CZU: 631.331 **https://doi.org/10.59295/tehfizuvs25.08**

CALCULUL TRAIECTORIEI DE ZBOR A SEMINȚEI PRIN TUBUL DE CONDUCERE MODERNIZAT

CALCULATION OF SEED FLIGHT TRAJECTORY THROUGH A MODERNIZED SEED DELIVERY TUBE

Andrei GHEORGHIȚA[1] ORCID ID: 0000-0003-2890-993X
Marin GUȚU[2] ORCID ID: 0000-0002-3745-0289
Alexandru BANARI[3] ORCID ID: 0000-0001-9132-610X

[1]Universitatea Tehnică a Moldovei, Institutul Național de Cercetări Aplicative în Agricultură și Medicină Veterinară, Chișinău, Republica Moldova
[2, 3] Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Abstract. *One of the factors that disrupt the normal functioning of the technological process of the seed drill when the working speed exceeds 9 km/h is the long travel distance of the seeds through the seed tube. This issue is most noticeable when sowing cereal crops, where the distribution system must ensure forced seed delivery to the bottom of the furrow. The paper presents a mathematical model of seed movement through the modernized delivery tube, aimed at improving the uniformity of seed distribution in the furrow. The study highlights the influence of air resistance and repeated collisions with the inner walls of the tube on the trajectory and velocity of the seeds. Parametric equations of motion were formulated, describing both the ricochet of the seed from the tube wall and its flight trajectory until exiting the tube. The results show that the seed exit velocity is approximately 1.73 m/s, and the flight distance is about 910–912 mm, regardless of the initial entry height into the delivery tube. The importance of using a pressurized airflow is also emphasized, as it reduces transport time and stabilizes the seed flow, enabling an increase in the technological working speed when sowing cereal crops.*
Keywords: *flight path, delivery tube, seed drill, precision agriculture, distribution uniformity.*

1. INTRODUCERE

Actualmente, chiar dacă agricultura 4.0 ne oferă tehnologii noi precum drone și agroboți pentru agricultura inteligentă, în mare parte pentru efectuare proceselor tehnologice agricole de înființarea culturilor agricole sunt utilizate sisteme mecatronice cu dispozitive electro-pneumo-mecanice de dozare a semințelor[1, 3, 9, 13, 14, 17, 18]. Unul din factorii care duc la perturbarea funcționării normale a procesului tehnologic al semănătorii la majorarea vitezei de lucru este distanța mare de deplasare a semințelor prin tubul de semănat. Cercetările efectuate privind sistemele de distribuție arată că pentru îmbunătățirea uniformității de distribuție a semințelor în brazdă este necesar de a reduce în mod semnificativ timpul în care semințele trec prin în tubul de conducere [1, 8, 16, 17]. S-a dovedit că, odată cu creșterea vitezei de mișcare a semănătorii, are loc subdozare și distribuirea inegală a semințelor pe suprafața solului, din cauza întârzierii în alimentarea cu semințe a dispozitivelor de dozare.

Această problemă se observă cel mai acut la cultivarea culturilor de cereale, a căror productivitate depinde în cea mai mare măsură de suprafața cultivată.

Astfel, la deplasarea mașinii de semănat cu o viteză mai mare de 9 km/h, sistemul de distribuție trebuie să asigure o alimentare forțată cu semințe pe fundul brazdei [2, 4, 5, 8, 10]. Prin urmare, pentru a

face o alegere rezonabilă a regimurilor de lucru ale semănătorii și pentru a le gestiona corect, este necesar să se dispună de date privind modelele de mișcare a semințelor prin tuburile de semănat.

2. MATERIALE ȘI METODE

Obiectul cercetării este sistemul de dozare și transportare a semințelor, dotat cu aparate de distribuție cu cilindru canelat, destinat semănatului culturilor cerealiere. Metodologia de cercetare include dezvoltarea unui model matematic al deplasării semințelor prin tubul de conducere în condiții de transport forțat în curent de aer cu suprapresiune și elaborarea programei care să permită analiza vitezei de deplasare a semințelor [6,12,15]. În baza modelului matematic a fost obținută și argumentată teoria suprafeței active de lucru ai cilindrului canelat și ai dispozitivului de recepție și convertire.

