

ISSN 2663-1334 (print)  
ISSN 2663-1342 (online)

<http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.02>

# Machinery & Energetics

*Journal of Rural Production Research*

since 2010 till 2018

[Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science  
of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK.  
ISSN 2222-8594 (print). ISSN 2415-7694 (online)]

## Vol. 12

## № 3

(July – September)

**Kyiv – 2021**

**Editor-in-Chief**

*Prof. Vyatseslav Loveykin*, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

**Vice-Editor**

*DS Ivan Rogovskii*, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

*PhD Oleksandr Synyavskiy*, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

**Assistants Editor**

*PhD Viktoriya Kyrylyuk*, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

**Editorial Board**

*Prof. Andrey Tevyashev*, Kharkov National University of Radio Electronics, Ukraine

*Prof. Andriy Boyko*, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

*Prof. Andrzej Marczuk*, University of Life Sciences in Lublin, Poland

*Prof. Dainis Viesturs*, Latvia University of Agriculture, Latvia

*Prof. Gennadiy Golub*, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

*Prof. Georgiy Tayanowski*, University of Agriculture in Minsk, Bielarus

*Prof. Henryk Sobczuk*, Polish Academy of Sciences, Poland

*Prof. Igor Bolbot*, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

*Prof. Janusz Wojdalski*, Warsaw University of Life, Poland

*Prof. Larysa Bal-Prylypko*, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

*Prof. Ludvikas Spokas*, Agrarian University in Kaunas, Lithuania

*Prof. Ondrej Savec*, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic

*Prof. Petro Yevych*, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic

*Prof. Povilas A. Sirvydas*, Agrarian University in Kaunas, Lithuania

*Prof. Stanislaw Sosnowski*, University of Engineering and Economics in Rzeszów, Poland

*Prof. Tadeusz Zloto*, Częstochowa University of Technology, Poland

*Prof. Valeriy Voytiuk*, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

*Prof. Valery Adamchuk*, National Scientific Centre «Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture» in Kyiv, Ukraine

*Prof. Vitaliy Lysenko*, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

*Prof. Vjacheslav Shebanin*, Mykolayiv National Agrarian University, Ukraine

*Prof. Volodymyr Boyko*, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

*Prof. Volodymyr Bulgakov*, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

*Prof. Volodymyr Gorobets*, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

*Prof. Volodymyr Gorobets*, National Agrarian University of Moldova, Moldova Republic

*Prof. Volodymyr Kozyrskii*, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

*Prof. Volodymyr Kravchuk*, State Scientific Organization „Leonid Pogorilyy Ukrainian Scientific Research Institute of Forecasting and Testing of Machinery and Technologies for Agricultural Production”, Ukraine

*Prof. Vyatcheslav Adamchuk*, University McGill, Canada

*Prof. Wacław Romaniuk*, Institute of Technology and Life Sciences Branch in Warsaw, Poland

*Prof. Wojciech Tanaś*, University of Life Sciences in Lublin, Poland

*Prof. Yevgen Afandilyants*, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

All the articles are available on the webpage: [www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica](http://www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica)

All the scientific articles received positive evaluations by independent reviewers

Linguistic consultant: *Ivan Rogovskii*

Typeset: *Ivan Rogovskii*

Cover design: *Liudmyla Titova*

Photo on the cover: *Ivan Rogovskii*

© Copyright by National University of Life and Environmental Science of Ukraine, 2021

**Editorial Office address**

National University of Life and Environmental Science of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kyiv, Ukraine, 03041

e-mail: [rogovskii@nubip.edu.ua](mailto:rogovskii@nubip.edu.ua)

**Printing**

AgroMediaGroup, Novokonstantinovska Str. 4a, 04-080 Kyiv, Ukraine

**Publishing Office address**

AgroMediaGroup, Novokonstantinovska Str. 4a, 04-080 Kyiv, Ukraine

ISSN 2663-1334 (print)

ISSN 2663-1342 (online)

Edition 100+16 vol.

ISSN 2663-1334 (print)  
ISSN 2663-1342 (online)

<http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.03>

# Техніка та енергетика

*Журнал наукових досліджень  
сільськогосподарського виробництва*

з 2010 року до 2018 року

[Науковий вісник Національного університету біоресурсів і  
природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК  
ISSN 2222-8594 (print). ISSN 2415-7694 (online)]

## Випуск 12

### № 3

(липень – вересень)

**Київ – 2021**

## **Національний університет біоресурсів і природокористування України**

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Редкол. :  
В. С. Ловейкін (голов. ред.) та ін. Київ. 2021. Вип. 12. № 3. 204 с.

Висвітлено результати наукових досліджень, проведених працівниками Національного університету біоресурсів і природокористування України і в співпраці із закордонними науковцями, працівниками навчальних закладів Міністерства освіти і науки України та науково-дослідних інститутів НАН України, НААН України, Міністерства агропромислового комплексу України і Міністерства економіки України.

**Редакційна колегія:** В. С. Ловейкін, д-р техн. наук, проф. (головний редактор); О. Ю. Синявський, канд. техн. наук, доц.; І. Л. Роговський, д-р техн. наук, старший наук. співр. (заступники головного редактора); В. І. Кирилук, канд. с.-г. наук, доц. (відповідальний секретар); В. І. Адамчук, д-р техн. наук, проф.; В. В. Адамчук, д-р техн. наук, проф.; Є. Г. Афтандіянц, д-р техн. наук, проф.; Л. В. Баль-Прилипка, д-р техн. наук, проф.; І. М. Болбот, д-р техн. наук, доц.; В. М. Булгаков, д-р техн. наук, проф.; В. Д. Войтюк, д-р техн. наук, проф.; І. В. Головач, д-р техн. наук, проф.; Г. А. Голуб, д-р техн. наук, проф.; М. В. Гребченко, д-р техн. наук, проф.; А. В. Жильцов, д-р техн. наук, проф.; М. М. Заблудський, д-р техн. наук, проф.; Н. А. Засць, д-р техн. наук, проф.; В. В. Каплун, д-р техн. наук, проф.; В. В. Коваль, д-р техн. наук, проф.; В. В. Козирський, д-р техн. наук, проф.; В. П. Лисенко, д-р техн. наук, проф.; К. Г. Лопатько, д-р техн. наук, проф.; І. І. Назаренко, д-р техн. наук, проф.; В. М. Несвідомін, д-р техн. наук, проф.; С. Ф. Пилипака, д-р техн. наук, проф.; В. М. Поліщук, д-р техн. наук, проф.; В. М. Решетюк, канд. техн. наук, доц.; В. Романюк, д-р техн. наук, проф.; Г. Собчук, д-р техн. наук, проф.; О. Б. Таширев, д-р техн. наук, проф.; Л. Л. Тітова, канд. техн. наук, доц.; С. П. Циганков, д-р техн. наук, старший наук. співр.; М. Г. Чаусов, д-р техн. наук, проф.; С. А. Шворов, д-р техн. наук, проф.

