

УДК 681.121

Ю.В.Тростенюк, О.М.Безвесільна, А.В.Ільченко  
Житомирський державний технологічний університет  
**МОДЕЛЮВАННЯ ОСЬОВОГО ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ ТРУБКИ  
ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНОГО ВИТРАТОМІРА БІОПАЛИВ**

*Розроблена математична модель осьового теплового потоку трубки термоанемометричного витратоміра біопалив: отримано розподіл температур по осі трубки термоанемометричного витратоміра в залежності від діаметра трубки та нагрівального елемента, відстані до нагрівального елемента та різних біопалив.*

**Ключові слова:** моделювання, термоанемометричний витратомір, осьовий тепловий потік, біопаливо  
**Рис 9. Табл 1. Літ 5**

*Разработана математическая модель осевого теплового потока трубки термоанемометрического расходомера биотоплив: получено распределение температур по оси трубки термоанемометрического расходомера в зависимости от диаметра трубки и нагревательного элемента, расстояния до нагревательного элемента и разных биотоплив.*

*The mathematical model of axial thermal stream of Termoanemometric flowmeter tube biopropellants in the Solidworks complex is worked out. In this complex motion and heat exchange of fluid environment are designed by means of equalizations of Nav'e-Stokes, that describe in the non-stationary raising the laws of maintenance of mass, impulse and energy. Except this equalizations of the state of components of fluid environment, and also empiric dependences of their viscosity and heat-conducting of these components from a temperature are used. Newtonian liquids are set by dependence of their coefficient of viscosity on speed of deformations of change and temperature, compressible liquid are set by dependence of their closeness on pressure. Turbulent, laminar and transitional streams are designed by these equalizations. Data of distribution of temperatures of tube of Termoanemometric of flowmeter depending on the diameters of tube of Termoanemometric of flowmeter and heater element, distance to the heater element and type of biopropellants are got. These sizes give an opportunity to promote a temperature to maximally possible on condition of self-ignition of biopropellants. At such temperatures an overfall is the biggest and at maximal distances from a heater element the temperature on a transversal cut aligns. However at the designing there can be zones of turbulence that is observed at a small transversal cut between the tube of flowmeter and heater element.*

**Постановка проблеми.** Сучасні автовиробники використовують для визначення витрати палива двигуном автомобіля сукупність даних та показань датчиків: витрати повітря, обертів колінчастого вала, часу впорскування палива, тиску в системі живлення, токсичності двигуна тощо. Така підхід та конструкція мають ряд недоліків: наявність в своєму складі механічних елементів, які з часом змінюють свої властивості, низька миттєва точність вимірювання та ін. Як наслідок, погіршується робота паливної системи двигуна, що впливає на його економічні та екологічні показники. Основними недоліками більшості різних методів та засобів визначення витрат палив є незадовільна похибка вимірювання, інерційність на зміну витрати палива, що особливо стосується біопалив.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Одним із шляхів усунення вказаних недоліків є удосконалення конструкцій витратомірів. Доцільним вважається використання витратомірів, які цілком базуються на електронних елементах. Термоанемометричний витратомір (ТАВ) [1, 2] повністю задовольняє умовам експлуатації на автомобілях з двигунами, що працюють на різних паливах, в тому числі й на біопаливах. Конструкція витратоміра включає в себе трубку ТАВ, в якій встановлено нагрівальний елемент (НЕ) та датчики температури палива.

**Невирішені раніше частини загальної проблеми.** Вимірювання витрат палив двигуном автомобіля за допомогою ТАВ сьогодні ще не мають практичного застосування. Однією з причин є відсутність математичних моделей розподілу температур по осі трубки ТАВ та необгрунтованість геометричних параметрів ТАВ (діаметрів трубки та НЕ, місць розташування датчиків температур).

**Мета дослідження.** Метою даного дослідження є отримання залежностей температур палив по осі трубки ТАВ з урахуванням їх витрат від відстані до НЕ. Визначення геометричних параметрів трубки та НЕ ТАВ, при яких незалежно від заданого діапазону швидкості руху

палива (його витрати) не виникає турбулентних потоків в точках розрахунків температури (рис.1,  $a_{0-1} \dots a_{3-13}$ ).