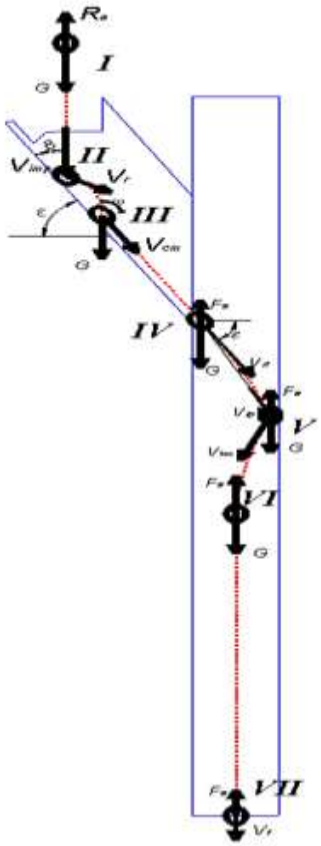


Figura 1. Schema de mișcare a seminței cu rezistența aerului

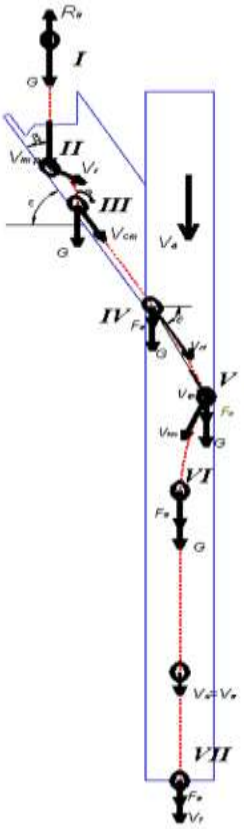


Figura 2. Schema de mișcare a seminței cu forța portantă a aerului

Dirijarea fluxului de semințe dozate spre brăzdarele mașinilor de semănat se realizează prin intermediul dispozitivelor de transportare sau al tuburilor de conducere. Acestea fac legătura dintre un element fix al mașinii de semănat (aparatul de distribuție) și un element mobil (brăzdarul) care în timpul lucrului își schimbă continuu poziția față de cadrul mașinii pentru a se adapta la neregularitățile terenului.

În timpul trecerii semințelor prin tuburile de conducere, fluxul de semințe suferă o modificare calitativă cauzată de modificarea regimului de mișcare a semințelor, urmare a ciocnirilor repetate cu pereții interiori ai tubului.

Influența ciocnirilor semințelor cu pereții tubului asupra uniformității fluxului de semințe va fi redusă la minimum în tuburile la care condițiile de producere a ciocnirilor repetate, precum și efectul lor vor fi eliminate.

Pentru alimentarea forțată, la fundul brazdei este folosită energia fluxului de aer. Aceasta comunică viteză suplimentară și energie cinetică materialului semincer, favorizând deplasarea prin tubul de conducere și învingând rezistența forțelor care apar în timpul deplasării. Există astfel oportunitatea de a mări calitatea de repartizare prin uniformizarea fluxului de semințe și micșorarea numărului de ciocniri cu peretele tubului și de a reduce timpul de transportare către zona de acoperire a brazdei.

Studiul deplasării seminței se desfășoară luând în considerare modificările în condițiile mișcării la șapte poziții, după cum se arată în figura 1 și figura 2.

Influența forței fluxului asupra seminței este condiționată de rezistența aerului, asociată cu fluxul de aer în jurul seminței, care generează forța motrică direcționată de-a lungul axei longitudinale a fluxului.

3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

3.1. Impactul bobului cu peretele interior al tubului de conducere

Viteza mișcării bobului după ricoșare de la peretele interior al tubului de conducere reprezintă suma a două mișcări individuale – mișcarea cu accelerație gravitațională pe verticală și mișcarea liniară pe orizontală.

Viteza semințelor v_{tm} (Figura 3) după punctul de impact cu peretele interior al tubului poate fi calculată cu ajutorul produsului dintre v_{ip}, calculată la deplasarea seminței între pozițiile IV și V, și coeficientul de recuperare a vitezei la impact. Făcând înlocuirile în formula, ecuația poate fi scrisă astfel:

$$v_{tm} = v_{ip} \sin \gamma_{tm} \sqrt{1 + k^2 \operatorname{ctg}^2 \gamma_{tm}} \leq v_{ip} \qquad (1)$$

unde γ_{tm} – unghiul dintre orizontală și vectorul vitezei seminței după ricoșare.

