

УДК 631.333

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАПРЯМУ ВІТРУ НА РОЗСІВАННЯ ТВЕРДИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

В.В. Адамчук, академік НААН,  
П.О. Косик, ст. наук. співр.  
ННЦ "ІМЕСГ"

---

*Розроблено математичну модель дальності розсівання твердих мінеральних добрив в умовах вітру. Досліджено основні закономірності протікання процесу з врахуванням напрямку та швидкості вітру, параметрів розсівальних органів та фізико-механічних властивостей мінеральних добрив.*

*Ключові слова: тверді мінеральні добрива, кут, вплив вітру, розсівальний орган.*

---

**Проблема.** Загальновідомо, що вітер суттєво впливає на дальність розсівання твердих мінеральних добрив, а відповідно і на рівномірність їх розподілу на поверхні поля. В зв'язку з цим в умовах агропромислового виробництва рекомендується проводити операцію внесення добрив в умовах, коли швидкість вітру не перевищує 3 м/с. Такий підхід часто призводить до розтягування строків виконання польових робіт, що суттєво знижує ефективність їх проведення. Для розроблення науково обґрунтованих рекомендацій з внесення мінеральних добрив в умовах вітру необхідно вивчити закономірності протікання процесу розсівання добрив з врахуванням напрямку та швидкості вітру, параметрів розсівальних органів та фізико-механічних властивостей мінеральних добрив.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний вклад у вивчення впливу руху повітряного середовища (вітру) на траєкторію частинок технологічних матеріалів внесли зарубіжні і вітчизняні вчені, зокрема, автори наукових праць [1, 3]. У своїх дослідженнях вони розглядали загальний випадок руху частинок технологічного матеріалу, коли вітер мав довільний напрямок, а показник степеня відносної швидкості частини матеріалу при визначенні сили аеродинамічного опору мав довільне значення. Однак, як правило, при внесенні добрив

---

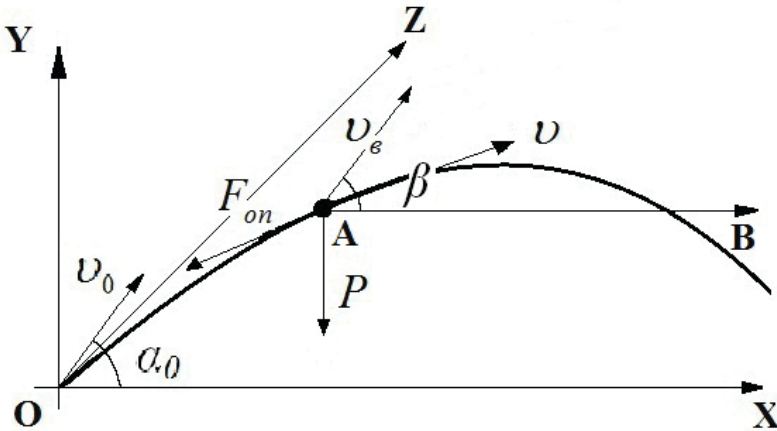
© В.В. Адамчук, П.О. Косик.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.

кидальним способом повітряне середовище рухається паралельно до поверхні поля, а зазначений показник степеня дорівнює 2.

**Мета досліджень.** Теоретичним шляхом дослідити вплив вітру на дальність розсівання твердих мінеральних добрив для випадку, коли повітряне середовище рухається паралельно до поверхні поля, а показник степеня відносної швидкості частини матеріалу при визначенні сили аеродинамічного опору дорівнює 2.

**Результати досліджень.** Розглянемо рух частинки добрив, яка сходить з розсівального органу і рухається до поверхні ґрунту в умовах вітру, вектор швидкості якого  $\vec{v}_e$  (рис. 1) паралельний поверхні поля (тобто XOZ). Зазначений вектор напрямлений під кутом  $\beta$  до площини XOY і відрізка АВ, який паралельний зазначеній площині.



**Рис. 1.** Схема для дослідження руху частинки мінеральних добрив в умовах вітру

Аналізуючи сили, що діють на частинку добрив, запишемо значення результуючої сили у векторній формі, під дією якої вона рухається від розсівального органу до поверхні поля:

$$m\vec{a} = \vec{F}_{on} + \vec{P}, \quad (1)$$

де  $m$  – маса частинки, кг;  $\vec{P}$  – вектор сили ваги частинки добрив, Н;  $\vec{a}$  – вектор прискорення руху частинки, м/с<sup>2</sup>;  $\vec{F}_{on}$  – вектор сили аеродинамічного опору, Н.