**Основні результати дослідження.** Для досягнення вказаної мети використано комп'ютерне моделювання в CFD-Комплексе COSMOS FloWorks [3]. В ньому рух та теплообмін в різних точках палив моделюється за допомогою рівнянь Нав'є-Стокса, що описують в нестационарній постановці закони збереження маси, імпульсу та енергії. Окрім цього використовуються рівняння стану компонентів палив, а також емпіричні залежності їх в'язкості та теплопровідності цих компонентів від температури. Ньютонівські рідини задаються залежністю їх коефіцієнта в'язкості від швидкості зсувних деформацій та температури; палива, що стискаються, - залежністю їх густини від тиску. Цими рівняннями моделюються турбулентні, ламінарні та перехідні потоки.

Для моделювання процесів термо- та гідродинаміки були прийняті до уваги наступні параметри: витрата палива на вході ТАВ, температура палива (бензин, біоетанол, дизельне паливо (ДП) та олія рослинного походження (ОРП)) на вході ТАВ, діаметр НЕ, температура НЕ, внутрішній діаметр трубки ТАВ, тиск та температура на виході ТАВ (рис.1).

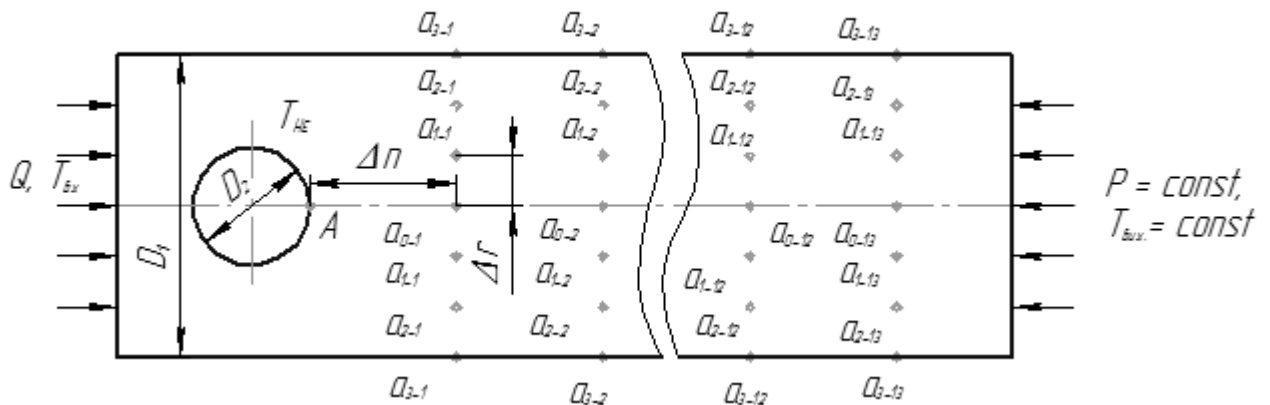


Рис.1. Схема ТАВ:

$Q$  – витрата палива на вході, л/год;  $T_{вх}$  – температура палива на вході, °К;  $D_1$  – внутрішній діаметр трубки ТАВ, мм;  $D_2$  – діаметр НЕ, мм;  $T_{НЕ}$  – температура НЕ, °К;  $T_{вих}$  – температура палива на виході ТАВ, °К;  $P$  – тиск на виході ТАВ, Па;  $\Delta l$  – крок дискретизації розрахунків температури вздовж осі трубки ТАВ, мм;  $\Delta r$  – крок дискретизації по радіусу між точками розрахунків температур, мм;  $a_{0-1} \dots a_{3-13}$  - точки розрахунків температури;  $A$ - крайня точка поверхні НЕ.

Основним параметром, що необхідно визначити для підвищення в подальшому точності вимірювання витрати палива, є найбільший перепад температури палива по довжині трубки ТАВ. Крок дискретизації по радіусу між точками розрахунків температури дорівнює  $\Delta r = (D_1)/6$ . крок дискретизації розрахунків температури вздовж осі трубки ТАВ  $\Delta l$  відмірюється від крайньої точки  $A$  поверхні НЕ, оскільки найвища температура рідини очікується саме там. В процесі моделювання були прийнято, що внутрішня поверхня трубки витратоміра ідеальна (по шорсткості і не поглинає теплоту), рух палива на вході рівномірний, в якості палива проаналізовано бензин, біоетанол, ДП та ОРП, яка за властивостями близька до ріпакової та соняшникової олій (табл.1).

Властивості палив.

Таблиця 1.

