

Теория разгона удобрений рассеивающим рабочим органом центробежного типа

Олег Адамчук

Theoretical investigation of mineral fertilizer acceleration with centrifugal scattering working member with inclined rotation axis: Obtained theoretically are equations for calculation of an absolute velocity of mineral fertilizer at the moment of their leaving a centrifugal scattering working member with its rotation axis being inclined towards the horizontal plane, and blades are mounted radially on its working plane. The obtained equations being used, analyzed is the influence of parameters and operating modes of the centrifugal scattering working member on the value of the absolute velocity of mineral fertilizer and the value of the angle of their acceleration made with the working member.

Key words: centrifugal scattering working member, inclined rotation axis, blade, mineral fertilizer, absolute velocity.

Постановка проблемы. Эффективность работы машин для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений, при условии соблюдения агрономических требований к качеству распределения удобрений по поверхности почвы, в значительной мере зависит от их сменной производительности.

В связи с тем, что возможность повышения производительности за счет увеличения рабочей скорости агрегатов и коэффициента использования сменного времени исчерпана, единственным путем ее повышения остается увеличение рабочей ширины захвата машин.

Известно, что рабочая ширина захвата машины зависит от величины абсолютной скорости схода удобрений с поверхности центробежного рассеивающего рабочего органа (РО) $v_{\dot{\alpha}\ddot{n}}$ и угла между вектором последней и горизонтальной плоскостью $\alpha_{\dot{\alpha}\ddot{n}}$. Величина $v_{\dot{\alpha}\ddot{n}}$ зависит от геометрических параметров и кинематических режимов работы РО, а также от физико-механических свойств минеральных удобрений.

В результате исследований, проведенных в ННЦ "ИМЭСХ", была выполнена оптимизация геометрических параметров РО с учетом физико-механических свойств минеральных удобрений [1]. При этом было установлено, что увеличение кинематических режимов работы РО ограничивается прочностью гранул удобрений. Поэтому, при существующих конструкционных материалах и видах удобрений возможность увеличивать рабочую ширину захвата машин путем увеличения величины $v_{\dot{\alpha}\ddot{n}}$ исчерпана.

Автором работы [2] установлено, что увеличение ширины захвата возможно путем достижения рациональных значений угла $\alpha_{\dot{\alpha}\ddot{n}}$.

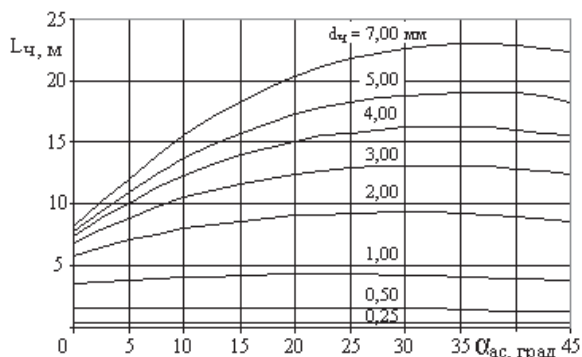


Рис.1. Зависимость дальности рассеивания частиц аммиачной селитры L_c от угла их схода с РО $\alpha_{\dot{\alpha}\ddot{n}}$

Анализируя полученные ранее результаты (рис.1) не сложно прийти к выводу, что рациональные значения $\alpha_{оп}$ находятся в пределах 30 - 35. В тоже время автором работы [3] было установлено, что существующие РО могут обеспечить достижение значения $\alpha_{оп}$ не более $15,7^\circ$.

РО с наклонной осью вращения, обеспечивают достижение рациональных значений $\alpha_{оп}$ [2].

При создании РО с наклонной осью вращения необходимо иметь методику, которая обеспечивала бы определение абсолютной скорости схода удобрений с его поверхности и угла между вектором последней и горизонтальной плоскостью в зависимости от параметров и режимов работы РО, а также физико-механических свойств удобрений.