Unghiul dintre orizontală și vectorul vitezei seminței după ricoșare de la peretele interior γ_{tm} poate fi calculat după modelul formulelor (3.1), iar ecuația va avea forma:

$$\gamma_{tm} = 90 - arctg(k \cdot \operatorname{tg}(90 - \gamma_{ip})). \qquad (2)$$

Înlocuind termenii ecuațiilor (1) și (2) cu valorile cunoscute, putem afla valoarea unghiului dintre orizontală și vectorul vitezei după ricoșare γ_{tm} și valoarea vitezei seminței v_{tm} după punctul de impact cu peretele interior al tubului, calculate în funcție de înălțimea de cădere. Variația acestora este prezentată în figura 4.

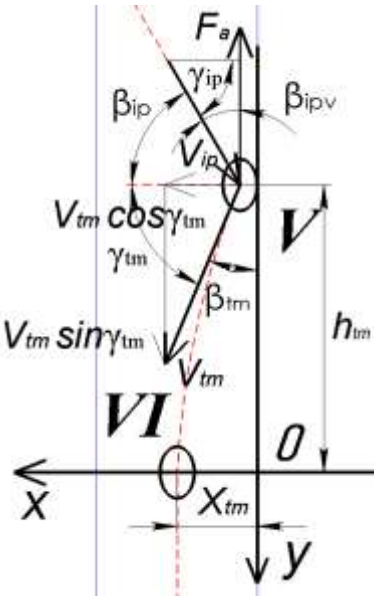


Figura 3. Schema de mișcare a seminței la poziția V

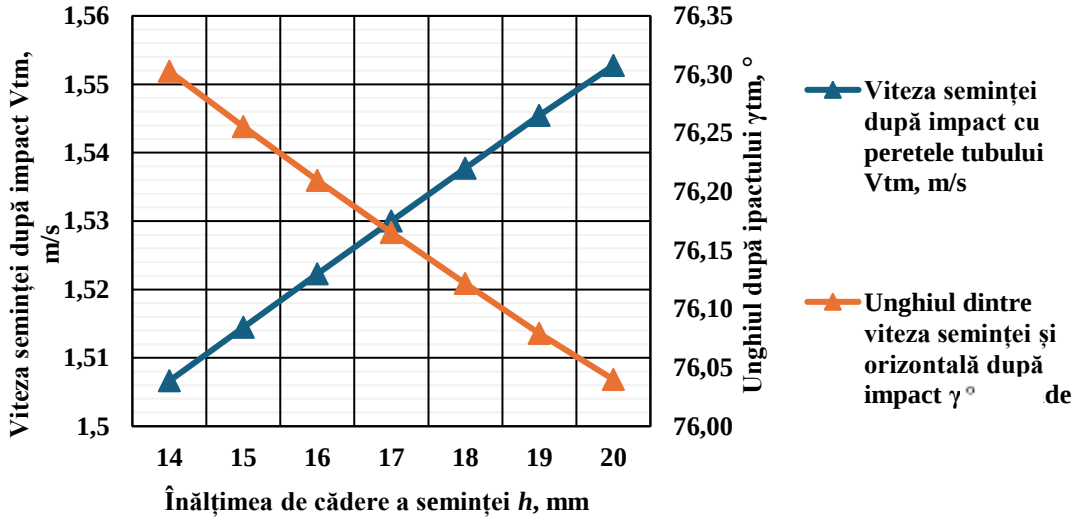


Figura 4. Variația vitezei seminței și a unghiului după impact în funcție de înălțimea de cădere a seminței

3.1. Calculul traiectoriei de zbor a seminței după ciocnire cu peretele interior al tubului de conducere (sectorul V–VI)

Pentru a determina ecuația traiectoriei de zbor a seminței după ricoșarea acesteia de la peretele interior al tubului sub un unghi γ_{tm} față de orizontală vom utiliza legea de mișcare aplicată pentru un punct material (bobul) de masă m, aruncat în câmp gravitațional de la înălțimea h, cu viteza $\overrightarrow{v_{tm}}$, care face cu orizontala unghiul γ_{tm}. Se va lua în considerare și forța aerului, reprezentată prin rezistența mediului, de forma $R_z = -cv$.