Паливо	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Динамічна в'язкість, Па*с	Теплоємність, Дж/(кг*К)	Теплопровідність, Вт/(м*К)
Біоетанол	790	0,00114	2396,4	0,181
Бензин	730	0,00053	1840	0,153
ДП	872,7	0,0064	1845	0,1169
ОРП	913	0,084	1736	0,178

©Ю.В.Тростенюк, О.М.Безвесільна, А.В.Ільченко

В процесі моделювання розподілу температури по осі трубки ТАВ виникла необхідність виконання дослідження в два етапи. На першому етапі визначали відношення розмірів НЕ до внутрішніх розмірів трубки ТАВ, при яких різниця температури між точками, що розташовані найближче і найдалше від НЕ буде максимальною для кожного з палив. При цьому прийнято:  $Q=25$  л/год,  $T_{\text{вх}}=293,2$  °К,  $T_{\text{НЕ}}=573,2$  °К,  $T_{\text{вих}}=293,2$  °К,  $D_1=6$  мм,  $D_2=1\dots 5$  мм (з кроком 1 мм),  $\Delta p=1$  см.

В результаті моделювання отримано залежності, що описують значення температур в точках по осі трубки ТАВ для вказаних палив (рис. 2-5).

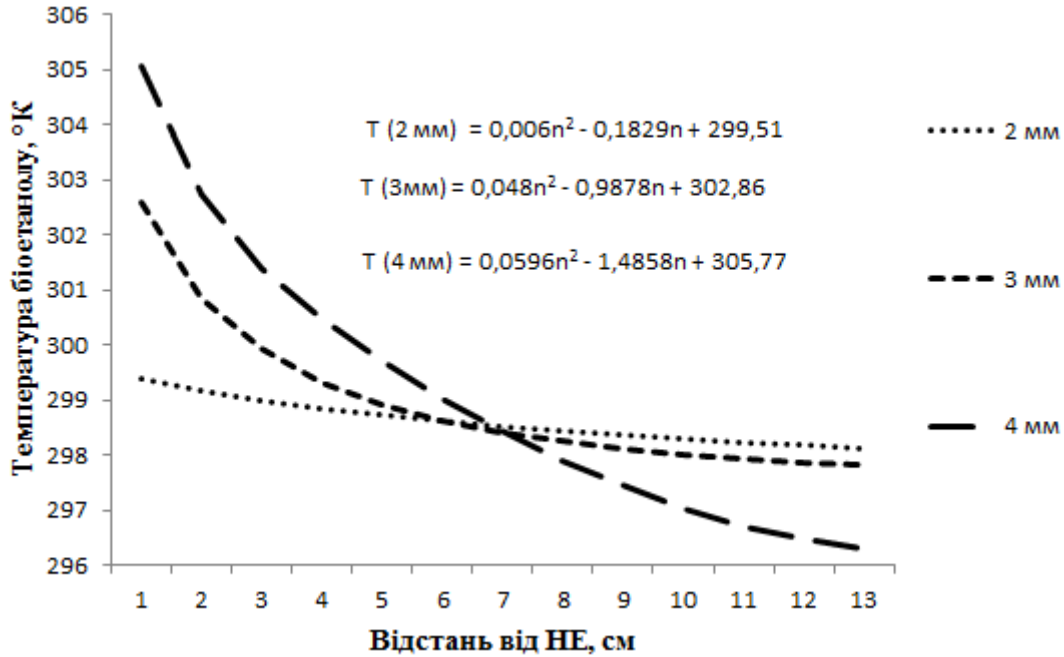


Рис.2. Залежність температури біоетанолу від відстані до НЕ для  $D_2=2-4$  мм. ( $R^2=0,95-0,97$ )

Таким чином для вимірювання витрати біоетанолу за допомогою ТАВ з  $D_1=6$  мм, доцільно використовувати НЕ з  $D_2=4$  мм. При таких геометричних параметрах перепад температури по довжині трубки ТАВ найбільший  $\Delta T=8,77$ °К. При значеннях менших  $D_2=2$  мм прогрів палива за допомогою НЕ недостатній і перепад температур  $\Delta T$  суттєво зменшується, що призведе до погіршення точності вимірювань. Значення більші за  $D_2=5$  мм впливають на рух палива, він переходить до турбулентного, що призводить до збільшення температури палива біля стінок трубки ТАВ і зменшення її різниці по осі трубки ТАВ. Це також негативно вплине на точність вимірювання витрат.

