

REQUIREMENTS FOR DYNAMIC AND STATIC TESTING OF TRACTOR HYDRAULIC SYSTEMS

Eng. Lachezar Apostolov – PhD Student

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering
University of Ruse “Angel Kanchev”
E-mail: lapostolov@uni-ruse.bg

Prof. Gencho Popov, PhD

Department of Heat, Hydraulics and Environmental Engineering,
“Angel Kanchev” University of Ruse
E-mail: gspopov@uni-ruse.bg

Prof. Krasimir Ormandzhiev, PhD

Technical university of Gabrovo, Bulgaria
E-mail: khormandzhiev@gmail.com

Abstract: *The paper presents development of a test bench for the hydraulic system of agricultural tractors, according to the requirements of Code 2 of OECD. By this method can be tested hydraulic power and type of the peak pressure of hydraulic drive systems of agricultural tractors in real-time.*

Keywords: *OECD Standard Code 2.*

ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременните трактори една от основните системи е тази за хидравлични задвижвания на различните агрегирани земеделски машини. Това определя и повишените изисквания към нея. Определянето на параметрите на хидравличните системи се извършва по съответни методики, които дават възможност за съпоставимост на получените резултати. Такива методики например са регламентирани в Код 2 на Стандарта за изпитване на земеделски трактори на Организацията за икономическо сътрудничество и развитие (OECD STANDARD CODE 2) – [5].

Съгласно този Код параметрите, които трябва да се определят са хидравлична мощност и пиково налягане на системата за отвеждане на мощност, както и товароподемност на хидравличната навесна система.

Пиковото налягане е максималната стойност на налягането при преминаване на буталото на хидравличния цилиндър между при неговите две крайни положения при прав и обратен ход.

Хидравличната мощност е мощността в kW, която може да се предаде с хидравличния поток на управлението на трактора, спирачките на ремаркетото и хидрофицирана земеделска техника, агрегирана към трактора. Определят се дебитът и налягането, които хидравличната система на трактора може да създаде.

Определянето на хидравличната мощност и товароподемността на навесната система са свързани със статичните характеристики на хидравличните системи.

Големината на пиковото нарастване на налягането в края на ходовете на хидроцилиндъра дава информация за динамичните характеристики на хидравличните системи. За извършване на сравнителен анализ на тези характеристики за хидросистеми, използвани в различните трактори от даден клас, е необходимо изясняване на влиянието на отделните елементи на системите (помпа, клапан, разпределител, свързващи линии и др.) върху пиковото повишаване на налягането.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Ще бъдат анализирани особеностите и основните изисквания по определяне на статичните и динамични характеристики на хидравличните системи на земеделските трактори.

• *Хидравлична мощност*

Параметрите на хидравличната система (налягане и дебит) определят възможността на трактора за задвижване на агрегатирани хидрофицирани земеделски машини.

Начинът на определяне на хидравличната мощност зависи от схемата на изпълнение на системата за отвеждане на част от мощността (СОМ) на трактора. В съвременните трактори се използват два принципно различни подхода при изграждане на хидравличните системи за отвеждане на мощност: системи с постоянен дебит и системи с постоянно налягане. Първият вид хидросистеми се изпълняват с нерегулируеми помпи (най-често зъбни), а вторият – с регулируеми аксиално бутални помпи. При системите с постоянен дебит захранването на различните едновременно работещи изпълнителни механизми (хидродвигатели), с различни скоростни режими, се постига чрез използването на няколко помпи или дроселни делители и регулатори на дебит.

Както добре е известно, мощността на течностния поток се определя по зависимостта:

$$P = \frac{pQ}{60}, \text{ kW}, \quad (1)$$

където: p е налягането в [MPa], а Q - дебитът в [l/min].

Както е известно, основен елемент във всяка една хидросистема е помпата (помпите). Основен параметър на всяка една обемна помпа, който характеризира геометричните характеристики на машината и възможностите за осигуряване на дадено количество течност, е работният обем q . Теоретичният дебит при дадена честотата на въртене n е

$$Q_T = qn. \quad (2)$$

Дебитът на помпата е

$$Q_p = Q_T \eta_o = qn \eta_o, \quad (3)$$

където η_o е обемният коефициент на полезно действие (КПД).

