сокращенное  
Масло взято из Будивеля СВЧ 10%  
Тип \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
Напряжение \_\_\_\_\_  
Мощность \_\_\_\_\_  
Проба доставлена \_\_\_\_\_  
Время отбора пробы: 19.01.16  
Испытания: 20.01.16

Испытание масла - сокращенное  
Масло взято из Будивеля СВЧ 20%  
Тип \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
Напряжение \_\_\_\_\_  
Мощность \_\_\_\_\_  
Проба доставлена \_\_\_\_\_  
Время отбора пробы: 19.01.16  
Испытания: 20.01.16

РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ

РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ

1. Температура вспышки \_\_\_\_\_
  2. Механические примеси \_\_\_\_\_
  3. Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
  4. Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
  5. Содержание воды \_\_\_\_\_
  6. Влагосодержание \_\_\_\_\_
  7. Тангенс угла диэл. потерь при 90°C: 5,227%
  8. Пробивное напряжение \_\_\_\_\_
- Заключение \_\_\_\_\_

1. Температура вспышки \_\_\_\_\_
  2. Механические примеси \_\_\_\_\_
  3. Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
  4. Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
  5. Содержание воды \_\_\_\_\_
  6. Влагосодержание \_\_\_\_\_
  7. Тангенс угла диэл. потерь при 90°C: 4,758%
  8. Пробивное напряжение \_\_\_\_\_
- Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: Шенявичая Т.И.  
Начальник лаборатории: Яременко С.Ю.

Инженер-лаборант: Шенявичая Т.И.  
Начальник лаборатории: Яременко С.Ю.

Мелітопольське високовольтне електричне сети СІЗП

Мелітопольське високовольтне електричне сети СІЗП

Вех. № 14/19 Протокол № 14  
20.01.16

Вех. № 14/19 Протокол № 15  
20.01.16

Испытание масла - сокращенное  
Масло взято из Будивеля СВЧ 30%  
Тип \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
Напряжение \_\_\_\_\_  
Мощность \_\_\_\_\_  
Проба доставлена \_\_\_\_\_  
Время отбора пробы: 19.01.16  
Испытания: 20.01.16

Испытание масла - сокращенное  
Масло взято из Будивеля СВЧ 40%  
Тип \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
Напряжение \_\_\_\_\_  
Мощность \_\_\_\_\_  
Проба доставлена \_\_\_\_\_  
Время отбора пробы: 19.01.16  
Испытания: 20.01.16

РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ

РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ

1. Температура вспышки \_\_\_\_\_
  2. Механические примеси \_\_\_\_\_
  3. Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
  4. Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
  5. Содержание воды \_\_\_\_\_
  6. Влагосодержание \_\_\_\_\_
  7. Тангенс угла диэл. потерь при 90°C: 9,423%
  8. Пробивное напряжение \_\_\_\_\_
- Заключение \_\_\_\_\_

1. Температура вспышки \_\_\_\_\_
  2. Механические примеси \_\_\_\_\_
  3. Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
  4. Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
  5. Содержание воды \_\_\_\_\_
  6. Влагосодержание \_\_\_\_\_
  7. Тангенс угла диэл. потерь при 90°C: 12,425%
  8. Пробивное напряжение \_\_\_\_\_
- Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: Шенявичая Т.И.  
Начальник лаборатории: Яременко С.Ю.

Инженер-лаборант: Шенявичая Т.И.  
Начальник лаборатории: Яременко С.Ю.

Рис. 3.1. Протоколы вимірювань тангенса кута діелектричних втрат (tgδ) в сумішах 1, 2, 3 і 4 оброблених НВЧ електромагнітним полем



Малитоволісні високочастотні електричні сеті СІЗП

Чех. № 41/19 Протокол № 16  
20.01.16

Испытание масла – сокращенное

Масло взято из трансформатора СВЧ 50%

Дат \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Напряжение \_\_\_\_\_

Мощность \_\_\_\_\_

Проба доставлена \_\_\_\_\_

Время отбора пробы 19.01.16

Испытания 20.01.16

**РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ**

1. Температура вспышки \_\_\_\_\_
2. Механические примеси \_\_\_\_\_
3. Кислое число в мг КОН \_\_\_\_\_
4. Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
5. Содержание воды \_\_\_\_\_
6. Влагосодержание \_\_\_\_\_
7. Тангенс угла диэлектрических потерь при 90°C 14, 231%
8. Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: Пшеничная Т.И.

Начальник лаборатории: Яременко С.Ю.

Рис. 3.2. Протокол вимірювання тангенса кута діелектричних втрат ( $\text{tg}\delta$ ) в суміші 5 оброблених НВЧ електромагнітним полем

## **ДОДАТОК 4**

**Результати обробки сумішевого біопального в гомогенізаторі**

Таблиця 4.1.

Визначення в'язкості суміші 90% дизельного пального і 10% МЕРО після його обробки в гомогенізаторі при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп сер.}} = 4,664 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв.		Час обробки 10 хв.		Час обробки 15 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	7,48	4,923	7,59	5,039	8,00	5,049
1	7,26	4,692	7,41	4,849	7,46	4,902
2	7,24	4,671	7,36	4,797	7,40	4,839
3	7,22	4,649	7,27	4,702	7,35	4,786
4	7,24	4,671	7,27	4,702	7,29	4,723
5	7,23	4,660	7,25	4,681	7,26	4,692
6	7,24	4,671	7,26	4,692	7,29	4,723
7	7,22	4,649	7,27	4,702	7,26	4,692
8	7,23	4,660	7,26	4,692	7,26	4,692
9	7,24	4,671	7,26	4,692	7,27	4,702
30	7,22	4,649	7,27	4,702	7,26	4,692
60	7,23	4,660	7,26	4,692	7,26	4,692

Таблиця 4.2.

Визначення в'язкості суміші 80% дизельного пального і 20% МЕРО після обробки його в гомогенізаторі при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп сер.}} = 5,047 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв.		Час обробки 10 хв.		Час обробки 15 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	8,33	5,397	8,34	5,407	8,43	5,501
1	8,20	5,260	8,29	5,354	8,38	5,449
2	8,10	5,154	8,21	5,270	8,33	5,396
3	8,07	5,056	8,15	5,207	8,28	5,344
4	8,05	5,054	8,10	5,154	8,24	5,302
5	8,03	5,052	8,09	5,059	8,20	5,260
6	8,05	5,054	8,11	5,165	8,18	5,238
7	8,03	5,052	8,10	5,154	8,16	5,217
8	8,04	5,053	8,11	5,165	8,13	5,186
9	8,04	5,053	8,10	5,154	8,14	5,196
30	8,04	5,053	8,11	5,165	8,12	5,175
60	8,04	5,053	8,10	5,154	8,13	5,186

Таблиця 4.3.

Визначення в'язкості суміші 70% дизельного пального і 30% МЕРО після обробки гомогенізатором при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 5,587 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв.		Час обробки 10 хв.		Час обробки 15 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	9,38	6,08	9,45	6,154	10,27	6,596
1	9,10	5,786	9,39	6,091	10,16	6,480
2	9,00	5,681	9,30	5,996	10,11	6,427
3	8,58	5,659	9,21	5,901	9,59	6,301
4	8,56	5,638	9,16	5,849	9,50	6,206
5	8,53	5,607	9,10	5,786	9,45	6,154
6	8,50	5,575	8,58	5,659	9,39	6,091
7	8,52	5,596	8,55	5,628	9,36	6,059
8	8,51	5,586	8,54	5,617	9,30	5,996
9	8,52	5,596	8,55	5,628	9,25	5,943
30	8,50	5,575	8,55	5,628	9,24	5,933
60	8,51	5,586	8,54	5,617	9,25	5,943

Таблиця 4.4.