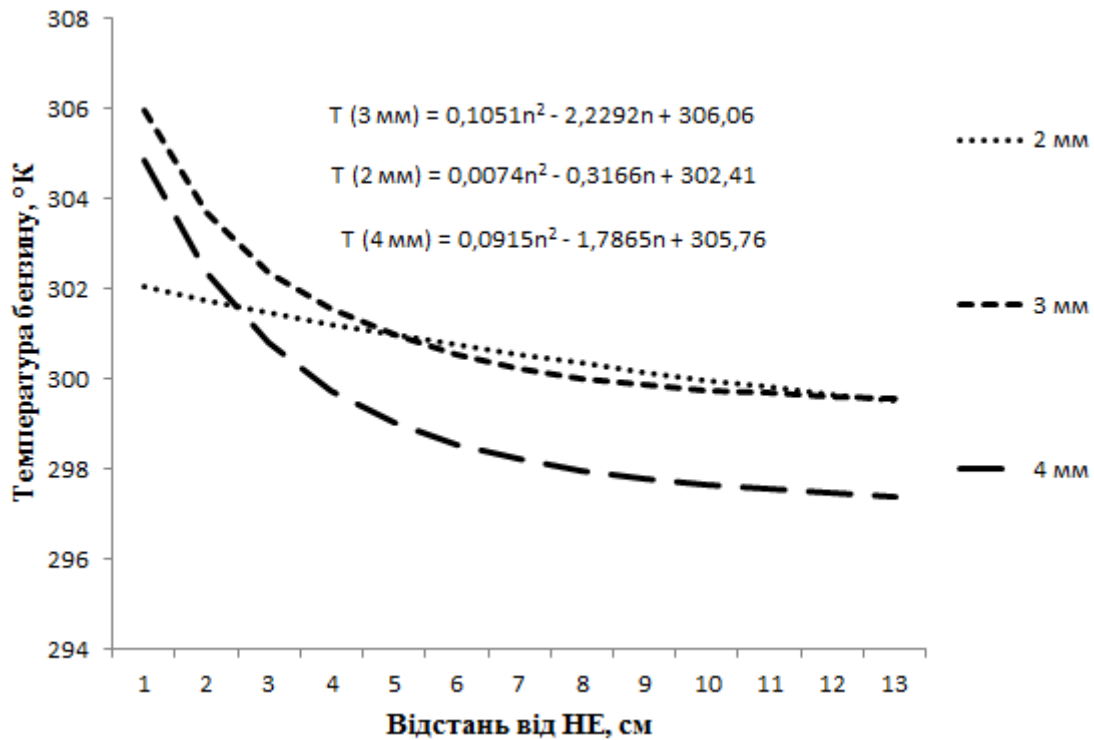


Рис. 3. Залежність температури бензину від відстані до НЕ для  $D_2=2-4$  мм. ( $R^2=0,95-0,99$ )

З рис. 3 видно, що при використанні ТАВ для вимірювання витрат бензину доцільно також використовувати НЕ з  $D_2=4$ мм. При цьому перепад температури дорівнює до  $\Delta T=7,45^\circ\text{К}$ .