Прийнявши, що сила аеродинамічного опору, яка діє на частинку,

пропорційна квадрату швидкості руху частинки відносно повітряного середовища, причому при складанні векторів (+) швидкостей, рух частинок проти напрямку вітру, а при різниці (-), за напрямком руху, запишемо :

$$F_{on} = -K(\bar{v} \pm \bar{v}_g)^2, \quad (2)$$

де  $K$  – коефіцієнт опору, кг/м;  $\bar{v}$  – вектор абсолютної швидкості руху частинки добрив, м/с;  $\bar{v}_g$  – вектор швидкості вітру, м/с;

Значення коефіцієнта опору можна записати:

$$K = m \frac{g}{v_a^2}, \quad (3)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>,  $v_a$  – швидкість витання частинки добрив, м/с.

Запишемо рівняння (1) у проекціях на осі декартової системи координат :

$$\left. \begin{aligned} ma_x &= F_{onx}, \\ ma_y &= F_{ony} - mg, \\ ma_z &= F_{onz}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де  $a_x, a_y, a_z$  - проекції прискорень  $a$  на осі координат OX, OY, OZ, м/с<sup>2</sup>,  $F_{onx}, F_{ony}, F_{onz}$  - проекції сил опору  $F_{on}$  на осі координат OX, OY, OZ, Н.

Визначимо, наведені у правій частині системи рівнянь (5), проекції сил на вісь OX відповідно:

$$F_{onx} = F_{on} \cos(F_{on}, \wedge OX). \quad (5)$$

Як відомо:

$$\cos(\bar{v} \pm \bar{v}_g, \wedge OX) = \frac{|\bar{v} \pm \bar{v}_g|_x}{|\bar{v} \pm \bar{v}_g|}, \quad (6)$$

то з врахуванням складових наведеного рівняння можна записати:

$$F_{onx} = F_{on} \frac{|\bar{v} \pm \bar{v}_g|_x}{|\bar{v} \pm \bar{v}_g|}, \quad (7)$$

де  $|\bar{v} \pm \bar{v}_g|_x$  – модуль проекції суми векторів  $\bar{v}$  і  $\bar{v}_g$  на вісь OX.

З врахуванням рівняння (7) залежність (2) буде мати вигляд:

$$F_{on} = -K |\bar{v} \pm \bar{v}_e| |\bar{v} \pm \bar{v}_e|_x. \quad (8)$$

Значення модуля відносної швидкості частинки запишемо так:

$$|\bar{v} \pm \bar{v}_e| = \sqrt{(|\bar{v} \pm \bar{v}_e|_x)^2 + (|\bar{v} \pm \bar{v}_e|_y)^2 + (|\bar{v} \pm \bar{v}_e|_z)^2}. \quad (9)$$

Маючи на увазі, що  $|\bar{v} \pm \bar{v}_e|_x = |v \pm v_{ex}|$ ,  $|\bar{v} \pm \bar{v}_e|_y = |v_y|$ ,  $|\bar{v} \pm \bar{v}_e|_z = |v \pm v_{ez}|$ , рівняння (9) запишемо наступним чином:

$$|\bar{v} \pm \bar{v}_e| = \sqrt{(v_x \pm v_{ex})^2 + v_y^2 + (v_z \pm v_{ez})^2}. \quad (10)$$

З метою врахування напрямку сили аеродинамічного опору  $F_{on}$  за різних напрямків вітру, рівняння (7) можна записати:

$$F_{on} = -K(v_x \pm v_e \cos \beta) \sqrt{(v_x \pm v_{ex})^2 + v_y^2 + (v_z \pm v_{ez})^2}. \quad (11)$$

Аналогічно знаходимо проекції сили  $\bar{F}_{on}$  на вісь ОУ і ОZ:

$$F_{ony} = F_{on} \cos(\bar{F}_{on}, \wedge OY), \quad (12)$$

$$F_{onz} = F_{on} \cos(\bar{F}_{on}, \wedge OZ), \quad (13)$$

причому

$$\cos(\bar{F}_{on}, \wedge OY) = \cos(\bar{v} \pm \bar{v}_e, \wedge OY), \quad (14)$$

$$\cos(\bar{F}_{on}, \wedge OZ) = \cos(\bar{v} \pm \bar{v}_e, \wedge OZ). \quad (15)$$

З врахуванням складових рівняння (12) і (13) запишемо так:

$$F_{ony} = F_{on} \frac{\bar{v}_y}{|\bar{v} \pm \bar{v}_e|}, \quad (16)$$

$$F_{onz} = F_{on} \frac{|\bar{v} \pm \bar{v}_e|_z}{|\bar{v} \pm \bar{v}_e|}. \quad (17)$$