Рекомендовано до друку Вченою радою НУБіП України, протокол № 1 від 28 серпня 2021 р.

Науковий журнал «Machinery & Energetics» на підставі наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. (додаток № 1) внесений до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б» у галузі технічних наук з спеціальностей 131 і 133), який є правонаступником наукового видання «Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК», який згідно з наказами Міністерства освіти і науки України від 13 липня 2015 р. № 747 та від 07 травня 2019 р. № 612 внесений до переліку наукових друкованих фахових видань України, в яких можуть бути опубліковані результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступеней доктора і кандидата технічних наук.

Науковий журнал «Machinery & Energetics» внесено до бібліографічної бази даних наукових публікацій внесено до бібліографічних баз даних наукових публікацій CrossRef, РІНЦ, Ulrich's Periodicals Directory, USJ, BASE, SIS, AGRIS, індексується Google Scholar, RePEc, ResearchBib, MIAR.

Відповідальний за випуск І. Л. Роговський.

Адреса редколегії: 03041, Київ-41, вул. Героїв оборони, 15,  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України, тел. 527-82-41

© Національний університет біоресурсів і  
природокористування України, 2021

УДК 631.331

## МЕТОДИКА ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВИСІВНОГО АПАРАТА СЕЛЕКЦІЙНОЇ СІВАЛКИ ДРІБНОНАСІННЄВИХ КУЛЬТУР

В. М. Яропуд<sup>1</sup>, Е. Б. Алієв<sup>2</sup>, Д. А. Дацюк<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Вінницький національний аграрний університет, Україна.

<sup>2</sup>Інститут олійних культур НААН, Україна.

*Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.*

*Кореспонденція авторів: yaropud77@gmail.com.*

*Історія статті: отримано – квітень 2021, акцептовано – серпень 2021, опубліковано – 30 вересня 2021 року.*

*Бібл. 19, рис. 8, табл. 0.*

**Анотація.** В статті викладена методика чисельного моделювання процесу висіву насінневого матеріалу дрібнонасінневих культур в програмному пакеті STAR-CCM+ на основі створеної 3D-моделі висівного апарату і прийнятих фізичних моделей. Представлені граничні і початкові умови моделювання. Для перевірки створеної симуляції розробленого висівного апарату селекційної сівалки отримана візуалізація процесу його роботи і визначено динаміку кількісних витрат насіння. Проведено розрахунок середнього значення кількісних витрат насіння і його середньоквадратичного відхилення. Обґрунтовано, що для подальших досліджень в якості факторів досліджень обрано: виготовлення дозатора циліндричної форми (I – трикутник, II – напівколо, III – прямокутник), кут повороту заслінки  $\alpha$ , проміжок часу, коли заслінка відкрита або закрита  $\Delta t$ , швидкість переміщення сівалки V.

**Ключові слова:** висівний апарат, насіння, дрібнонасінневі культури, чисельне моделювання, методика, симуляція.

### Постановка проблеми

Останнім часом в селекційному виробництві насінневого матеріалу дрібнонасінневих культур інтерес до проблем сівки значно зріс. Це пояснюється важливістю отримання якісних посівів в початковий момент дослідження і попереднього розмноження нових сортів і гібридів дрібнонасінневих культур. Відповідно до умов, необхідних для нормального розвитку рослин, до сівки на селекційних ділянках попереднього розмноження і сортовипробування висувають високі агротехнічні вимоги за якістю посівів, оскільки використовується більш дорогий посівний матеріал.

Важливими агротехнічними вимогами є забезпечення рівномірного розподілу насіння вздовж рядка на рівні не нижче 95 %. Виконання цієї вимоги сприяє якнайкращому забезпеченню всіх рослин поживними речовинами [1].

Спосіб сівки залежить від ґрунтово-кліматичних умов і посівних якостей насіння дрібнонасінних культур. Завдання сівки полягає в створенні сприятливих умов проростання насіння і рослин, а також в забезпеченні їх необхідної густоти при рівномірному розміщенні в рядках. Необхідна густота посівів і порядок розміщення насіння на полі є основою при виборі способу сівки насіння дрібнонасінневих культур. Виходячи з цього вибирається відстань міжряддя і інтервал між насінням [2].

### Аналіз останніх досліджень

В даний час при вирощуванні дрібнонасінневих культур прийнято розрізняти такі способи сівки (рис. 1) [3].

В результаті проведеного аналізу робимо висновок, що серед різних способів сівки одним з актуальних для селекційного процесу, є рядковий, стрічковий, вузькорядний і широкорядний способи сівки насіння дрібнонасінневих культур, які забезпечують підвищення врожайності культури, за найменших витратах на посів.

Не торкаючись всіх аспектів агротехнічних вимог, зупинимося тільки на показниках, які визначають якісну сторону процесу і разом зі способом сівки є технологічною основою при розробці та вдосконаленні посівних машин і агрегатів [3].