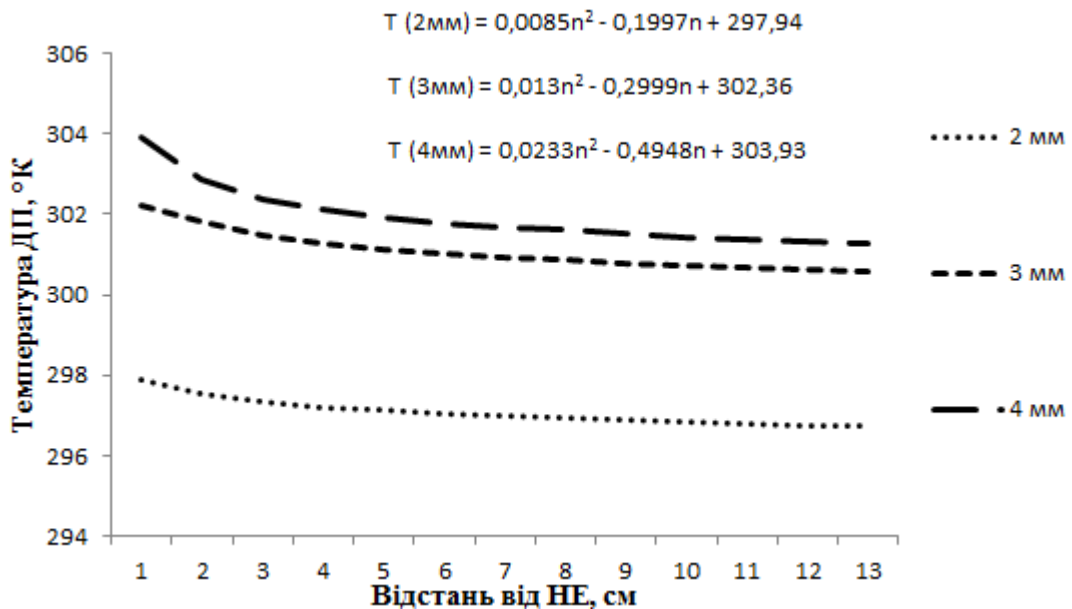


Рис.4 Залежність температури ДП від відстані до НЕ для  $D_2=2-4$  мм. ( $R^2=0,95-0,99$ )

Аналіз рис 4. показав, що для ДП також доцільно використовувати НЕ розмірами  $D_2=4$ мм. При цьому  $\Delta T=2,64^\circ\text{К}$ .

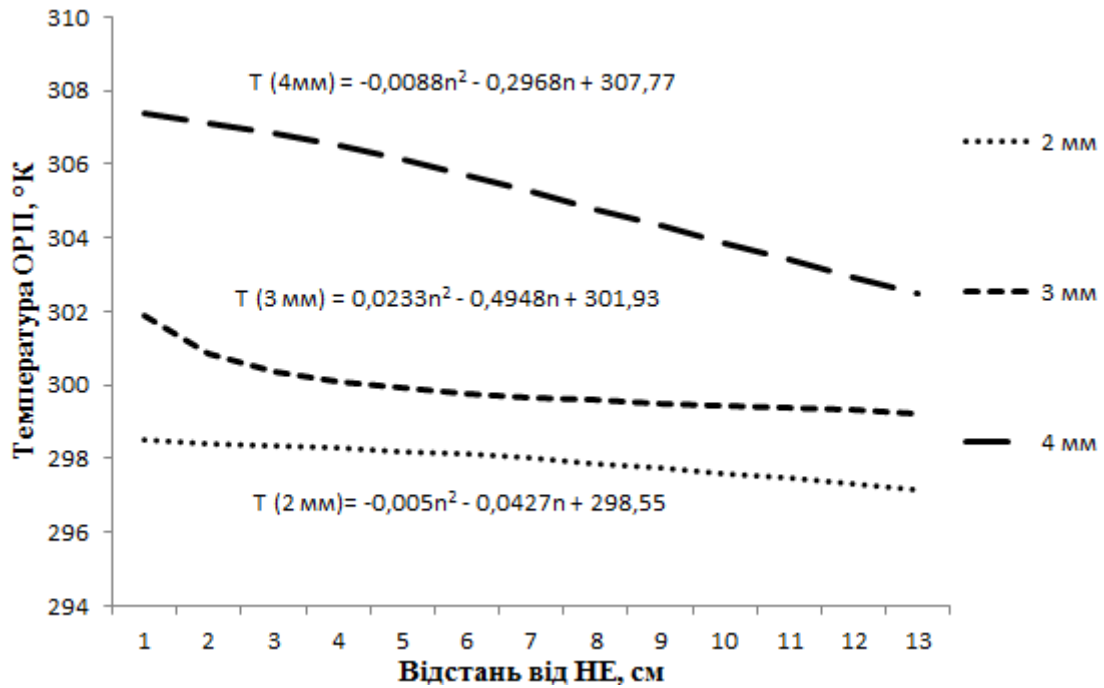


Рис.5 Залежність температури ОРП від відстані до НЕ  $D_2=2-4$  мм. ( $R^2=0,95-0,99$ )

При моделюванні потоку ОРП спостерігається зовсім інший характер зміни температур при НЕ  $D_2=4$  мм, при цьому  $\Delta T=4,89^\circ\text{K}$ . Це, ймовірно, викликано величиною динамічної в'язкості ОРП у порівнянні з іншими паливами.

Таким чином встановлено, що найбільший перепад температури вздовж осі трубки ТАВ спостерігається при наступних розмірах НЕ та діаметра трубки ТАВ:  $D_2=4$  мм та  $D_1=6$  мм, для всіх палив, що досліджувалися.

