

ОЧИЩЕННЯ НАСІННЯ ЦУКРОВОГО БУРЯКА У ПОХИЛОМУ ПОВІТРЯНОМУ ПОТОЦІ З ПОЧАТКОВОЮ ШВИДКІСТЮ КОМПОНЕНТІВ

Головченко Галина Степанівна

старший викладач

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-3662-6163

Golovchenko.galina@snau.edu.ua

Калнагуз Олексій Миколайович

старший викладач

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-1710-8416

fakyltet-mex@ukr.net

Очищення посівного насіння сільськогосподарських культур є необхідною складовою для отримання кінцевого продукту найкращої якості. Тому для якісного виробництва цукрових буряків необхідно використовувати якісне посівне насіння. Насіння для висіву повинно мати високу якість, а саме фізичну чистоту, що в свою чергу потім дасть отримати нам високі врожаї. При очищенні насіння, або зерна, використовують їхні механіко-технологічні властивості, а саме: форма поверхні насіння; його так звані геометричні розміри (довжина, ширина та товщина); щільність та інші. Під час очищення суміші насіння цукрового буряка і дикої редьки за аеродинамічними властивостями науковцями доведено, що насіння останньої культури має найбільшу критичну швидкість – 7,5 м/с, проти 6 м/с для насіння цукрового буряка. Тому за таким способом поділ неможливо виконати. В статті описано один із способів очищення насіння цукрового похилому повітряному потоці. Даний потік подавав зернову суміш за принципом розсіювання траєкторії частинок у напрямку швидкості повітряного потоку. Показник винесення насіння цукрового буряка і дикої редьки визначався відношенням маси насіння, яке надійшло в верхній приймач, до маси насіння нижнього приймача. Принцип Д. Аламбера використовувався під час дослідження руху насіння цукрового буряка та дикої редьки у похилому повітряному потоці. Проведені розрахунки по визначенню критичної швидкості насіння цукрового буряка та насіння дикої редьки; сили опору повітряного потоку. Наведені залежності зміни парусності від обволікання зволоженою речовиною. В багатьох наукових статтях науковців як з України так і в світі наводяться способи та методи очищення насіння сільськогосподарських культур від домішок; наведено процес побілу насіннєвого матеріалу на решетах. Отримані математичні залежності показують нам що тільки зміна критичної швидкості компонентів суміші, дасть нам краще очистити насіння цукрового буряка, в похилому повітряному потоці, яке надходить з початковою швидкістю. Наведено залежності по визначенню відносної швидкості руху у вертикальному повітряному потоці компонентів насінної суміші: цукровий буряк – дика редька.

Ключові слова: суміш насіння, повітряний потік, парусність, критична швидкість, миделевий переріз, відносна швидкість руху.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.4>

Вступ. У сільськогосподарському виробництві післязбиральна обробка насіння займає важливе місце в одержанні високих врожаїв. Вона передбачає очищення, сортування та висушування. Видалення з насіння цукрового буряка домішків значно підвищує товарну цінність насіння, поліпшує їхні посівні якості і розподіл рослин у рядку, знижує засміченість полів. Питанням очищення та сортування насіння сільськогосподарських культур від домішок присвячено багато праць. В залежності від рівня агротехніки яка використовується при різних способах збирання залежить склад та кількість домішок в насінні сільськогосподарської культури. В роботі (Kharchenko, S. O., Kharchenko, F.M., Rankova, O.V., Vakum, M.V., & Kharchenko, D.O., 2022) описано процес поділу насіння за розмірами на віброрешетах, що залежить від форми, розмірів та питомої ваги часточок. Встановлено перелік властивостей насіннєвого матеріалу, які є значущими при обґрунтуванні параметрів процесу поділу частинок на різних зернових

сепараторах. Тому це питання не втратило своєї актуальності.

Машина для очищення каноли була розроблена на основі теорії механічної та аеродинамічної сепарації. Розроблена машина була випробувана при трьох рівнях кута нахилу циліндричного сита та трьох рівнях швидкості сита. Критерії оцінки включали продуктивність машини, ефективність очищення, відсоток втрат насіння, питому споживану енергію та відсоток схожості (Ghonimy, M. & Rostom, M. 2022).

Матеріали і методи досліджень. Діючим державним стандартом на насіння сільськогосподарських культур ДСТУ 2240-93, ДСТУ 6068-2008, ДСТУ 4811-2007 та цукрового буряка ДСТУ 8140-2015 (ДСТУ 4605-2006 – кормові буряки) встановлено, що дикої редьки в насінні цукрового буряка не повинно бути більше, ніж 0,1 % за масою, тобто в одному кілограмі цукрового буряка не повинно бути більше, ніж 50–55 шт. дикої редьки. Очищення насіння цукрового буряка від дикої редьки

можна забезпечити на електромагнітних насіннеочисних машинах. Вимогам державного стандарту на насіння цукрового буряка ДСТУ 8140-2015 по засміченню дикою редькою можуть задовольняти виходи (II + III) на деяких режимах роботи машини. Приведена технологічна схема роботи електромагнітної насіннеочисної машини, наведені результати дослідів по очищенню насіння цукрового буряка від дикої редьки в залежності: 1) від ступеню зволоження вихідного матеріалу із змішуванням з магнітним порошком вручну при подачі магнітного порошку 6%; 2) від подачі магнітного порошку, зволоженого на 2% вихідного матеріалу із змішуванням з магнітним порошком вручну (Holovchenko, 2020, с.34).

