

The aggravation of the food crisis and the impossibility of exporting agricultural products from the ports against the backdrop of the war in Ukraine only exacerbates the issue of food security. The purpose of writing the article is to substantiate the installation scheme for hydroponic cultivation of vegetable crops in closed soil conditions for obtaining stable harvests of vegetable crops throughout the year.

To carry out research, a hydroponic plant that works on the principle of a nutrient layer (NFT) was developed and manufactured at the Department of General Agriculture of the Central Ukrainian National Technical University. The installation is designed for growing green vegetable crops. A coconut-agroperlite soil mixture was used as a substrate. The used installation is compact, provided with a lighting system and works in automatic mode. The useful area of the installation is 0.104 m², so it is possible to grow from 40 to 112 lettuce plants at the same time. The use of a mineral solution in a hydroponic installation had a significant effect on the growth and development of lettuce plants and caused an increase in the area of leaf plates. In the experiment, the yield of Tudela variety lettuce was obtained - 4.9 kg/m², which is 10-15% more than in soil conditions, and if the installation is used all year round - 5.0-5.5 times more. The advantage of the method is that there is no need to use fungicides. Since, without the presence of soil, there are no such pests as cabbageworm and sciaridis. And the biggest advantage is saving water and controlling the substances they absorb in the process of development.

The latest systems of growing green vegetable crops in the conditions of hydroponic systems make it possible to harvest all year round, and in a much larger volume than under soil conditions. The developed design of the hydroponic system makes it possible to obtain a steady crop of lettuce plants when using a coconut-agroperlite soil mixture as a substrate. The proposed installation of the NFT system using a nutrient solution of mineral-biological preparations made it possible to obtain seedlings with a well-developed root system and an above-ground part with a yield of 4.9 kg/m².

hydroponic method, vegetable crops, installation, substrate, mineral solution

Одержано (Received) 12.10.2022

Прорецензовано (Reviewed) 07.11.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 631.331.8

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.86-98>

Е. Б. Алієв, ст.досл. д-р техн. наук, директор

*Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України,
м. Запоріжжя, Україна*

e-mail: aliev@meta.ua

П.Є. Безверхній, асп.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

e-mail: niklinko21@gmail.com

Чисельне моделювання сповільнювача насіння пневматичної сівалки точного висіву

В результаті чисельного моделювання сповільнювача насіння пневматичної сівалки John Deere в програмному пакеті Star CCM+ отримано візуалізацію процесу руху насіння і повітряного потоку в робочій області сповільнювача. За результатами чисельного моделювання і обробки отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Mathematica отримані рівняння регресії третього порядку в розкодованому вигляді без урахування значущих коефіцієнтів за t-критерієм Стюдента залежностей швидкості повітряного потоку, швидкості насіння на виході сповільнювача насіння і коефіцієнта зміни норма висіву від швидкості повітряного потоку на вході і відношення площі випускних отворів до площі входу.

насіння, сівалка, точний висів, сповільнювач, моделювання, симуляція, швидкість

Постановка проблеми. У сучасному рослинництві важлива роль відводиться енергозберігаючим технологіям вирощування культурних рослин. Це один із найважливіших перспективних і пріоритетних напрямків, який вимагає застосування сільськогосподарських машин нового покоління, що забезпечують високу якість і точність робіт на всіх технологічних операціях, в тому числі і під час сівби культурних рослин [1, 2].

Нові конструкції машин розробляються із врахуванням вимог прецизійності (точності), багатофункціональності, енергоємності та з достатнім запасом міцності конструктивних елементів [3, 4]. Для роботи таких машин у варіанті універсальних пневматичних сівалок точного висіву існуючі системи подачі насіння мало пристосовані і вимагають доопрацювання [5, 6, 7]. Не винятком є і пневматична сівалка John Deere (рис. 1).

Багато пневматичних сівалок виробництва John Deere не можуть утримувати насіння в посівному ложі, особливо при нульовій або мінімальній обробці гранту (No-till, Strip-till, Mini-till). Це стає ще більшою проблемою при роботі на високих швидкостях на меншій глибині висіву. Рішенням даної проблеми є удосконалення системи подачі насіння [8, 9].

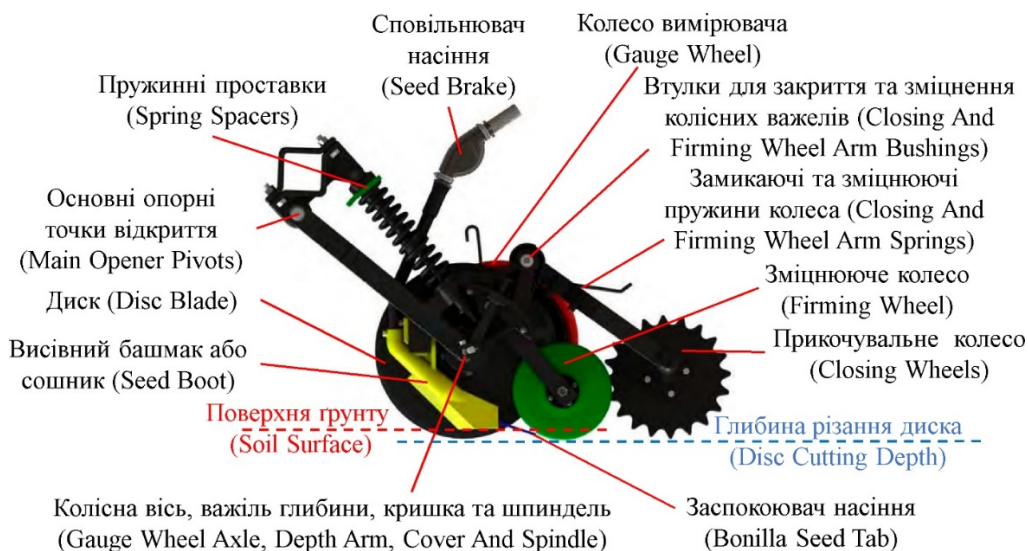


Рисунок 1 – Конструкція висівної секції пневматичної сівалки John Deere

Джерело: [5]