Другий етап дослідження полягає в визначенні залежностей перепадів температур по осі трубки ТАВ від витрат палив. У сучасних вантажних автомобілів витрата палива двигуном складає від 5 л/год при холостих обертах двигуна, до 25 л/год при максимальному навантаженні [4]. В процесі дослідження вказаний діапазон витрат палив поділено на п'ять піддіапазонів з кроком 5 л/год, які досліджувалися окремо.

Підвищення температури НЕ мало на меті збільшити чутливість датчиків температури між точками її вимірювання, але максимальна температура палива має бути меншою за температуру спалахування палива [5]. Використовуючи отримані вище розміри НЕ, трубки ТАВ та відомі значення витрати палива, максимальну припустиму температуру НЕ  $T_{HE}=973^\circ\text{K}$ , відповідно: для ДП  $610^\circ\text{K}$ , біоетанолу до  $543^\circ\text{K}$ , бензину  $608^\circ\text{K}$  і ОРП  $712^\circ\text{K}$ , отримано значення температур вздовж осі трубки ТАВ від відстані до НЕ для даних палив (рис.6-9.).

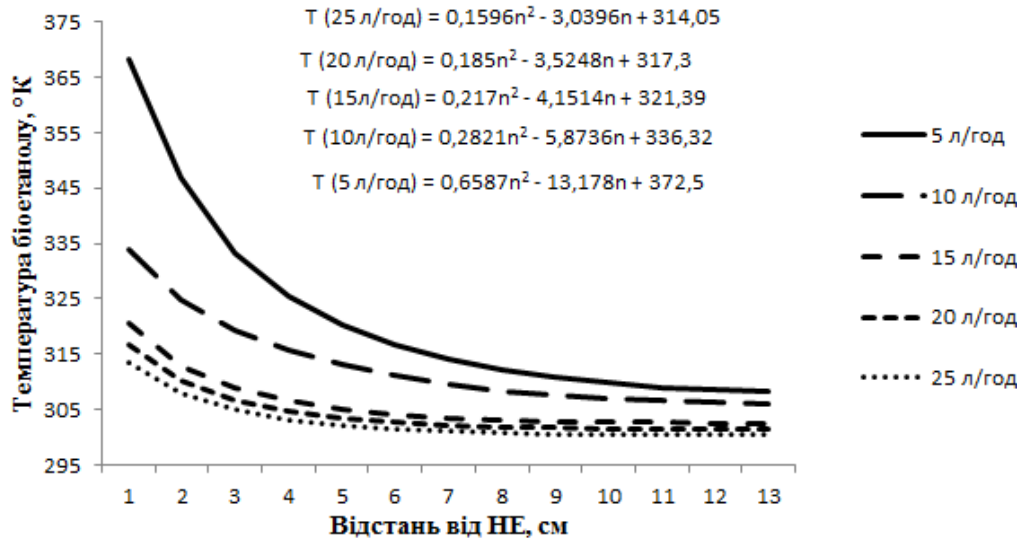


Рис.6. Залежність температури біоетанолу від відстані до НЕ для  $Q = 5-25 \text{ л/год}$  ( $R^2=0,92-0,97$ )