Дебитът Q_C , който се получава на изхода на тракторната хидросистема (на изходите на хидравличния разпределител) в общия случай е по-малък от теоретичния дебит на помпата

$$Q_C = Q_T - \Delta Q_p - \Delta Q_C, \quad (4)$$

където ΔQ_p са обемните (дебитните) загуби в помпата, а ΔQ_C - обемните (дебитните) загуби в отделните елементи от хидросистемата (клапани, разпределители и др.).

Обемните загуби, при приемане на първо приближение, че протечките през различните хлабини в отделните елементи са с ламинарен характер, могат да се представят по следния начин:

$$\Delta Q_p = k_p \frac{p}{\mu}, \quad (5)$$

$$\Delta Q_C = k_C \frac{p}{\mu}, \quad (6)$$

където k_p и k_C са коефициентите на обемните загуби, съответно за помпата и системата; p - налягането на помпата; μ - динамичният коефициент на работната течност.

Като се замести в (4) за дебита на изхода на тракторната хидросистема се получава

$$Q_C = qn - k_p \frac{p}{\mu} - k_C \frac{p}{\mu} \quad (7)$$

като това уравнение се представя във вида

$$Q_C = qn \left(1 - K_p \frac{P}{\mu n} - K_C \frac{P}{\mu n} \right), \quad (8)$$

където $K_p = \frac{k_p}{q}$ и $K_C = \frac{k_C}{q}$ са безразмерни коефициенти, зависещи основно от геометричните размери на уплътнителните хлабини в помпата и различните хидравлични устройства на системата.

Загубите на налягане в хидросистемата спрямо развиваното от помпата налягане p са обикновено пренебрежимо малки и може да се приеме

$$p_C \approx p. \quad (9)$$

Като се заместят зависимости (7) и (8) в (1) зависимостта за разполагаемата хидравлична мощност на тракторната хидросистема приема вида

$$P = \frac{P q n}{60} \left(1 - K_p \frac{P}{\mu n} - K_C \frac{P}{\mu n} \right). \quad (10)$$

Добре се вижда, че разполагаемата мощност при даден типоразмер помпа (даден работен обем q) зависи от работните параметри на системата – честота на въртене n , динамичен вискозитет μ (а следователно работна температура T) на течността, от развиваното налягане p и от характеристиките на помпата (чрез коефициента K_p) и на системата като цяло (чрез коефициента K_C). Безразмерната величина $p/\mu n = \Pi$ е широко използвана в теорията на обемните хидравлични машини и често се нарича режимен параметър.

От всичко показано по-горе става ясно, че за коректен сравнителен анализ на тракторните хидросистеми е необходимо спазването на изискванията за еднакви условия при измерване на отделните хидравлични величини. Допълнителни условия за измерване на тези величини зависят от схемата на системата за отвеждане на мощност. Тогава, когато се използва една помпа за хранване на всички изпълнителни механизми на агрегатираните към трактора земеделски машини, измерването на хидравличните параметри става при свързване на измервателната система към единия от изводите на разпределителя, а другите остават затворени. При тракторни хидросистеми с две или повече помпи, е необходимо да се осигури тяхната паралелна работа (например чрез допълнително свързване на изходните линии), при което дебитите им се сумират в обща точка, към която се включва измервателната система.

В работа [1] е показан един вариант на система за измерване и експериментално определяне на хидравличната мощност при изпитване на земеделски трактори, която се използва и при определяне на пиковото налягане в края на хода на тестов хидроцилиндър.

• *Хидравлична навесна триточкова система на трактора*

При този вид изпитвания се определя товароносимостта на навесната система на трактора. За целта стандарта [6] регламентира използване на специална рамка, според категорията на изпитвания трактор. С помощта на тази тестова рамка се гарантира прилагането на тестовото усилие в точно определена точка – разположена на 610 mm назад от долните прикачни точки, на линия под прав ъгъл спрямо мачтата и преминаваща през средата на линията, свързваща долните прикачни точки.

При изпитване на трактори с пневматични гуми, трябва да се осигури тяхното стабилно подпиране на височина над земната повърхност, равняваща се на радиуса на най-големите задни гуми и съответните най-големите предни гуми. Трактори, снабдени с гумени вериги, се поддържат неподвижни на височина над земната повърхност, равна на височината, измерена статично върху твърда равна повърхност, без навесен товар.