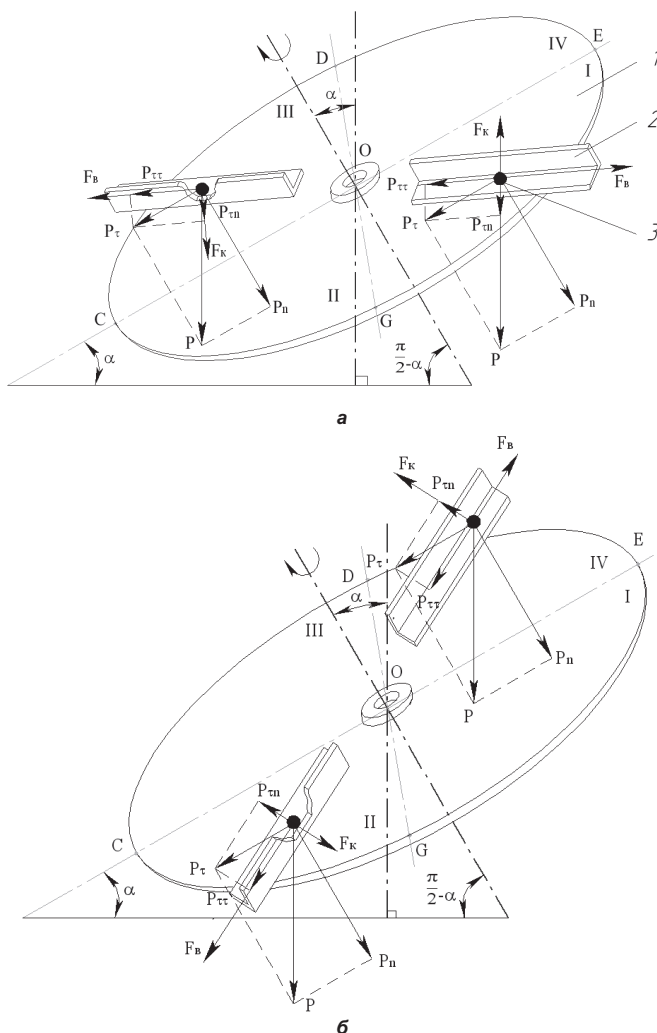


Рис.2. Схема сил действующих на частицу удобрений для определения относительной скорости движения частицы удобрений вдоль лопатки РО: 1 - диск; 2 - лопатка; 3 - частица удобрений а, б - соответственно частица удобрений движется вдоль лопатки в пределах секторов I; III и II; IV

Анализ последних исследований и публикаций. Известна методика Адамчука В.В., используя которую можно определять абсолютную скорость схода частицы удобрений с РО, ось вращения которого вертикальна [4] и методика П.М. Василенка, используя которую можно определять абсолютную скорость схода частицы удобрений с РО, ось вращения которого горизонтальна [5]. Однако, отсутствует методика для определения абсолютной скорости схода частицы удобрений с РО, ось вращения которого расположена наклонно к горизонтальной плоскости.

Цель исследования. Получение зависимостей для определения абсолютной скорости удобрений в момент их схода с РО, ось вращения которого находится под углом к горизонтальной плоскости, а лопатки установлены радиально на его рабочей поверхности. Определение влияния параметров и режимов работы РО на значения абсолютной скорости схода удобрений и угла их разгона РО.

Результаты исследований. Конструкция РО с наклонной осью вращения включает кинематически соединенный с механизмом привода во вращательное движение плоский диск, с радиально установленными на его рабочей поверхности лопатками. При этом ось вращения РО размещена под углом к горизонтальной плоскости.

С целью упрощения задачи принимаем следующие допущения, что:

- коэффициент трения частиц удобрений о поверхность лопатки имеет постоянное значение;
- характер движения каждой частицы одинаковый и соответствует характеру движения всей массы удобрений вдоль лопатки;
- частица удобрений движется вдоль лопатки по отрезку, который является общим для вертикальной стенки лопатки и ее днища, без качения;
- толщиной лопатки и диаметром частицы удобрений пренебрегаем.

Запишем уравнение для определения абсолютной скорости схода частицы удобрений с РО:

$$v_{\dot{a}\ddot{n}} = \sqrt{U_{\dot{a}\ddot{n}}^2 + v_{i\ddot{n}}^2}, \quad (1)$$

где $v_{\dot{a}\ddot{n}}$ – относительная скорость движения частицы удобрений в момент ее схода с поверхности РО, м/с;

$v_{i\ddot{n}} = \omega R$ – переносная скорость движения частицы удобрений в момент ее схода с поверхности РО, м/с;

ω – угловая скорость РО, рад/с;

R – радиус РО, м.

Для определения $v_{\dot{a}\ddot{n}}$ необходимо иметь зависимость для вычисления $U_{\dot{a}\ddot{n}}$.

Проведем исследование, направленное на ее получение.