Визначення в'язкості суміші 60% дизельного палива і 40% МЕРО після обробки гомогенізатором при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 6,392 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв.		Час обробки 10 хв.		Час обробки 15 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	10,40	6,732	11,15	7,101	11,25	7,206
1	10,35	6,680	10,50	6,838	11,15	7,101
2	10,30	6,627	10,41	6,743	10,59	6,932
3	10,26	6,585	10,32	6,648	10,54	6,880
4	10,20	6,522	10,26	6,585	10,49	6,827
5	10,15	6,469	10,20	6,522	10,44	6,774
6	10,10	6,417	10,15	6,469	10,39	6,722
7	10,09	6,316	10,13	6,448	10,34	6,669
8	10,10	6,417	10,11	6,427	10,29	6,617
9	10,08	6,320	10,10	6,417	10,24	6,564
30	10,09	6,316	10,11	6,427	10,25	6,575
60	10,09	6,316	10,10	6,417	10,24	6,564

Таблиця 4.5.

Визначення в'язкості суміші 50% дизельного палива і 50% МЕРО після обробки гомогенізатором при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 7,004 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв.		Час обробки 10 хв.		Час обробки 15 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	11,34	7,301	11,59	7,563	12,12	7,700
1	11,29	7,248	11,46	7,427	11,57	7,542
2	11,25	7,206	11,37	7,332	11,52	7,490
3	11,24	7,195	11,29	7,248	11,47	7,437
4	11,20	7,153	11,25	7,206	11,40	7,364
5	11,16	7,111	11,23	7,185	11,35	7,311
6	11,11	7,058	11,20	7,153	11,29	7,248
7	11,10	7,048	11,18	7,132	11,26	7,216
8	11,11	7,058	11,15	7,101	11,21	7,164
9	11,10	7,048	11,16	7,111	11,22	7,174
30	11,11	7,058	11,15	7,101	11,20	7,153
60	11,10	7,048	11,16	7,111	11,21	7,164

Таблиця 4.6.

Визначення кінцевої в'язкості сумішевого біопального в залежності від концентрації МЕРО після обробки в гомогенізаторі

Час обробки, хв.	Концентрація МЕРО, %				
	10	20	30	40	50
5	4,660	5,053	5,586	6,316	7,048
10	4,692	5,154	5,617	6,417	7,111
15	4,212	5,186	5,943	6,564	7,164

Таблиця 4.7.

Температура нагрівання сумішей дизельного пального і МЕРО в залежності від часу обробки в гомогенізаторі

Час обробки, хв.	Концентрація МЕРО, %				
	10	20	30	40	50
5	46	48	50	52,5	54
10	66	68	70	72	74
15	79	81	83	85	87

Таблиця 4.8.

Вимірювання густини дизельного пального, МЕРО і їх сумішей після обробки в гомогенізаторі при умові:  $t = 20^{\circ}\text{C}$ ;  $\rho_{\text{МЕРО}} = 895 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho_{\text{д.п.}} = 840 \text{ кг/м}^3$

Час обробки, хв.		Концентрація МЕРО, %				
		10	20	30	40	50
до обробки		841	846	852	859	863
0,1 доба	5	840	845	850	858	862
	10	840	845	850	858	862
	15	840	846	851	859	863
30 діб	5	841	846	850	859	860
	10	842	847	852	861	861
	15	841	846	852	859	860
60 діб	5	841	846	852	860	863
	10	842	847	852	861	863
	15	841	846	852	860	863

Таблиця 4.9.

Тангенс кута діелектричних втрат дизельного пального, МЕРО і їх сумішей в залежності від концентрації МЕРО в біопальному при умові:

$$\text{tg}_{\text{д.п.}} = 3,5; \text{tg}_{\text{МЕРО}} = 106,64$$

Показники	Концентрація МЕРО, %				
	10	20	30	40	50
Контрольні проби	6,981	13,155	20,611	29,262	35,899
Проби оброблені ультразвуком	5,147	10,435	13,814	18,706	19,704
Різниця тангенса кута діелектричних втрат, %	26,27	20,67	32,98	36,07	45,11
Проби оброблені НВЧ модулем	5,221	7,158	9,723	12,485	14,737
Різниця тангенса кута діелектричних втрат, %	25,21	45,58	52,82	57,33	58,94
Проби оброблені в гомогенізаторі	11,246	17,745	24,433	42,417	50,288
Різниця тангенса кута діелектричних втрат, %	37,92	25,86	15,64	30,93	28,61

Цех №1/19 Протокол № 19  
04.02.16

Испытание масла - сокращенное  
Масло взято из гомогенизатор 10% № \_\_\_\_\_

Испытание: \_\_\_\_\_  
Вязкость: \_\_\_\_\_  
Содержание воды: \_\_\_\_\_  
Содержание влаги: \_\_\_\_\_  
Дата отбора пробы: \_\_\_\_\_  
Испытания: 04.02.16

**РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ**

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влагосодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэ. потерь при 90°C 11, 246%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: Шевчук Пшеничная Т.И.  
Начальник лаборатории: Яремченко С.Ю.

Цех №1/19 Протокол № 20  
04.02.16

Испытание масла - сокращенное  
Масло взято из гомогенизатор 20% № \_\_\_\_\_

Испытание: \_\_\_\_\_  
Вязкость: \_\_\_\_\_  
Содержание воды: \_\_\_\_\_  
Содержание влаги: \_\_\_\_\_  
Дата отбора пробы: \_\_\_\_\_  
Испытания: 04.02.16

**РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ**

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влагосодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэ. потерь при 90°C 17, 445%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: Шевчук Пшеничная Т.И.  
Начальник лаборатории: Яремченко С.Ю.

Цех №1/19 Протокол № 21  
04.02.16

Испытание масла - сокращенное  
Масло взято из гомогенизатор 30% № \_\_\_\_\_

Испытание: \_\_\_\_\_  
Вязкость: \_\_\_\_\_  
Содержание воды: \_\_\_\_\_  
Содержание влаги: \_\_\_\_\_  
Дата отбора пробы: \_\_\_\_\_  
Испытания: 04.02.16

**РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ**

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влагосодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэ. потерь при 90°C 24, 433%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: Шевчук Пшеничная Т.И.  
Начальник лаборатории: Яремченко С.Ю.

Цех №1/19 Протокол № 22  
04.02.16

Испытание масла - сокращенное  
Масло взято из гомогенизатор 40% № \_\_\_\_\_

Испытание: \_\_\_\_\_  
Вязкость: \_\_\_\_\_  
Содержание воды: \_\_\_\_\_  
Содержание влаги: \_\_\_\_\_  
Дата отбора пробы: \_\_\_\_\_  
Испытания: 04.02.16

**РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ**

- Температура вспышки \_\_\_\_\_
- Механические примеси \_\_\_\_\_
- Кислотное число в мг КОН \_\_\_\_\_
- Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- Содержание воды \_\_\_\_\_
- Влагосодержание \_\_\_\_\_
- Тангенс угла диэ. потерь при 90°C 42, 418%
- Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: Шевчук Пшеничная Т.И.  
Начальник лаборатории: Яремченко С.Ю.

Рис. 4.1. Протоколи вимірювання тангенса кута діелектричних втрат (tgδ) в сумішах 1, 2, 3 і 4 оброблених в гомогенізаторі

Мелитопольские высоковольтные электрические сети СИЗП

Щек. № 11/19 Протокол № 28  
04.02.16

Испытание масла – сокращенное

Гомогенизатор 50%

ХІМІЧНА ЛАБОРАТОРІЯ  
Мелітопольське підприємство електричних мереж

№ \_\_\_\_\_  
Напряженіе \_\_\_\_\_  
Властивість \_\_\_\_\_  
Кількість \_\_\_\_\_  
Дата доставки \_\_\_\_\_  
Дата отбора пробы \_\_\_\_\_  
Место отбора \_\_\_\_\_

РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЯ

- 1. Температура внешней \_\_\_\_\_
- 2. Механические примеси \_\_\_\_\_
- 3. Кислое число в мг КОН \_\_\_\_\_
- 4. Минеральные кислоты и щелочи \_\_\_\_\_
- 5. Содержание воды \_\_\_\_\_
- 6. Влагосодержание \_\_\_\_\_
- 7. Тангенс угла дэвл. потерь при 90°C 50,288%
- 8. Пробивное напряжение \_\_\_\_\_

Заключение \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Инженер-лаборант: Пшеничная Т.И.  
Начальник лаборатории: Яременко С.Ю.