На измерване подлежат силата на повдигане и съответното налягане на хидравличната система в минимум шест точки, разположени приблизително равномерно през целия диапазон на движение на навесната система, включително двете крайни положения. Във всяка точка силата трябва да бъде максималната за статичното натоварване. Допълнително трябва да се

запише диапазонът на преместване. Записаното по време на изпитването налягане трябва да надвиши минималното налягане, на което е настроен преливният клапан.

Стойностите на измерената сила трябва да се коригират за да съответстват на налягане, равно на 90% от действителното налягане, на което е настроен предпазният клапан на хидравличната навесна система. Коририраната стойност на най-малката сила на повдигане образува максималната вертикална сила, която може да бъде създавана от навесната система в целия диапазон на нейното движение.

Основните резултати от този вид изпитване се свеждат до следните:

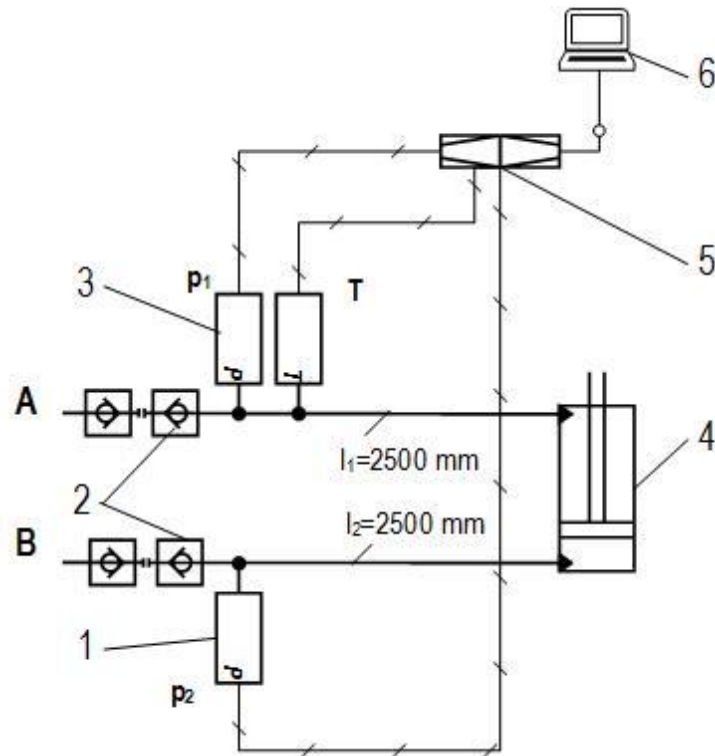
- стойност на максималната коририрана вертикална сила в долните прикачни точки и в центъра на тежест на стандартната рамка като функция от височината на повдигане, измерена спрямо хоризонталните долни рамена за целия диапазон на движение на навесната система;
- големина на пълния диапазон на вертикално преместване на съответните точки на прилагане на силата;
- стойност на налягането, равно на 90% от действителното налягане, на което е настроен предпазният клапан, както и тази, съответстваща на максималната мощност, осигурявана от хидравличната система;
- стойност на изчисления момент спрямо оста на задните колела, създаван от максималната приложена към рамката външна сила, която може да бъде приложена през целия диапазон на преместване.

• *Големина на пиковото нарастване на налягането на хидросистемата*

Пиковото (върховото) повишаване на налягането в дадена хидросистема е явление, предизвикано основно с възникването на хидравличен удар. Както е известно, това е свързано с еластичността на елементите на системата. Повишеното налягане може да предизвика рязко увалечиване на силовото натоварване на отделните съставни звена, както и на задвижваните работни органи, и като резултат излизане от строя на части или на цялата системата за хидравлично задвижване.

Опитното определяне на пиковото налягане се извършва при спазване на стандартите [2, 3] за изпитване по код 2 на OECD STANDARD CODE 2. Там са посочени изискванията за опитното получаване на стойностите за пиковото налягане, основните от които са: използване на двойнодействащ хидравличен цилиндър с едностранен бутален прът с размери: диаметър на буталото $D=80\text{ mm}$ и на буталния прът $d=30\text{ mm}$, ход на буталото $l=200\text{ mm}$, дължина на съединителните линии (хидравличните маркучи), свързващи хидравличните изводи на трактора (изводите на разпределителя) до хидроцилиндъра $L=2500\text{ mm}$ и номинален вътрешен отвор $d_{pl}=10\text{ mm}$.