Виліт насіння з посівного ложі є поширеною проблемою для багатьох пневматичних сівалок, що виникає при посіві дрібнонасіньових культур (наприклад, ріпаку, проса, гірчиці), при внесенні гранульованого добрива разом із насінням (збільшується швидкість потоку повітря), при використанні більш широкого посівного обладнання [5, 10, 11]. Ці чинники збільшують ризик викидання насіння з посівного ложі, що зменшує однорідність посіву. Для вирішення даної проблеми необхідно встановлювати сповільнювачі насіння, що дозволяють зменшити швидкість повітряного потоку на виході з сошнику.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оскільки все більше і більше фермерів використовують повітряні бункери для розміщення сумішей добрив у рядку разом із насінням, для транспортування обох продуктів до висівних башмаків (сошників) потрібно значно більший потік повітря, особливо при більшій ширині висіву та вищій швидкості висіву. Завдяки такому підвищенню швидкості повітряного

потоків підвищується ризик того, що насіння (і добрива) вилетять із отвору для насіння і потраплять не у посівне ложе [11, 12]. Рішенням даної проблеми є встановлення сповільнювача насіння, який встановлюється вертикально над висівною трубою на пневматичних сівалках John Deere [5]. Вони мають різноманітну форму, що дозволяє ергономічне розташування під елементами рами, зберігаючи близьку вертикальну орієнтацію для хорошого потоку насіння (рис. 2) [5]. Однак конструкція сповільнювачів насіння повинна забезпечувати, окрім зниження швидкості повітряного потоку, вільний потік насіння до сошника без утворення заторів з урахуванням постійного коливання рами сівалки і забезпечення необхідної точності висіву, а також запобігання травмування насіння під час його переміщення.

Тому для обґрунтування конструктивно-режимних параметрів сповільнювача насіння пневматичної сівалки на прикладі John Deere необхідно провести відповідне чисельне моделювання.



Рисунок 2 – Конструкції сповільнювача насіння

Джерело: [5]

Постановка завдання. Підвищення ефективності роботи сповільнювача насіння пневматичної сівалки John Deere шляхом обґрунтування його конструктивно-режимних параметрів на основі чисельного моделювання в програмному пакеті Star CCM+¹.

Виклад основного матеріалу. Спираючись на власний досвід чисельного моделювання [13, 14, 15, 16] для досягнення поставленої мети було побудовано модель в програмному пакеті Star CCM+. Конструкція і згенерована сітка внутрішньої області сповільнювача насіння із зазначенням геометричних розмірів приведена на рис. 3.

Геометричні розміри сповільнювача насіння були обрані з урахуванням можливості його розташування і конструктивних особливостей пневматичної сівалки John Deere. В якості моделей генерації об'ємної сітки в програмному пакеті Star CCM+ були обрані наступні: генератор багатограних комірок, генератор поверхневої сітки, екструдер. Опорними величинами зазначених генераторів є наступні: базовий розмір – 0,004 м; швидкість росту x поверхні – 1,3; відносний мінімум розміру для подрібнення комірок – 10 %; мінімальна допустима якість грані – 0,001 м.

В якості фізичних моделей для чисельного моделювання обрані наступні: модель реального газу (повітря) Ван-дер-Ваальса; модель k - ϵ -турбулентності; модель роздільної течії; модель Лагранжевої багатозфазності, зокрема метод дискретних елементів (DEM) з урахування багатозфазної взаємодії. Симуляція процесу виконана у тривимірному просторі із нестационарним неявним вирішувачем.

¹ В дослідженнях використовувалося програмне забезпечення «Simcenter STAR-CCM+ Academic Pack», власником ліцензії якої є Дніпровський державний аграрно-економічний університет.

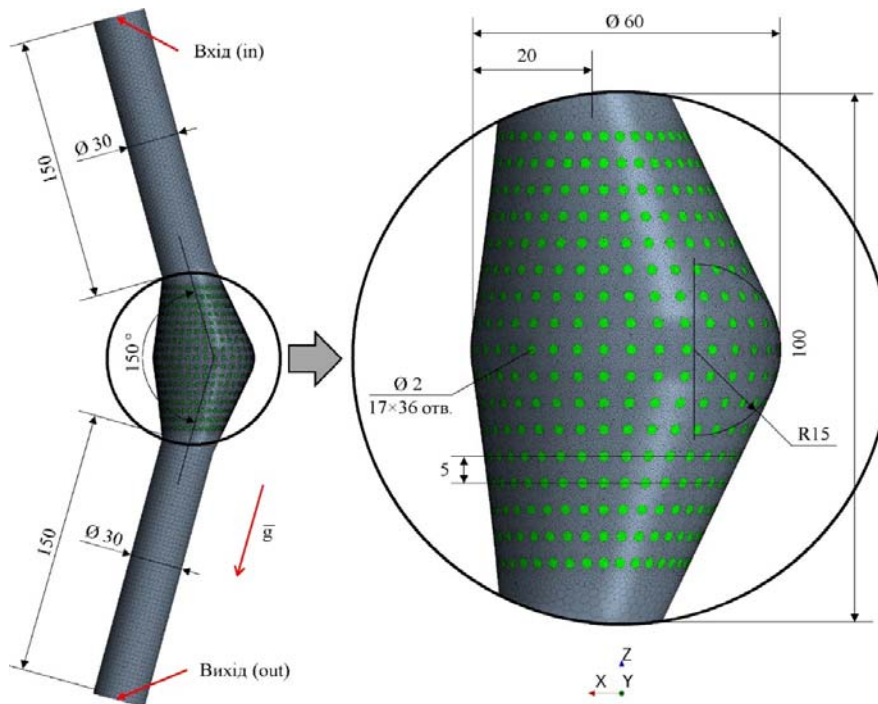


Рисунок 3 – Конструкція і згенерована сітка внутрішньої області сповільнювача насіння (значення в мм)
Джерело: розроблено авторами

Для повітря прийняті наступні фізико-механічні властивості: динамічна в'язкість – $1,85508 \cdot 10^{-5}$ Па·с; турбулентне число Прандтля – 0,9; молекулярна маса – 28,9664 кг/кмоль.

