

WORKING REGIMES OF THE AGRICULTURAL MACHINES DESIGNED TO SOIL TILLAGE: FROM OPTIMIZATION TO FUNDAMENTALS (2)

REGIMURILE DE LUCRU ALE MASINILOR DESTINATE LUCRARILOR SOLULUI: DE LA OPTIMIZARE LA FUNDAMENTE 2)

Math. Cârdei P.¹⁾, Assoc. Prof. PhD. Eng. Kostadinov G.²⁾

¹⁾INMA Bucharest / Romania; ²⁾RILRAM Sofia / Bulgaria

Tel: 021-2693276; E-mail: petru_cardei@yahoo.com

Abstract: The article continues to present some results related to those in [3], thoroughly studying the results of aggregates working optimization operating mode designed to soil works, their significance and interpretation.

Keywords: basis, soil, farm, machinery, optimisation

INTRODUCTION

In [3] we have tackled several ways of optimization for machines designed to soil works. Theoretical and numerical results were obtained. The theoretical results have been obtained after solving the problems of optimum. Numerical solutions were obtained by mathematical programming. The theoretical solution which obtains the smallest optimum speed gives it a value closed to optimum speeds of working regimes found out by mathematical programming, in tractor's higher velocity steps. Therefore, optimum speed (4) from first part is tangible. The speed structure and its significance is very relevant.

In [8] the classical calculation formulae for resistance force of agricultural machines for preparing the germinating bed have been substantially modified, by unifying the calculus of resistance force to traction for ploughs. So, it was possible to formulate the optimality problem statement at machines for preparing the germinating bed similarly to ploughs.

The optimal construction process of working regimes, especially theoretically, based on analytical solutions brought in the forefront the optimal speeds formulae with a very interesting structure, (4) and (7) from first part of article. The main relevant term is the report between specific resistance to soil deformation, k , and the coefficient defining the term depending on the square of working speed in the formula of resistance force to traction in [9], respectively the formula (1) from [11], ε . Their relation has the dimension of a velocity square, and the ratio's square root has obviously the size of a speed.

It is important to notice that the specific resistance to soil deformation, as a specific term of soil working agricultural machines theory has the value of a voltage or pressure, and coefficient ε , has the size of a mass density, as we have shown in [8] and is also shown in [6] and represents a physical dimension specific to soil working machines. Therefore, according to general theory of waves propagation in continuous media, the optimal speed given by (4), in first part of paper, can be assimilated as a propagation speed of a certain type of waves into the soil. Finding the nature of these waves is the answer we are trying to give after assimilating all the physical values specific to agricultural machines for soil works, k , ε , as values appropriate to classical mechanics of continuous media.

The main goal of this article is to expose a suggestion of passing from the two values appropriate to soil working machines to mechanical values generally used in the

Rezumat: Articolul continuă expunerea unor rezultate conexe cu cele din prima parte a articolului, în sensul analizei aprofundate a rezultatelor optimizării regimului de lucru al agregatelor destinate lucrărilor solului și semnificației și interpretării acestora.

Cuvinte cheie: fundamente, sol, mașini agricole, optimizare

INTRODUCERE

În prima parte a articolului abordat mai multe căi de optimizare pentru mașinile destinate lucrărilor solului. S-au obținut rezultate teoretice și numerice. Rezultatele teoretice s-au obținut în urma rezolvării unor probleme de optimum cu legături. Soluțiile numerice au fost obținute folosind programarea matematică. Soluția teoretică ce obține viteză optimă cea mai mică dă o valoare a acesteia apropiată de vitezele optime ale regimurilor de lucru găsite prin metoda programării matematice, în treptele superioare de viteză ale tractorului. Prin urmare viteză optimă (4) din prima parte este tangibilă. Este interesantă structura acesteia și semnificația ei și de la aceasta au plecat considerațiile de bază.

În [8] s-au modificat substanțial formulele clasice de calcul pentru forța de rezistență a mașinilor agricole pentru pregătirea patului germinativ, unificând calculul pentru acest tip de mașini agricole cu calculul forței de rezistență la tracțiune pentru pluguri. Astfel a fost posibilă formularea enunțului problemei de optimalitate la mașinile pentru pregătirea patului germinativ similar cu aceeași problemă privind plugurile.

Procesul de construcție optimă a regimurilor de lucru, în special pe cale teoretică, cu soluții analitice, a adus în prim plan formule ale vitezelor optime cu o structură foarte interesantă, (4) și (7) din prima parte a articolului. Termenul principal care stârnește interesul este raportul dintre rezistența specifică la deformare a solului, k , și coeficientul care definește termenul dependent de pătratul vitezei de lucru în formula forței de rezistență la tracțiune din [9], respectiv formula (1) din [8], ε . Raportul acestora are dimensiunea pătratului unei viteze, iar rădăcina pătrată a raportului, evident, dimensiunea unei viteze.

În continuare, se remarcă faptul că rezistența specifică la deformare a solului, care este un termen specific teoriei mașinilor agricole destinate prelucrării solului, are dimensiunea unei tensiuni sau presiuni, iar coeficientul ε , are dimensiunea unei densități de masă, așa cum s-a arătat în [8] și se arată și în [6] și este o mărime fizică de asemenea specifică teoriei mașinilor agricole destinate lucrărilor solului. Ca urmare, în concordanță cu teoria generală a propagării undelor în medii continue, viteza optimă dată de (4), în prima parte a lucrării, poate fi asimilată cu o viteză de propagare a unui tip de unde în sol. Ce fel de unde, rămâne să încercăm un răspuns după ce vom asimila mărimile fizice specifice teoriei mașinilor agricole destinate lucrării solului, k , ε , cu mărimi corespunzătoare din mecanica clasică a mediilor continue.