Фактично на насіннеочисні заводи в деяких випадках надходять партії насіння цукрового буряка з вмістом дикої редьки 250–350 шт. і більше в одному кілограмі. Критична швидкість насіння цукрового буряка складає 4,0–6,0 м/с, а насіння дикої редьки – 3,1–7,3 м/с. В зв'язку з цим поділу насіння цукрового буряка і дикої редьки за аеродинамічними властивостями досягти неможливо. Також неможливо досягти поділу насіння цукрового буряка і дикої редьки за розмірними показниками.

Вихідний матеріал після очищення від магнітного порошку характеризувався коефіцієнтом захоплення порошку, який уявляє собою відношення в відсотках маси порошку, що утримується поверхнею насіння, до маси досліджуваного зразка. Очищення насіння цукрового буряка від магнітного порошку відбувалось: 1) струшуванням їх вручну на решетах протягом трьох хвилин обережним коливанням в чотирикратній повторності; 2) на решітній частині машини при частоті обертання колінчастого вала решітного стану в межах 320...500 хв-1 в чотирикратній повторності; 3) в повітряному потоці при швидкості повітря 2,3...9,3 м/с в чотирикратній повторності. Показник винесення насіння цукрового буряка і дикої редьки визначався відношенням маси насіння, яке надійшло в верхній приймач, до маси насіння нижнього приймача (Holovchenko, 2018).

В роботі (Holovchenko, 2019) розглядаються питання, пов'язані з очищенням насіння цукрового буряка від дикої редьки в залежності від подачі магнітного порошку із змішуванням вихідного матеріалу з магнітним порошком в електромагнітній насіннеочисній машині. Приведена технологічна схема роботи електромагнітної насіннеочисної машини, наведені результати дослідів по обволіканню насіння цукрового буряка і дикої редьки магнітним порошком, наведено розподіл дикої редьки по виходах в залежності від подачі магнітного порошку та побудовані графічні залежності на вміст дикої редьки на деяких режимах електромагнітної насіннеочисної машини. Із збільшенням продуктивності машини спостерігається погіршення якості розподілу.

Однак, зменшення продуктивності машини не задовольняє існуючі технологічні лінії насіннеочисних заводів.

Пропонується спосіб очищення насіння цукрового буряка від дикої редьки, який полягає в наступному. Суміш насіння поділяють відомими способами: за роз-

мірами і парусністю на решітних, трієрних і повітряних машинах, по щільності – на пневмостолах. Після такого очищення в насінні цукрового буряка залишається насіння дикої редьки, яке має з ними однакові парусність і розміри і важко видалається.

Потім цю суміш обволікають зволоженою речовиною, яка є природним компонентом ґрунту, щільність якого є більшою за щільність насіння. Оскільки насіння цукрового буряка має більш шорстку поверхню, ніж насіння дикої редьки, то перші змінюють свою масу в більшій мірі, ніж другі. Внаслідок цього змінюється парусність насіння в різних пропорціях.

Пропускаючи таку суміш крізь повітряний потік, припускають, що насіння цукрового буряка можна очистити від насіння дикої редьки.

В роботі (Uhlarik et al., 2018) проведені дослідження по очищенню насіння при допомозі магнітного сепаратора. Дослідження науковців показали кількісний показник відходів після очищення даним методом.

У статті (Sardorbek, 2022) розглядаються можливості та рекомендації щодо вдосконалення техніки та технології очищення насіння, впровадження аеродинамічного сортування при сортуванні, наукові дослідження щодо забезпечення продуктивного та якісного виходу насіння, впровадження багато фракційного сортування на основі покращення очищення технології та, завдяки цьому, можливості повного очищення насіння від домішок, запобігання псуванню насіння та підвищення виходу волокна, придатного для прядіння в текстильній промисловості, та надано рекомендації.

Традиційні методи очищення зерна трудомісткі забирають багато часу і при цьому дуже неефективні. Використання доступних механічних очищувачів насіння широко обмежене, оскільки вони дорогі у володінні, експлуатації та обслуговуванні. Було розроблено очищувач насіння з педальним управлінням, і було оцінено його продуктивність. При розрахунку розмірів та конструкції машини використовувалися відповідні інженерні принципи та методики. Пилосос складається з велосипедної системи, бункера, відцентрового вентилятора та трьох очисних сит; комірки якого можна регулювати, щоб вони були більшими, ніж розмір нечистого насіння (Wilber et al., 2021).