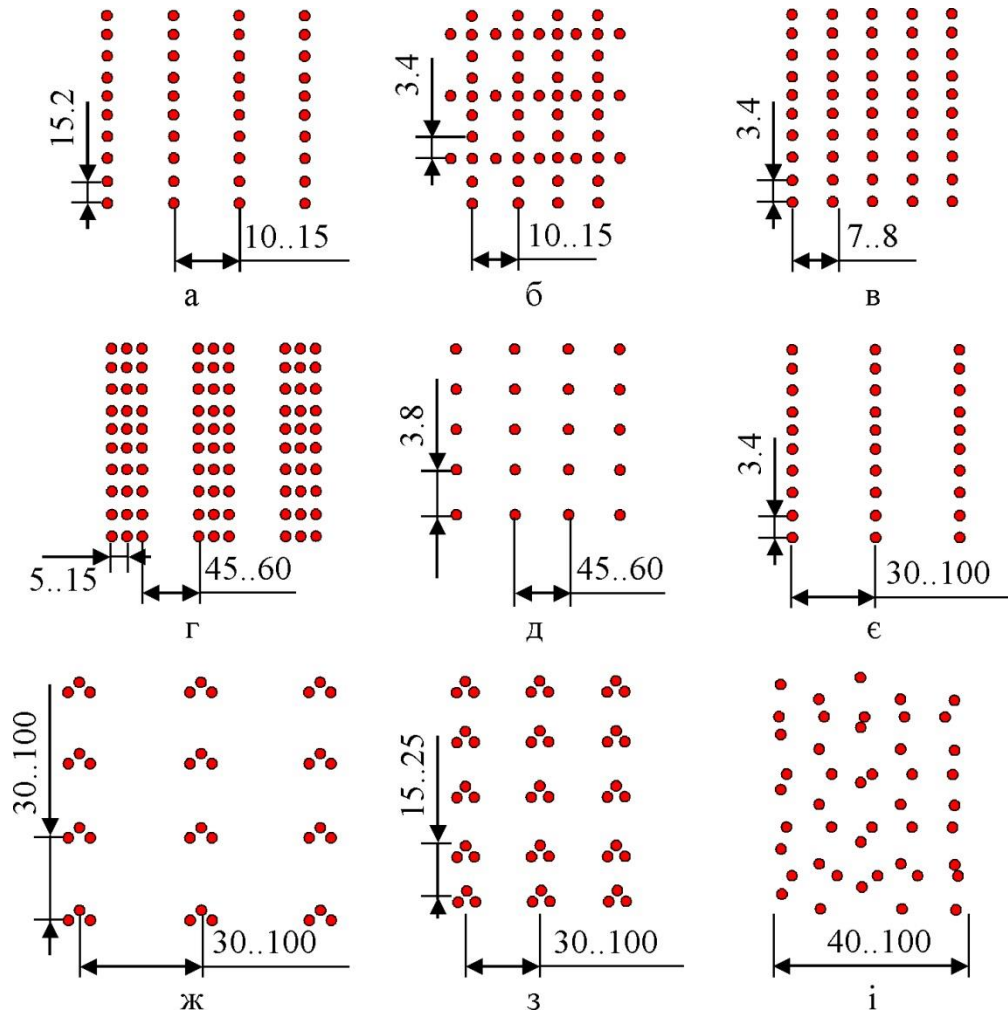
Основною і неодмінною умовою, яка є важливою якісній сівбі, особливо при рядковому способі з однонасінним і гніздовим розміщенням насіння (в подальшому для стислості будемо умовно називати його «точним»), є передпосівний обробіток ґрунту і підготовка насіння.

Встановлено, що кращі умови для роботи посівних машин точного висіву створюються, коли поверхня ґрунту ретельно розпушена на глибину загортання насіння і вирівняна до стану, при якому в шарі 0-5 см не міститься грудок і рослинних решток розміром більше 30 мм [4, 5].

Згідно з аналізом літературних джерел, культиватори з пасивними робочими органами не забезпечують отримання структури ґрунту із зазначеними розмірами грудок і рослинних решток. У зв'язку з цим передпосівний обробіток ґрунту для сівби сівалками точного висіву повинна переважно здійснюватися фрезерними культиваторами або іншими зняряддями з активними робочими органами [6].

Передпосівна підготовка насіння в більшості випадків передбачає надання йому більшої сипучості і

рівності за розмірами, оскільки ці властивості багато в чому визначають якість роботи висівних систем сівалок. Насіння багатьох дрібнонасінних культур має опушеність, зачепи і різного роду шорсткості, що в значній мірі ускладнює одиничний або програмований відбір їх при точних однонасінних і гніздових посівах. Тому незалежно від способу сівби вищеописане насіння повинно бути відшліфованим і рівним за розмірами [7-11].



**Рис. 1.** Схеми сівби насіння дрібнонасінних культур: а – рядковий; б – перехресний; в – вузькорядний; г – стрічковий; д – пунктирний; е – широкорядний; ж – квадратно-гніздовий; з – гніздовий; і – розкидний (безрядковий).

**Fig. 1.** Schemes of sowing seeds of small-seeded crops: а – ordinary; б – cross; в – narrow-row; г – tape; д – dotted; е – wide-row; ж – square-nested; з – nesting; і – scatter (lineless).

Основною вимогою до сівби е, як відомо, поздовжня (уздовж рядка) і вертикальна (по глибині загортання) рівномірність розподілу насіння.

Знайомство із вітчизняною і зарубіжною літературою з даного питання показало, що більшість наявних робіт присвячено вивченню польової схожості насіння, густоти розміщення рослин і впливу їх на урожай. Що стосується досліджень по визначенню частки впливу поздовжньої рівномірності розподілу насіння на названі показники, то такі дані по дрібнонасінних культурах практично відсутні. Це, ймовірно, пояснюється, з одного боку, труднощами

такого роду експериментів, з іншого – самою постановкою завдання. В агрономічному аспекті, що передбачає в кінцевому підсумку видачу практичних рекомендацій, цілком достатнім виявляється назвати спосіб сівби і оптимальну для даної культури схему розміщення рослин без вказівки допусків на відповідні параметри висіву. З точки зору агротехнічних вимог, цих відомостей недостатньо, оскільки в реальних умовах завжди спостерігаються відхилення, які можуть істотно вплинути на кінцевий результат посіву та процесу обробітку в цілому. Тому для оцінки якості сівби необхідні кількісні дані допустимих відхилень, в