Scopul principal al acestui articol este de a expune o propunere de trecere de la cele două mărimi specifice teoriei mașinilor agricole destinate lucrărilor solului la mărimi

theory of continuous body from mechanics of continuous media, a common language for the theory of metallic structures deformation, geotechnics or other scientific and technical domains. This way, we can make the connection between the laboratory data obtained at soil tests and soil characteristics used in formulae and calculations above.

For a more explanatory exposing, we defined all the variables involved in table 1.

mecanice unanim folosite în teoria corpului continuu din mecanica mediilor continue, limbaj în care se exprimă și teoria deformării structurilor metalice, geotehnica sau alte domenii științifice și tehnice. Prin realizarea acestui pas se poate face și legătura între datele de laborator obținute la încercarea solurilor și caracteristicile solului folosite în formulele și calculele de mai sus.

Pentru comoditatea expunerii s-au definit toate variabilele implicate în expunere în tabelul 1.

Table 1 / Tabelul 1

Problem parameters / Parametri problemei

Parameter denomination / Denumirea parametrului	Notation / Notație	Dimension and measuring unit / Dimensiune și unitatea de măsură
Parameters characterizing the soil physical features / Parametrii care caracterizează proprietățile fizice ale solului		
Coefficient characterizing the specific resistance to soil deformation / Coeficient care caracterizează rezistența specifică la deformare a solului	k	$ML^{-1}T^{-2}$; Pa
Coefficient depending on shape of active surface of working parts and soil characteristics / Coeficient dependent de forma suprafeței active a organelor de lucru și de proprietățile solului	ε	ML^{-3} ; kg/m^3
Coefficient depending on working parts active surface / Coeficient care depinde de forma suprafeței active a organelor de lucru	ε'	-
Soil mass density / Densitatea de masă a solului	ρ	ML^{-3} ; kg/m^3
Soil humidity/Umiditatea solului	u	%
Limit stress of soil flowing at compression / Tensiunea limită de curgere a solului la comprimare	σ_{cc}	$ML^{-1}T^{-2}$; Pa
Limit stress of soil flowing at shearing (cutting) / Tensiunea limită de curgere a solului la forfecare (tăiere)	σ_{ct}	$ML^{-1}T^{-2}$; Pa
Limit stress of soil splitting at compression / Tensiunea limită de fisurare a solului la comprimare	σ_{fc}	$ML^{-1}T^{-2}$; Pa
Limit stress of soil splitting at shearing / Tensiunea limită de fisurare a solului la forfecare (tăiere)	σ_{ft}	$ML^{-1}T^{-2}$; Pa
Parameters characterizing the geometry of machine and aggregate / Parametri care caracterizează geometria mașinii și agregatului		
Protection of working depth on the normal plan to forward direction / Proiecția adâncimii de lucru pe planul normal la direcția de înaintare	a	L; m
Protection of a part working width on the normal plan to forward direction / Proiecția lățimii de lucru a unui organ pe planul normal la direcția de înaintare	b	L; m
Number of working parts / Numărul de organe de lucru	n	-
Machine working width / Lățimea de lucru a mașinii	B	m
Parameters characterizing the process dynamics / Parametri care caracterizează dinamica procesului		
Working speed / Viteza de lucru	v	m/s
Force of resistance to traction / Forța de rezistență la tracțiune	R	MLT^{-2} ; N
Coefficient of friction between soil and machine supporting parts on soil / Coeficient de frecare între sol și părțile de sprijin ale mașinii agricole pe sol	f	-
Mass of the machine designed to soil works / Masa mașinii destinată lucrărilor solului	m	M; kg
Gravity acceleration / Accelerația gravitațională	g	LT^{-2} ; m/s^2
Agricultural machine weight / Greutatea mașinii agricole	G	MLT^{-2} ; N
Parameters characterizing the process energetics / Parametri care caracterizează energetica procesului		
Hourly fuel consumption / Consumul de combustibil orar	C_h	MT^{-1} ; kg/s
Fuel consumption specific to surface unit worked / Consumul de combustibil specific unității de suprafață lucrata	C_w	ML^{-2} ; kg/m^2
Motion parameters of a rigid body into a fluid / Parametri mișcării unui solid rigid într-un fluid		
Forward resistance coefficient / Coeficientul de rezistență la înaintare	C_x	-
Maximum area section obtained by crossing the body with a normal plan at speed direction \vec{v}_∞ / Secțiunea de arie maximă obținută prin intersecția solidului cu un plan normal la direcția vitezei \vec{v}_∞	A	L^2 ; m^2
Fluid velocity/ Viteza fluidului	\vec{v}_∞	LT^{-1} ; m/s
Resistance opposed to a solid body when moving into a fluid, towards the displacement direction / Rezistența întâmpinată de un corp solid în mișcarea într-un fluid, pe direcția de deplasare	R_f	MLT^{-2} ; N
Reynolds number / Numărul lui Reynolds	Re	-
Dynamic viscosity / Vâscozitatea dinamică	μ	$ML^{-1}T^{-1}$; $kgm^{-1}s^{-1}$

MATERIAL AND METHOD

Main formula from which the resistance force formula appearing in [6] starts:

Using formula (1) and formula of working capacity, a problem of optimum is formulated (which reduces to minimum an objective function such as in [2] or [11]), leading to the following formula of optimum working speed:

$$R = fG + (k + \varepsilon v^2) aB, \quad (1)$$

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{k}{\varepsilon}}, \quad (2)$$

And, respectively, resistance force to minimum traction:

MATERIAL ȘI METODĂ

Formula de bază de la care se pleacă este formula forței de rezistență la tracțiune care apare în [6]:

Folosind formula (1) și formula capacității de lucru se formulează o problemă de optimum (care minimizează o funcție obiectiv construită ca în [2] sau [11]) care conduce la următoarea formulă a vitezei optime de lucru:

și corespunzător, forța de rezistență la tracțiune minimă:

$$R_{\min} = fG + 2kaB \quad (3)$$

An alternative to optimization method in [2] or [11], is given in first part of paper and leads to appropriate coordinates of optimal point, the speed:

O alternativă la metoda de optimizare din [2] sau [11], este cea dată în prima parte a lucrării și care conduce la coordonatele corespunzătoare ale punctului optimal, viteza:

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{fG}{\varepsilon aB} + \frac{k}{\varepsilon}} \quad (4)$$

Respectively the resistance force to traction:

Respectiv forța de rezistență la tracțiune:

$$R_{\min} = 2(fG + kaB) \quad (5)$$

It can be noticed that the ratio between the soil characteristics, k and ε under the radical in formula (2), which has the value of a speed square, appears in both optimal speed formulae. This relation between main mechanical soil characteristics, relation between a stress value and a physical dimension with density value have suggested the fact that this report could be the square of waves propagation speed into the soil, deduced from continuous media mechanics and waves propagation in continuous media. In order to exploit this idea, soil parameters dependence, k and ε , on parameters defining the mechanical model of continuous body, [5], or [10] should be investigated

Se observă că raportul dintre caracteristicile solului, k și ε de sub radicalul din formula (2), care are dimensiunea pătratului unei viteze, apare în formula ambelor viteze optime. Acest raport între caracteristicile mecanice de bază ale solului, raport între o mărime cu dimensiune de tensiune și o mărime fizică cu dimensiune de densitate sugerează faptul că acest raport ar putea fi pătratul unei viteze de propagare a unor unde în sol, sugestia fiind dată de mecanica mediilor continue și propagarea undelor în acestea. Pentru a putea exploata această idee, trebuie investigată dependența parametrilor caracteristici ai solului, k și ε , de parametrii care definesc modelul mecanic al corpului continuu, [5] sau [10].

Hypotheses on coefficient nature ε

Coefficient type ε , introduced in formula of resistance force to traction for ploughs, in [6], is partially cleared by the author in that paper [6]. After [6], coefficient ε is defined by the formula:

Ipoteze asupra naturii coeficientului ε

Natura coeficientului ε , introdus în formula forței de rezistență la tracțiune pentru pluguri, în [6], este parțial lămurită de autor în acea lucrare. După [6], coeficientul ε se definește prin formula:

$$\varepsilon = \varepsilon' \cdot \frac{\gamma}{g} \quad (6)$$

The report between the specific weight and gravity acceleration is soil mass density and then, the formula (6) is more easily written:

Raportul dintre greutatea specifică și accelerația gravitațională este densitatea de masă a solului și atunci formula (6) se scrie mai simplu:

$$\varepsilon = \varepsilon' \cdot \rho \quad (7)$$

As [9] states that coefficient ε' depends only on the working part surface shape, we introduce a first hypothesis where we supposed that close to contact surface of working part, soil plastifies or gets broken (possibly flows in certain conditions), so that the machine parts movement is similar to a rigid body motion into a fluid, which features are going to be precised afterwards. We have supposed that overcoming the static component of resistance force to soil deformation, kaB , transforms a small soil area around the working part approach surface into a plastified area where the part displacement is performed in a more viscous flow.

Cum [9] afirmă că coeficientul ε' depinde numai de forma suprafeței organului de lucru, introducem o primă ipoteză în care s-a presupus că în vecinătatea suprafeței de contact a organului de lucru, solul se plastifică sau se rupe (posibil și un fenomen de lichefiere în anumite condiții), astfel încât deplasarea organelor de lucru ale mașinilor destinate lucrărilor solului în sol se consideră similară cu mișcarea unui corp rigid într-un fluid ale cărui proprietăți se vor preciza mai târziu. S-a presupus că învingerea componentei statice a forței de rezistență la deformare a solului, kaB , transformă o mică vecinătate a solului din jurul suprafeței de atac a organului de lucru într-o zonă plastificată în care deplasarea organului se face ca într-un fluid mai vâcos.

Resistance set back by a solid body moving into a fluid, on displacement direction, according to [6], is:

Rezistența întâmpinată de un corp solid în mișcarea într-un fluid, pe direcția de deplasare, conform [3], este:

$$R_f = \frac{1}{2} C_x \rho A V_{\infty}^2 \quad (8)$$

Comparing the term depending on the speed square in formula (1) with (8), taking into account of (7) and assimilating the working speed \bar{v} with the speed \bar{V}_{∞} , it is obtained the formula:

Comparând termenul ce depinde de pătratul vitezei în formula (1) cu (8), ținând seama de (7) și asimilând viteza de lucru \bar{v} cu viteza \bar{V}_{∞} , se obține formula:

$$\varepsilon' = \frac{1}{2} C_x \quad (9)$$

Then, the formula (1) may be written as:

Atunci formula (1) se poate scrie sub forma:

$$R = fG + (k + \frac{1}{2} C_x \rho v^2) aB \quad (10)$$

The following structure results for ε coefficient

Rezultă pentru coeficientul ε următoarea structură:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} C_x \rho \quad (11)$$

Therefore, coefficient ε depends on soil features by its mass density and on working parts active surface shape through the resistance coefficient C_x . In order to define the resistance coefficient, the indications from Fluid Theory literature may be used, e.g. [3] or other applications, e.g. [12]. It follows :

$$C_x = C_x(\text{Re}) \quad (12)$$

where:

$$\text{Re} = \frac{vL\rho}{\mu} \quad (13)$$

where L is a value characteristic of the phenomenon (for soil working parts, it may be working depth or working width). Variable ρ is in this formula the fluid density, but because the fluid will simulate the soil behaviour around the working part, we kept the same notation as for soil density. In specialty literature of fluid mechanics and hydraulics, e.g. [8], certain specifications on the concrete form of the relation (12) are made depending on the value of Reynolds number. An approximate estimation of possible values of Reynolds number when the working part moves into the soil, shows the manner in which it can have values framed between 0.1 and 280. For small Reynolds numbers, category in which the values estimated before frame, [6] și [16], we should use the Lamb formula in order to calculate the resistance coefficient C_x depending on Reynolds number.

În care L este o dimensiune caracteristică a fenomenului (în cazul organelor de lucru în sol poate fi de exemplu adâncimea a de lucru sau lățimea de lucru). Variabila ρ este în această formulă densitatea fluidului, dar deoarece fluidul va simula comportamentul solului în jurul organului de lucru, s-a păstrat aceeași notație ca pentru densitatea solului. În literatura de specialitate de mecanica fluidelor și hidraulică, de exemplu [8], se fac anumite precizări asupra formei concrete a relației (12) funcție de valoarea numărului lui Reynolds. O estimare aproximativă a valorilor posibile ale numărului lui Reynolds în condițiile deplasării unui organ de lucru în sol, arată că aceasta poate lua valori cuprinse între 0.1 și 280. Pentru numere Reynolds relativ mici, categorie din care fac parte cele estimate mai înainte, [3] și [13], de exemplu sugerează folosirea formulei lui Lamb pentru calculul coeficientului de rezistență C_x , funcție de numărul lui Reynolds:

$$C_x = \frac{8\pi}{\text{Re}(2.2 - \ln \text{Re})} \quad (14)$$

The author [13] gives also alternative formulae. The most appropriate formula should be chosen by those who practically will verify this theory and by users. For dynamic viscosity values of soil we have used the data from [7] and [4]. In order to obtain a more concentrated expression of traction force, let us introduce (13) in (14) and then the coefficient C_x obtained in expression (10) of traction force. First of all we obtain:

Autorul [13] dă și formule alternative. Rămâne ca alegerea celei mai potrivite să fie făcută de cei ce vor verifica practic această teorie și de utilizatori. Pentru valori ale vâscozității dinamice a solului s-au folosit date din [7] și [4]. Pentru a obține o expresie mai concentrată a forței de tracțiune, să introducem (13) în (14) și apoi coeficientul C_x astfel obținut în expresia (10) a forței de tracțiune. Se obține mai întâi:

$$C_x = \frac{8\pi}{\frac{\rho av}{\mu} \left(2.2 - \ln \frac{\rho av}{\mu} \right)} \quad (15)$$

Therefore, the resistance coefficient C_x depends on speed and working depth, mass density and soil dynamic density. Moreover, taking into account the placing angle of working part on the soil, we may state an alternative hypothesis for the resistance coefficient.

Astfel, coeficientul de rezistență C_x devine funcție de viteza și adâncimea de lucru, de densitatea de masă și de vâscozitatea dinamică a solului. Mai mult, ținând seama de unghiul de așezare a organului de lucru pe sol, se poate emite pentru coeficientul de rezistență ipoteza alternativă:

$$C_x = \frac{8\pi \sin(\alpha)}{\frac{\rho av}{\mu} \left(2.2 - \ln \frac{\rho av}{\mu} \right)} \quad (16)$$

Introducing (16) in (10), results the following formula for resistance force to traction.

Introducând (16) în (10), rezultă următoarea formulă pentru forța de rezistență la tracțiune:

$$R = fG + \left(k + \frac{4\pi\mu \sin(\alpha)}{a \left(2.2 - \ln \frac{\rho av}{\mu} \right)} v \right) aB \quad (17)$$

It appears a more complex traction force dependence on speed than in case 1. Nevertheless, Lamb formula (14), is valuable only for $0.1 < \text{Re} < 9.025$. Therefore, formula (17) shall be applied only for Re within the interval precised and, for safety reasons, for $0.2 < \text{Re} < 8$. For the general case, the basis formula remains (10) and coefficient C_x should be calculated according to Reynolds number values, eventually using formulae from hydraulics

Apare astfel o dependență a forței de tracțiune mult mai complexă de viteză, decât în cazul (1). Touși, formula lui Lamb, (14), este valabilă numai pentru $0.1 < \text{Re} < 9.025$. Prin urmare formula (17) se va aplica numai pentru Re în interiorul intervalului precizat și, pentru siguranță, pentru $0.2 < \text{Re} < 8$. Pentru cazul general, formula de bază rămâne (10) iar coeficientul C_x se va calcula funcție de valorile numărului lui Reynolds, eventual folosind formule

or aerodynamics, at least till the creation of an experimental archive related to bodies motion into the soil, namely the *therrodynamics*.