В связи с тем, что проекция составляющей силы веса частицы удобрений на отрезок АВ в процессе ее движения вдоль лопатки изменяет направление вектора, целесообразно разделить РО на сектора таким образом, чтобы направление вектора в процессе ее движения в пределах каждого сектора не менялось. Таким образом получаем четыре равных между собой сектора: EOG - I; GOC - II; COD - III; DOE - IV (рис.2).

Отрезки ЕС и DG являются взаимно перпендикулярными диаметрами плоского диска, а отрезок ЕС образует с горизонтальной плоскостью угол α .

Анализируя силы, которые действуют на частицу удобрений запишем уравнение для определения результирующей силы F_{δ} , под действием которой частица удобрений движется вдоль лопатки (рис. 2; 3):

$$F_{\delta} = F_{\dot{a}} \mp P_{\tau\tau} - f_{\dot{e}}(F_{\dot{e}} + P_n + P_{\tau n}), \quad (2)$$

где $F_{\delta} = m \frac{d^2 L}{dt^2}$ – результирующая сила, под действием которой частица удобрений движется вдоль лопатки, Н; m – масса частицы удобрений, кг; L – путь, который прошла частица удобрений вдоль лопатки, м; t – время движения частицы удобре-

ний вдоль лопатки, с; $F_g = m\omega^2 r$ – центробежная сила, Н; r – расстояние от центра вращения PO до текущего положения частицы удобрений на лопатке, м; ω – угловая скорость PO , рад./с; $P_{\tau\tau} = P_\tau \cos \varepsilon$ – проекция составляющей силы веса частицы удобрений P_τ на отрезок AB , Н; $P_\tau = P \sin \alpha$ – составляющая силы веса частицы удобрений, которая действует вдоль поверхности диска параллельно отрезку EC , Н; $P = mg$ – сила веса частицы удобрений, Н; g – ускорение свободного падения, м/с²; α – угол между осью вращения PO и вертикальной плоскостью, рад.; ε – угол между составляющей силы веса P_τ и ее проекцией на отрезок AB , рад.; $f_{\text{л}}$ – коэффициент трения удобрений о лопатку; $F_g = 2m\omega \frac{dL}{dt}$ – сила инерции Кориолиса, Н; $P_n = P \cos \alpha$ – составляющая силы веса частицы удобрений, которая действует по нормали к днищу лопатки, Н; $P_{tn} = P_\tau \sin \varepsilon$ – проекция составляющей силы веса частицы удобрений P_τ на нормаль к отрезку AB , Н.