Рис. 4.2. Протоколи вимірювання тангенса кута діелектричних втрат (tgδ) в суміші 5 обробленій в гомогенізаторі



## **ДОДАТОК 5**

**Результати обробки сумішевого біопального за допомогою сумісного впливу  
ультразвуку і НВЧ електромагнітного поля**

Таблиця 5.1.

Визначення в'язкості суміші 90% дизельного пального і 10% МЕРО після обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп сер.}} = 4,664 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 1 хв.		Час обробки 3 хв.		Час обробки 5 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	7,440	4,607	7,20	4,628	7,20	4,628
1	7,070	4,407	6,49	4,302	6,40	4,208
2	6,400	4,302	6,39	4,197	6,24	4,039
3	6,210	4,302	6,23	4,029	6,10	3,892
4	6,210	4,323	6,25	4,050	5,59	3,777
5	6,150	4,25	6,11	3,902	5,59	3,777
6	5,580	4,208	6,21	4,008	5,55	3,734
7	5,580	4,281	6,11	3,902	5,45	3,629
8	5,580	4,25	6,21	4,008	5,40	3,580
9	5,580	4,208	6,11	3,902	5,45	3,629
30	5,580	4,281	6,21	4,008	5,42	3,600
60	5,580	4,25	6,11	3,902	5,42	3,600

Таблиця 5.2.

Визначення в'язкості суміші 80% дизельного пального і 20% МЕРО після обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп сер.}} = 5,047 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 1 хв.		Час обробки 3 хв.		Час обробки 5 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	7,460	5,007	7,51	4,955	7,51	4,955
1	6,540	4,85	7,13	4,555	6,49	4,502
2	6,440	4,723	7,13	4,555	6,39	4,197
3	6,380	4,65	7,03	4,450	6,23	4,029
4	6,410	4,586	6,51	4,323	6,25	4,05
5	6,370	4,597	6,51	4,323	6,11	3,902
6	6,400	4,502	6,47	4,281	6,21	4,008
7	6,420	4,502	6,47	4,281	6,11	3,902
8	6,370	4,534	6,51	4,323	6,21	4,008
9	6,380	4,481	6,47	4,281	6,11	3,902
30	6,370	4,502	6,44	4,250	6,21	4,008
60	6,380	4,502	6,47	4,250	6,11	3,902

Таблиця 5.3.

Визначення в'язкості суміші 70% дизельного пального і 30% МЕРО після обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{кп.сер.}} = 5,587 \text{ мм}^2/\text{с}$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 1 хв.		Час обробки 3 хв.		Час обробки 5 хв.	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	7,400	5,586	8,48	5,554	8,48	5,554
1	7,230	5,459	8,20	5,260	7,13	5,002
2	7,130	5,323	7,55	5,000	7,13	4,8
3	7,100	5,07	7,18	4,607	7,03	4,45
4	6,570	5,123	7,18	4,607	6,51	4,323
5	6,520	4,828	6,59	4,407	6,51	4,323
6	6,510	5,0	7,13	4,555	6,47	4,281
7	6,500	4,902	6,59	4,407	6,47	4,281
8	6,520	4,902	7,08	4,502	6,51	4,323
9	6,510	4,828	7,11	4,534	6,47	4,281
30	6,510	4,881	6,59	4,407	6,44	4,25
60	6,520	4,902	7,06	4,481	6,44	4,281

Таблиця 5.4.

Визначення в'язкості суміші дизельного пального і МЕРО після обробки в електротехнологічному комплексі при умові:

$$t_{\text{зразка}} = 20^{\circ}\text{C}; \nu_{\text{МЕРО}} = 11,63 \text{ мм}^2/\text{с}; \nu_{\text{д.п.}} = 4,301 \text{ мм}^2/\text{с};$$

Кількість діб спостереження	Час обробки 5 хв					
	Концентрація 10%МЕРО		Концентрація 20%МЕРО		Концентрація 30%МЕРО	
	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	Час вимірювання, хв.	В'язкість, мм <sup>2</sup> /с
0,1	7,20	4,628	7,51	4,955	8,48	5,554
1	6,40	4,208	6,49	4,802	7,13	5,002
2	6,24	4,039	6,39	4,47	7,13	4,8
3	6,10	3,892	6,23	4,2	7,03	4,45
4	5,56	3,745	6,25	4,05	6,57	4,323
5	5,59	3,777	6,23	4,029	6,51	4,323
6	5,55	3,734	6,21	4,008	6,49	4,281
7	5,45	3,629	6,18	3,976	6,47	4,281
8	5,40	3,580	6,21	4,008	6,51	4,323
9	5,45	3,629	6,10	3,892	6,47	4,281
30	5,40	3,580	6,15	3,945	6,45	4,25
60	5,40	3,580	6,10	3,945	6,46	4,281

Таблиця 5.5.

Результати витрат пального при різних частотах обертання колінчастого вала  
дизеля Д–243 при 100% навантаженні

Частота обертання колінчастого вала	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
100% дизельного пального									
Витрати пального, кг/год	7,0	7,8	8,7	9,5	10,5	11,0	11,8	13,7	15,9
80% дизельного пального + 20% МЕРО									
Витрати пального, кг/год	8,4	9,1	10,2	11,3	12,2	12,8	13,9	16,0	17,8
80% дизельного пального + 20% МЕРО обробленого в електротехнологічному комплексі									
Витрати пального, кг/год	7,1	7,9	8,9	9,4	10,3	11,1	12,0	13,9	16,1

Таблиця 5.6.

Результати витрат пального при різних частотах обертання колінчастого вала  
дизеля Д–243 на холостому ході

Частота обертання колінчастого вала	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2330
100% дизельного пального									
Витрати пального, кг/год	1,27	1,53	1,72	2,28	2,73	3,20	3,73	4,38	4,71
80% дизельного пального + 20% МЕРО									
Витрати пального, кг/год	1,52	1,74	2,20	2,56	2,98	3,40	4,05	4,55	4,95
80% дизельного пального + 20% МЕРО обробленого в електротехнологічному комплексі									
Витрати пального, кг/год	1,30	1,55	1,74	2,31	2,76	3,23	3,77	4,40	4,73

Таблиця 5.7.

Вимірювання густини сумішевого біопального обробленого в електротехнологічному комплексі на протязі 5 хвилин при умові:

$$t = 20^{\circ}\text{C}; \rho_{\text{МЕРО}} = 895 \text{ кг / м}^3; \rho_{\text{д.п.}} = 840 \text{ кг / м}^3$$

Час спостереження, діб	Концентрація МЕРО, %		
	10	20	30
до обробки	841	846	852
0,1 доба	840	844,5	850
30 діб	841	846	852
60 діб	841	846	852

Таблиця 5.8.

Температура нагрівання сумішей дизельного пального і МЕРО в залежності від часу обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем

Час обробки, хв.	Концентрація МЕРО, %		
	10	20	30
1	31	33	35
3	46	48	50
5	58	60	63

## **ДОДАТОК 6**

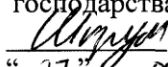
**Акти впровадження і приймання результатів дослідження**

**Патенти на винаходи**

**Дипломи**

## Додаток 6 А

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Керівник фермерського  
господарства «Каріна»  
 П.П.Шкрум  
“ 27 ” 09 2017 р.