Înlocuind aceste valori și constantele în ecuația de mai sus, vom obține legea de mișcare:

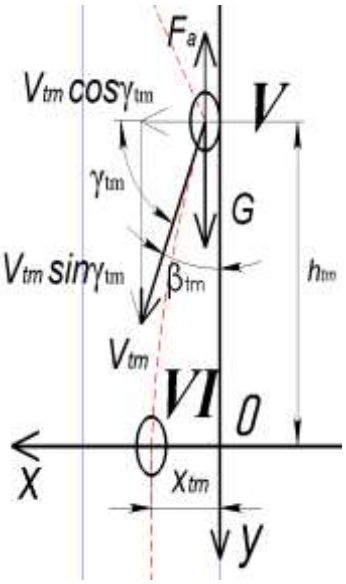


Figura 5. Schema de mișcare a seminței la poziția V–VI

$$\begin{cases} v_x = \dot{x} = v_{tm}\cos\gamma_{tm}\, e^{-\mu t} \\ v_y = \dot{y} = \left(v_{tm}\sin\gamma_{tm} - \dfrac{g}{\mu}\right) e^{-\mu t} + \dfrac{g}{\mu}. \\ v_z = \dot{z} = 0 \end{cases} \qquad (3)$$

Ecuațiile parametrice ale traiectoriei de zbor în funcție de timp vor fi:

$$\begin{cases} x = \dfrac{v_{tm}}{\mu}\cos\gamma_{tm}\,(1 - e^{-\mu t}) \\ y = -h_{tm} + \dfrac{1}{\mu}\left(v_{tm}\sin\gamma_{tm} - \dfrac{g}{\mu}\right)(1 - e^{-\mu t}) + \dfrac{g}{\mu}t' \\ z = 0 \end{cases} \tag{4}$$

care reprezintă ecuația unei parabole ce se găsește în planul *z = 0* (traiectoria este o curbă parabolică cu ramura îndreptată în jos). Conform ecuației (4), bobul va avea o mișcare curbilinie.

În momentul atingerii mijlocului distanței x_{tm} dintre pereții interiori ai tubului de conducere, valoarea coordonatei pe axa *y* în sistemul de coordonate va fi $y = 0$. Pentru a calcula timpul caracteristic acestui moment ar trebui să fie exclus din ecuația de mișcare pe axa *x*, timpul *t* și se obține:

$$t = -\frac{1}{\mu}\ln\left(1 - \frac{\mu}{v_{tm}\cos\gamma_{tm}}x_{tm}\right). \tag{5}$$

Obținând *t* și înlocuind această expresie în (4), obținem ecuația necesară a traiectoriei pentru momentul când $y = 0$, iar distanța pe axa orizontală x_{tm} va fi la mijlocul distanței dintre pereții tubului de conducere, în funcție de caracteristicile constructive. Prin urmare, egalând cu zero ecuația (4) și rezolvând-o în funcție de înălțimea la care bobul va atinge peretele la distanța x_{tm}, vom obține:

$$h_{tm} = \left(\tan\gamma_{tm} - \frac{g}{\mu v_{tm}\cos\gamma_{tm}}\right)x_{tm} - \frac{g}{\mu^2}\ln\left(1 - \frac{\mu}{v_{tm}\cos\gamma_{tm}}x_{tm}\right). \tag{6}$$

Viteza seminței la distanța x_{tm} poate fi calculată prin înlocuirea timpului caracteristic acestui moment în formulele vitezelor (3) din sistemul de ecuații pentru traiectoria de zbor:

$$\begin{cases} v_{mx} = v_{tm}\cos\gamma_{tm} - \mu x_{tm} \\ v_{my} = v_{tm}\sin\gamma_{tm} - \mu x_{tm}\tan\gamma_{tm} + \dfrac{g}{v_{tm}\cos\gamma_{tm}}x_{tm} \end{cases} \tag{7}$$

Luând în considerare că componenta vitezei după axa Ox este, în tot timpul mișcării, constantă rezultă:

$$\begin{aligned} v_m &= \sqrt{v_{mx}^2 + v_{my}^2} = \\ &= \sqrt{(v_{tm}\cos\gamma_{tm} - \mu x_{tm})^2 + \left(v_{tm}\sin\gamma_{tm} - \mu x_{tm}\tan\gamma_{tm} + \frac{g}{v_{tm}\cos\gamma_{tm}}x_{tm}\right)^2}. \end{aligned} \tag{8}$$