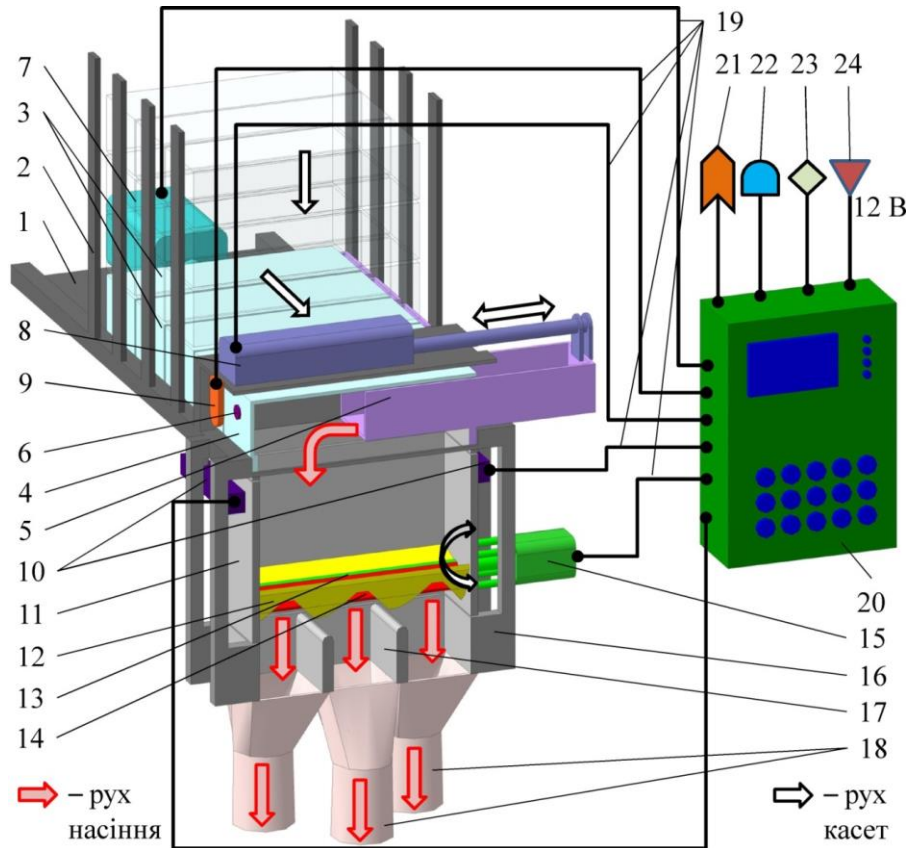
межі яких повинні укладатися параметри процесу, що виконується посівною машиною.

Таким чином, основні якісні, кількісні та експлуатаційні характеристики посівних та інших машин визначаються на основі агротехнічних вимог, досконалість і точне виконання яких забезпечує створення працездатних і економічно ефективних посівних агрегатів.

Насінина повинні бути вирівняні за розмірами і звільнені від опущеності, зачепів і тому подібних

шорсткостей, мати високу схожість і по кондиції відповідати ДСТУ 2240-93 [12] і ДСТУ 4138-2002 [13].

В результаті проведеного патентно-інформаційного аналізу технічних засобів для висіву насіння обґрунтовано конструктивно-технологічну схему висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасінневих культур (рис. 2), який дозволяє повністю автоматизувати процес висіву ділянок дозавозового насінництва майже без участі селекціонера із забезпеченням високої точності висіву.



**Рис. 2.** Конструктивно-технологічна схема висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасінневих культур: 1 – рама, 2 – контейнер, 3 – касети із насінням, 4 – корпус, 5 – висувний футляр, 6 – RFID-метка, 7 – актуатор контейнера, 8 – актуатор футляра, 9 – модуль зчитування даних, 10 – тензодатчики, 11 – ємність, 12 – дозатор циліндричної форми із вирізами, 13 – вал, 14 – заслінка, 15 – кроковий двигун, 16 – кронштейн, 17 – розподільник, 18 – патрубки насіннепроводу.

**Fig. 2.** Structural and technological scheme of the sowing apparatus of the selection seeder of small-seeded crops: 1 – frame, 2 – container, 3 – seed cassettes, 4 – housing, 5 – retractable case, 6 – RFID tag, 7 – container actuator, 8 – case actuator, 9 – data reading module, 10 – strain gauges, 11 – capacity, 12 – the batcher of the cylindrical form with cutouts, 13 – a shaft, 14 – a gate, 15 – the stepper engine, 16 – an arm, 17 – the distributor, 18 – branch pipes of a seed pipeline.

Подальшими дослідженнями передбачене обґрунтування конструктивних параметрів дозатора і режимних параметрів (швидкість, періодичність і амплітуда обертання) крокового двигуна висівного апарата в залежності від морфологічних властивостей насіння дрібнонасінневих культур і норми їх висіву.

#### Мета досліджень

Метою досліджень є розробка методики чисельного моделювання процесу висіву насіннєвого матеріалу дрібнонасінневих культур і перевірка

створеної симуляції розробленого висівного апарата селекційної сівалки.

#### Результати досліджень

Чисельне моделювання процесу висіву насіннєвого матеріалу дрібнонасінневих культур буде проводитися в програмному пакеті STAR-CCM+. Для цього створена 3D-модель області висівного апарата і його робочого органу (дозатор циліндричної форми із трикутними вирізами і заслінки). Далі на основі



обраних моделей сітки (генератор поверхневої сітки і генератор багатограничних комірок) і встановлених опорних значень лінійного розміру (0,0025 м) проведено генерацію об'ємної сітки (рис. 3).

Наступним етапом є вибір фізичних моделей: тривимірний модель, нестационарна неявна модель, математична модель однокомпонентного газу (повітря), модель ідеального газу (повітря), модель турбулентної течії повітря,  $k-\epsilon$  модель турбулентності повітря, ізотермічне рівняння енергії рідини, усереднене по Рейнольдсу рівняння Нав'є-Стокса, роздільна течія, методи градієнта і границь, Лагранжева модель багатозафазного середовища, модель багатозафазної взаємодії, модель дискретних елементів (DEM), поле сили тяжіння [14-17].