## АКТ

**про впровадження результатів дисертаційної роботи  
«Електротехнологічний комплекс для змішування сумішевого біопального».**

Ми, представники фермерського господарства «Каріна» в особі керівника Шкрума П.П. і головного інженера Шкрума А.П. – з однієї сторони, та представники Таврійського ДАТУ в особі декана енергетичного факультету д.т.н., професора Назаренко І.П. і аспіранта кафедри «Електротехнологія і теплові процеси» Кушлика Р.Р. – з другої сторони, уклали цей акт про використання результатів дисертаційної роботи «Електротехнологічний комплекс для змішування сумішевого біопального».

Електротехнологічний комплекс прийнятий відділом головного інженера фермерського господарства «Каріна» для обробки сумішевого біопального в даному господарстві.



Згідно з даними виробничих експериментальних досліджень впровадження електротехнологічного комплексу дозволить:



- зменшити годинні витрати сумішевого біопального В20 обробленого в електротехнологічному комплексі на 9,5% по відношенню до необробленого біопального В20;

- зменшити грошові затрати на один трактор при його роботі на сумішевому біопальному В20 протягом 1200 мото-годин (річне нормативне напрацювання трактора) обробленого в електротехнологічному комплексі на 40188 грн. в рік по відношенню до необробленого сумішевого біопального В20;

- годинні витрати сумішевого біопального В20 обробленого в електротехнологічному комплексі на 0,62% більші в порівнянні із витратами мінерального дизельного пального;

- термін окупності електротехнологічного комплексу склав 0,4 роки.

 П.П.Шкрум  
 А.П.Шкрум

 І.П.Назаренко  
 Р.Р.Кушлик

## Додаток 6 Б

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ «Укргарден»

М.І.Богданов

" 10 " 10 2017 р.

## АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи  
«Електротехнологічний комплекс для змішування сумішевого біопального».

Ми, директор ТОВ «Укргарден» М.І.Богданов і головний інженер С.А. Фесенко – з однієї сторони, та представники Таврійського ДАТУ в особі декана енергетичного факультету д.т.н., професора Назаренко І.П. і аспіранта кафедри «Електротехнологія і теплові процеси» Кушлика Р.Р. – з другої сторони, уклали цей акт про впровадження електротехнологічного комплексу для змішування сумішевого біопального для використання в ТОВ «Укргарден».

Електротехнологічний комплекс прийнятий директором і головним інженером ТОВ «Укргарден» для обробки біодизеля на даному підприємстві.

Згідно з даними виробничих експериментальних досліджень впровадження електротехнологічного комплексу дозволить:

- зменшити годинні витрати біодизеля В20 обробленого в електротехнологічному комплексі на 9,5% по відношенню до необробленого біодизеля В20;

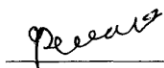
- зменшити грошові затрати на один трактор при його роботі на біодизелі В20 протягом 1200 мотогодин (річне нормативне напрацювання трактора) обробленого в електротехнологічному комплексі на 40188 грн. в рік по відношенню до необробленого біодизеля В20;

- годині витрати біодизеля В20 обробленого в електротехнологічному комплексі на 0,62% більшi в порівнянні із витратами мінерального дизельного пального;

- термін окупності електротехнологічного комплексу склав 0,4 роки.



М.І.Богданов



С.А. Фесенко




І.П.Назаренко



Р.Р.Кушлик



## Додаток 6 В



## АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи Кушлика Р.Р.  
на тему «Електротехнологічний комплекс для змішування сумішевого біопального».

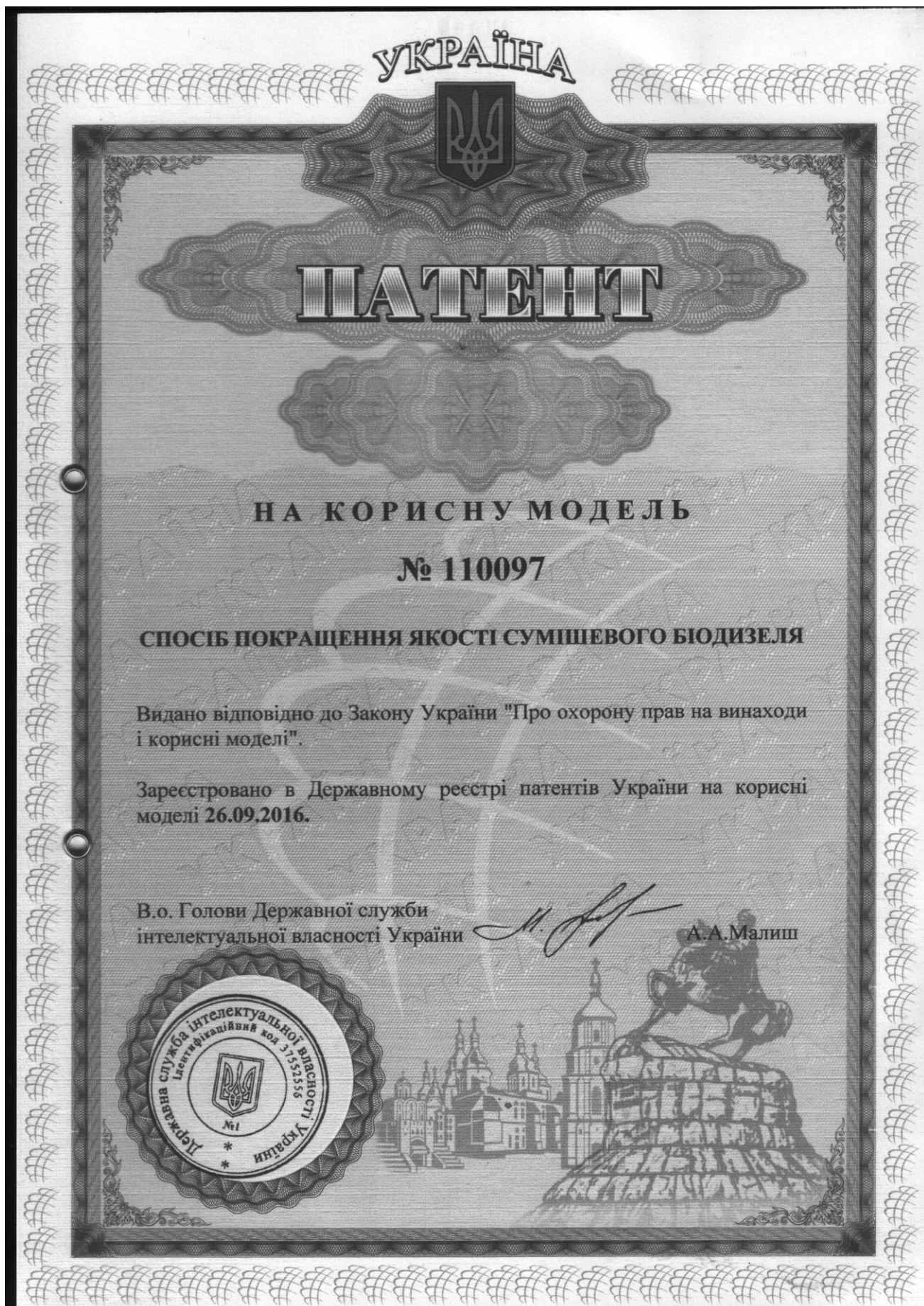
Ми, представники Таврійського державного агротехнологічного університету в особі декана енергетичного факультету і завідуючого кафедрою «Електротехнологія і теплові процеси», д.т.н., професора Назаренко І.П. уклали даний акт про використання результатів дисертаційної роботи Кушлика Р.Р. із розроблення електротехнологічного комплексу для змішування сумішевого біопального.