Результати досліджень. Похилий повітряний потік поділяє зернову суміш за принципом розсіювання траєкторій окремих часточок у напрямку швидкості повітряного потоку. Розглянемо випадок, коли зернова суміш потрапляє в повітряний потік з деякою початковою швидкістю. Поведінка матеріального тіла, яке розміщено у похилому повітряному потоці залежить від багатьох факторів, які пов'язані із властивостями матеріального тіла та потоку (Tsarenko et al., 2003).

Для виявлення закономірності руху насіння у вертикальному повітряному потоці зробимо деякі припущення: 1) повітряний потік знаходиться в одній площині; 2) повітряний потік постійний за величиною та напрямком швидкості; 3) насіння цукрового буряка та дикої редьки переміщуються в потоці вільно, як матеріальні тіла, без зіткнення одне з одним.

Нехай маємо ламінарний потік, який характеризується швидкістю u_p . На насінину, яка потрапляє у потік, діють сили: сила тяжіння $G = mg$ (рис. 1), яка спрямована вертикально вниз, сила дії повітряного потоку R , яка визначається відносною швидкістю u_v , та відцентрова сила $m\omega^2 r$.

Під дією вказаних сил тіло буде рухатися в потоці по деякої траєкторії, тобто повний рух складається із переносного руху разом з потоком і відносного. Відносний рух можна уявити, якщо віднести тіло до системи координат, яка переміщується поступальним рухом разом з потоком.

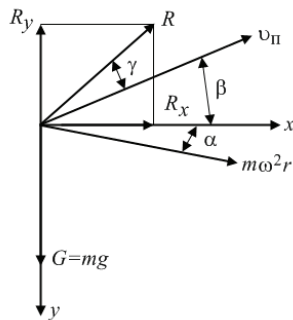


Рис. 1. Швидкості та сили, що діють на насінину у похилому повітряному потоці

Дослідження руху насінини в повітряному потоці може бути виконано із застосуванням принципу Д'Аламбера. В зв'язку з прийнятими припущеннями маємо на осі x та y наступні диференціальні рівняння:

$$-m \frac{dv_{ax}}{dt} + R_x + m\omega^2 r \cos \alpha = 0, \quad (1)$$

$$-m \frac{dv_{ay}}{dt} - R_y + mg + m\omega^2 r \sin \alpha = 0, \quad (2)$$

де $m \frac{dv_{ax}}{dt}$ та $m \frac{dv_{ay}}{dt}$ – проекції сил інерції від відносної швидкості відповідно на осі x та y ; R_x та R_y – проекції сили опору повітря на осі x та y ; mg – сила тяжіння насіння; m – маса насінини; v_{ax} , v_{ay} – відповідно швидкості насінини у відносному русі, прискорення, сила інерції від відносної швидкості, де ω – кутова швидкість живильного валика, рад./с; r – радіус живильного валика, м; α – кут нахилу відцентрової сили, град.;

Сила опору повітряного потоку визначається за формулою Ньютона

$$R = k\gamma_n F (v_n - v_e)^2, \quad (3)$$

де k – коефіцієнт опору повітря; γ_n – об'ємна маса повітря, кг/м³; F – міделевий переріз, тобто проекція насінини на площину, перпендикулярну до напрямку повітряного потоку, м²; v_n, v_e – швидкості відповідно повітряного потоку та насінини в відносному русі, м/с.

При відносній швидкості $v_e = 0$ за $R = G$ насінинна перебуватиме у завислому стані, що відповідає критичній швидкості повітряного потоку, тобто $v_n = v_{kp}$.

Через це

$$k\gamma_n F = \frac{G}{v_{kp}^2}, \quad (4)$$

і формула (4) набуває вигляду

$$R = \frac{G}{v_{kp}^2} (v_n - v_e)^2. \quad (5)$$

Виходячи із вищевказаного, формули (1) та (2) можна записати у вигляді

$$m \frac{dv_{ax}}{dt} = \frac{mg}{v_{kp}^2} (v_n - v_e)^2 \cos(\beta + \gamma) + m\omega^2 r \cos \alpha, \quad (6)$$

$$m \frac{dv_{ay}}{dt} = -\frac{mg}{v_{kp}^2} (v_n - v_e)^2 \sin(\beta + \gamma) + mg + m\omega^2 r \sin \alpha. \quad (7)$$

Тут β – кут нахилу повітряного потоку до горизонту, γ – кут відхилення сили опору повітря від напрямку вектора швидкості потоку, який визначається за теоремою синусів із швидкісного трикутника (рис. 2) за формулою:

$$\sin \gamma = \frac{\omega r}{v_e} \sin(\alpha + \beta), \quad (8)$$

$$\text{де } v_e = \sqrt{v_n^2 + (\omega r)^2 - 2v_n \omega r \cos(\alpha + \beta)}.$$