На фиг. 1 е показана принципна схема на система за измерване на пиковото налягане на хидросистемите на земеделски трактори [1].



Фиг. 1 Схема на система за измерване на пиково налягане

1-Сензор за налягане, свързан към отвор (B) на разпределителя; 2-Бързосменни връзки; 3-Сензор за налягане, свързан към отвор (A) на разпределителя; 4-Тестов хидравличен цилиндър – $D=80$ mm/ $d=30$ mm/ $L=300$ mm; 5-Измервателен уред; 6-Компютърна система

Теоретичното изследване изменението на налягането в дадена задвижваща хидросистема става с разработването на динамичен модел тази система. На база получените преходни процеси в хидравличната задвижваща система при движение на буталото в прав и обратен ход. С помощта на такъв модел могат да се моделират процесите при различни работни режими на системата и на база получените резултати да се извършва сравнителен качествен анализ на динамичните характеристики на хидравличните системи на различни земеделски трактори.

Исходно уравнение е това за движението на изпълнителния механизъм (тестовия хидроцилиндър 4 – фиг. 1)

$$m \frac{dv}{dt} + k_f v = S_1 p_{1m} - S_2 p_{2m} ,$$

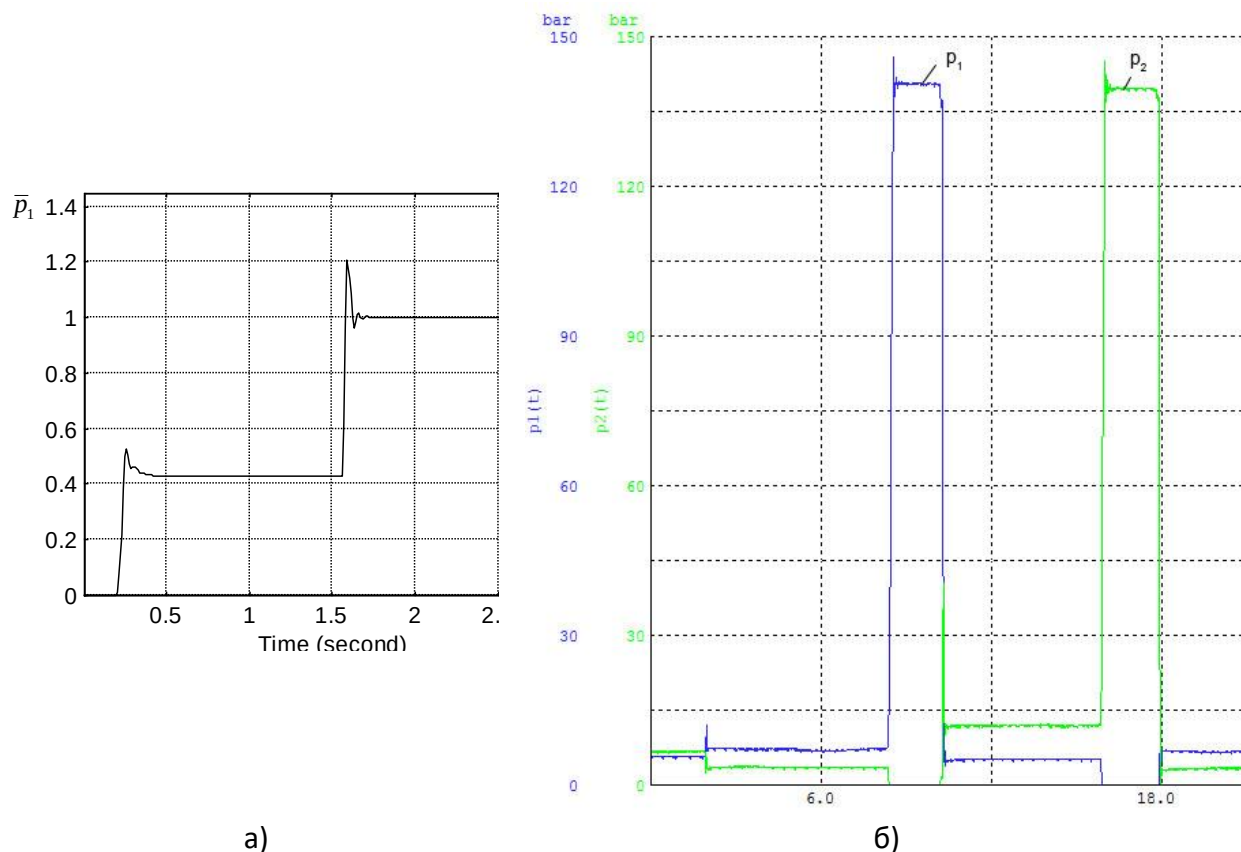
където: v е скоростта на движение на буталото на хидроцилиндъра; p_{1m} , p_{2m} - налягането съответно в буталната и прътовата камера на хидроцилиндъра; m – масата на подвижните части (бутало и бутален прът), приведена към буталото на цилиндъра; k_f - коефициент на триене; S_1 , S_2 – ефективни площи на буталото откъм буталната и прътовата камери на хидроцилиндъра.