Насіння було представлено у вигляді Лагранжевої фази відповідно до наступних моделей: постійної щільності, сили градієнта тиску, сили опору частинок, сферичних частинок, однокомпонентних твердих частинок, частинок DEM. Для прикладу, в якості насіння було обрано насіння рапсу, яке згідно проведеного аналізу літературних джерел має такі фізико-механічні властивості: коефіцієнт Пуассона – 0,2; модуль Юнга – 0,2 МПа; щільність – 700 кг/м<sup>3</sup>; коефіцієнт тертя спокою – 0,6; нормальний коефіцієнт відновлення – 0,5; дотичний коефіцієнт відновлення – 0,5; коефіцієнт опору кочення – 0,3. Оскільки перед посівом насіння підлягає калібруванню за геометричним розміром, то приймаємо наступні характеристики: середнє значення ефективного діаметра –  $D = 0,002$  м; мінімальне значення ефективного діаметра –  $D_{\min} = 0,0018$  м; максимальне значення ефективного діаметра –  $D_{\max} = 0,0022$  м; стандартне відхилення –  $\sigma_D = 0,0002$  м. Розподіл розміру насіння підпорядковується нормальному розподілу Гауса. При цьому маса 1000 насінин  $m_{1000}$  змінювалася в діапазоні від 2,2 до 4,2 г [18].

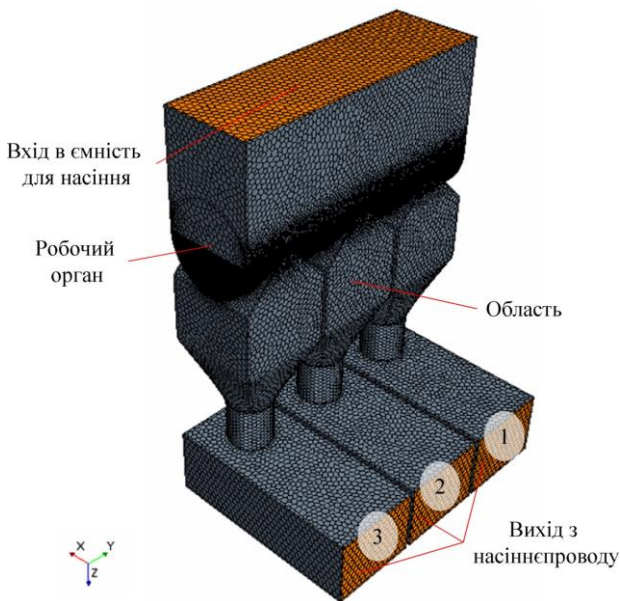


Рис. 3. Об'ємна сітка області висівного апарата і його робочого органу.

Fig. 3. Volumetric grid of the area of the sowing machine and its working body.

Взаємодія між насінинами підпорядковувалася моделі контактної взаємодії Герца-Міндліна [19]: коефіцієнт тертя спокою – 0,61; нормальний коефіцієнт відновлення – 0,5; дотичний коефіцієнт відновлення – 0,5.

За властивості середовища були прийняті такі параметри: середовище – повітря; динамічна в'язкість –  $1,85508 \cdot 10^{-5}$  Па·с; турбулентне число Прандтля – 0,9; прискорення вільного падіння – 9,8 м/с<sup>2</sup>; температура – 293 К; тиск – 101325 Па.

Схема чисельного моделювання процесу висіву насіннєвого матеріалу дрібнонасінневих культур приведена на рис. 4. Подача насіння здійснюється у верхній частині ємності для насіння на основі функції інжектування Лагранжевої фази із наступними параметрами: ймовірність появи насінини – 0,8, початкова швидкість насінин – 0 м/с, подача насіння  $Q = 5$  кг/с (це значення підбрано з умови забезпечення постійного рівня насінин в ємності висівного апарата).

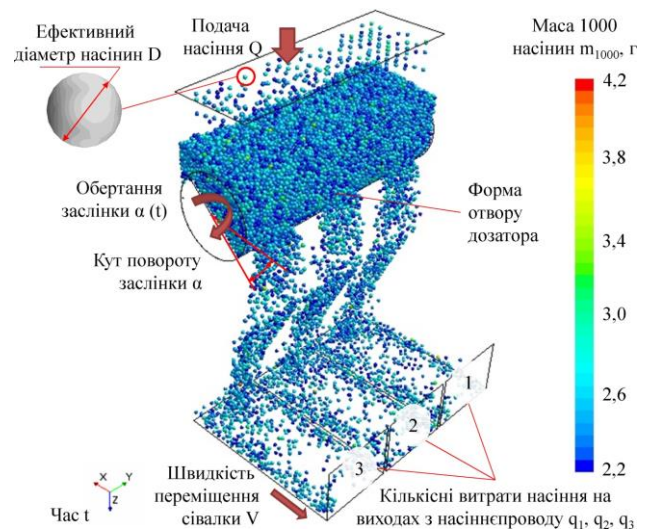


Рис. 4. Схема чисельного моделювання процесу висіву насіннєвого матеріалу дрібнонасінневих культур.

Fig. 4. Scheme of numerical modeling of the process of sowing the seed material of small-seeded crops.

Обертання заслінки було задано за періодичною функцією, яка приведена на рис. 5:  $t_0$  – початковий час відкриття заслінки;  $\Delta t$  – проміжок часу, коли заслінка відкрита або закрита;  $\Delta t_\omega$  – проміжок часу, коли заслінка відкривається або закривається із кутною швидкістю обертання  $\omega$  на кут  $\alpha_{\max}$

$$\Delta t_\omega = \frac{\alpha_{\max}}{\omega}. \quad (1)$$

Вирізи дозатора циліндричної форми зроблені у трьох виконаннях (рис. 6): I – трикутник, II – напівколо, III – прямокутник. Залежності площі одного отвору дозатора  $S$  від кута повороту заслінки  $\alpha$  для різних варіантів приведено на рис. 6.

Граничні умови для чисельного моделювання є наступні. Взаємодія між насінною і стінками висівного апарата підпорядковувалася моделі контактної взаємодії Герца-Міндліна: коефіцієнт тертя спокою – 0,5; нормальний коефіцієнт відновлення –



0,5; дотичний коефіцієнт відновлення – 0,5. Площини виходів з насіннепроводів 1, 2 і 3 є прозорими для насіння. На цих площинах фіксується значення кількісних витрат насіння  $q_1, q_2, q_3$ . Нижні частини насіннепроводів (рис. 4) моделюються як транспортерні стрічки, які переміщуються зі швидкістю  $V$ . Це дозволяє зімітувати переміщення сівалки, на якій встановлений висівний апарат.