В якості DEM-частинок обрано насіння сої, які мали сферичну форму. Властивості насіння соя прийняті наступні [17]: коефіцієнт Пуассона – 0,45; модуль Юнга – 0,2 МПа; щільність – 700,0 кг/м³; ефективний діаметр насіння знаходиться в межах від 0,0045 м до 0,0055 м і підпорядковується нормальному розподілу; стандартне відхилення діаметра насіння – 0,001 м.

Взаємодія насінин одне з одним і зі непроникливими стінками сповільнювача насіння підпорядковані моделі контакту Герца-Міндліна. При цьому коефіцієнт тертя спокою прийнятий 0,61, нормальний коефіцієнт відновлення – 0,5, дотичний коефіцієнт відновлення – 0,3.

Вектор сили тяжіння згідно рис. 3 мав координати (2,539; 0,0; -9,476) м/с².

В якості граничних умов обрані наступні моделі (відповідно до рис. 3): границя «Вхід (in)» (діаметр – 30 мм) – модель швидкості повітря на вході (V_{in}); границя «Вихід (out)» діаметр – 30 мм – модель неявного виходу; границя «отвори» (діаметр – 2 мм, загальна кількість – $17 \times 36 = 612$ шт) – модель неявного виходу; інші границі – модель стінки. Всі границі, окрім границі «Вихід (out)» є непроникливі для DEM-частинок (насінин).

Інжектор DEM-частинок (насінин) в кількості 25 точок розміщений на границі «Вхід (in)». Ймовірність використання точки для генерації насінини складає 0,3. Швидкість генерація частинок обрано з наступник міркувань. Норма висіву сої складає в середньому 300000 шт/га = 30 шт/м² [18]. При міжрядді 0,7 м отримуємо 42,9 шт/м в рядку. Приймаючи середню швидкість переміщення сівалки 2,0 м/с отримуємо швидкість генерація DEM-частинок (насінин) $Q_{in} = 86$ шт/с.

Крок за часом вирішувач складає 0,01 с, максимальне значення внутрішніх ітерацій – 10, час експозиції 10 с.

В якості факторів досліджень обрано швидкість повітряного потоку на вході V_a^{in} (5–25 м/с, крок – 5 м/с), відношення площі випускних отворів до площі входу ε

$$\varepsilon = \frac{S_h N_h}{S_{in}} = \frac{N_h}{225}, \quad (1)$$

де S_h – площа випускного отвору, $S_h = \pi(2/2)^2 \text{ мм}^2$;

N_h – кількість випускних отворів;

S_{in} – площа входу, $S_{in} = \pi(30/2)^2 \text{ мм}^2$.

Змінюючи кількість випускних отворів отримуємо діапазон фактору ε : $N_h = 17 \times 0 \rightarrow \varepsilon = 0$; $N_h = 17 \times 6 \rightarrow \varepsilon = 0,45$; $N_h = 17 \times 12 \rightarrow \varepsilon = 0,91$; $N_h = 17 \times 18 \rightarrow \varepsilon = 1,36$; $N_h = 17 \times 24 \rightarrow \varepsilon = 1,84$; $N_h = 17 \times 30 \rightarrow \varepsilon = 2,27$; $N_h = 17 \times 36 \rightarrow \varepsilon = 2,72$.

Почергово задаючи значення факторів отримуємо $7 \times 5 = 35$ дослідів.

Критеріями досліджень є швидкість повітряного потоку на виході V_a^{out} , швидкість насіння на виході V_p^{out} і коефіцієнт зміни норма висіву η :

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}}, \quad (2)$$

де Q_{out} – норма висіву на виході, шт./с;

Q_{in} – норма висіву на вході, шт./с.

В результаті чисельного моделювання отримано візуалізації процесу руху насіння у сповільнювачі, які приведені на рис. 4-6. На рисунках представлено лінії потоку повітря і розміщення та швидкості насіння в процесі їх руху. З рисунків наочно можна визначити максимальні і мінімальні швидкості потоку повітря на вході і виході сповільнювача насіння. Окрім цього візуалізація демонструє максимальне і мінімальне значення швидкостей насіння в процесі їх руху.

Аналізуючи рис. 4-6 можна стверджувати, що при збільшенні кількості випускних отворів сповільнювача насіння окрім зменшення швидкості повітряного потоку на виході спостерігається утворення вихрового руху. Наявність такого руху додатково зменшує швидкість насіння і змінює траєкторію його руху з лінійної до обертової навколо центра сповільнювача насіння.

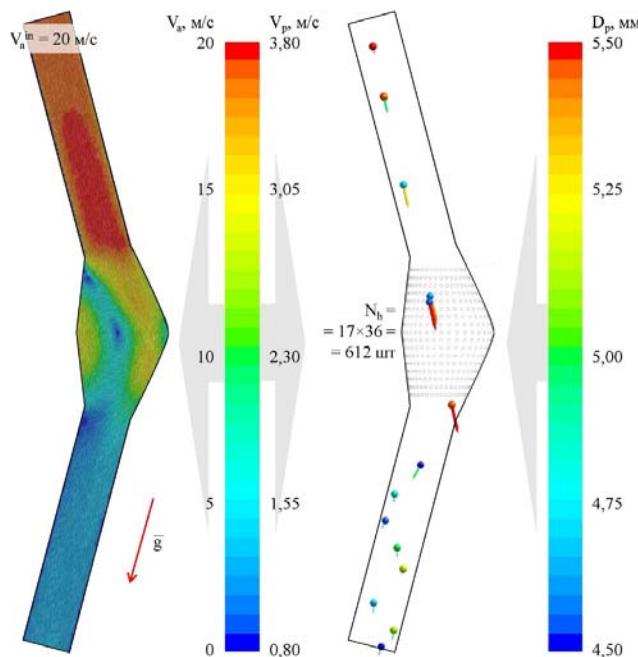


Рисунок 4 – Візуалізація процесу руху насіння у сповільнювачі при $V_a^{in} = 20 \text{ м/с}$, $\varepsilon = 2,72$

Джерело: розроблено авторами

На рис. 4-6 при великій кількості випускних отворів сповільнювача насіння спостерігається скупчення насінин на виході, що призводить до збільшення норми висіву на виході Q_{out} в порівнянні із нормою висіву на вході Q_{in} . Тобто застосування сповільнювача насіння вирішує поставлену задачу зменшення швидкості насінин, однак змінює норму висіву. Тому для використання подібних сповільнювачів необхідно корегувати норму висіву висівного апарата сівалки в залежності від їх конструктивних особливостей.