Результати теоретичних досліджень і лабораторно-практичних експериментів, а також розроблений Кушликом Р.Р. електротехнологічний комплекс для змішування сумішевого біопального використовується кафедрою «Електротехнологія і теплові процеси» при викладанні таких дисциплін, як «Електротехнологія», «Електротехнологічні комплекси в агропромисловому виробництві», «Електротехнологічні комплекси і процеси в галузі», «Спеціалізація», «Основи проектування систем електрифікації».

Декан енергетичного факультету  
та завідувач кафедри електротехнологія  
і теплові процеси, д.т.н., професор

І.П.Назаренко

## Додаток 6 Г





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **110097** (13) **U**

(51) МПК (2016.01)

**F02M 27/08** (2006.01)**H04R 15/00****C10L 1/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2016 02910</b>	(72) Винахідник(и): <b>Назаренко Ігор Петрович (UA), Кушлик Руслан Романович (UA), Кушлик Роман Васильович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>22.03.2016</b>	(73) Власник(и): <b>ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72310 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>26.09.2016</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>26.09.2016, Бюл.№ 18</b>	

**(54) СПОСІБ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ СУМІШЕВОГО БІОДИЗЕЛЯ****(57) Реферат:**

Спосіб покращення якості сумішевого біодизеля шляхом збудження ультразвуковим коливанням суміші. Ультразвукові коливання збуджуються кільцевим магнітострикційним перетворювачем і інтенсивність обробки визначають за показником зменшення тангенса кута діелектричних втрат.

**UA 110097 U**

(11) 110097

Пронумеровано, прошито металевими  
люверсами та скріплено печаткою  
2 арк.  
26.09.2016



Уповноважена особа

(підпис)

## UA 110097 U

Корисна модель належить до області машинобудування, зокрема до способів зміни основних фізичних властивостей сумішевого біодизеля, який складається із дизельного палива і метил-ефіру ріпакової олії (МЕРО) і може бути використаний в системі живлення дизелів автотракторної техніки (трактори, автомобілі, комбайни та ін.).

5 Відомий гідродинамічний спосіб та пристрій для покращення фізичних властивостей рідкого палива за рахунок збудження кавітації за допомогою зустрічно-направленого струменя і генерування акустичних коливань в більш вузькому інтервалі частот (Применение гидродинамического кавитационного аппарата для улучшения качества жидкого топлива / А.Г. Вайнштейн [та ін.] - М.: "Энергетик", 2003. - № 7.). Недоліком вказаного способу та пристрою є те, що ефект по покращенню властивостей конкретного композиційного палива  
10 досягається за рахунок гомогенізації суміші з утворенням тонко-дисперсної емульсії без зміни структури палива на молекулярному рівні. Крім цього, для покращення фізичних властивостей рідкого палива необхідно проводити трикратну обробку паливної суміші, що створює труднощі при використанні способу на практиці.

15 Відомий змішувач мінеральних і рослинних композицій моторного палива (А.с. 2090254, МКП В01F 11/02. Статичний змішувач / Е.П. Байсултанова, В.І. Мазуркевич, О.І. Квасенков, В.Г. Андреев, А.Ю. Ратніков, Д.Н. Юрьев; Товариство з обмеженою відповідальністю "Ратюр". - № 96110085/25; заявл. 15.05.1996 опубл. 20.09.1997), в якому перемішування відбувається в полі ультразвукових коливань, утворених шляхом надзвукового стікання змішуваних рідин з сопел Лаваля.  
20 Недоліком змішувача є недотримання заданого відсоткового співвідношення змішуваних рідин, підвищений гідравлічний опір вхідних каналів змішувача.

Відомий змішувач мінеральних і рослинних композицій моторного палива (А.с. 2158627РФ, МКП В29В 7/32. "Смеситель кавитационного типа" / Е.К. Спиридонов, Л.С. Прохасько, В.С. Боковиков, А.Х. Валиев; Южно-Уральский государственный университет. - № 99105906/12; заявл. 23.03.1999; опубл. 10.11.2000), в якому рідина з великою витратою подається по каналу, виконаному у вигляді конфузора, канал для подачі рідини з меншою витратою виконаний у вигляді патрубка. Перемішування відбувається шляхом кавітаційної обробки потоку змішуваних рідин.  
25 Недоліками змішувача є недотримання заданого відсоткового співвідношення змішуваних рідин в суміші, підвищений гідравлічний опір вхідного каналу змішувача.

Найближчим аналогом до корисної моделі є акустичний спосіб покращення якості нафтопродуктів шляхом зниження в'язкості нафтопродуктів в пристінковому шарі за рахунок зовнішньої дії ультразвукових коливань (Акустическая технология снижения вязкости нефтепродуктов в трубопроводах при низких температурах / М.А. Мионов [и др.]. - М.: "Химическое и нефтегазовое машиностроение", 2004. - № 1.).  
30 Основний недолік способу полягає в тому, що в результаті дії ультразвукових коливань в'язкість нафтопродуктів знижується в тонкому пристінковому шарі без зміни в'язкості основного ядра.

В основу корисної моделі поставлена задача покращення якості сумішевого біодизеля шляхом збудження ультразвукових коливань за допомогою кільцевого магнітострикційного перетворювача, що веде до зниження в'язкості суміші, економічних характеристик двигунів внутрішнього згорання (зменшення витрат палива, збільшення потужності двигуна внутрішнього згорання, зменшення викидів СО) на 10-15 % після обробки біодизеля ультразвуком.  
35 Поставлена задача вирішується тим, що у способі покращення якості сумішевого біодизеля шляхом збудження ультразвукових коливань суміші, згідно з корисною моделлю, ультразвукові коливання збуджуються кільцевим магнітострикційним перетворювачем і інтенсивність обробки визначається за показником зменшення тангенса кута діелектричних втрат.

Збудження ультразвукових коливань кільцевим магнітострикційним перетворювачем забезпечує обробку сумішевого біодизеля на молекулярному рівні по всьому об'єму біодизеля, при цьому кавітація буде руйнувати зв'язки між окремими частинами молекул і впливати на зміну структурної в'язкості, що призведе до зміни фізико-хімічного складу (зменшення молекулярної ваги, температури кристалізації і ін.) і властивостей біодизеля (в'язкості, густини, температури спалаху і ін.), а інтенсивність обробки буде визначатись зменшенням тангенса кута діелектричних втрат обробленого біопалива по відношенню до необробленого в середньому на 25 %.  
40 45 50 55

Приклад здійснення способу.

Суміш дизельного палива і метил ефіру ріпакової олії (МЕРО) піддають дії ультразвукового випромінювання на частоті ультразвуку 22 кГц з інтенсивністю випромінювання, яка  
60 визначається зниженням тангенса кута діелектричних втрат.

UA 110097 U

Як сировина служать зразки сумішей дизельного палива Л-0,2-62 і МЕРО в процентному відношенні наступних концентрацій: 90 % ДП+10 % МЕРО, 80 % ДП+20 % МЕРО, 70 % ДП+30 % МЕРО, 60 % ДП+40 % МЕРО, 50 % ДП+50 % МЕРО.

5 В трубу магнітостриктора заливається одна із приготовлених проб біодизеля (500 мл) і опромінюється ультразвуком протягом 5 хвилин при кімнатній температурі (20 °С) і ведеться спостереження протягом часу за в'язкістю суміші.

10 Необхідно відзначити, що спочатку була виміряна середня в'язкість необробленого дизельного палива Л-0,2-62 з п'ятикратною повторністю при температурі зразка 20 °С, яка склала 4,301 мм<sup>2</sup>/с і необробленого МЕРО, яка склала 11,630 мм<sup>2</sup>/с. Також був виміряний тангенс кута діелектричних втрат необробленого дизельного палива Л-0,2-62, який склав 3,5 % і необробленого МЕРО, який склав 106,64 %.

Аналіз в'язкості і тангенса кута діелектричних втрат необроблених сумішей і оброблених сумішей ультразвуком приведений в таблиці 1.