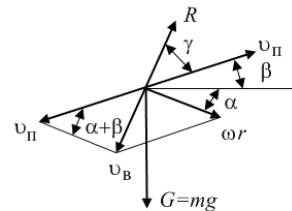


Рис. 2. Схема до визначення кута γ

Спочатку розв'яжемо рівняння (6). Виконавши елементарні перетворення, формулу (6) можна записати у вигляді:

$$m \frac{dv_{ax}}{dt} = \frac{mg}{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)} \left[(v_n \cos(\beta + \gamma) - v_{ax})^2 + \frac{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)}{mg} \omega^2 r \cos \alpha \right].$$

Після скорочення на m та відокремлюючи змінні, отримаємо рівняння

$$-\frac{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)}{g} \int \frac{d(v_n \cos(\beta + \gamma) - v_{ax})}{(v_n \cos(\beta + \gamma) - v_{ax})^2 + \frac{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)}{mg} \omega^2 r \cos \alpha} = dt,$$

інтегруючи яке, маємо:

$$-\frac{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}}{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}} \operatorname{arctg} \frac{(v_n \cos(\beta + \gamma) - v_{ax}) \sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha} \cos(\beta + \gamma)} = t + C_1. \quad (9)$$

Постійну інтегрування C_1 знайдемо при $t = 0$ та $v_{ax} = 0$:

$$C_1 = -\frac{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}}{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}} \operatorname{arctg} \frac{v_n \cos(\beta + \gamma) \sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha} \cos(\beta + \gamma)},$$

тоді рівняння (9) можна записати у вигляді:

$$-\frac{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}}{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}} \operatorname{arctg} \frac{(v_n \cos(\beta + \gamma) - v_{ax}) \sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha} \cos(\beta + \gamma)} = t - \frac{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}}{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}} \operatorname{arctg} \frac{v_n \cos(\beta + \gamma) \sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha} \cos(\beta + \gamma)}$$

$$\begin{aligned} & \text{або} \\ & \arctg \frac{(v_n \cos(\beta + \gamma) - v_{ax})\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} = -\frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t + \\ & + \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \rightarrow \\ & \rightarrow \frac{(v_n \cos(\beta + \gamma) - v_{ax})\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} = \operatorname{tg} \left(-\frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t + \right. \\ & \left. + \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \right), \end{aligned}$$

розв'язавши яке, знайдемо значення проекції відносної швидкості руху $V_{вк}$ на вісь x :

$$\begin{aligned} v_{ax} = v_n \cos(\beta + \gamma) + \frac{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}}{\sqrt{g}} \operatorname{tg} \left(\frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t - \right. \\ \left. - \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Оскільки $v_{ax} = \frac{dx}{dt}$, то, інтегруючи (10), знайдемо переміщення X :

$$\begin{aligned} X = v_n \cos(\beta + \gamma)t + \frac{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}}{\sqrt{g}} \int \operatorname{tg} \left(\frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t - \right. \\ \left. - \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \right) dt, \end{aligned}$$

звідси

$$\begin{aligned} X = v_n \cos(\beta + \gamma)t - \frac{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)}{g} \ln \cos \left| \frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t - \right. \\ \left. - \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \right| + C_2. \end{aligned}$$

Постійну інтегрування C_2 знайдемо при $t = 0$ та $X = 0$:

$$C_2 = \frac{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)}{g} \ln \cos \left| \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \right|.$$

Підставивши знайдене значення C_2 в загальний розв'язок, і, виконавши тотожні перетворення, отримаємо:

$$\begin{aligned} X = v_n \cos(\beta + \gamma)t - \frac{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)}{g} \ln \left| \frac{\cos \left(\frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t - \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \right)}{\cos \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}}} \right|. \end{aligned}$$

Звідси, використавши формулу $\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta$, маємо значення для X :

$$\begin{aligned} X = v_n \cos(\beta + \gamma)t - \\ - \frac{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)}{g} \ln \left| \cos \left(\frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t \right) + \right. \end{aligned}$$

$$\left. + \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \cdot \sin \left(\frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t \right) \right|. \quad (11)$$

Далі знайдемо $v_{ay} = v_e \sin^2$ – значення проекції вектора відносної швидкості на вісь y та координату Y – переміщення по осі y . Формулу (7) можна записати у вигляді:

$$m \frac{dv_{ay}}{dt} = -\frac{mg}{v_{kp}^2 \sin(\beta + \gamma)} (v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay})^2 + mg + m\omega^2 r \sin \alpha$$

або

$$\frac{dv_{ay}}{dt} = -\frac{g}{v_{kp}^2 \sin(\beta + \gamma)} \left[(v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay})^2 - v_{kp}^2 \sin(\beta + \gamma) \left(1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g} \right) \right].$$

Відокремлюючи змінні, отримаємо рівняння:

$$\frac{v_{kp}^2 \sin(\beta + \gamma)}{g} \int \frac{d(v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay})}{(v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay})^2 - v_{kp}^2 \sin(\beta + \gamma) \left(1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g} \right)} = dt.$$