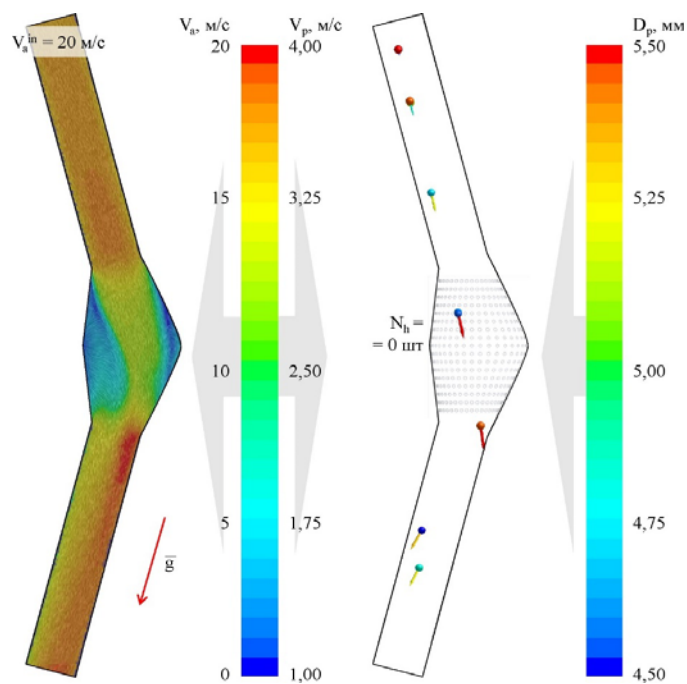


Рисунок 5 – Візуалізація процесу руху насіння у сповільнювачі при $V_a^{in} = 20$ м/с, $\varepsilon = 0$
Джерело: розроблено авторами

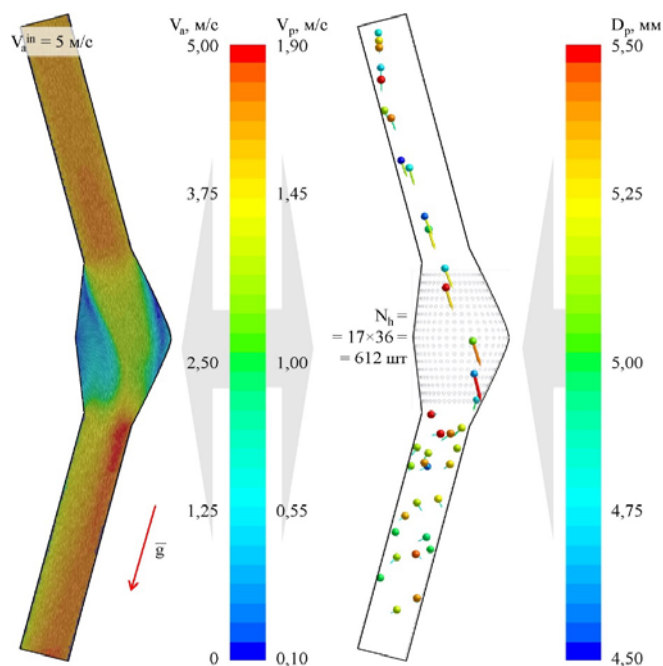


Рисунок 6 – Візуалізація процесу руху насіння у сповільнювачі при $V_a^{in} = 5$ м/с, $\varepsilon = 2,72$
Джерело: розроблено авторами

В результаті чисельного моделювання отримано гістограми динаміки кількості насіння на вході і виході сповільнювача насіння. Приклад такого розподілу приведено на рис. 7. Норма висіву на виході Q_{out} можна розрахувати з рис. 7 наступним чином:

$$Q_{out} = \frac{\sum N_{out}}{10}, \quad (3)$$

де N_{out} – кількість насіння, яке перетнуло площину виходу сповільнювача насіння за 10 с.

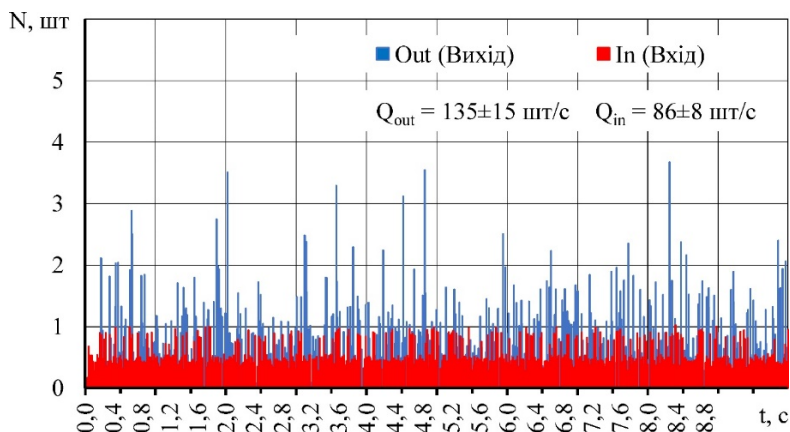


Рисунок 7 – Гістограми динаміки кількості насіння на вході і виході сповільнювача насіння
Джерело: розроблено авторами