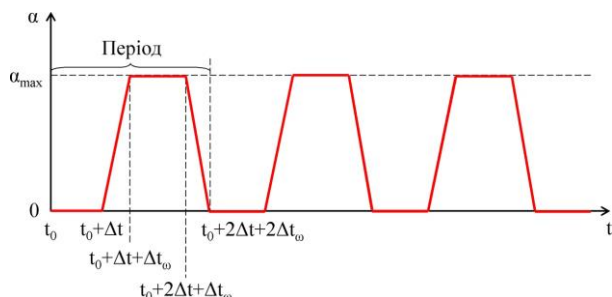


Рис. 5. Періодична функція обертання заслінки висівного апарата.

Fig. 5. Periodic function of rotation of the valve of the sowing machine.

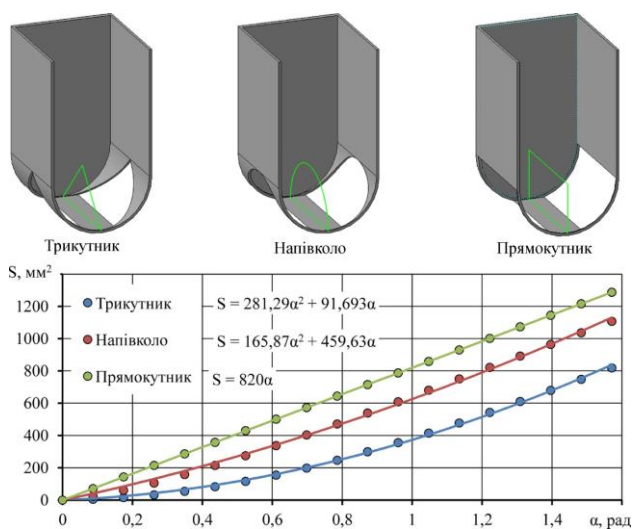


Рис. 6. Залежності площі одного отвору дозатора

$S$  від кута повороту заслінки  $\alpha$  для різних варіантів.

Fig. 6. Dependences of the area of one opening of the batcher  $S$  on an angle of rotation of a gate  $\alpha$  for various executions.

Для перевірки створеної симуляції розробленого висівного апарата селекційної сівалки прийняті такі конструктивно-режимні параметри: виріз дозатора циліндричної форми зроблений у виконанні I – трикутник; швидкість переміщення сівалки  $V = 2$  м/с; максимальний кут повороту заслінки  $\alpha_{max} = \pi/4$ ; кутова швидкістю обертання  $\omega = 5,5$  рад/с; проміжок часу, коли заслінка відкрита або закрита  $\Delta t = 1$  с. В результаті перевірки створеної симуляції отримана візуалізація процесу його роботи (рис. 7).

Аналіз рис. 8 дозволяє зробити висновок про відсутність відмінності між розташуванням вирізів дозатора циліндричної форми. Це підтверджується високим коефіцієнтами кореляції між  $q_1, q_2$  і  $q_3$ , які знаходяться в межах 0,95-0,96. Проведено розрахунок середнього значення кількісних витрат насіння  $q_{сеп} =$

277 шт./с і середньоквадратичного відхилення  $\sigma = 54$  шт./с. Ці параметри і визначають ефективність процесу висіву дрібнонасіневих культур. Середні кількісні витрати насіння  $q_{сеп}$  (шт./с) помножені на кількість висівних апаратів  $n$  (шт.) і розділені на швидкість переміщення сівалки  $V$  (м/с), що помножена на відстань між рядками  $A$  (м) визначають норму висіву  $N$  (шт./м<sup>2</sup>):

$$N = \frac{q_{сеп} n}{VA} \quad (2)$$

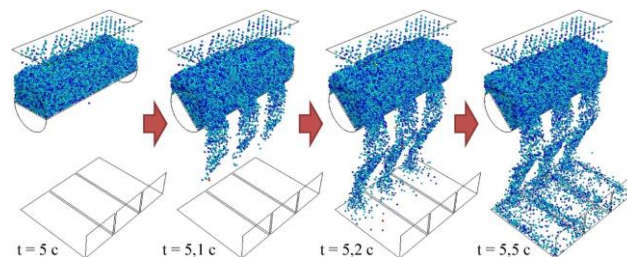


Рис. 7. Візуалізація процесу роботи висівного апарата селекційної сівалки.

Fig. 7. Visualization of the process of operation of the seeding machine of the selection seeder.

Окрім цього визначено динаміку кількісних витрат насіння  $q_1, q_2, q_3$ , яка приведена на рис. 8.

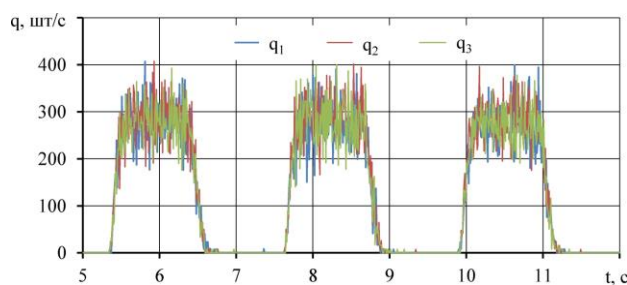


Рис. 8. Динаміка кількісних витрат насіння  $q_1, q_2, q_3$ .

Fig. 8. Dynamics of quantitative consumption of seeds  $q_1, q_2, q_3$ .

Тобто норма висіву повинна повністю відповідати технологічним вимогам:

$$N = N_{norm} \quad (3)$$

В свою чергу середньоквадратичне відхилення  $\sigma$  визначає саме рівномірність висіву, тобто умовою якісного висіву є мінімізація середньоквадратичного відхилення кількісних витрат насіння  $\sigma$ :

$$\sigma \rightarrow \min. \quad (4)$$

Для подальших досліджень необхідно встановити залежності норми висіву  $N$  і середньоквадратичного відхилення кількісних витрат насіння  $\sigma$  від конструктивно-режимних параметрів висівного апарата.