Після інтегрування отримаємо загальний розв'язок рівняння (7):

$$\frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)}}{2g \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \ln \left| \frac{v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay} - v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}}{v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay} + v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \right| = t + C_3. \quad (12)$$

Постійну інтегрування C_3 знайдемо при $t = 0$ та $v_{ay} = 0$:

$$C_3 = \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)}}{2g \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \ln \left| \frac{v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}}{v_n \sin(\beta + \gamma) + v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \right|.$$

Підставивши знайдене значення C_3 в загальний розв'язок (12), отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)}}{2g \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \ln \left| \frac{v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay} - v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}}{v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay} + v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \right| \times \\ \times \frac{v_n \sin(\beta + \gamma) + v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}}{v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} = t. \end{aligned}$$

$$\text{Позначивши} \begin{cases} v_n \sin(\beta + \gamma) + v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}} = P, \\ v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}} = U, \\ \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}} = C, \end{cases} \quad (13)$$

будемо мати:

$$\ln \left| \frac{U - v_{ay}}{P - v_{ay}} \cdot \frac{P}{U} \right| = \frac{2gCt}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)}} \rightarrow \frac{U - v_{ay}}{P - v_{ay}} = \frac{U}{P} e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)}} t}.$$

Звідси знайдемо значення U_{By}

$$v_{ay} = \frac{UP \left(1 - e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)}} t} \right)}{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)}} t}}. \quad (14)$$

Оскільки $v_{ey} = \frac{dy}{dt}$, то інтегруючи (14), знайдемо переміщення У:

$$Y = \int \frac{UP \left(1 - e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} \right) dt}{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}}} = UP \left(\int \frac{dt}{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} - \int \frac{e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} dt}{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}}} \right) = UP(I_1 - I_2),$$

де

$$I_1 = \int \frac{dt}{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} = \frac{t}{P} - \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gCP} \ln \left| P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} \right| + C_4,$$

$$I_2 = \int \frac{e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} dt}{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}}} = -\frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gCU} \int \frac{d \left(P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} \right)}{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}}} = -\frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gCU} \ln \left| P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} \right| + C_5.$$

Таким чином, дістанемо

$$Y = UP \left(\frac{t}{P} - \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gCP} \ln \left| P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} \right| + \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gCU} \ln \left| P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} \right| \right) + C_6,$$

де $C_6 = C_4 + C_5$.

Виконавши перетворення, отримаємо загальний розв'язок рівняння $v_{ey} = \frac{dy}{dt}$

$$Y = Ut - \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gC} (U - P) \ln \left| P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} \right| + C_6. \quad (15)$$

Постійну інтегрування C_6 знайдемо при $t = 0$ та $Y = 0$:

$$C_6 = \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gC} (U - P) \ln |P - U|.$$

Підставивши знайдене значення C_6 в загальний розв'язок (15), отримаємо:

$$Y = Ut - \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gC} (U - P) \ln \left| \frac{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}}}{P - U} \right|.$$

Враховуючи позначення (13), отримаємо координату У – переміщення по осі у:

$$Y = \left(v_n \sin(\beta+\gamma) - v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}} \right) t + \frac{v_{kp}^2 \sin(\beta+\gamma)}{g} \ln \frac{1}{2} \left[1 + \frac{v_n \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{v_{kp} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} + \left(1 - \frac{v_n \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{v_{kp} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \right) e^{\frac{2g \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}} t} \right]. \quad (16)$$

Таким чином, отримали рівняння переміщення матеріальної частинки:

$$\begin{aligned} X &= v_n \cos(\beta+\gamma)t - \\ & \frac{v_{kp}^2 \cos(\beta+\gamma)}{g} \ln \left[\cos \left(\frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta+\gamma)}} t \right) + \frac{v_n \cos(\beta+\gamma) \sqrt{g}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta+\gamma)}} \cdot \sin \left(\frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta+\gamma)}} t \right) \right], \\ Y &= \left(v_n \sin(\beta+\gamma) - v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}} \right) t + \\ & \frac{v_{kp}^2 \sin(\beta+\gamma)}{g} \ln \frac{1}{2} \left[1 + \frac{v_n \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{v_{kp} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} + \left(1 - \frac{v_n \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{v_{kp} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \right) e^{\frac{2g \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}} t} \right]. \end{aligned} \quad (17)$$

Прийемо для v_n , v_{kp} , ω , r , β та α наступні значення: $v_n = 7$ м/с, $v_{kp} = 5$ м/с (до оболікання насіння цукрового буряка і дикої редьки зволоженою речовиною), $\omega = 6,28$ с⁻¹ ($n = 60$ об./хв., а $\omega = \frac{\pi n}{30}$), $r = 0,025$ м, $\alpha = 15^\circ$ та $\beta = 30^\circ$. Кут γ визначимо за формулою (8):

$$\begin{aligned} \sin \gamma &= \frac{\omega r}{v_e} \sin(\alpha + \beta) \rightarrow \gamma = \arcsin \left(\frac{\omega r}{v_e} \sin(\alpha + \beta) \right) = \\ &= \arcsin \left(\frac{6,28 \cdot 0,025}{\sqrt{7^2 + (6,28 \cdot 0,025)^2} - 2 \cdot 7 \cdot 6,28 \cdot 0,025 \cdot \cos(15^\circ + 30^\circ)} \sin(15^\circ + 30^\circ) \right) = 0,9^\circ. \end{aligned}$$