Таблиця 1

Аналіз в'язкості і тангенса кута діелектричних втрат необроблених сумішей і оброблених сумішей ультразвуком

Показники	Суміші дизельного палива і метил ефіру ріпакової олії				
	90 %+10 %	80 %+20 %	70 %+30 %	60 %+40 %	50 %+50 %
В'язкість, мм <sup>2</sup> /с:					
- необроблена УЗ	4,664	5,047	5,587	6,392	7,004
- оброблена УЗ	3,776	4,124	4,313	4,734	4,913
Тангенс кута діелектричних втрат, %					
- необроблена УЗ	6,981	13,155	20,611	29,262	35,899
- оброблена УЗ	5,147	10,435	13,814	18,706	19,704

15 Таким чином, біодизельне паливо оброблене акустичним полем протягом 5 хвилин в пропорціях 90 % ДП+10 % МЕРО, 80 % ДП+20 % МЕРО, має в'язкість меншу ніж дизельне паливо на 12,1 % і 4,2 % відповідно, а суміш 70 % ДП+30 % МЕРО має в'язкість як дизельне паливо, при цьому тангенс кута діелектричних втрат в даних пробах менший на 26,27 %, 20,67 %, 32,98 % відповідно. Отже, по зміні тангенса кута діелектричних втрат визначається ефективність обробки сумішей дизельного палива і МЕРО ультразвуком, що суттєво полегшує контроль якості обробки.

#### 25 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

30 Спосіб покращення якості сумішевого біодизеля шляхом збудження ультразвуковим коливанням суміші, який відрізняється тим, що ультразвукові коливання збуджуються кільцевим магнітострикційним перетворювачем і інтенсивність обробки визначають за показником зменшення тангенса кута діелектричних втрат.

Комп'ютерна верстка Т. Вахричева

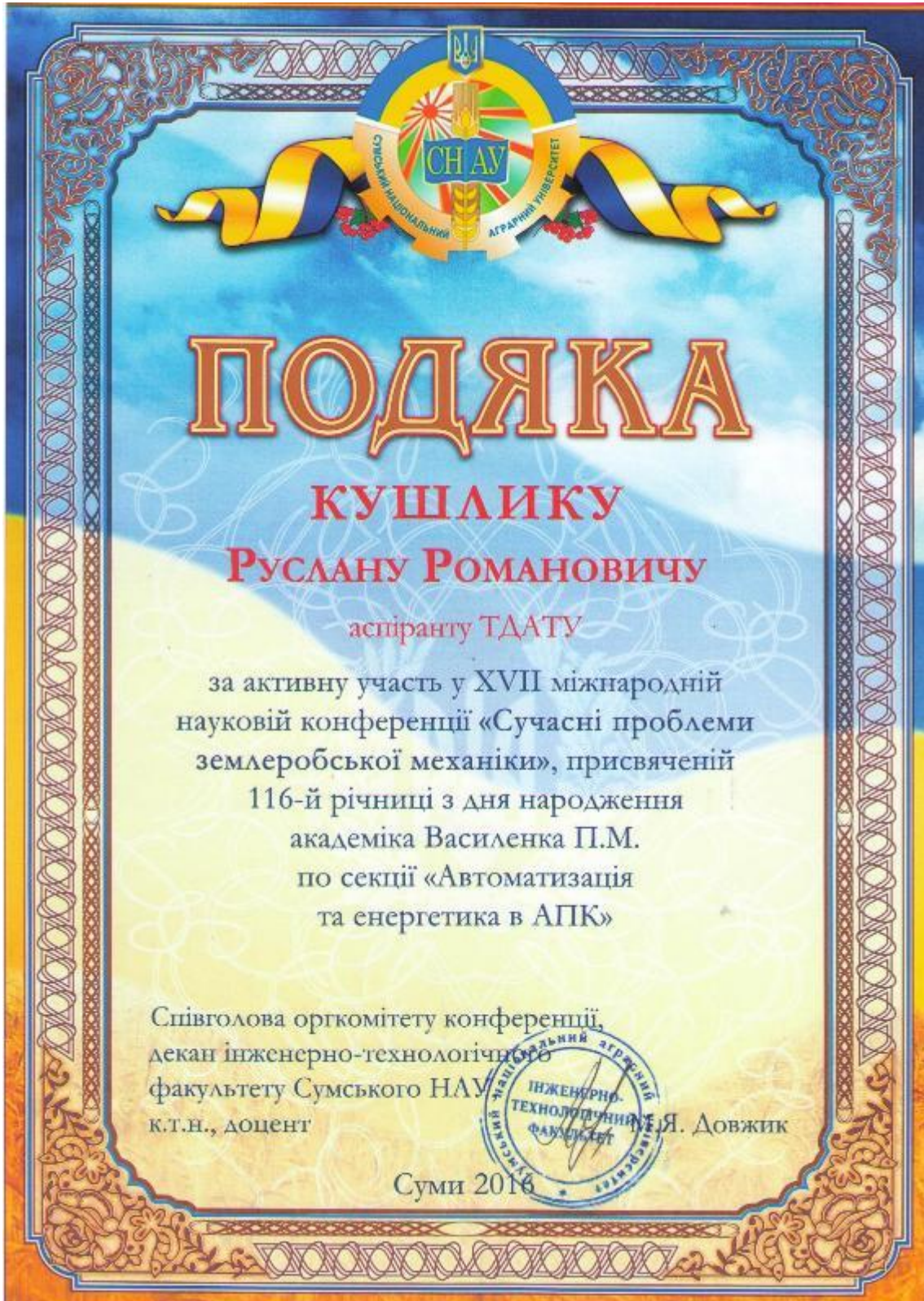
Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

## Додаток 6 Д



## Додаток 6 Є





## **ДОДАТОК 7**

**Розрахунок витрат на виготовлення електротехнологічного комплексу для  
обробки сумішевого біопального**

У проєктований електротехнологічний комплекс для обробки біопального входять: корпус, блок живлення, ультразвуковий генератор, магніострикційний випромінювач ультразвуку, який знаходиться в сталевому корпусі, НВЧ камера для обробки біопального, високовольтний мережевий трансформатор, високовольтні конденсатор і діод, магнетрон, вентилятор для охолодження магнетрона, ємність для обробки біопального, сполучні паливні проводи, перехідники, крани з хомутами, вольтметри і амперметри.

Собівартість виготовлення електротехнологічного комплексу

$$C_c = C_{o.d.} + C_{п.д.} + C_{д.м.} + C_{ц} + C_3 \quad (7.1)$$

де  $C_{o.d.}$  – затрати на виготовлення оригінальних деталей, (корпус комплексу, НВЧ камера, ємність для обробки біопального із торцевою насадкою) грн.;

$C_{п.д.}$  – вартість покупних деталей, грн.;

$C_{д.м.}$  – вартість допоміжних матеріалів (2-4%) від затрат на основні матеріали), грн.;

$C_{ц}$  – загальновиробничі (цехові) витрати на виробництво електротехнологічного комплексу, грн.;

$C_3$  – загальногосподарські накладні витрати на виробництво електротехнологічного комплексу, грн.

Затрати на виготовлення оригінальних деталей

$$C_{o.d.} = C_{з.п.} + C_m \quad (7.2)$$

де  $C_{з.п.}$  – заробітна плата ( з нарахуваннями) виробничих працівників, зайнятих на виробництві оригінальних деталей, грн.;

$C_m$  – вартість матеріалу заготовок для виготовлення оригінальних деталей, грн.