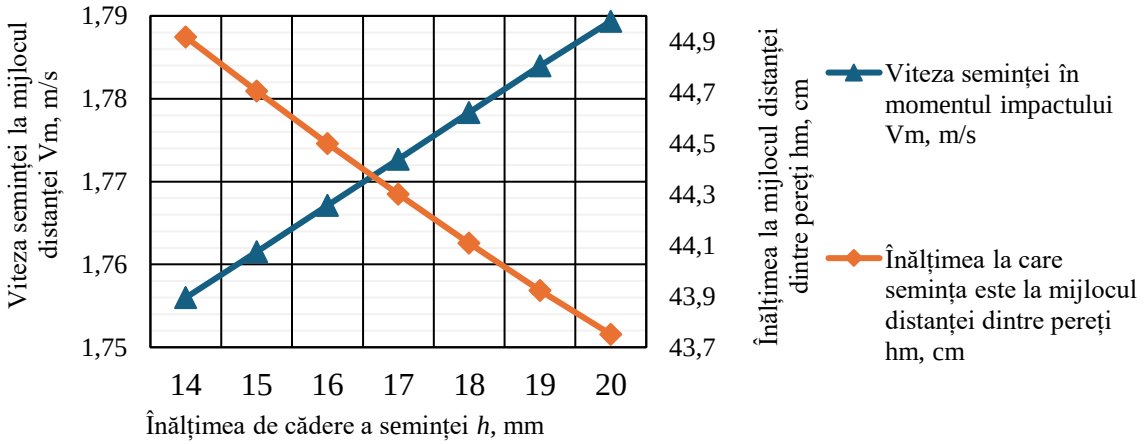


Figura 6. Variația vitezei seminței și a înălțimii la mijlocul distanței dintre pereții interiori ai tubului de conducere în funcție de înălțimea de cădere a seminței la poziția I–II

Astfel, cunoscând mijlocul distanței dintre pereții interiori ai tubului de conducere pe axa OX, adică x_{tm}, putem calcula înălțimea la care bobul va atinge această distanță și valoarea vitezei bobului v_m prin înlocuirea termenilor în ecuațiile (8) și (6). Variația valorilor vitezei în momentul când bobul atinge mijlocul distanței dintre pereții laterali v_m și înălțimea h_m, calculate în funcție de înălțimea de cădere a seminței la poziția I–II, este prezentată în figura 6.

3.3. Legea deplasării seminței prin tubul de conducere (poziția VI–VII)

Pentru a determina ecuația traiectoriei de zbor a seminței după ricoșarea acesteia de la peretele interior al tubului sub un unghi γ_m față de orizontală vom utiliza legea de mișcare aplicată pentru un punct material (bobul) de masa m (Figura 7), aruncat în câmp gravitațional de la înălțimea h, cu viteza $\overrightarrow{v_m}$. Se va lua în considerare și forța aerului, reprezentată prin rezistența mediului, de forma $R_z = -cv$.

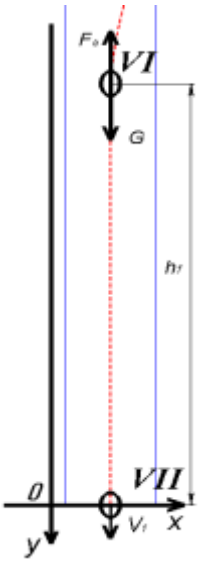


Figura 7. Schema de mișcare a seminței la poziția VI–VII

Înlocuind aceste valori și constantele în ecuația (3), vom obține legea de mișcare:

$$v_f = \dot{y} = \left(v_m - \frac{g}{\mu}\right) e^{-\mu t} + \frac{g}{\mu}. \qquad (9)$$

Ecuațiile parametrice ale traiectoriei de zbor în funcție de timp sunt:

$$y = -h_f + \frac{1}{\mu}\left(v_m - \frac{g}{\mu}\right)(1 - e^{-\mu t}) + \frac{g}{\mu}t, \qquad (10)$$

care reprezintă ecuația liniară ce se găsește în planul $x = 0$, $z = 0$ (traiectoria este o linie dreaptă).

În momentul ieșirii seminței din tubul de conducere vf, valoarea coordonatei pe axa y în sistemul de coordonate va fi $y = 0$. Prin urmare, egalând cu zero ecuația (10) și rezolvând-o în funcție de înălțimea maximă la care bobul va ieși din tubul de conducere h_f, vom obține:

$$h_f = \frac{1}{\mu}\left(v_m - \frac{g}{\mu}\right)(1 - e^{-\mu t}) + \frac{g}{\mu}t. \qquad (11)$$

Astfel, cunoscând distanța până la ieșirea seminței din tubul de conducere h_f, putem calcula vitezei bobului v_f prin înlocuirea termenilor ecuațiilor (9) și (11). Variația valorilor vitezei în momentul ieșirii bobului v_f și înălțimea h_f, calculate în funcție de înălțimea de cădere a seminței la poziția I–II, este prezentată în figura 8.