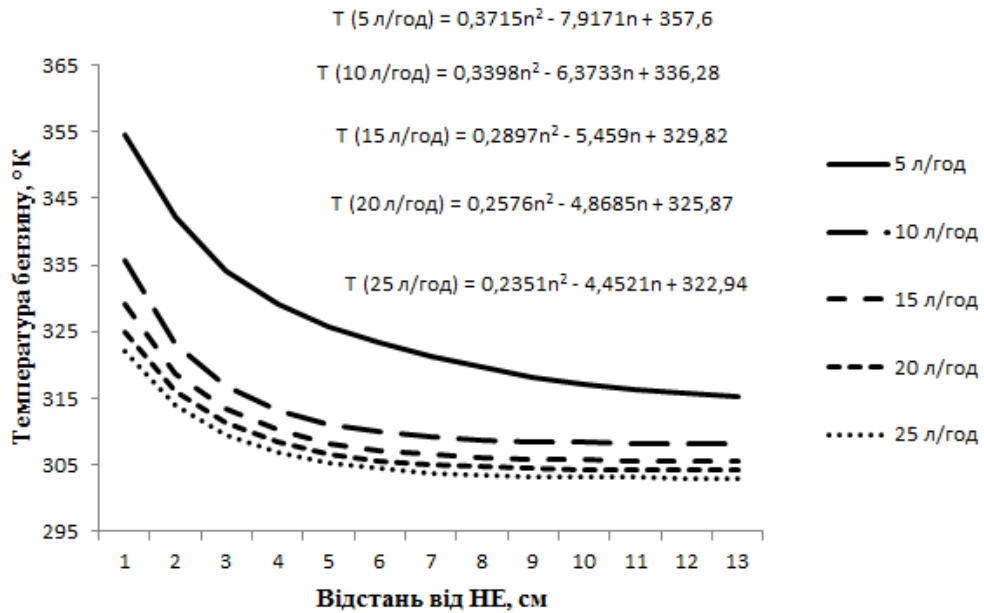


Рис.7. Залежність температури бензину від відстані до НЕ для  $Q = 5-25 \text{ л/год}$ . ( $R^2=0,9-0,96$ )

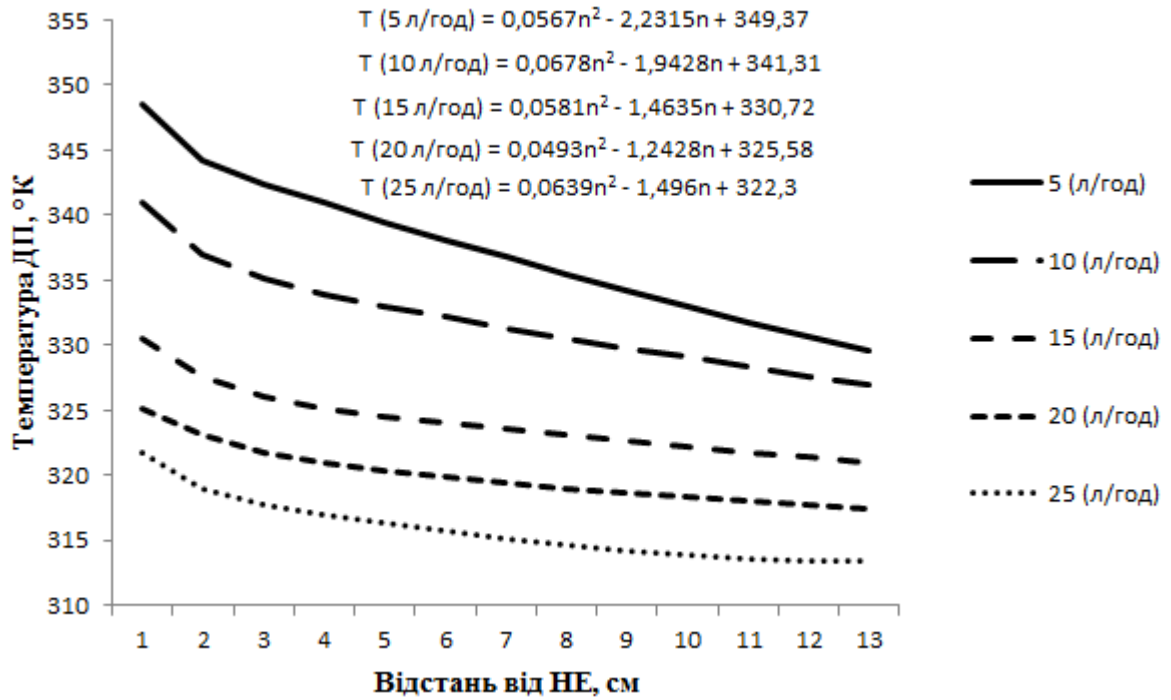


Рис.8. Залежність температури ДП від відстані до НЕ для  $Q = 5-25$  л/год. ( $R^2=0,92-0,99$ )