З метою врахування напрямку сили аеродинамічного опору  $F_{on}$  за різних напрямків вітру, рівняння (16) і (17) можна записати:

$$F_{ony} = -K v_y \sqrt{(v_x \pm v_{ex})^2 + v_y^2 + (v_z \pm v_{ez})^2} - mg, \quad (18)$$

$$F_{onz} = -K(v_z \pm v_e \sin \beta) \sqrt{(v_x \pm v_{ex})^2 + v_y^2 + (v_z \pm v_{ez})^2}. \quad (19)$$

Таким чином, з врахуванням залежностей (11), (18) і (19), система рівнянь (4) набуде наступного вигляду:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{dv_x}{dt} &= -K(v_x \pm v_e \cos \beta) \sqrt{(v_x \pm v_{ex})^2 + v_y^2 + (v_z \pm v_{ez})^2}, \\ m \frac{dv_y}{dt} &= -Kv_y \sqrt{(v_x \pm v_{ex})^2 + v_y^2 + (v_z \pm v_{ez})^2} - mg, \\ m \frac{dv_z}{dt} &= -K(v_z \pm v_e \sin \beta) \sqrt{(v_x \pm v_{ex})^2 + v_y^2 + (v_z \pm v_{ez})^2}. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

За допомогою отриманої системи диференціальних рівнянь (20) дослідимо вплив вітру на дальність розсівання частинок твердих мінеральних добрив L і їх бокове знесення Lc.

Отримані результати у вигляді графічних залежностей, розроблені у математичному пакеті MathCad 15, наведені на рис. 1, 2, 3.

При розсіванні частинок калійної солі діаметром  $d=1$ мм при швидкості вітру 3 м/с (рис. 1, а), коли вектори швидкостей частинок добрив, які сходять з росівального органу і вітру спрямовані в протилежні сторони, тобто добрива розсіваються проти вітру, дальність розсівання добрив становить 14 м, при цьому їх бокове зміщення відсутнє. Якщо поступово збільшувати кут між цими векторами від нуля до  $90^\circ$ , то дальність розсівання частинок також поступово зростає. Одночасно з цим поступово зростає і бокове зміщення частинок відносно початкового вектора швидкості частинок. При  $\beta = 90^\circ$  дальність розсівання частинок збільшується до 17,5 м, тобто зростає на 3,5 м, а їх бокове зміщення - 3м.

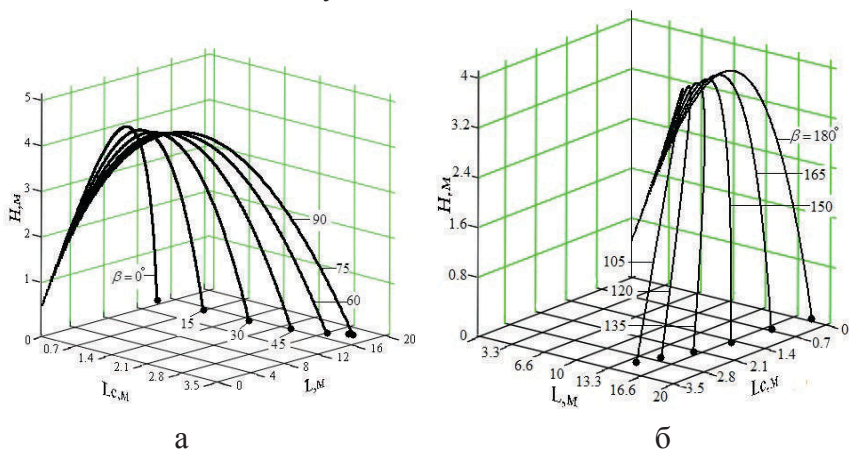
Для випадку, коли вектори швидкостей частинок і вітру спрямовані в одному напрямі, результати досліджень представлені на рис. 1,б. Дальність розсівання частинок становить 18 м, а бокове їх зміщення відсутнє. При збільшенні кута між цими векторами від  $90^\circ$  до  $180^\circ$  дальність розсівання частинок також збільшується. Наприклад, при куті  $105^\circ$  дальність розсівання частинок становить 14,5 м, а бокове їх зміщення – 3 м.

Порівняння графіків, наведених на рис. 1,а і рис.1,б, дає змогу зробити висновок, що дальність розсівання добрив проти вітру 14 м, а за вітром - 18 м. Тобто при швидкості вітру 3 м/с дальність розсівання добрив проти вітру на 28,6 % менша, ніж за вітром. Це обумовлює суттєве зниження рівномірності розсівання добрив в умовах вітру.