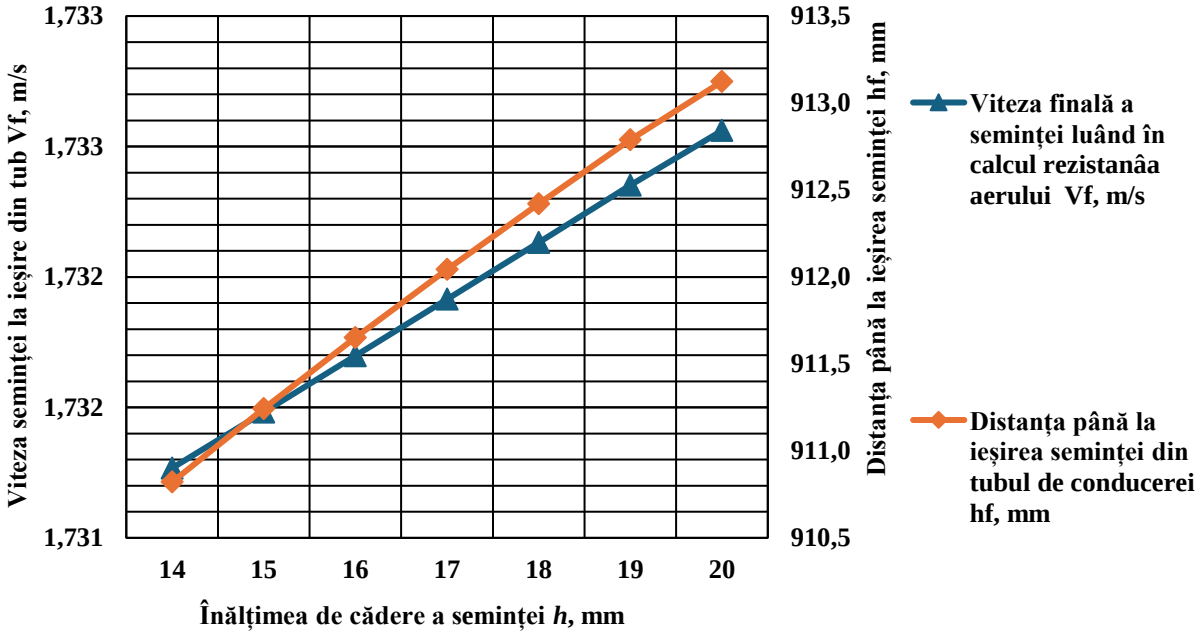


Figura 8. Variația vitezei seminței și a distanței la ieșirea seminței din tub în funcție de înălțimea de cădere a seminței la poziția I–II

În sectorul de distribuție, bobul iese din tubul de conducere nimerind în zona de încorporare în sol, unde este fixat de un strat de pământ, oprind astfel mișcarea seminței.

CONCLUZII

1. Viteza seminței la ieșire din tubul de conducere după parcurgerea distanței de h_f = 910 – 912 mm este aproximativ egală cu V_f= 1,73 m/s, iar înălțimea de cădere până la intrare în tubul de conducere este nesemnificativă.

2. În articol, este calculat teoria mișcării semințelor prin tubul de conducere, se demonstrează teoretic, modelul constructiv-tehnologic al mișcării materialului de însămânțare și se prezintă rezultatele aprioristice ale cercetărilor, care vor permite creșterea vitezei tehnologice de lucru la semănatul culturilor.

3. În scopul reducerii influenței asupra procesului de deplasare a semințelor către locul de însămânțare și a neuniformității care apare la distribuirea semințelor de către dispozitivul de însămânțare cu cilindru canelat, este recomandat accelerarea procesului de transport al semințelor într-un flux de aer cu presiune excesivă.

REFERINȚE:

1. ABDOLAHZARE, Z.; MEHDIZADEHB, S. A. Real time laboratory and field monitoring of the effect of the operational parameters on seed falling speed and trajectory of pneumatic planter. Elsevier BV, International Journal, v. 145, pp. 187-198, 2018. ISSN 0168-1699.