Припустимо, що насіння цукрового буряка і дикої редьки мають однакову парусність (силу тяжіння). Якщо їх оболікати зволоженою речовиною, яка є природним компонентом ґрунту, щільність якого більше за щільність насіння, то оскільки насіння цукрового буряка має більш шершаву поверхню, ніж насіння дикої редьки, перші змінюють свою масу сильніше, ніж другі. Внаслідок цього змінюється парусність (критична швидкість) насіння в різних пропорціях.

Якщо збільшити масу насіння цукрового буряка на 40%, а масу насіння дикої редьки на 20%, то, виходячи із формули (4)

$$v_{kp} = \sqrt{\frac{mg}{k\gamma_n F}}, \quad (18)$$

маємо, що критична швидкість насіння цукрового буряка збільшиться $\approx 1,2$ рази (6 м/с), а критична швидкість насіння дикої редьки $\approx 1,1$ рази (5,5 м/с).

В таблиці 1 наведено переміщення цукрового буряка та дикої редьки до та після оболікання. Також для цукрового буряка наведено переміщення X та Y при збільшенні критичної швидкості в 1,3 рази, тобто до 6,5 м/с.

За даними табл. 1 побудована залежність (рис. 3) траєкторії руху від часу t насіння цукрового буряка та дикої редьки до оболікання зволоженою речовиною (крива 1), траєкторії руху насіння дикої редьки після оболікання (крива 2), траєкторії руху насіння цукрового буряка після оболікання зволоженою речовиною (крива 3 при $v_{kp} = 6$ м/с) та (крива 4 при $v_{kp} = 6,5$ м/с). Кривою 5 показано положення дна похилого повітряного каналу, перетинання якого з траєкторіями руху компонентів дозволить розміщувати приймачі виходів насінневої суміші лабораторної установки. Надавання інших значень u_p , v_{kp} , ω , r , β та α дозволить визначити раціональні параметри та режими роботи лабораторної установки.

Переміщення цукрового буряка та дикої редьки до обволікання речовиною та після обволікання

Значення t, c	Переміщення, м							
	компонентів насінневої суміші до обволікання ($V_{кр} = 5,0$ м/с)		насіння дикої редьки після обволікання ($V_{кр} = 5,5$ м/с)		насіння цукрового буряка після обволікання ($V_{кр} = 6$ м/с)		насіння цукрового буряка після обволікання ($V_{кр} = 6,5$ м/с)	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0,1	0,073	0,001	0,063	0,011	0,055	0,012	0,048	0,024
0,2	0,257	0,006	0,225	0,052	0,198	0,064	0,176	0,104
0,3	0,516	0,015	0,457	0,137	0,408	0,171	0,366	0,258
0,4	0,829	0,034	0,743	0,285	0,669	0,346	0,606	0,501
0,5	1,184	0,069	1,071	0,514	0,972	0,604	0,886	0,841

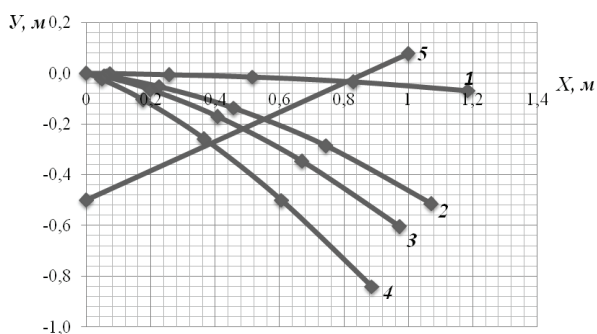


Рис. 3. Траєкторії руху насіння цукрового буряка та дикої редьки:

1 – траєкторія руху насіння цукрового буряка та дикої редьки до обволікання зволоженою речовиною; 2 – траєкторія руху насіння дикої редьки після обволікання; 3 – траєкторія руху насіння цукрового буряка після обволікання ($V = 6$ м/с); 4 – траєкторія руху насіння цукрового буряка після обволікання ($V = 6,5$ м/с); 5 – положення дна похилого повітряного каналу

Аналіз одержаних залежностей (17) показує, що очищення насіння цукрового буряка від дикої редьки в похилому повітряному потоці можливо за зміною критичної швидкості компонентів суміші, які надходять з початковою швидкістю.