Заробітна плата працівників на виготовлення оригінальних деталей

$$C_{з.п.} = t_n \cdot C_r \cdot K_{дод.} \cdot K_{соц.} \quad (7.3)$$

де  $t_n$  – середня працесмність виготовлення оригінальних деталей, люд. –год, (наприклад, для оригінальної деталі – корпус  $t_n = 1,5$ ; НВЧ–камера  $t_n = 1,3$ ; смність для обробки біопального із торцевою насадкою  $t_n = 1,6$ );

$C_r$  – годинна тарифна ставка працівників, грн.;

$K_{дод.}$  – коефіцієнт, який враховує додаткову оплату праці ( $K_{дод.} = 1,13$ );

$K_{соц.}$  – коефіцієнт нарахування соціального страхування ( $K_{соц.} = 1,26$ )

Годинна тарифна ставка працівників визначається як

$$C_r = \frac{C_{мін} \cdot K_{ті}}{T_{зм} \cdot D_p} \quad (7.4)$$

де  $C_{мін}$  – мінімальна місячна оплата праці ( $C_{мін} = 3200$  грн.);

$K_{ті}$  – тарифний коефіцієнт для і-го розряду ( $K_{ті} = 2,76$ );

$T_{зм}$  – тривалість робочої зміни ( $T_{зм} = 7$  год.);

$D_p$  – середньомісячне число робочих днів при шестиденному робочому тижні,  $D_p = 25$

$$C_r = \frac{3200 \cdot 2,76}{7 \cdot 25} = 50,5 \text{ грн / год.}$$

Тоді заробітна плата працівників на виготовлення оригінальних деталей складе: – корпусу електротехнологічного комплексу

$$C_{з.п.1} = 1,5 \cdot 50,5 \cdot 1,13 \cdot 1,26 = 107,85 \text{ грн.}$$

– НВЧ – камери

$$C_{з.п.2} = 1,3 \cdot 50,5 \cdot 1,13 \cdot 1,26 = 93,47 \text{ грн.}$$

– смність для обробки біопального із торцевою насадкою

$$C_{з.п.3} = 1,6 \cdot 50,5 \cdot 1,13 \cdot 1,26 = 115,04 \text{ грн.}$$

Загальна сума складе

$$C_{з.п.\Sigma} = C_{з.п.1} + C_{з.п.2} + C_{з.п.3} \quad (7.5)$$

$$C_{з.п.\Sigma} = 107,85 + 93,47 + 115,04 = 316,36 \text{ грн.}$$

Вартість матеріалу заготовок для виготовлення оригінальних деталей

$$C_M = (C_{л.} \cdot M_{л.}) + C_{ск.т.} + C_{м.н.} + C_y \quad (7.6)$$

де  $C_{л.}$  – ціна 1 м<sup>2</sup> металевого листа товщиною 1 мм, грн.;  $C_{л.} = 200$  грн.

$M_{л.}$  – кількість листів для виготовлення корпусу і НВЧ камери,  $M_{л.} = 3$ .

$C_{ск.т.}$  – вартість скляної ємності для обробки біопального, грн.,  $C_{ск.т.} = 120$  грн.

$C_{м.н.}$  – вартість матеріалу із ебоніту для торцевої накладки, грн.,  $C_{м.н.} = 60$  грн. (1 кг діаметром 59 мм);

$C_y$  – алюмінієвий кутик 15·15·1,5,  $C_y = 30$  грн/м. (Приймаємо 8 м)

$$C_M = (200 \cdot 3) + 120 + 60 + (30 \cdot 8) = 1020 \text{ грн}$$

Затрати на виготовлення оригінальних деталей складуть

$$C_{о.д.} = 316,36 + 1020 = 1336,36 \text{ грн}$$

Вартість покупних деталей електротехнологічного комплексу ( $C_{пок.д.}$ ) і допоміжних матеріалів ( $C_{доп.мат.}$ ) приймаємо на основі аналізу ринкових цін. Результати розрахунків заносимо в табл. 7.1, 7.2

Вартість покупних деталей електротехнологічного комплексу ( $C_{\text{пок.д.}}$ )

Назва деталей електротехнологічного комплексу	Кількість деталей	Ціна покупної деталі комплексу, грн.
Генератор ультразвуку	1	2400
Магнітострикційний перетворювач ПМС	1	1200
Блок підмагнічування	1	1250
Високовольтний трансформатор	1	750
Високовольтний конденсатор	1	125
Високовольтний діод	1	80
Магнетрон	1	875
Вентилятор для охолодження магнетрона	1	310
Вентилятор для охолодження дроселя ультразвукового генератор	1	310
НВЧ фільтр	1	750
Клемна колодка	1	145
Трансформатор	1	370
Блок живлення на 15 В	1	170
Блок перемикання вольтметра на амперметр	1	470
Дросель УЗ генератора	1	320
Перемикач УЗ і НВЧ генераторів	1	170
Блок вмикання і вимикання магнетрона	1	420
Випрямляч	1	75
Амперметр підмагнічування ПМС	1	120
Амперметр НВЧ генератора	1	120
Вольтметр УЗ генератора	1	240
Всього		10670

## Вартість допоміжних матеріалів

Назва допоміжних матеріалів	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна допоміжних матеріалів, грн.	
			За 1 кг.	Всього
Болти, гайки, шайби	кг	1	150,0	150,0
Фарба зелена автомобільна	балон	1	120,0	120,0
Фарба сіра	балон	2	50,0	100,0
Грунтовка	балон	2	50,0	100,0
Епоксидний клей	упаковка	1	75,0	75,0
Всього				545,0

Заробітна плата виробничих працівників, які зайняті на зборці електротехнологічного комплексу

$$C_{\text{сзп}} = T_{\text{сб}} \cdot C_{\text{г}} \cdot K_{\text{с}} \cdot K_{\text{дод}} \cdot K_{\text{соц}} \quad (7.7)$$

де  $T_{\text{сб}}$  – сумарна трудоємність зборки складових частин електротехнологічного комплексу ( $T_{\text{сб}} = 1,5$  чол.год);

$K_{\text{с}}$  – коефіцієнт, який враховує відношення між повним і оперативним часом зборки ( $K_{\text{с}} = 1,08$ );

$K_{\text{дод}}$  – коефіцієнт, який враховує додаткову оплату праці ( $K_{\text{дод}} = 1,13$ );

$K_{\text{соц}}$  – коефіцієнт нарахування соціального страхування ( $K_{\text{соц}} = 1,26$ )

$$C_{\text{сзп}} = 1,5 \cdot 50,5 \cdot 1,08 \cdot 1,13 \cdot 1,26 = 116,48 \text{ грн}$$

Загальновиробничі (цехові) накладні витрати на виготовлення електротехнологічного комплексу

$$C_{\text{ЗАГАЛЬНОВИР.}} = \frac{(C_{\text{ОД.}} + C_{\text{СПЗ}}) \cdot R_{\text{ОП}}}{100} \quad (7.8)$$

де  $R_{\text{оп}}$  – відсотки загальновиборничих витрат ( $R_{\text{оп}} = 142\%$ )

$$C_{\text{ЗАГАЛЬНОВИР.}} = \frac{(1336,36 + 116,48)142}{100} = 2063 \text{ грн.}$$

Загальногосподарські витрати ( $C_{\text{загальногосподарські}}$ ) орієнтовно складають 20% від заробітної плати виробничих працівників

$$C_{\text{ЗАГАЛЬНОГОСПОД.}} = \frac{20 \cdot 2063}{100} = 412,6 \text{ грн.}$$

Таким чином, повна собівартість електротехнологічного комплексу для обробки сумішевого біопального, яка включає вартість оригінальних і покупних деталей, допоміжних матеріалів, а також оплату праці виробничих працівників, які зайняті на зборці комплексу складе

$$C_{\text{соб.}} = 1336,36 + 10670 + 545,0 + 2063 + 412,6 = 16026,96 \text{ грн}$$