Hypothese on type of coefficient characterizing the soil specific resistance to deformation, k

Coefficient k , characterizing, according to [9], the soils specific resistance to deformation, has the physical dimension of a stress. This coefficient should be identified with one of stresses of soil as continuous media or a combination between stress and medium. Among the limit stresses aiming to play the k role, we can enumerate the limit stress of elastic linear plan, plastifying limit stress (flowing) or limit breaking stress (failure) or a combination of these. The roles may be changed according to soil humidity and mechanical behaviour. As a first theoretical approximation, for humid and soft soils, k may be assimilated as limit plastifying stress, and for hard and breakable soils, as limit splitting stress. In [4] are given the values of limit flowing stress in known humidity and compaction conditions.

Therefore, for humidities comprised between 10% and 20 % and settling compressions framed within 100 and 300 kN, the limit plastifying stress measured has values comprised between 4 and 300 kPa. These values include the intervals in which the resistance coefficient varies according to soil deformation in specialty literature, [6], [11]. This limit stress can be compression or shearing stress (cutting), the both strain methods being present in soil preparation by means of soil working machines parts. At the same part, in areas with shearing phenomena, the limit stress can be flowing stress or cleaving by shearing. Values and variation of these limit stresses for different types of soils and different moisture values represent subjects for other relevant papers. Characteristic curves of stress-deformation for each case (compression or shearing) are very interesting subjects for specialists in soil mechanics.

Our basis hypothesis states that the resistance coefficient to soil deformation, k , from (1) may be one of limit stresses or a combination (linear or non-linear) of them. We notice this limit stress with σ . Then, taking in consideration also of (17), formula of the resistance force will be of the form of mechanic values defined in classical mechanic.

$$R = fG + \left(\sigma + \frac{4\pi\mu \sin(\alpha)}{a \left(2.2 - \ln \frac{\rho av}{\mu} \right)} v \right) aB . \quad (18)$$

The following remarks could be drawn:

- O1) soil is not a homogenous and isotropic medium;
- O2) soil mechanical features most vary on vertical, more precisely along with soil depth;
- O3) Considering the variation of mechanical properties of soil only working depth, formula (18) becomes:

$$R = \frac{1}{a} \int_0^a \left[f(x)G + \left(\sigma(x) + \frac{4\pi\mu(x) \sin(\alpha)}{a \left(2.2 - \ln \frac{x\rho(x)v}{\mu(x)} \right)} v \right) xB \right] dx . \quad (19)$$

So, formula (1) was brought to a form containing only values of classical mechanics and mechanics of continuous media, respecting their most strong variation into the soil, namely according to soil depth.

For many types of soil of existing curves of

din hidraulică sau aerodinamică, cel puțin până la dezvoltarea unei arhive experimentale privind mișcarea corpurilor în sol, adică ceea ce s-ar putea numi *terodinamică*.

Ipoteze asupra naturii coeficientului care caracterizează rezistența specifică a solului la deformare, k

Coefficientul k , ce caracterizează, conform [9], rezistența specifică a solului la deformare, are dimensiunea fizică a unei tensiuni. Acest coeficient ar trebui identificat cu una dintre tensiunile caracteristice ale solului privit ca mediu continuu sau cu o combinație a acestora. Printre tensiunile limită care pot candida la rolul lui k , se pot enumera: tensiunea limită a palierului liniar elastic, tensiunea limită de plastificare (curgere) sau tensiunea limită de rupere (cedare) sau o combinație a acestora. Funcție de umiditatea solului și de comportamentul mecanic al acestuia funcție de umiditate, rolurile pot fi schimbate. Într-o primă aproximație, teoretică, pentru solurile umede și moi, k poate fi asimilat cu tensiunea limită de plastificare, pentru cele tari și casante, cu tensiunea limită de rupere. În [4] sunt date valori ale tensiunii limită de curgere a solului în condiții de umiditate și compactare cunoscute.

Astfel, pentru umidități cuprinse între 10% și 20 % și tensiuni de compactare cuprinse între 100 și 300 kN, tensiunea limită de plastificare măsurată are valori cuprinse între 4 și 300 kPa. Aceste valori includ intervalele în care variază coeficientul de rezistență la deformare a solului în literatura de specialitate, [6], [11]. Această tensiune limită poate fi cea de comprimare sau de forfecare (tăiere), ambele moduri de solicitare fiind prezente în procesul de prelucrare a solului de către organele de lucru ale mașinilor de prelucrat solul. De asemenea, în zonele în care au loc fenomenele de forfecare, tensiunile limită pot fi cele de curgere sau fisurare prin forfecare. Valorile și variația acestor tensiuni limită pentru diverse tipuri de soluri și la diverse valori ale umidității sunt subiecte pentru alte lucrări. Curbele caracteristice tensiune – deformație pentru fiecare dintre cazuri (compresiune sau forfecare) constituie subiecte foarte interesante pentru specialiștii în mecanica solurilor.

În esență, ipoteza noastră de bază este aceea că coeficientul de rezistență la deformare a solului, k , din (1) poate fi una dintre aceste tensiuni limită sau o combinație (liniară sau nu) a acestora. Notăm această tensiune limită cu σ . Atunci, ținând seama și de (17), formula forței de rezistență va primi o formă ce conține numai mărimi mecanice definite în mecanica clasică:

Se impun următoarele observații:

- O1) Solul nu este un mediu omogen și izotrop;
- O2) Proprietățile mecanice ale solului variază sensibil pe verticală, mai precis cu adâncimea în sol;
- O3) Considerând variația proprietăților mecanice ale solului numai cu adâncimea de lucru, formula (18) devine:

Cu aceasta am adus formula (1) la o formă care conține numai mărimi ale mecanicii clasice și mecanicii mediilor continue, respectând și variația cea mai pronunțată a acestora în sol, anume după adâncimea în sol.