Обговорення. Аналіз отриманих залежностей (Holovchenko, 2019) показав, що мінімальний вміст дикої редьки відповідає подачі магнітного порошку 2,2 %. Із збільшенням подачі магнітного порошку вміст

дикої редьки в сходах зростає. На гірках з позовжнім рухом полотна часточки поділяються за формою з урахуванням шорсткості їх поверхні. Гладенькі часточки круглішої форми скочуються вниз, а більш плоскі шорсткі піднімаються полотном. На гірках можна якісно очистити насіння буряків. На гірках більш якісного очищення насіння цукрового буряка від дикої редьки можна досягти із зменшенням продуктивності машини.

В статті (Wilber et al., 2021) науковцями було розроблено очищувач насіння та проведенні дослідження. Ними використовувалися відповідні інженерні розрахунки. Пристрій складався з педаль велосипедних, ємність куди засипалось насіння, вентилятора який подавав повітря та сит при допомозі яких відбувалось очищення.

Авторами була випробувана машина при різних кутах нахилу циліндричного сита 4, 7 і 10 градусів та за різних швидкостях сита 0,62; 0,88 та 1,08 м/с (Ghonimy, M. & Rostom, M. 2022).

Висновки. Одержані залежності по визначенню траєкторії руху у похилому повітряному потоці компонентів насінневої суміші: цукровий буряк – дика редька. Аналіз одержаних залежностей показує, що очищення насіння цукрового буряка від дикої редьки в похилому повітряному потоці можливо за зміною критичної швидкості компонентів суміші, які надходять з початковою швидкістю.

Бібліографічні посилання:

1. DSTU 2240-93. (1993). Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Sortovi ta posivni yakosti. Tekhnichni umovy [Seeds of agricultural crops. Varietal and sowing qualities. Technical conditions]. Kyiv: State Standard of Ukraine, 74. (in Ukrainian).
2. DSTU 4605:2006 Nasinnia kormovykh buriakiv. [Oilseeds. Methods for determination of moisture content]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 10. (in Ukrainian).
3. DSTU 4811-2007 (2009). Nasinnia oliinykh kultur. Metody vyznachennia volohosti [Oilseeds. Methods for determination of moisture content]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 10. (in Ukrainian).
4. DSTU 6068-2008. (2008). Nasinnia soniashnyku. Sortovi ta posivni yakosti. Tekhnichni umovy [Sunflower seeds. Varietal and sowing qualities. Technical conditions]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 7. (in Ukrainian).
5. DSTU 8140:2015 Nasinnia tsukrovyykh buriakiv bazysne. Posivni yakosti. Tekhnichni umovy [Nasinnia tsukrovyykh buriakiv bazysne. Posivni yakosti. Tekhnichni umovy] Instytut tsukrovyykh buriakiv Natsionalnoi akademii ahrarykh nauk Ukrainy (NAANU) Kyiv: State Standard of Ukraine, 74. (in Ukrainian).
6. Ghonimy, M. Rostom, M. (2022). Design and Performance Evaluation of Canola-Seed Cleaning Machine. Turkish Journal of Agricultural Engineering Research, 3 (2), pp. 214-230. DOI: 10.46592/turkager.1131804.
7. Holovchenko H. S. Kalnahuz O. M. Ochyshchennia nasinnia tsukrovoho buriaka vid mahnitnoho poroshku pislia obrobky na elektromahnitnykh nasinnieochysnykh mashynakh [Cleaning of sugar beet seeds from magnetic powder after processing on electromagnetic seed cleaning machines] Sumskyi NAU.. – 2018. – URL: <https://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/7079/1/2.pdf>. (in Ukrainian).