Другите основни уравнения, участващи в един динамичен модел за изследване на задвижващата хидросистема, са уравненията за дебитите с отчитане свиваемостта на течността през включените хидравлични елементи и устройства (разпределител, клапан, тръбопроводи) и хидравличните машини (помпа и хидроцилиндър).

Влиянието на основните елементи на системата върху изследваната величина (пиковото нарастване на налягането в края на ходовите на хидроцилиндъра) се оценява чрез вида на съответните уравнения, описващи статичните характеристики на дадения елемент (линеен или нелинеен).

Един такъв динамичен модел за изследване на пиковото налягане е представен в [4]. На фиг. 2а е показан теоретично полученият преходен процес на повишаване на налягането при извършване на прав ход на буталото на хидроцилиндъра. Експериментално полученото

изменение на налягането е дадено на фиг. 2б. Добре се вижда, че нарастването на налягането в края на хода на буталото (на фиг. 2а е дадено в относителен вид $\frac{P}{P_{\max}}$) е в границите на до 20%.



Фиг. 2 Изменение на налягането в работните камери на хидроцилиндр

Опитно определеното пиково налягане (фиг. 2б) добре се съгласува по характер на изменението на налягането с това, получено по теоретичен път, като нарастването има по-малки стойности. Това показва, че използваният подход за моделиране динамичните процеси в хидравличните системи на земеделски трактори дава възможност за изследване влиянието на отделните елементи на системата върхо пиковото нарастване на налягането. За подобряване на съпоставимостта на стойностите, получени по теоретичен и по опитен път, е необходимо подобряване описанието на характеристиките на включените в системата хидравлични елементи.

ИЗВОДИ

За коректен сравнителен анализ на възможностите на хидравличните системи на различни видове трактори е необходимо осигуряване на идентични условия при опитното определяне на изследваните величини. Тези условия са регламентирани в Код 2 на Стандарта за изпитване на земеделски трактори на Организацията за икономическо сътрудничество и развитие (OECD STANDARD CODE 2), основни моменти от които са посочени в тази работа.

Теоретичното изследване на динамичните процеси в тракторни хидросистеми при различни характеристики на основните елементи и устройства в тях дава възможност за качествен анализ на опитно получените преходни процеси на изследваните системи.

ACKNOWLEDGEMENT: *The Study Was Supported By Contract Of University Of Ruse "Angel Kanchev", № Bg05m2op001-2.009-0011-C01, "Support For The Development Of Human Resources For Research And Innovation At The University Of Ruse "Angel Kanchev". The Project Is Funded With Support From The Operational Program "Science And Education For Smart Growth 2014 - 2020" Financed By The European Social Fund Of The European Union.*

REFERENCES

Попов, Г. *Изпитване на хидравлични системи на земеделски трактори* // Научни трудове на РУ, т. 52, сер. 1.2, Русе 2013, стр. 140-144. ISSN 1311-3321.

ISO/OCED 789-10 „Agricultural tractors. Test procedures. Part 10: Hydraulic power at tractor/implement interface“.

OECD Standard Codes for the Official Testing of Tractors - 2013 edition.

Popov, G., K. Ormandzhiev. *Dynamic Processes Modeling In Measuring Of The Peak Pressure Of Hydrosystems Of Tractors Used In Agriculture*. IN: 5 th International Conference on Thermal Engines and Environmental Engineering, University "Dunărea de Jos" of Galați, 2013.

www.oecd.org/agriculture/code/tractors.htm

Test Procedure for Measuring Hydraulic Lift Capacity on Agricultural Tractors Equipped with Three-point Hitch J283_200904.