В якості факторів досліджень обрано: виконання виразу дозатора циліндричної форми (I – трикутник, II – напівколо, III – прямокутник), кут повороту заслінки  $\alpha$  ( $\pi/12, \pi/6, \pi/4$ ), проміжок часу, коли заслінка відкрита або закрита  $\Delta t$  (1 с, 2 с, 3 с), швидкість переміщення сівалки  $V$  (1 м/с, 3 м/с, 5 м/с).

Повний факторний чисельний експеримент для 4 факторів і 3 рівнів варіації містить  $3^4 = 81$  дослід.

### Висновки

1. Викладена методика чисельного моделювання процесу висіву насіннєвого матеріалу дрібнонасіннєвих культур в програмному пакеті STAR-CCM+ на основі створеної 3D-моделі висівного апарата і прийнятих фізичних моделей. Представлені граничні і початкові умови моделювання.

2. Для перевірки створеної симуляції розробленого висівного апарата селекційної сівалки отримана візуалізація процесу його роботи і визначено динаміку кількісних витрат насіння. Проведено розрахунок середнього значення кількісних витрат насіння і середньоквадратичного відхилення. Задекларовано, що середні кількісні витрати насіння  $q_{\text{сер}}$  (шт./с) помножені на кількість висівних апаратів  $n$  (шт.) і розділені на швидкість переміщення сівалки  $V$  (м/с), що помножена на відстань між рядками  $A$  (м) визначає норму висіву  $N$  (шт./м<sup>2</sup>), яка повинна повністю відповідати технологічним вимогам. В свою чергу середньоквадратичне відхилення  $\sigma$  визначає саме рівномірність висіву, тобто умовою якісного висіву є мінімізація середньоквадратичного відхилення кількісних витрат насіння  $\sigma$ .

3. Обґрунтовано, що для подальших досліджень в якості факторів досліджень обрано: виготовлення дозатора циліндричної форми (I – трикутник, II – напівколо, III – прямокутник), кут повороту заслінки  $\alpha$  ( $\pi/12$ ,  $\pi/6$ ,  $\pi/4$ ), проміжок часу, коли заслінка відкрита або закрита  $\Delta t$  (1 с, 2 с, 3 с), швидкість переміщення сівалки  $V$  (1 м/с, 3 м/с, 5 м/с).

### Список літератури

1. Молоцький М. Я., Васильківський С. П., Князюк В. І., Власенко В. А. Селекція і насінництво сільськогосподарських рослин: підручник. Вища освіта. 2006. 463 с.
2. Крючин Н. П. Посевные машины. Особенности конструкций и тенденции развития: Учебное пособие. Самара. 2003. 116 с.
3. Халанский В. М., Горбачев И. В. Сельскохозяйственные машины. Москва. Колос. 2003. 624 с.
4. Поляков О. І., Вахненко С. В., Нікітенко О. В., Вендель В. В. Особливості формування продуктивності гірчиці ярої під впливом мінеральних добрив за різних норм висіву. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. № 23. 2016. С. 155-161. [http://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2016/23/Poliakov3\\_23.pdf](http://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2016/23/Poliakov3_23.pdf).
5. Поляков О. І., Вахненко С. В. Водоспоживання ріпака ярого в залежності від строків, способів сівби та норм висіву насіння. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. № 17. 2012. С. 130-133. [http://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2012/17/Poliakov\\_17.pdf](http://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2012/17/Poliakov_17.pdf).
6. Чичкин В. П. Овощные сеялки и комбинированные агрегаты. Теория, конструкция, расчёт. Монография. Кишинёв. Штиница. 1984. 392 с.
7. Алієв Ельчин Бахтияр огли. Механіко-технологічні основи процесу прецизійної сепарації

насіннєвого матеріалу соняшнику: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Запоріжжя. 2020. 530 с.

8. Shevchenko I. A., Aliev E. B. Research on the photoelectronic separator seed supply block for oil crops. INMATEH – CUPRINS. 2018. Vol. 54. №. 1. P. 129-138.

9. Aliev E. B., Yaropud V. M., Dudin V. Yr., Pryshliak V. M., Pryshliak N. V., Ivlev V. V. Research on sunflower seeds separation by airflow. INMATEH – Agricultural Engineering. 2018. Vol. 56. No 3. P. 119-128.

10. Shevchenko I., Aliiev E. Study of the process of calibration of confectionery sunflower seeds. Food Science and Technology. 2018. Vol. 12. Issue 4. P. 135-142.

11. Aliiev E., Gavrilchenko A., Tesliuk H., Tolstenko A., Koshul'ko V. Improvement of the sunflower seed separation process efficiency on the vibrating surface. Acta Periodica Technologica, APTEFF. 2019. 50. P. 12-22.

12. ДСТУ 2240-93. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови. Київ: Держстандарт України. 1993. 74 с.

13. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Київ: Держстандарт України. 2002. 173 с.

14. Dominik Kubicki, Simon Lo. Slurry transport in a pipeline – Comparison of CFD and DEM models. Ninth International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries. CSIRO, Melbourne, Australia (10-12 December 2012). P. 1-6.

15. Sang Won Han, Won Joo Lee, Sang Jun Lee. Study on the Particle Removal Efficiency of Multi Inner Stage Cyclone by CFD Simulation. World Academy of Science, Engineering and Technology. 2012. Vol. 6. P. 411-415.

16. Satish G., Ashok Kumar K., Vara Prasad V., Pasha Sk. M. Comparison of flow analysis of a sudden and gradual change of pipe diameter using fluent software. IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology. 2013. Vol. 2. P. 41-45.

17. Iguchi Manabu, Ilegbusi Olusegun J. Basic Transport Phenomena in Materials Engineering. Springer. 2014. 260 p.

18. Алієв Е. Б., Шевченко І. А. Дослідження аеродинамічних властивостей насіння олійних культур. Вісник аграрної науки. 2017. №3 (769). С. 63-65.

19. Wallin S. Engineering turbulence modeling for CFD with a focus on explicit algebraic Reynoldce stress models. Doctoral thesis. Norstedts truckeri, Stockholm, Sweden. 2000. 124 p.