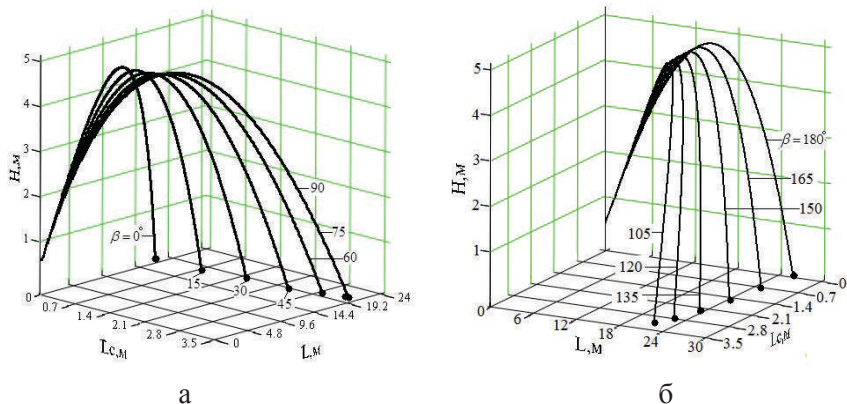
При розсіванні суперфосфату гранульованого діаметром гранул  $d=1,5$  мм (рис. 2, а) дальність розсівання гранул проти вітру стано-

виль 17 м. Якщо поступово збільшувати кут  $\beta$  від нуля до  $90^\circ$ , то дальність розсівання частинок також зростає, як і у випадку з калійною сіллю. Збільшення кута  $\beta$  від  $90^\circ$  до  $180^\circ$ , за умови, що напрям вітру співпадає з напрямком руху частинок, призводить до зростання дальності їх розсівання до 26 м. Бокове зміщення частинок при кутах  $\beta = 0$  і  $\beta = 180^\circ$  відсутнє. При куті  $90^\circ$  дальність розсівання частинок становить 20 м, а бокове їх зміщення 3,3 м, при куті  $105^\circ$  дальність розсівання частинок становить 23 м, бокове зміщення - 3,1 м, тобто дальність розсівання добрив і дальність зміщення пропорційно зростають.

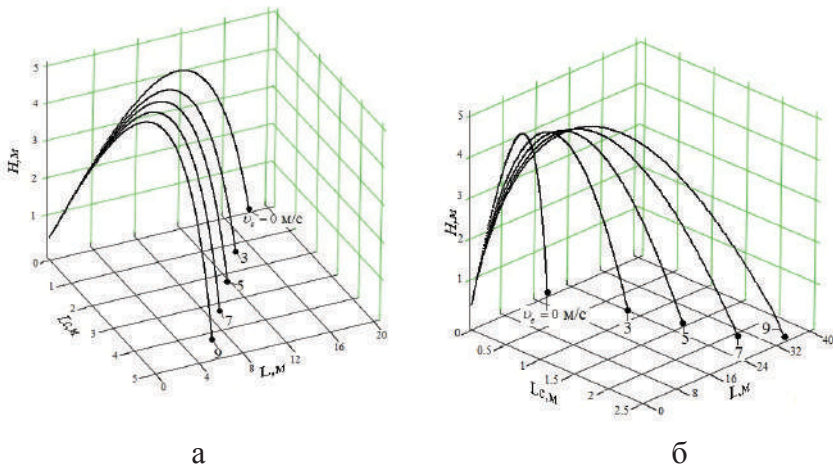
Графічні залежності дальності розсівання частинок добрив від швидкості вітру, розглянуті на прикладі калійної солі, при різних  $v_g$  і  $d = 1$  мм, зображені на рис.3. Збільшення швидкості вітру проти напрямку розсівання (рис. 3, а) зумовлює зменшення дальності розсівання, яка при  $v_g = 9$  м/с становить 7 м. Необхідно відзначити, що при  $v_g = 3$  м/с дальність розсівання становить 15 м. Тобто швидкість вітру досить суттєво впливає на дальність розсівання частинок. У випадку, коли вітер спрямований за напрямком розсівання добрив, зростання швидкості призводить до збільшення дальності розсівання, наприклад, при  $v_g = 9$  м/с дальність розсівання становить 35 м, а дальність зміщення зменшується до 2,4 м



**Рис.1.** Залежність дальності розсівання частинок калійної солі діаметром  $d = 1$  мм і їх бокового зміщення від кута  $\beta$  при  $v_g = 3$  м/с: а, б – відповідно частинки розсіваються проти напрямку вітру і за напрямком вітру