2. SUGIRBAY, A. M., ZHAO, J., NUKESHEV, S. O., CHEN, J. Determination of pin-roller parameters and evaluation of the uniformity of granular fertilizer application metering devices in precision farming. Computers and Electronics in Agriculture, 179, 2020, 105835. https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2020.105835.
3. XI, X., GU, C., SHI, Y., ZHAO, Y., ZHANG, Y., ZHANG, Q., JIN, Y., ZHANG, R. Design and experiment of no-tube seeder for wheat sowing. Soil and Tillage Research, 204, 2020, 104724. https://doi.org/10.1016/J.STILL.2020.104724.
4. TUDOR, A. Mașini Agricole. Manualul universitar pentru învățământ la distanță. Craiova: Universitatea din Craiova, 2010.
5. XIE, C., ZHANG, D., YANG, L., CUI, T., YU, T., WANG, D., XIAO, T. Experimental analysis on the variation law of sensor monitoring accuracy under different seeding speed and seeding spacing. Computers and Electronics in Agriculture, 189, 2021, 106369. https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2021.106369.
6. GHEORGHIȚA, A., SERBIN, V. Influenţa unghiului de orientare a canelurilor asupra masei seminţelor distribuite la aparatele de distribuţie cu cilindru canelat. Chișinău: s.n., 2013. pp. 108-112. ISSN 1857-0003.
7. GHEORGHIȚA, A. Rezultatele testării în cîmp a aparatului de distribuție cu cilindri canelați modernizați. Chișinău: Centrul editorial al UASM, 2013. pp. 83-87. Vol. 38. ISBN 978-9975-64-125-8.
8. GHEORGHIȚA, A., SERBIN, VL., BUMACOV, V., GOROBEȚ, V., GADIBADI, M. Aparat de semănat cu cilindru canelat. 989 Moldova, 06 02, 2015. BOPI nr. 1/2016.
9. KLERKX, L., ROSE, D. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?. In: International Journal: Elsevier B.V., vol. 24, 2020, pp. 100-107. ISSN 2211-9124. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347.
10. KHOSHTAGHAZA, M.H., MEHDIZADEH, R. Aerodynamic property of wheat kernel and straw materials, v. III, 2006.
11. GHEORGHIȚA, A. Optimizarea unghiului de orientare a canelurilor după masa semințelor distribuită la aparatele cu cilindri canelați. În: Lucrări ştiinţifice, UASM. Chişinău, 2013, vol. 38 (Inginerie Agrară și Transport Auto) pp. 79-83, 0,2 c.a. ISBN 978-9975-64-251-4.
12. GHEORGHIȚA, A. Influence of seed tube inclination angle and air velocity on the seed flow dosed by devices with fluted rolle. In: Ştiinţa Agricolă, nr. 2, 2020, pp. 85-90. ISSN 1857-0003. DOI: 10.5281/zenodo.4321214.
13. SERBIN, VL., GHEORGHIȚA, A. Justification of the seed drill machines wheel parameters under the condition of rotation uniformity. In: Ştiinţa Agricolă. 2022, nr. 2. ISSN 1857-0003.10.5281.
14. JIANG, M., LIU, C., DU, X., HUANG, R., DAI, L., YUAN, H. Research on continuous granular material flow detection method and sensor. Measurement, 182, 2021, 109773. https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2021.109773.
15. SERBIN, V., GHEORGHIȚA, A. Theoretical researches of seed movement in radial seed tube. In: Ştiinţa Agricolă, nr. 2, 2019, pp. 103-108. ISSN 1857-0003. DOI: 10.5281/zenodo.3611185.
16. GHEORGHITA, A., STIOPCA, O., PLATON, A. Evaluation of seed flow uniformity distributed by seed drill inclined fluted roller at computer aided instalation. ACTA TECHNICA NAPOCENSIS - Series: APPLIED MATHEMATICS, MECHANICS, and ENGINEERING, [S.l.], v. 67, n. 2S, oct. 2024. ISSN 2393–2988. https://atna-mam.utcluj.ro/index.php/Acta/article/view/2428.
17. HE, X., CUI, T., ZHANG, D., WEI, J., WANG, M., YU, Y., LIU, Q., YAN, B., ZHAO, D., YANG, L. Development of an electric-driven control system for a precision planter based on a closed-loop PID algorithm. Computers and Electronics in Agriculture, 2017, 136, pp. 184–192. https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2017.01.028.