### References

1. Molotsky M. Ya., Vasylykivsky S. P., Knyazyuk V. I., Vlasenko V. A. (2006). Breeding and seed production of agricultural plants: Textbook. Higher education. 463.
2. Kryuchin N. P. (2003). Sowing machines. Features of constructions and tendencies of development: The textbook. Samara. 116.
3. Khalansky V. M., Gorbachev I. V. (2003). Agricultural machinery. Kolos. 624.
4. Polyakov O. I., Vakhnenko S. V., Nikitenko O. V.,

Wendel V. V. (2016). Features of formation of productivity of spring mustard under the influence of mineral fertilizers at different seeding rates. Scientific and technical bulletin of the Institute of Oilseeds of NAAS. № 23. 155-161. [http://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2016/23/Poliakov3\\_23.pdf](http://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2016/23/Poliakov3_23.pdf).

5. Polyakov O. I., Vakhnenko S. V. (2012). Water consumption of spring rape depending on the timing, methods of sowing and seeding rates. Scientific and technical bulletin of the Institute of Oilseeds of NAAS. № 17. 130-133. [http://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2012/17/Poliakov\\_17.pdf](http://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2012/17/Poliakov_17.pdf).

6. Chichkin V. P. (1984). Vegetable seeders and combined units. Theory, design, calculation. Monograph. Chisinau: Shtinitsa. 392.

7. Aliyev Elchin Bakhtiyar ogli. (2020). Mechanical and technological bases of process of precision separation of sunflower seed material: dis. ... Dr. Tech. Science: 05.05.11. Zaporozhye. 530.

8. Shevchenko I. A., Aliyev E. B. (2018). Research on the photoelectronic separator seed supply block for oil crops. INMATEH - CUPRINS. 54(1). 129-138.

9. Aliyev E. B., Yaropud V. M., Dudin V. Yr., Pryshliak V. M., Pryshliak N. V., Ivlev V. V. (2018). Research on sunflower seeds separation by airflow. INMATEH - Agricultural Engineering. 56(3). 119-128.

10. Shevchenko I., Aliyev E. (2018). Study of the process of calibration of confectionery sunflower seeds. Food Science and Technology. 12(4). 135-142.

11. Aliyev E., Gavrilenko A., Tesliuk H., Tolstenko A., Koshul'ko V. (2019). Improvement of the sunflower seed separation process efficiency on the vibrating surface. Acta Periodica Technologica. APTEFF. 50. 12-22.

12. DSTU 2240-93. (1993). Seeds of agricultural crops. Varietal and sowing qualities. Specifications. Kyiv. State Standard of Ukraine. 74.

13. DSTU 4138-2002. (2002). Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality. Kyiv. State Standard of Ukraine. 173.

14. Dominik Kubicki, Simon Lo. (2012). Slurry transport in a pipeline - Comparison of CFD and DEM models. Ninth International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries. CSIRO. Melbourne. Australia (10-12 December 2012). 1-6.

15. Sang Won Han, Won Joo Lee, Sang Jun Lee. (2012). Study on the Particle Removal Efficiency of Multi Inner Stage Cyclone by CFD Simulation. World Academy of Science, Engineering and Technology. 6. 411-415.

16. Satish G., Ashok Kumar K., Vara Prasad V., Pasha Sk. M. (2013). Comparison of flow analysis of a sudden and gradual change of pipe diameter using fluent software. IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology. 2. 41-45.

17. Iguchi Manabu, Ilegbusi Olusegun J. (2014). Basic Transport Phenomena in Materials Engineering. Springer. 260.

18. Aliyev E. B., Shevchenko I. A. (2017). Research of aerodynamic properties of oilseeds. Bulletin of Agricultural Science. 3(769). 63-65.

19. Wallin S. (2000). Engineering turbulence modeling for CFD with a focus on explicit algebraic Reynolds stress models. Doctoral thesis. Norstedts truckeri, Stockholm, Sweden. 124.

## МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫСЕВАЮЩИХ АППАРАТОВ СЕЛЕКЦИОННОЙ СЕЯЛКИ МЕЛКОСЕМЕННОЙ КУЛЬТУР

В. М. Яропуд, Е. Б. Алиев, Д. А. Дацюк

**Аннотация.** В статье изложена методика численного моделирования процесса высева семенного материала мелкосемянных культур в программном пакете STAR-CCM + на основе созданной 3D-модели посевного аппарата и принятых физических моделей. Представленные граничные и начальные условия моделирования. Для проверки созданной симуляции разработанного высевающего аппарата селекционной сеялки получена визуализация процесса его работы и определена динамика количественного расхода семян. Проведен расчет среднего значения количественного расхода семян и его среднеквадратичного отклонения. Обосновано, что для дальнейших исследований в качестве факторов выбраны: выполнение дозатора цилиндрической формы (I - треугольник, II - полукруг, III - прямоугольник), угол поворота заслонки  $\alpha$ , промежуток времени, когда заслонка открыта или закрыта  $\Delta t$ , скорость перемещения сеялки V.

**Ключевые слова:** высевающий аппарат, семена, мелкосеменные культуры, численное моделирование, методика, симуляция.

## METHODS OF NUMERICAL MODELING OF SOWING APPARATUS OF SELECTION SEEDER OF SMALL-SEED CROPS

V. M. Yaropud, E. B. Aliyev, D. A. Datsyuk

**Abstract.** The article describes the method of numerical modeling of the process of sowing seed material of small seed crops in the software package STAR-CCM + on the basis of the created 3D-model of the sowing machine and the adopted physical models. Boundary and initial conditions of modeling are presented. To check the created simulation of the developed sowing device of a selection seeder the visualization of process of its work is received and dynamics of quantitative expenses of seeds is defined. The calculation of the average value of the quantitative consumption of seeds and its standard deviation. It is substantiated that for further researches the following are chosen as research factors: execution of the expression of the dispenser of cylindrical form (I - triangle, II - semicircle, III - rectangle), angle of rotation of the damper  $\alpha$ , time interval when the damper is open or closed  $\Delta t$ , seed drill speed V.

**Key words:** sowing machine, seeds, small seed crops, numerical modeling, methods, simulation.

**В. М. Яропуд** ORCID 0000-0003-0502-1356.

**Е. Б. Алиев** ORCID 0000-0003-4006-8803.

**Д. А. Дацюк** ORCID 0000-0002-4614-2245.