Pentru multe tipuri de soluri există curbe de

dependence between mass density and humidity for many types of soil. By interpolation or other methods, this dependence can be introduced in (17). We can make the same remark for physical values through which the coefficient of resistance to soil deformation, k is expressed.

Hypotheses on soil mechanical characteristics

If soil limit stress, σ , appearing in (18) or (19) is soil shearing stress (main operation performed by soil working machines parts in the soil) then, this has values framing within 20 and 150 kPa, namely the common values for soil resistance coefficient to deformation, k . In this case, speed (2) may be interpreted as propagation speed of shearing waves into the soil. This would be the optimum working speed, when, obviously it can be reached and other criteria related to optimization problem are inexistent to annul it.. Limit compressing stresses values are much higher, starting from 1 MPa. For correctly evaluating the origin of resistance coefficient to deformation, k , we must take into account the operation performed by working parts of machines designed to work the soil.. So, according to [12], ploughs working parts diform the soil by shearing and breaking (splitting, mincing). In [9] is shown that after the first stage when the part compresses the soil, a certain value of force leading to limit shearing or breakage stress (smaller than plastifying limit by soil compression) is reached , and then the soil shears or splits. These mechanical deformations are produced by most working parts of cultivators harrows, cutters,etc.This way it is explained how stress that working parts should overcome into the soil is similar to limit shearing or breaking stress. In fact, at soil splitting, first its cohesion is overcome, or the cohesion stress has values of tens of kilopascals. Therefore, the optimal speed (2) is calculated also by considering cohesion as resistance coefficient to soil deformation, k . Obviously, these limit stresses are first reached and then the soil fails either by shearing or breaking and not by compression, which is a deformation where soil fails under bigger stress. The working part shape and the sharpening level of its cutting edges have a great importance in maintaining this order of failure, as a decisive characteristic for energy saving and a quality work. For clay soils, sandy-clay and alluvial clay soils with small plasticity, the cohesion stress frames within 10 and 30 kPa; for the same soils but with high plasticity, cohesion varies between 15 and 25 kPa. Other agricultural soils have the cohesion comprised between 0 and 10 kPa. As a general rule, for agricultural soils, optimum speed (2) varies between 2 and 15 m/s, smaller values characterizing soils currently tilled, the big ones being appropriate to temporary uncultivated fields, laid fallow.

RESULTS

The main results of researches described here consist in rewriting the relation of resistance force to traction as the basis form (10) or, particularized (18) or (19). Variation along with working depth and speed is graphically represented in fig. 1. It has worked on a dry soil with steady density $\rho = 1100 \text{ kg/m}^3$, dynamic viscosity $\mu = 500 \text{ Ns/m}^2$, coefficient of friction soil-steel $f = 0.3$, mass of towed machine $m = 3600 \text{ kg}$, limit shearing stress $\sigma = 20000 \text{ Pa}$, working width, $B = 4\text{m}$. Values obtained fame within light soil range.

dependență a densității de masă de umiditate. Prin interpolare sau alte metode, această dependență se poate introduce în (17). Aceeași observație se referă și la mărimile fizice prin care se exprimă coeficientul de rezistență la deformare a solului, k .

Ipoteze asupra caracteristicilor mecanice ale solului

Dacă tensiunea limită a solului, σ , care apare în (18) sau în (19) este tensiunea de forfecare a solului (operație principală pe care organele de lucru ale mașinilor agricole destinate lucrărilor solului o execută în sol) acestea are valori cuprinse între 20 și 150 kPa, adică exact valori comune pentru coeficientul de rezistență a solului la deformare, k . În acest caz se poate interpreta viteza (2) ca viteza de propagare a undelor de forfecare în sol. Aceasta ar fi viteza optimă de lucru, evident, atunci când se poate atinge și nu există în problema de optimizare alte criterii care să o înlăture. Tensiunile limită de comprimare au valori mult mai mari, începând de la 1 MPa. Pentru a putea evalua corect proveniența coeficientului de rezistență la deformare a solului, k , trebuie avut în vedere procesul de lucru desfășurat sol de organele de lucru ale mașinilor destinate lucrărilor solului. Astfel, după [9], organele de lucru ale plugurilor deformează solul prin forfecare și rupere casantă (spargere, mărunțire). În [6] se arată că, după etapa incipientă în care organul de lucru comprimă solul, se atinge o vaoare a forței care conduce la apariția tensiunii limită de forfecare sau de rupere (mai mici decât limita de plastificare prin comprimare a solului) în material, și atunci solul se foarfecă sau se sparge. Aceste deformări mecanice le produc majoritatea celorlalte organe de lucru ale cultivatoarelor, grapelor, frezelor, etc. În acest mod de lucru constă explicația pentru care tensiunea pe care organele de lucru o au de învins în sol este de ordinul celei limită de forfecare sau de rupere casantă. În fond, la spargerea solului se învinge în primul rând coeziunea acestuia, ori tensiunea de coeziune are valori de ordinul zecilor de kilopascali. Prin urmare viteza optimă (2) se poate calcula și prin considerarea coeziunii pe locul coeficientului de rezistență la deformare a solului, k . Evident că aceste tensiuni limită se ating primele și atunci solul cedează fie prin forfecare, fie prin spargere și nu prin compresiune, mod de deformare la care cedarea se produce la tensiuni mult mai mari. La menținerea acestei ordini de cedare își aduce contribuția în primul rând forma organului de lucru și gradul de ascuțire a muchiilor lui tăietoare, caracteristică decisivă în lucrul de calitate, în special în ceea ce privește economia de energie. Pentru solurile argiloase, nisipos-argiloase și aluvionar-argiloase cu plasticitate slabă, tensiunea de coeziune se situează între 10 și 30 kPa; pentru aceleași soluri dar cu înaltă plasticitate, coeziunea variază între 15 și 25 kPa. Alte soluri întâlnite în agricultură au coeziunea cuprinsă între 0 și 10 kPa. În general, pentru solurile întâlnite în agricultură, viteza optimă (2) variază între 2 și 15 m/s, valorile mici fiind caracteristice solurilor întreținute și lucrate în mod curent, cele mari fiind proprii terenurilor necultivate temporar, înțelenite.