За результатами чисельного моделювання і обробки отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Mathematica отримано рівняння регресії третього порядку $V_a^{out}(V_a^{in}, \varepsilon)$ в розкодованому вигляді без урахування значущих коефіцієнтів за t -критерієм Стьюдента:

$$V_a^{out} = 1,93387 + 0,884114 V - 6,66064 \varepsilon - 0,688551 V \varepsilon + 6,1066 \varepsilon^2 + 0,158812 V \varepsilon^2 - 1,46639 \varepsilon^3 \quad (4)$$

Побудувавши тривимірний графік рівняння (4) на рис. 8 видно, що із збільшенням швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} при фіксованих значеннях відношення площі випускних отворів до площі входу ε швидкість повітряного потоку на виході V_a^{out} сповільнювача насіння збільшується. Це спостереження є цілком логічним, так як потік повітря лише частково проходить крізь випускні отвори сповільнювача повітря і здійснює подальший рух в напрямку насіннепроводу. Збільшення відношення площі випускних отворів до площі входу ε при фіксованих значеннях швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} призводить до зменшення швидкості повітряного потоку на виході V_a^{out} . Однак дана залежність має не лінійний, а кубічний характер, що підтверджується рівнянням (4).

Перевірка отриманого рівняння за коефіцієнтом кореляції Пірсона $r = 0,996$ дає змогу стверджувати об адекватності рівняння (4) на досліджуваному діапазоні варіювання факторів.

За результатами чисельного моделювання і обробки отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Mathematica отримано рівняння регресії третього порядку $V_p^{out}(V_a^{in}, \varepsilon)$ в розкодованому вигляді без урахування значущих коефіцієнтів за t -критерієм Стьюдента:

$$V_p^{out} = -0,125199 + 0,0315502 V + 0,00285204 V^2 - 0,00007 V^3 - 0,0199292 \varepsilon - 0,00103046 V \varepsilon + 0,0899615 \varepsilon^2 - 0,0045114 V \varepsilon^2 - 0,0199169 \varepsilon^3. \quad (5)$$

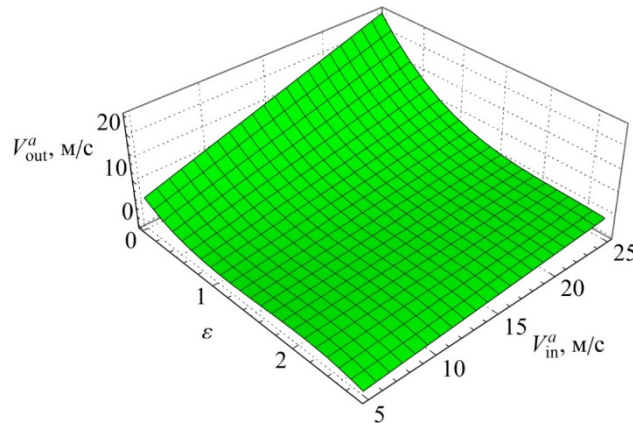


Рисунок 8 – Залежність швидкості повітряного потоку на виході V_a^{out} сповільнювача насіння від швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} і відношення площі випускних отворів до площі входу ε
Джерело: розроблено авторами

Побудувавши тривимірний графік рівняння (5) на рис. 9 видно, що зміна швидкості насіння на виході V_p^{out} сповільнювача насіння схожа із зміною швидкості повітряного потоку на виході V_a^{out} (рис. 8). Однак напрям гілок кубічних парабол $V_p^{out}(\varepsilon)$ і $V_a^{out}(\varepsilon)$ мають різний напрям. Це можна пояснити тим фактом, що насінини під дією повітряного потоку, який є нерівномірним у поперечному перерізі, здійснюють окрім поступального руху, ще й обертовий навколо власної осі симетрії, що зменшує лінійну швидкість насінини.

Перевірка отриманого рівняння за коефіцієнтом кореляції Пірсона $r = 0,998$ дає змогу стверджувати об адекватності рівняння (5) на досліджуваному діапазоні варіювання факторів.

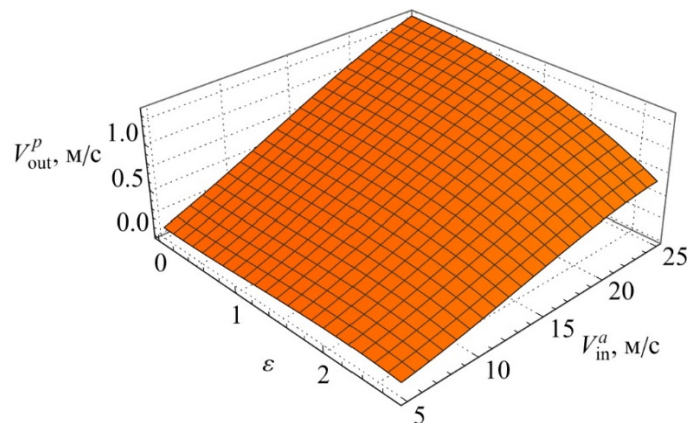


Рисунок 9 – Залежність швидкості насіння на виході V_p^{out} сповільнювача насіння від швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} і відношення площі випускних отворів до площі входу ε
Джерело: розроблено авторами

За результатами чисельного моделювання і обробки отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Mathematica отримано рівняння регресії третього порядку $\eta(V_a^{in}, \varepsilon)$ в розкодованому вигляді без урахування значущих коефіцієнтів за t -критерієм Стьюдента:

$$\eta = 1,1343 - 0,0211045 V + 0,000664446 V^2 + 0,321999 \varepsilon + 0,0456175 V \varepsilon - 0,183901 \varepsilon^2 - 0,0101584 V \varepsilon^2 + 0,0394935 \varepsilon^3. \quad (6)$$

Побудувавши тривимірний графік рівняння (6) на рис. 10 видно, що із збільшенням швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} при фіксованих значеннях відношення площі випускних отворів до площі входу ε коефіцієнт зміни норма висіву η збільшується. Збільшення відношення площі випускних отворів до площі входу ε при фіксованих значеннях швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} призводить до збільшення коефіцієнта зміни норма висіву η . Це відбувається через те, що швидкість насіння на виході зменшується (рис. 9) і відбувається утворення скопичення насіння на виході.