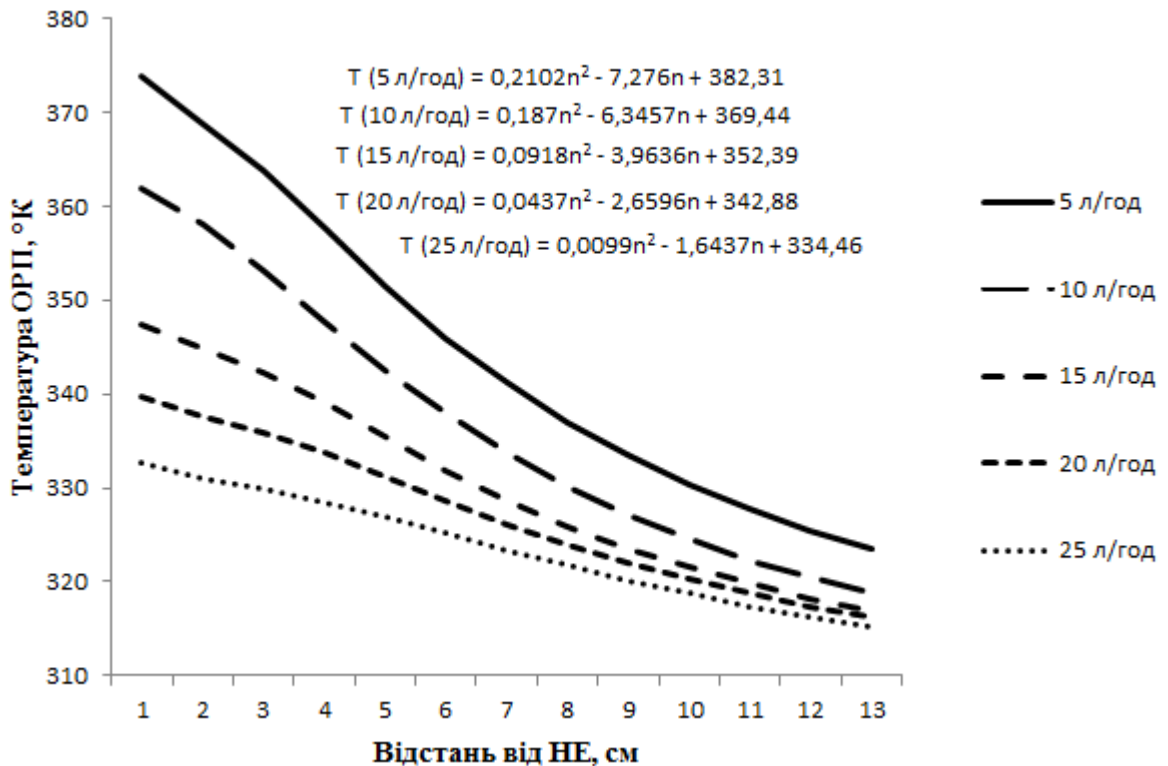


Рис.9. Залежність температури ОРП від відстані до НЕ для  $Q = 5-25$  л/год. ( $R^2=0,99$ )

З рис. 6-9 видно, що для більшості палив максимальна відстань від НЕ, при якій перепад температури палива можливо виміряти з достатньою точністю, складає 7см. Однак для ОРП, через її величину динамічної в'язкості, діапазон вимірювання температури більший і дозволяє вимірювати збільшену температуру навіть на відстані по осі трубки ТАВ до 13см.

**Висновки:** 1. Отримано залежності температур палив по осі трубки ТАВ, з урахуванням їх витрат від відстані до НЕ.

2. З метою підвищення точності вимірювань та чутливості ТАВ для бензину, ДП, біоетанолу, ОРП і різних їх витрат двигуном автомобіля ТАВ повинен мати наступні геометричні параметри: відношення розмірів діаметра НЕ до внутрішнього діаметра трубки витратоміра  $D_2/D_1=2/3$ . Вимірювання витрат палива доцільно виконувати в діапазоні  $n=1...7$  см по осі трубки ТАВ для автомобілів, що працюють на паливах з відносно невеликим значенням динамічної в'язкості.

1. Ільченко А.В., к.т.н., Романова А.О., Урахування властивостей двокомпонентних палив у процесі вимірювання їх витрати термоанемометричним витратоміром. Вісті Автомобільно-дорожнього інституту, 2007, № 1(4) ст.104.
2. Безвесільна .Е.Н. Ильченко А.В. Тростенюк Ю.В. Калориметрический расходомер моторных топлив с повышенной точностью измерения расхода. Перспективные направления развития автотранспортного ком-П 27 плекса: сборник статей VI Международной научно-производственной конференции. /МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2013. – 14 с.
3. А.А. Алямоский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Понамарев Solidworks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике/ - СПб.:БХВ-Петербург, 2008. - 1040 с.
4. <http://renault-trucks.kharkov.ua/pdf/renault-magnum-euro-5.pdf>
5. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. (ISO 4589-84)-ГОСТ 12.1.044-89- М.: Стандартинформ,2006.-100с. (Стандарт Российской Федерации)

Стаття надійшла до редакції 17.04.2014