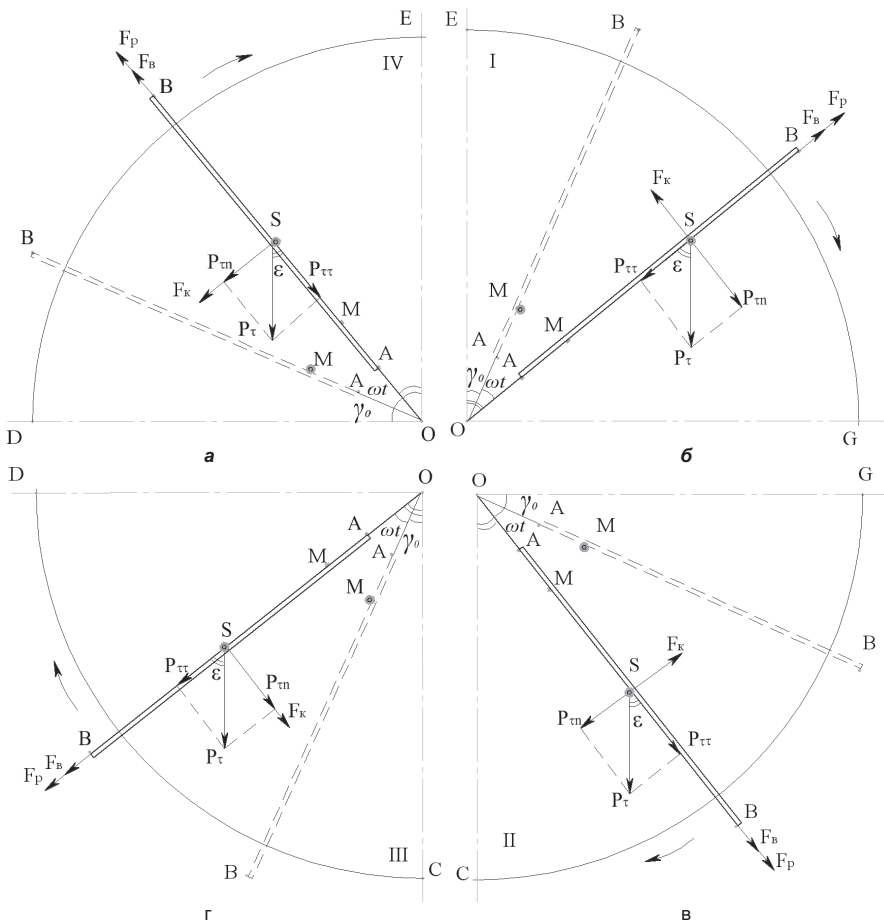


Рис.3. Схема для определения результирующей силы, под действием которой частица удобрений движется вдоль лопатки PO : а, б, в, г – соответственно частица удобрений движется вдоль лопатки в пределах секторов IV, I, II и III

Если удобрения поступают на поверхность РО в пределах сектора I или IV в уравнении (2) перед $P_{\tau\tau}$ ставим знак “-”, а если в пределах сектора II или III ставим знак “+”.

Подставив значения сил в уравнение (2), получим дифференциальное уравнение движения частицы удобрений вдоль лопатки:

$$m \frac{d^2L}{dt^2} = mr\omega^2 \mp mg \sin \alpha \cos \varepsilon - f_{\varepsilon} \left(2m\omega \frac{dL}{dt} + mg \cos \alpha + mg \sin \alpha \sin \varepsilon \right). \quad (3)$$

Рассмотрев (рис.3), где точка M – начальное положение частицы удобрений на лопатке, точка S – текущее положение частицы удобрений на лопатке, точка O – центр вращения РО, не трудно прийти к выводу, что в зависимости от того в каком секторе будет происходить подача удобрений на поверхность РО, определение значения угла ε будет проводиться по соответствующему уравнению, а именно:

$\varepsilon = \gamma_0 + \omega t$ – для случая, когда удобрения поступают на поверхность РО в пределах сектора I;

где γ_0 – угол, образованный отрезками OE и OB , в момент контакта частицы удобрений с лопаткой, рад.;

$\varepsilon = \frac{\pi}{2} - (\gamma_0 + \omega t)$ – для случая, когда удобрения поступают на поверхность РО в пределах сектора II;

где γ_0 – угол, образованный отрезками OG и OB , в момент контакта частицы удобрений с лопаткой, рад.;

$\varepsilon = \gamma_0 + \omega t$ – для случая, когда удобрения поступают на поверхность РО в пределах сектора III;

где γ_0 – угол, образованный отрезками OC и OB , в момент контакта частицы удобрений с лопаткой, рад.;

$\varepsilon = \frac{\pi}{2} - (\gamma_0 + \omega t)$ – для случая, когда удобрения поступают на поверхность РО в пределах сектора IV;

где γ_0 – угол, образованный отрезками OD и OB , в момент контакта частицы удобрений с лопаткой, рад.

Запишем уравнение для определения r :

$$r = r_0 + L, \quad (4)$$

где r_0 – радиус подачи частицы удобрений на РО, м.

Подставив в уравнение (3) значение r и проведя ряд элементарных преобразований, получим:

$$\frac{d^2L}{dt^2} = \omega^2 r_0 + \omega^2 L \mp g \sin \alpha \cos \varepsilon - 2f_{\varepsilon} \omega \frac{dL}{dt} - f_{\varepsilon} g \cos \alpha - f_{\varepsilon} g \sin \alpha \sin \varepsilon. \quad (5)$$

Рассмотрим случай, когда удобрения подаются на поверхность РО в пределах сектора II (ГОС). Тогда, уравнение (5) будет иметь вид:

$$\frac{d^2L}{dt^2} + 2f_{\varepsilon} \omega \frac{dL}{dt} - \omega^2 L = \omega^2 r_0 + g \sin \alpha \sin(\gamma_0 + \omega t) - f_{\varepsilon} g \cos \alpha - f_{\varepsilon} g \sin \alpha \cos(\gamma_0 + \omega t) \quad (6)$$

Таким образом, получено линейное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами и правой частью. Характеристическое уравнение будет иметь вид:

$$\lambda^2 + 2f_{\varepsilon} \omega \lambda - \omega^2 = 0, \quad (7)$$

а его корни соответственно:

$$\lambda_1 = \omega \left(\sqrt{f_{\varepsilon}^2 + 1} - f_{\varepsilon} \right) \text{ и } \lambda_2 = \omega \left(-\sqrt{f_{\varepsilon}^2 + 1} - f_{\varepsilon} \right). \quad (8)$$

Запишем значение решения \bar{L} уравнения (6) без правой части:

$$\bar{L} = \tilde{N}_1 e^{\lambda_1 t} + \tilde{N}_2 e^{\lambda_2 t}, \quad (9)$$

где \tilde{N}_1 и \tilde{N}_2 – произвольные постоянные.