Перевірка отриманого рівняння за коефіцієнтом кореляції Пірсона $r = 0,997$ дає змогу стверджувати об адекватності рівняння (6) на досліджуваному діапазоні варіювання факторів.

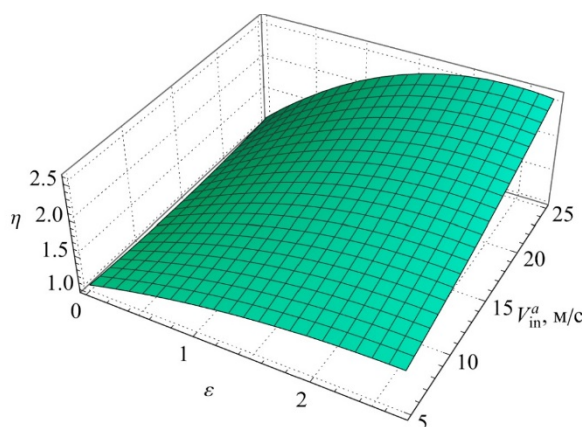


Рисунок 10 – Залежність коефіцієнт зміни норма висіву η від швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} і відношення площі випускних отворів до площі входу ε сповільнювача насіння
Джерело: розроблено авторами

В зв'язку з тим що для кожного критерію оцінки дослідів визначені оптимальні значення факторів, які не співпадають вирішимо компромісну задачу, яка має вигляд:

$$\begin{cases} V_p^{\text{out}}(V_a^{\text{in}}, \varepsilon) \rightarrow \min, \\ \eta(V_a^{\text{in}}, \varepsilon) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (7)$$

Задачу (6) будемо вирішувати методом скалярного ранжування шляхом мінімізації мультиплікативної функції із врахування коефіцієнта важливості приватного критерію:

$$\frac{V_p^{\text{out}}(V_a^{\text{in}}, \varepsilon) \eta(V_a^{\text{in}}, \varepsilon)}{\max(V_p^{\text{out}}) \max(\eta)} \rightarrow \min, \quad (8)$$

де $\max()$ – максимальне значення функції.

Вирішуючи в програмному пакеті Mathematica рівняння (8) спільно з (5)–(6) при фіксованих значеннях швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} в діапазоні від 5 м/с до 25 м/с отримує значення відношення площі випускних отворів до площі входу ε сповільнювача насіння, які приведені на рис. 11.

На рис. 11 показано залежність відношення площі випускних отворів до площі входу ε від швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} при забезпечені умови (8). При зазначеному діапазоні швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} необхідно корегувати норму висіву на коефіцієнта η , який знаходиться в межах від 1,47 до 2,56.

Висновки. В результаті чисельного моделювання сповільнювача насіння пневматичної сівалки John Deere в програмному пакеті Star CCM+ отримано візуалізацію процесу руху насіння і повітряного потоку в робочій області сповільнювача.

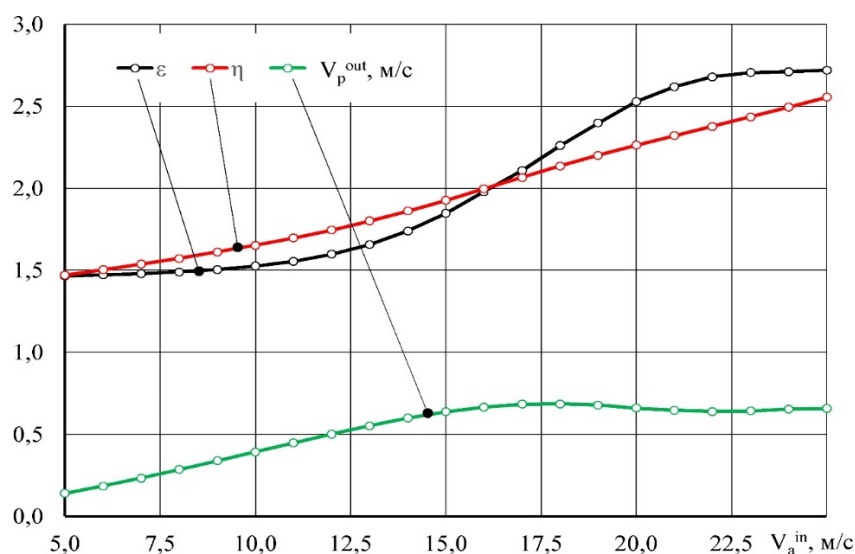


Рисунок 11 – Залежність відношення площі випускних отворів до площі входу ε , коефіцієнта зміни норма висіву η і швидкості насіння на виході V_p^{out} від швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in}

Джерело: розроблено авторами

За результатами чисельного моделювання і обробки отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Mathematica отримані рівняння регресії третього порядку в розкодованому вигляді без урахування значущих коефіцієнтів за t-критерієм Стьюдента залежностей швидкості повітряного потоку V_a^{out} , швидкості насіння V_p^{out} на виході сповільнювача насіння і коефіцієнта зміни норма висіву η від швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} і відношення площі випускних отворів до площі входу ε .

В результаті вирішення компромісної методом скалярного ранжування шляхом мінімізації мультиплікативної функції із врахування коефіцієнта важливості приватного критерію при фіксованих значеннях швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} в діапазоні від 5 м/с до 25 м/с отримує відповідну залежність відношення площі випускних отворів до площі входу ε сповільнювача насіння. Встановлено, що при зазначеному діапазоні швидкості повітряного потоку на вході V_a^{in} необхідно корегувати норму висіву на коефіцієнта η , який знаходиться в межах від 1,47 до 2,56.

Список літератури

1. Бойко А., Свирень Н., Сысолин П., Петренко Н. Проблемы совершенствования и тенденции развития посевной техники. *Техніка АПК*. 2000. № 11–12. С. 8–10.
2. Раднаев Д.Н. Условия применения показателей эффективности посевных агрегатов. *Вестник КрасГАУ*. 2011. № 3. С. 141–146.
3. Аулин В.В., Панков А.А. Технично-экономическое обоснование и анализ перспектив точного посева зерновых культур пневмоструйными аппаратами. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2015. Вип. 45, Ч. 2. С. 7–14.