REZULTATE

Principalele rezultate ale cercetărilor descrise în acest articol constau în rescrierea expresiei forței de rezistență la tracțiune sub forma de bază (10) sau, particularizată (18) sau (19). Variația cu adâncimea și viteza de lucru este reprezentată grafic în fig. 1. S-a lucrat cu un sol uscat de densitate constantă $\rho = 1100 \text{ kg/m}^3$, viscozitate dinamică $\mu = 500 \text{ Ns/m}^2$, coeficientul de frecare sol-oțel $f = 0,3$, masa mașinii tractate $m = 3600 \text{ kg}$, tensiunea limită de forfecare $\sigma = 20000 \text{ Pa}$, lățimea de lucru, $B = 4\text{m}$. Valorile obținute se încadrează în gama solurilor ușoare, cum era de așteptat relativ la tensiunea limită de forfecare.

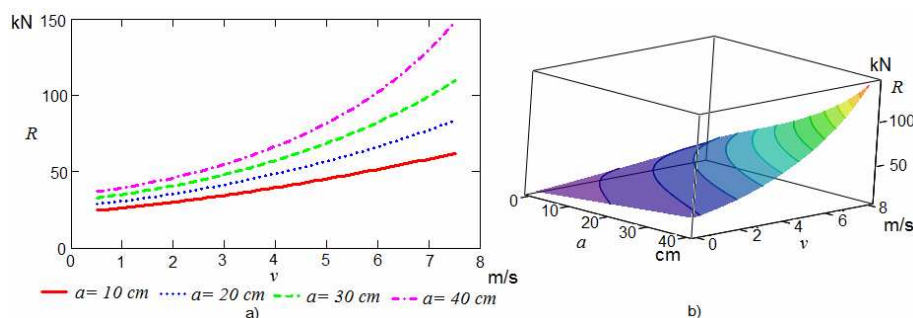


Fig. 1 - Variation of resistance force to traction according to speed and working depth /
 Variația forței de rezistență la tracțiune cu viteza și adâncimea de lucru

CONCLUSIONS

Results got after these researches, have determined certain formulae for force of resistance to traction, which contain only the terms expressed as physical values of continuous body mechanics. In conclusion, the formulae unify the expression of force of resistance to traction for all the machines designed to soil works and are strictly expressed in the mechanics universal language (they have not parameters specific to a particular domain).

This result has enabled the utilization of soil mechanic data, obtained in laboratory by universal tests, valid in soil mechanics and geotechnics in estimative calculations of agricultural machines mechanics.

Formulae (18) and (19) have not yet been submitted to validation, as for stress σ we still do not have a secure "candidate". This problem is still open, for the time being.

In general, the studies aimed to waves propagation into the soil deal with seismic waves and calculate the propagation speed starting from the elasticity modules specific to rocks and lands outside the agricultural fields. On the other hand, our point of view is interested in waves that would destroy the cohesion of large aggregates of soil, that is would breaks the large clods of soil. The cohesion stress in these clods is of 1000 times smaller than elasticity modules of usual soils, so the propagation speed is much lower. The problem is to produce waves to destroy the cohesion of big soil clods. This is the research trend introduced by optimum speed interpretation (2) as speed of waves propagation to soil. Therefore, the soil agricultural machines endowed with vibratory parts have to be currently used for producing these waves, which ensure an appropriate soil grinding, without requiring additional machines passing, which should perform the soil breaking.

REFERENCES

- [1]. Davison L., Springman S. (2006) - *Soil Mechanics*, <http://environment.uwe.ac.uk/geocal/SoilMech/index.htm> University of the West of England, Bristol;
- [2]. Dobrescu C. (1981) - *Optimization of agricultural aggregates parameters in order to reduce energy consumption*, Agricultural Technical Propaganda Editorial, Bucharest;
- [3]. Ionescu D.Gh. (1977) - *Introduction inhydraulics*, Technical Publishing House, Bucharest;
- [4]. Karmakar S., Kushwaha R.L. (2006) - *Soil Viscosity and Yield Stress measurement using a Monitored Rheometer*, paper number 061094, ASAE Annual Meeting;
- [5]. Lazăr D., 1981, *Principles of Continous Media Mechanics*, Technical Publishing, Bucharest;
- [6]. Letoșnev N.N. (1959) - *Agricultural Machines*, State Agro-Forestry Publishing;
- [7]. Mahajan S., P., Muniram B. (2008) - *Shear Viscosity*

CONCLUZII

Rezultatele obținute la capătul acestor investigații au condus la obținerea unor formule pentru forța de rezistență la tracțiune, care conțin numai termeni exprimați prin mărimi fizice ale mecanicii corpului continuu. Prin urmare, formulele unifică exprimarea forței de rezistență la tracțiune pentru toate mașinile destinate lucrărilor solului și sunt exprimate strict în limbajul universal al mecanicii (nu prezintă parametri strict specifici unui domeniu particular).