## **ДОДАТОК 8**

**Список публікацій здобувача за темою дисертації.**

**Відомості про апробацію результатів дисертації.**



**Праці в яких опубліковані основні наукові результати дисертації**

1. Кушлик Р.Р. Аналіз видів біопалив для сільськогосподарської техніки. [Текст] / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - Вип.15 том 2 Мелітополь, ТДАТУ, 2015 р. с. 242-248.
2. Кушлик Р.Р. Установки та пристрої для виробництва ріпако-метилового ефіру та сумішевого біопалива [Текст] / Р.Р.Кушлик, І.П.Назаренко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь, ТДАТУ, 2015 р. Вип. 15 том 3 с. 310-317.
3. Кушлик Р.Р. Альтернативне паливо для сільськогосподарської техніки [Текст] / Р.Р.Кушлик // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 164 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2015. – 169-170 с.
4. Назаренко, І.П. Покращення якості сумішевого біодизеля шляхом обробки його акустичним полем [Текст] / І.П. Назаренко, Р.Р. Кушлик, Р.В Кушлик – Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Випуск 6, Том 1. Електронне наукове фахове видання. – Мелітополь, ТДАТУ, 2016 р. с. 164-171.
5. Назаренко, І.П. Експериментальні дослідження впливу ультразвукових і СВЧ хвиль на в'язкість і густину сумішевого біодизеля [Текст] / І.П.Назаренко, Р.Р. Кушлик // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 175 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2016.- с. 66-68.
6. Назаренко, І.П. Ультразвукова обробка сумішевого біодизеля [Текст] / І.П. Назаренко, Р.Р. Кушлик, Р.В Кушлик // Вісник Сумського національного аграрного університету. Випуск 10/1 (29). Суми, 2016 р. с. 174-178.
7. Назаренко І.П. Спосіб покращення якості сумішевого біодизеля [Текст] / І.П.Назаренко, Р.Р. Кушлик, Р.В.Кушлик // Патент на корисну модель № 110097. Опубл. 26.09.2016, бюл.№18.

8. Кушлик Р.Р. Дослідження фізичних властивостей сумішевого біодизеля після обробки його в гомогенізаторі [Текст] / Р.Р.Кушлик // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, ТДАТУ, 2016 р. Вип. 16 том 2 с. 146–152.

9. Kushlyk Ruslan. Research into effect of ultrasonic, electromagnetic and mechanical treatment of blended biodiesel fuel on viscosity / Ruslan Kushlyk, Igor Nazarenko, Roman Kushlyk, Volodymyr Nadykto // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2/1 (86), 2017 р. С. 34–41.

10. Назаренко І.П. Теоретичні передумови приготування суміші компонентів біопального в ультразвуковому полі [Текст] / І.П.Назаренко, Р.Р. Кушлик // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 187 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2017. – с. 113–116.

#### **Праці які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

11. Кушлик Р.Р. Проблеми використання сумішевого біопалива із ріпако-метилового ефіру і дизельного палива [Текст] / Р.Р.Кушлик // Збірник тез доповідей Міжнародної науково–технічної конференції. «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористуванні» м. Київ, НУБіП, 14–18 грудня 2015р. с. 28–29.

12. Кушлик Р.Р. Спосіб обробки сумішевого біодизеля [Текст] / Р.Р.Кушлик // Збірник тез доповідей XVII Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (17–18 жовтня 2016 року) / МОН України, Сумський національний аграрний університет. – Суми , 2016. – 195-196 с.

13. Кушлик Р.Р. Аналіз впливу ультразвукових, НВЧ і механічних хвиль на в'язкість сумішевого біодизеля [Текст] / Р.Р.Кушлик, І.П.Назаренко // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково–технічної конференції. «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування»: м. Київ, НУБіП, 15–19 травня 2017р. с. 9–10

14. Кушлик Р.Р. Результати експериментальних досліджень біопаливних

композицій оброблених електрофізичними методами [Текст] / Р.Р.Кушлик // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції пам'яті І.І.Мартинена та з нагоди 85-річчя Таврійського державного агротехнологічного університету «Енергозабезпечення технологічних процесів». м.Мелітополь, ТДАТУ, 8–9 червня 2017 р. 58–60 с.

### **Відомості про апробацію результатів дисертації**

– II Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК». Секція №2 «Перспективи розвитку електротехнологій в біотехнічних системах АПК». Київ, НУБІП, 15–16 жовтня 2014 р. Доповідь на тему: «Акустичні методи контролю якості сільськогосподарської продукції».

– науково – технічній конференції науково-педагогічних працівників за підсумками роботи в 2014 році «Сучасні проблеми землеробської механіки». Секція №4 «Механізація та електрифікація виробничих процесів у сільськогосподарському виробництві» м. Дніпропетровськ, ДДАЕУ, 4–5 березня 2015 р. Доповідь на тему: «Електротехнічні пристрої для підготовки біопалива до роботи в двигунах внутрішнього згорання».

– науково-практична студентська конференція «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». Секція №3 «Автоматизовані електромеханічні системи» м. Харків, ХНТУСГ ім. П.Василенка, 2 квітня 2015р. Доповідь на тему: «Аналітичні дослідження комплексної технології перемішування біопалива з дизельним паливом».

– XI Міжнародний форум молоді «Молодеж и сельскохозяйственная техника в XXI веке» присвячена 85 річчю утворення університету. Секція №10 «Использование топливно-смазочных материалов» Харків: ХНТУСХ. 9–10 квітня 2015р. Доповідь на тему: «Дослідження комплексної технології перемішування біопалива з дизельним паливом».

– Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК». м. Мелітополь, 7 – 14 квітня 2015 року. – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Т.4 Технічні науки (ч.1). Доповідь на тему: «Досвід застосування альтернативних видів палива сільськогосподарської техніки».

– IV Міжнародна науково-технічна конференція присвячена пам'яті академіка І.І.Мартиненка «Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України». Секція 5 «Електромеханічні системи технологічних процесів аграрного виробництва». Мелітополь, ТДАТУ, 10 – 14 червня 2015 р. Доповідь на тему: «Аналіз видів біопалив для сільськогосподарської техніки».

– Міжнародна науково – практична конференція «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». Секція №5 «Вплив електромагнітних полів та пружних коливань на біологічні об'єкти сільськогосподарського призначення» Харків: ХНТУСХ. 12–13 листопада 2015р. Доповідь на тему: «Альтернативне паливо для сільськогосподарської техніки».

– Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування». Секція 1 «Електротехнології в біотехнічних системах» м. Київ, 14–18 грудня 2015 р. Доповідь на тему: «Проблеми використання сумішевого біопалива із ріпаком етилового ефіру і дизельного палива».

– XVII-та міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми землеробської механіки» присвяченій 116-річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка. Секція №5 «Автоматизація та енергетика в АПК» м. Суми, 17–18 жовтня 2016 р. Доповідь на тему: «Ультразвукова обробка сумішевого біодизеля».

– Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». Секція №3 «Електрообладнання та раціональне використання електричної енергії в АПК» м. Харків, ХНТУСГ імені Петра Василенка, 3 – 4 листопада 2016р. Доповідь на тему:

«Експериментальні дослідження впливу ультразвукових і СВЧ хвиль на в'язкість і густину сумішевого біодизеля»

– IV–ма міжнародна науково–технічна конференція «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористуванні». Секція №1 «Електротехнології в біотехнічних системах». м. Київ, 15–19 травня 2017 р. Доповідь на тему: «Аналіз впливу ультразвукових, НВЧ і механічних хвиль на в'язкість сумішевого біодизеля»

– VII Міжнародна науково–практична конференція пам'яті І.І.Мартинена та з нагоди 85–річчя Таврійського державного агротехнологічного університету «Енергозабезпечення технологічних процесів». Секція №2 «Електро– та нанотехнології» м. Мелітополь, ТДАТУ, 8–9 червня 2017 р. Доповідь на тему: «Результати експериментальних досліджень біопаливних композицій оброблених електрофізичними методами»