4. Пастухов В.І., Крохмаль Д.В. Якісні показники роботи сівалки для сумісних посівів. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*: матеріали XI Міжн. наук.–практ. конф. Кропивницький. ЦНТУ, 2017. С. 209-210.
5. Needham Ag Technologies. (2021). Product Guide. Research Product Sales Customer Service. North Calhoun. 92 p. URL: http://www.needhamag.com/documents/Needham_Ag_2022_Product_Guide.pdf
6. Yang L., Yan B. X., Yu Y. M., He X. T., Liu Q. W., Liang Z. J., Yin X., Zhang D. Global overview of research progress and development of precision maize planters. *Int J Agric & Biol Eng.* 2016. 9(1). P. 9–26.
7. Boiko A., Popyk P., Gerasymchuk I., Bannyi O., Gerasymchuk N. Application of the new structural solutions in the seeders for precision sowing as a resource saving direction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2018. 5(1 (95)). P. 46–53. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142023>
8. Koller A.A. Design, performance prediction and validation of a seed orienting corn planter. *Master of Science in Aerospace Engineering. Georgia Institute of Technology. Atlanta, GA, 2005.* 111 p.
9. Turan, J., Višacki, V., Sedlar, A., Pantelić, S., Findura, P., Máchal, P., Mareček, J. Seeder with Different Seeding Apparatus in Maize Sowing. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2015. 63(1). P. 137–141.
10. Панков А.О. Наукові основи підвищення ефективності роботи зернових сівалок застосуванням пневматичних висівних пристроїв дискретної дії: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Кропивницький. ЦНТУ, 2018. 456 с.
11. Belodedov V., Nosko P., Boyko G., Fil P., Mazneva M. Parameter optimization of dosator for technique cultures on the quantity intervals, close by to calculation. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture.* 2013. Vol. 13., № 4. Lublin. P. 18–24.
12. Belodedov V., Nosko P., Fil P., Stavitskiy V. Parameter optimization using coefficient of variation of intervals for one–seed sowing apparatus with horizontal disk during maize seeding. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture.* 2007. V. VII. P. 31–37.
13. Алієв Е.Б. Фізико-математичні моделі процесів прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшнику: монографія. Запоріжжя: СТАТУС. 2019. 196 с.
14. Aliev E.B., Bandura V.M., Pryshliak V.M., Yaropud V.M., Trukhanska O.O. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. *INMATEH – Agricultural Engineering.* 2018. Vol. 54, Nr. 1. P. 95-104.
15. 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.
16. Shevchenko I., Aliiev E., Viselga G., Kaminski J. R. Modeling Separation Process for Sunflower Seed Mixture on Vibro-Pneumatic Separators. *Mechanika.* 2021. Vol. 27(4). P. 311–320. <https://doi.org/10.5755/j02.mech.27647>
17. Алієв Е.Б., Лупко К.О. Морфологічні ознаки і фізико-механічні властивості насіння дрібнонасінних культур. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2020. Вип. 50. С. 27-35. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.27-35>.
18. Поляков А.И., Бойко К.Я., Никитенко О.В. Формирование продуктивности подсолнечника и сои под влиянием действия комплексных удобрений. *Научно-технический бюллетень Института олійних культур НААН.* 2010. № 15. С. 112-118.

Referencis

1. Boyko, A., Sviren, N., Sysolin, P., Petrenko, N. (2000). Problemy sovershenstvovaniya i tendentsii razvitiya posevnoy tekhniki [Problems of improvement and trends in the development of sowing equipment]. *Tekhnika APK – Equipment of the AIC, 11–12*, 8–10 [in Russian].
2. Radnaev, D.N. (2011). Usloviya primeneniya pokazateley effektivnosti posevnykh agregatov [Conditions for the use of indicators of the efficiency of seeding units]. *Vestnik KrasGAU – Bulletin of KrasGAU*, 3, 141–146 [in Russian].
3. Aulin, V.V., Pankov, A.A. (2015). Tekhnyko–ekonomycheskoe obosnovanye y analizy perspektiv tochnoho poseva zernovykh kul'tur pnevmostruynymu apparatamy [Feasibility study and analysis of prospects for accurate sowing of grain crops by pneumatic jets]. *Konstruiuvannya, vyrobnyctvo ta ekspluatatsiya sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 45, Part 2*, 7–14 [in Ukrainian].