Prin acest rezultat s-a deschis și perspectiva folosirii datelor mecanice ale solului obținute prin teste universale de laborator, valabile în mecanica solurilor și geotehnică, în calculele estimative de mecnica mașinilor agricole.

Formulele (18) și (19) încă nu au fost supuse procesului validării, întrucât pentru tensiunea σ nu avem încă o mărime fizică (tensiune) sigură. Aceasta problemă este deschisă, deocamdată.

În general lucrările dedicate propagării undelor în sol se ocupă de undele seismice și calculează viteza de propagare plecând de la modulii de elasticitate caracteristici rocilor și pământurilor care nu sunt întreținute prin lucrări agricole. Pe de altă parte, punctul nostru de vedere este interesat de undele care ar distruge coeziunea agregatelor mari de sol, adică ar sparge bulgării mari de sol. Tensiunile de coeziune din acești bulgării de sol au valori de aproximativ 1000 de ori mai mici decât modulii de elasticitate ai solurilor uzuale, ceea ce conduce la viteze de propagare substanțial mai mici. Problema este deci de a produce unde care să distrugă coeziunea bulgărilor mari de sol. Aceasta este direcția de cercetare pe care interpretarea vitezei optime (2) ca viteză de propagare a unor unde în sol o introduce. Este inevitabilă acum readucerea în actualitate a utilizării unor mașini agricole destinate lucrărilor solului prevăzute cu organe vibratorii, care să producă aceste unde, care, la rândul lor să asigure o mărunțire corespunzătoare a solului fără să mai fie necesară trecerea cu mașini de lucrat solul suplimentare, care să realizeze mărunțirea.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Davison L., Springman S. (2006) - *Soil Mechanics*, <http://environment.uwe.ac.uk/geocal/SoilMech/index.htm> University of the West of England, Bristol;
- [2]. Dobrescu C. (1981) - *Optimizarea parametrilor agregatelor agricole în scopul reducerii consumului de energie*, Redacția de propagandă tehnică agricolă, București;
- [3]. Ionescu D.Gh. (1977) - *Introducere în hidraulică*, Editura Tehnică, București;
- [4]. Karmakar S., Kushwaha R., L. (2006) - *Soil Viscosity and Yield Stress measurement using a Monitored Rheometer*, Paper number 061094, ASAE Annual Meeting;
- [5]. Lazăr D. (1981) - *Principiile Mecanicii Mediilor Continue*, Editura Tehnică, București;
- [6]. Letoșnev N.N. (1959) - *Mașini Agricole*, Editura Agro-Silvică de Stat, București;
- [7]. Mahajan S.P., Muniram B. (2008) - *Shear Viscosity of*

of Clays to Compute Viscous Resistance, The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), 1-6 October, Goa, India;

[8]. Meca V. A., Cârdei P., 2012, *Studies and researches for unifying the resistance of machines for soil works with applications in the optimization of these machines working regime*, INMATEH, vol. 36 No. 1/2012;

[9]. Scripnic V., Babiciu P. (1979) - *Agricultural Machines*, Ceres Publishing, Bucharest.

[10]. Soós E., Teodosiu C. (1983), *Tensor calculus with applications in solid mechanics*, Scientific and Encyclopedical Publishing, Bucharest;

[11]. Șandru A., Popescu S., Cristea I., Neculăiasa V., (1983) - *Agricultural equipment utilization*, Didactic and Pedagogical Publishing, Bucharest;

[12]. Untaru M., Pereș Gh., Storicescu A., Poțincu Gh., Tabacu I. (1981) - *Dynamics of wheeled motor vehicles*, 1981, Didactic and Pedagogical Publishing, Bucharest;

[13]. Zdravkovich M., M. (1979) - *A critical remark on use of drag coefficient at low Reynolds numbers*, Collections of the work of the Institute Mathematics, New Series, Volum, 3 (11), p. 152 – 156.

Clays to Compute Viscous Resistance, The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), 1-6 October, Goa, India;

[8]. Meca V.A., Cârdei P. (2012) - *Studii și cercetări pentru unificarea exprimării rezistenței mașinilor destinate lucrărilor solului cu aplicații în optimizarea regimului de lucru al acestora*, INMATEH, vol. 36 Nr. 1/2012;

[9]. Scripnic V., Babiciu P. (1979) - *Mașini agricole*, Editura Ceres, București;

[10]. Soós E., Teodosiu C. (1983) - *Calcul tensorial cu aplicații în mecanica solidelor*, Editura Științifică și Enciclopedică, București;

[11]. Șandru A., Popescu S., Cristea I., Neculăiasa V., (1983) - *Exploatarea utilajelor agricole*, Editura Didactică și Pedagogică, București;

[12]. Untaru M., Pereș Gh., Storicescu A., Poțincu Gh., Tabacu I. (1981) - *Dinamica autovehiculelor pe roți*, Editura Didactică și pedagogică București;

[13]. Zdravkovich M.M. (1979) - *O observație critică cu privire la utilizarea de coeficientul aerodinamic de la numere mici Reynolds*, Colecțiile de lucrări ale Institutului de Matematică, Serie Nouă, Vol. 3 (11), p. 152 – 156.