Найдем частное решение L^* уравнения (6):

$$L^* = T,$$

где T – произвольная постоянная.

Если $T = const$, то $\frac{d^2 L}{dt^2} = \frac{dL}{dt} = 0$. После подстановки их значений в уравнение (6) получим:

$$T = -r_0 + \frac{g}{\omega^2} [f_{\bar{e}} \cos \alpha + f_{\bar{e}} \sin \alpha \cos(\gamma_0 + \omega t) - \sin \alpha \sin(\gamma_0 + \omega t)]. \quad (10)$$

Частное решение L^* уравнения (6) будет иметь вид:

$$L^* = \theta = -r_0 + \frac{g}{\omega^2} [f_{\bar{e}} \cos \alpha + f_{\bar{e}} \sin \alpha \cos(\gamma_0 + \omega t) - \sin \alpha \sin(\gamma_0 + \omega t)]. \quad (11)$$

Общее решение уравнения (6) может быть записано следующим образом:

$$L = \bar{L} + L^* = \tilde{N}_1 e^{\lambda_1 t} + \tilde{N}_2 e^{\lambda_2 t} + \theta. \quad (12)$$

Начальные условия для определения \tilde{N}_1 и \tilde{N}_2 будут: $t = 0$, $L = 0$, $\frac{d^2 L}{dt^2} = \frac{dL}{dt} = 0$.

С учетом начальных условий находим произвольные постоянные \tilde{N}_1 и \tilde{N}_2 :

$$\tilde{N}_1 = -\frac{\lambda_2 \theta}{\lambda_2 - \lambda_1}, \quad \tilde{N}_2 = \frac{\lambda_1 \theta}{\lambda_2 - \lambda_1}. \quad (13)$$

Подставив произвольные постоянные \tilde{N}_1 и \tilde{N}_2 в уравнение (12) и выполнив элементарные преобразования, получим уравнение движения частицы удобрений вдоль лопатки РО:

$$L = \frac{\theta}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[\lambda_2 (1 - e^{\lambda_1 t}) - \lambda_1 (1 - e^{\lambda_2 t}) \right]. \quad (14)$$

Продифференцировав уравнение (14), получим уравнение для определения относительной скорости движения частицы удобрений вдоль лопатки РО:

$$v_{\dot{a}} = \frac{\lambda_2 \lambda_1 \theta}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[e^{\lambda_2 t} - e^{\lambda_1 t} \right], \quad (15)$$

где $v_{\dot{a}}$ – относительная скорость движения частицы удобрений вдоль лопатки, м/с.

Определим путь, который прошла частица удобрений вдоль лопатки от точки ее подачи (т. М) на РО к точке ее схода (т. В) с поверхности РО (рис. 2):

$$L = R - r_0. \quad (16)$$

Для определения времени движения частицы удобрений вдоль лопатки и ее относительной скорости в момент схода с поверхности РО запишем уравнение (14) и (15) в виде системы с учетом уравнений (8), (11) и (16). После элементарных преобразований получим:

$$\begin{cases} R - r_0 = \frac{\theta}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[\lambda_2 (1 - e^{\lambda_1 t}) - \lambda_1 (1 - e^{\lambda_2 t}) \right], \\ v_{\dot{a}c} = \frac{\lambda_2 \lambda_1 \theta}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[e^{\lambda_2 t} - e^{\lambda_1 t} \right]. \end{cases} \quad (17)$$

где $v_{\dot{a}c}$ – относительная скорость движения частицы удобрений в момент ее схода с поверхности РО, м/с.

Таким образом, получена система уравнений для определения времени движения частицы удобрений вдоль лопатки и ее относительной скорости в момент схода с поверхности РО для случая, когда удобрения подаются на поверхность РО в пределах сектора II (GOC).