4. Pastukhov, V.I., Starch, D.V. (2017). Yakisni pokaznyky roboty sivalky dlya sumisnykh posiviv. [Qualitative indicators of seeder operation for compatible crops]. *Problems of design, production and operation of agricultural machinery* : XI Mizhn. nauk.–prakt. konf (m. Kropyvnytskyi) – XI International Scientific and Practical Conference (pp. 209-210). Kropyvnytskyi. CNTU [in Ukrainian].
5. Needham Ag Technologies. (2021). *Product Guide. Research Product Sales Customer Service*. North Calhoun. 92 p. Retrieved from http://www.needhamag.com/documents/Needham_Ag_2022_Product_Guide.pdf
6. Yang, L., Yan, B. X., Yu, Y. M., He, X. T., Liu, Q. W., Liang, Z. J., Yin, X., Zhang, D. (2016). Global overview of research progress and development of precision maize planters. *Int J Agric & Biol Eng.* 9(1). P. 9–26.
7. Boiko, A., Popyk, P., Gerasymchuk, I., Bannyi, O., Gerasymchuk, N. (2018). *Application of the new structural solutions in the seeders for precision sowing as a resource saving direction*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 5(1 (95)). P. 46–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142023>
8. Koller, A.A. (2005). *Design, performance prediction and validation of a seed orienting corn planter*. Master of Science in Aerospace Engineering. Georgia Institute of Technology. Atlanta, GA. 111 p.
9. Turan, J., Višacki, V., Sedlar, A., Pantelić, S., Findura, P., Máchal, P., Mareček, J. (2015). Seeder with Different Seeding Apparatus in Maize Sowing. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 63(1), P. 137–141 [in Latin].
10. Pankov, A.O. (2018). *Naukovi osnovy pidvyshchennya efektyvnosti roboty zernovykh sivalok zastosovanniam pnevmatychnykh vysivnykh prystroyiv dyskretnoyi diyi. [Scientific bases of increase of efficiency of work of grain seeders by application of pneumatic sowing devices of discrete action]*. The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences on a specialty 05.05.11 - Machines and means of mechanization of agricultural production. Kropyvnytskyi. CNTU. 456 c. [in Ukrainian].
11. Belodedov, V., Nosko, P., Boyko, G., Fil, P., Mazneva, M. (2013). Parameter optimization of dosator for technique cultures on the quantity intervals, close by to calculation. TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. Vol. 13., № 4. Lublin. P. 18–24.
12. Belodedov, V., Nosko, P., Fil, P., Stavitskiy, V. (2007). Parameter optimization using coefficient of variation of intervals for one-seed sowing apparatus with horizontal disk during maize seeding. TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. V. VII. P. 31–37.
13. Aliiev, E.B. (2019). *Fizyko-matematychni modeli protsesiv presyziynoyi separatsiyi nasinnyevoho materialu sonyashnyku: monohrafiy. [Physical and mathematical models of processes of precision separation of sunflower seed material: monograph]*. Zaporozhye: STATUS. 196 p.
14. Aliev, E.B., Bandura, V.M., Pryshliak, V.M., Yaropud, V.M., Trukhanska, O.O. (2018). *Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry*. INMATEH – Agricultural Engineering. Vol. 54, Nr. 1. P. 95-104.
15. Shevchenko, I., Aliiev, E. (2018). *Study of the process of calibration of confectionery sunflower seeds*. Food Science and Technology. Volume 12, Issue 4. P. 135-142.
16. Shevchenko, I., Aliiev, E., Viselga, G., Kaminski, J. R. (2021). *Modeling Separation Process for Sunflower Seed Mixture on Vibro-Pneumatic Separators*. Vol. 27(4). P. 311–320. <https://doi.org/10.5755/j02.mech.27647>
17. Aliiev, E.B., Lupko, K.O. (2020). *Morfologichni oznaky i fizyko-mekhanichni vlastyvoli nasynnya dribnonasynnykh kul'tur [Morphological features and physical and mechanical properties of seeds of small-seeded crops]*. Design, manufacture and operation of agricultural machinery. Vol. 50. P. 27-35. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.27-35>. [in Ukrainian].
18. Polyakov, A.I., Boyko, K.Ya., Nikitenko, O.V. (2010). *Formyrovanye produktyvnosti podsolnechnyky y soy pod vlyanyem deystviya kompleksnykh udobrennyy. [Formation of productivity of sunflower and soy under the influence of action of complex fertilizers]*. Scientific and technical bulletin of the Institute of Oilseeds of NAAS. № 15. P. 112-118. [in Ukrainian].

Elchyn Aliiev, Senior Researcher, DSc., Director

Institute of Oilseeds of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Zaporizhia, Ukraine

Petro Bezverkhniy, post-graduate

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Numerical Simulation of a Pneumatic Precision Seed Drill

As a result of numerical simulation of the seed retarder of the John Deere pneumatic seed drill in the software package Star CCM + visualization of the process of seed movement and air flow in the working area of the retarder was obtained.

According to the results of numerical modeling and processing of data obtained in the software package Wolfram Mathematica obtained third-order regression equations in decoded form without significant coefficients according to Student's t-test dependences of air flow rate V_a^{out} , seed speed V_p^{out} the velocity of the air flow at the inlet V_a^{in} and the ratio of the area of the outlets to the area of the inlet ε .

As a result of solving the compromise method of scalar ranking by minimizing the multiplicative function taking into account the coefficient of importance of the private criterion at fixed values of air flow velocity at the inlet V_{ain} in the range from 5 m/s to 25 m/s seed. It is established that at the specified range of air flow rate at the inlet V_{ain} it is necessary to adjust the seeding rate by the coefficient η , which is in honey from 1.47 to 2.56.

seeds, seeder, precision sowing, moderator, simulation, simulation, speed

Одержано (Received) 24.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 02.12.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 631.3.072

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.98-107>

В.В. Амосов, доц., канд. техн. наук, **М.О. Свірень**, проф., д-р техн. наук,

О.М. Васильковський, проф., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: v_vas_a@ukr.net, e-mail: kaf_sgm_kntu@ukr.net, e-mail: olexa74@ukr.net

Підвищення надійності причіпного пристрою бункера-накопичувача п еревантажувального

Пропонується аналіз особливостей конструкцій причіпних пристроїв. Визначено оптимальну конструкцію причіпного пристрою бункера-накопичувача перевантажувального БНП-30ПП. Розроблено креслення удосконаленого причіпного пристрою бункера-накопичувача перевантажувального БНП-30ПП. Впровадження розробки сприяє підвищенню ефективності використання збирально-транспортних комплексів при вирощуванні сільськогосподарських культур.

збирально-транспортний комплекс, бункер-накопичувач перевантажувальний, причіпний пристрій

Постановка проблеми. Сучасна триланкова технологія збирання зернових культур передбачає використання бункерів-накопичувачів перевантажувальних (бункерів-перевантажувачів, причепів перевантажувачів), що дає змогу підвищити продуктивність збирально-транспортного комплексу приблизно на 20–50 % [4]. Бункер для накопичення та перевантажування зерна агрегується з трактором і їде за комбайном, щоб відразу збирати урожай. У міру наповнення бункера, буквально за лічені хвилини (завдяки високій продуктивності вивантажувального шнека) він здійснює на краю поля перевантаження зерна в автомашину або ж відвозить до місця

© В.В. Амосов, М.О. Свірень, О.М. Васильковський, 2022