8. Holovchenko H.S. (2020) Ochyshchennia nasinnia tsukrovoho buriaka vid dykoi redky na elektromahnitnykh nasinniochysnykh mashynoi za dopomohoiu zvolozhennia vykhidnoho materialu [Cleaning of sugar beet seeds from wild radish on electromagnetic seed cleaning machines with the help of moistening of the source material] Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: naukovyi zhurnal. – Ser. «Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychykh protsesiv» / Sumy: SNAU, 2020. – Vyp. 1 (39). – S. 34-38. (in Ukrainian).
9. Holovchenko, H. (2019). Rezultaty doslidzhen po ochyshchenniu nasinnia tsukrovoho buriaka vid dykoi redky v zalezhnosti vid podachi mahnitnoho poroshku zi zmishuvanniam vykhidnoho materialu z mahnitnym poroshkom na elektromahnitnykh nasinniochysnykh mashynakh. [The results of research on the cleaning of sugar beet seeds from radish vetch depending on the supply of magnetic powder with mixing of the starting material with magnetic powder on electromagnetic seed cleaning machines] Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychykh protsesiv, (4 (38), pp. 19-24. <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.4.4> (in Ukrainian).
10. Kharchenko, S. O., Kharchenko, F. M., Pankova, O. V., Bakum, M. V., & Kharchenko, D. O. (2022). Identyfikatsiia vlastyvoستي nasinnievkykh sumishei pry yikh podili na vibrovvidtsentrovnykh reshetnykh separatorakh. [Identification of the properties of seed mixtures during their separation on vibro-centrifugal sieve separators] Visnyk SNAU. Serii: Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychykh protsesiv, (2(48), pp. 83-87. <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.2.12> (in Ukrainian).
11. Mishra, A., Sinha, J. P., Singh, J. K., & Tomar, B. S. (2018). Development of solar powered pneumatic grain/seed cleaning system. The Indian Journal of Agricultural Sciences, 88(11), 1676–1681. <https://doi.org/10.56093/ijas.v88i11.84890>
12. Sardorbek S. I. (2022) Determine Effectiveness of cotton Seed Cleaning and Sorting Machines. Journal Published by Muhammadiyah University Sidoarjo. DOI:10.21070/acopen.7.2022.4717.
13. Sysolin P.V. Teoriia, proektuvannia ta rozrakhunky posivnykh mashyn: navch. Posibnyk. [Theory, design and development of agricultural machines: Navch. helper.] / P.V. Sysolin. – K.:ISDO, 1994. – 148 s. (in Ukrainian).
14. Tsarenko O.M., Voitiuk D.H., Shvaiko V.M., Dovzhyk M.Ia., Yatsun S.S. (2003) Mekhaniko-tehnologichni vlastyvoستي silskohospodarskykh materialiv [Mechanical and technological properties of agricultural materials]: pidruch. dlia ahr. vyshch. navch. zakl. osvity II-IV rivniv akredyatsii zi spets. "Mekhanizatsiia silskoho hospodarstva" / red. S. S. Yatsun. – K. : Meta, 2003. – 448 s.: il. – Bibliohr.: s. 440. (in Ukrainian).
15. Uhlarik A., Popov S., Karagić D., Ponjičan O. (2018) Alfa seed cleaning using a magnetic separator. Journal on Processing and Energy in Agriculture 22(4): pp.192-195. – DOI:10.5937/jpea1804192U
16. Voitiuk D. H. (2008) Silskohospodarski mashyny: osnovy teorii ta rozrakhunku [Agricultural machines: the basics of theory and calculations]: navch. posibnyk dlia stud. ahrarnykh vyshchykh zakl. osvity III-IV rivniv akredyatsii zi spets. "Mekhanizatsiia silskoho hospodarstva" / D. H. Voitiuk [y dr.]; red. D. H. Voitiuk. – Sumy : Universytetska knyha, – 543 c. (in Ukrainian).
17. Wilber A., Peter T., Isaac O., Emmanuel B., Julia K., Ismael M. & Hussein B. K. (2021) Development and performance evaluation of a Pedal Operated Seed Cleaner (POS-Cleaner). SN Appl. Sci. 3, 675. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04612-6>.
18. Zaika P. M. Teoriia silskohospodarskykh mashyn. T.1, Ch.2. Mashyny dlia sivby ta sadinnia. [Theory of agricultural machines. T.1, Part 2. Cars for sivbi ta sadinnia.] Zaika P. M. – Kharkiv: Oho, 2002.-452 s. (in Ukrainian).

Golovchenko G. S., Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Kalnahuz A. M., Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Cleaning of sugar beet seeds in inclined air flow with initial velocity of components

Cleaning of agricultural crop seed is a necessary component to obtain the final product of the best quality. Therefore, for high-quality production of sugar beets, it is necessary to use high-quality sowing seeds. The seeds for sowing must be of high quality, namely physical purity, which in turn will allow us to obtain high yields.

When cleaning seeds, or grains, their mechanical and technological properties are used, namely: the shape of the seed surface; its so-called geometric dimensions (length, width and thickness); density and others. During the cleaning of the mixture of sugar beet and wild radish seeds, according to aerodynamic properties, scientists proved that the seeds of the latter crop have the highest critical speed – 7.5 m/s, against 6 m/c for sugar beet seeds.

Therefore, the division cannot be performed in this way. The article describes one of the methods of cleaning sugarcane seeds with an inclined air flow. This flow supplied the grain mixture according to the principle of dispersion of the trajectory of particles in the direction of the speed of the air flow. The rate of removal of sugar beet and wild radish seeds was determined by the ratio of the weight of the seeds that entered the upper receiver to the weight of the seeds of the lower receiver.

D. Alembert's principle was used during the study of the movement of sugar beet and wild radish seeds in an inclined air flow. Calculations were made to determine the critical speed of sugar beet seeds and wild radish seeds; air flow resistance forces. The dependences of the change in buoyancy on envelopment with a moistened substance are given.

In many scientific articles by scientists both from Ukraine and the world, methods and methods of cleaning the seeds of agricultural crops from impurities are given; the process of bleaching seed material on sieves is given. The obtained mathematical dependencies show us that only a change in the critical speed of the components of the mixture will allow us to better clean the sugar beet seeds in an inclined air flow that comes with the initial speed. Dependences on determining the relative speed of movement in the vertical air flow of the components of the seed mixture: sugar beet – wild radish are given.

Key words: seed mixture, air flow, wind speed, critical speed, midel section, relative speed of movement.