**Рис. 2.** Залежність дальності розсвівання частинок суперфосфату гранульованого діаметром  $d = 1,5 \text{ мм}$  і їх бокового зміщення від кута  $\beta$  при  $v_g = 3 \text{ м/с}$ : а, б – відповідно частинки розсвіваються проти напрямку вітру і за напрямком вітру



**Рис.3.** Залежність дальності розсвівання частинок калійної солі діаметром  $d = 1 \text{ мм}$  і їх бокового зміщення від швидкості вітру  $v_g$ : а, б – відповідно частинки розсвіваються проти напрямку вітру при  $\beta = 25^\circ$  і за напрямком вітру при  $\beta = 165^\circ$

Базуючись на наведених результатах досліджень, можна зробити висновок, що швидкість вітру і його напрямок суттєво впливають на

траєкторію частинок добрив у процесі їх розсівання. Отриману систему рівнянь (20) можна використовувати в процесі досліджень щодо розсівання твердих мінеральних добрив машинами, обладнаними робочими органами кидального типу, як стосовно робочої ширини їх захвату, так і визначення нерівномірності розподілу добрив на поверхні ґрунту.

**Висновки.** Результати теоретичних досліджень підтверджують, що напрям і швидкість вітру суттєво впливають на дальність розсівання твердих мінеральних добрив, змінюючи при цьому робочу ширину захвату машин.

Отримані залежності є передумовою для проведення досліджень щодо визначення робочої ширини захвату машин і нерівномірності внесення добрив в умовах вітру.

### БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Адамчук В.В.* Дослідження руху частинки технологічного матеріалу в повітряному середовищі в умовах вітру і супроводжуючого повітряного струменя // Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвід. темат. наук. зб. – Глеваха: ННЦ “ІМЕСГ”, 2005. – Вип. 89. – С. 27 – 49.
2. *Адамчук В.В.* Теоретичне дослідження руху частинки технологічного матеріалу в повітряному середовищі в умовах вітру і супроводжуючого повітряного струменя // Промислова гідравліка і пневматика. – 2005. – №1(7). – С.47 – 52.
3. *Адамчук В.В.* Обґрунтування моделі внесення мінеральних добрив // Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвід. темат. наук. зб. – Глеваха: ННЦ “ІМЕСГ”. – 2002. – Вип.86. – С.90 – 99.
4. *Василенко П.М.* Об уравнениях транспортировки частиц в сопротивляющихся средах // Докл. ВАСХНИЛ. – 1970. – №4. – С.44 – 46.
5. *Вожик Ю.Г.* Об определении некоторых физико-механических свойств сыпучих минеральных удобрений // Химия в сельском хозяйстве. – 1968. – № 9. – С.17-20.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА НА РАССЕИВАНИЕ ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

*Разработана математическая модель дальности рассева твердых минеральных удобрений в условиях ветра. Исследованы основные закономерности протекания процесса с учетом направления и скорости ветра, параметров*



*рассеивающих органов и физико-механических свойств минеральных удобрений.*

*Ключевые слова: твердые минеральные удобрения, угол, влияние ветра, рассеивающий орган.*

### **THEORETICAL INVESTIGATIONS OF INFLUENCE OF WIND DIRECTION ON SOLID MINERAL FERTILIZER SCATTERING**

*A mathematical model of the range of solid mineral fertilizer scattering under wind conditions was developed. Investigated is the behavior of the process in view of direction and velocity of wind, parameters of scattering elements, and physical-mechanical properties of mineral fertilizers.*

*Key words: solid mineral fertilizers, angle, influence of wind, scattering element.*

УДК 631. 333

### **ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗГОНУ ДОБРІВ ДИСКОВИМ ВІДЦЕНТРОВИМ РОЗСІВАЛЬНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ З ПОХИЛОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ ТА РАДІАЛЬНО УСТАНОВЛЕНИМИ ЛОПАТКАМИ**

**О.В. Адамчук**, ст.наук.співр., завідувач лабораторії  
ННЦ “ІМЕСГ”

---

*Теоретичним шляхом одержано залежності для визначення абсолютної швидкості добрив у момент їх сходження з поверхні дискового відцентрового розсівального робочого органу, вісь обертання якого розміщена похило до горизонтальної площини, а лопатки установлені радіально на його робочій поверхні.*

*Ключові слова: дисковий відцентровий розсівальний робочий орган, похила вісь обертання, радіальна лопатка, мінеральні добрива, гранула добрив, абсолютна швидкість.*

---

**Проблема.** Ефективність роботи машин для поверхневого розсівання твердих мінеральних добрив, за умови дотримання агрономічних вимог до якості розподілу добрив по поверхні ґрунту, в значній мірі залежить від їх змінної продуктивності.

---

© О.В. Адамчук.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.