Система уравнений (17) может быть использована для определения времени движения частицы удобрений вдоль лопатки и ее относительной скорости в момент схода с поверхности РО для случая, когда удобрения подаются на поверхность РО в пределах одного из оставшихся трех секторов. Для этого нужно в уравнение (17) подставить значение θ , которое определяется для каждого случая отдельно:

– удобрения подаются на поверхность РО в пределах сектора III (COD):

$$\theta = -r_0 + \frac{g}{\omega^2} [f_{\bar{e}} \cos \alpha + f_{\bar{e}} \sin \alpha \sin(\gamma_0 + \omega t) - \sin \alpha \cos(\gamma_0 + \omega t)],$$

– удобрения подаются на поверхность РО в пределах сектора IV (DOE):

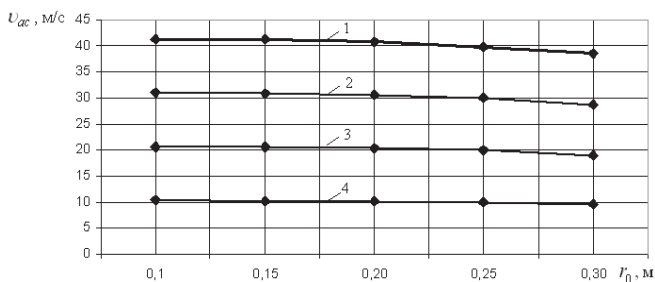
$$\theta = -r_0 + \frac{g}{\omega^2} [f_{\bar{e}} \cos \alpha + f_{\bar{e}} \sin \alpha \cos(\gamma_0 + \omega t) + \sin \alpha \sin(\gamma_0 + \omega t)],$$

– удобрения подаются на поверхность РО в пределах сектора I (EOG):

$$\theta = -r_0 + \frac{g}{\omega^2} [f_{\bar{e}} \cos \alpha + f_{\bar{e}} \sin \alpha \sin(\gamma_0 + \omega t) + \sin \alpha \cos(\gamma_0 + \omega t)].$$

Используя уравнение (1) и систему уравнений (17) было изучено влияние ω , r_0 и α на $v_{\dot{a}\ddot{n}}$.

Установлено, что увеличение α от 0 до 90° приводит к изменению $v_{\dot{a}\ddot{n}}$ не более чем на 0,1 м/с. Влияние ω и r_0 на $v_{\dot{a}\ddot{n}}$ приведены на (рис. 4).



1, 2, 3, 4 – соответственно угловая скорость РО 104,6; 78,5; 52,3; 26,2 рад/с;

Рис.4. Зависимость абсолютной скорости схода частицы удобрений с РО $v_{\dot{a}\ddot{n}}$

от радиуса ее подачи на РО r_0 при $R=0,34$ м, $f_{\bar{e}}=0,55$, $\alpha=30^\circ$, $\gamma_0=1^\circ$, удобрения подаются на поверхность РО в секторе II

Анализируя рис.4 нетрудно прийти к выводу, что при $\omega=104,6$ рад/с увеличение r_0 от 0,1 м до 0,3 м приводит к уменьшению $v_{\dot{a}\ddot{n}}$ от 41,32 м/с до 38,21 м/с. Кроме того, увеличение ω от 26,2 рад/с до 104,6 рад/с при $r_0=0,1$ м приводит к увеличению $v_{\dot{a}\ddot{n}}$ от 10,33 м/с до 41,32 м/с. Выбор сектора для подачи удобрений на РО незначительно влияет на величину $v_{\dot{a}\ddot{n}}$. Например, при $R=0,34$ м, $f_{\bar{e}}=0,55$, $\alpha=90^\circ$, $r_0=0,2$ м, $\gamma_0=1^\circ$, $\omega=104,6$ рад/с значения $v_{\dot{a}\ddot{n}}$ будут:

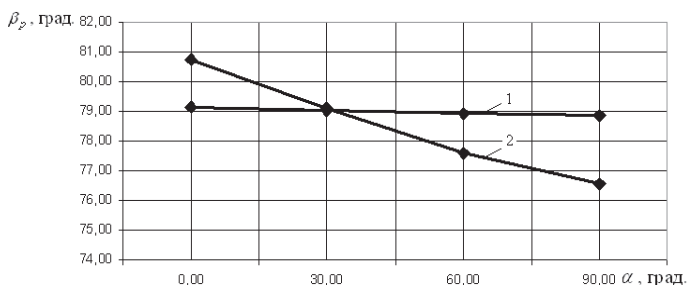
- удобрения подаются на РО в пределах сектора I – $v_{\dot{a}\ddot{n}}=40,74$ м/с;
- удобрения подаются на РО в пределах сектора II – $v_{\dot{a}\ddot{n}}=40,78$ м/с;
- удобрения подаются на РО в пределах сектора III – $v_{\dot{a}\ddot{n}}=40,75$ м/с;
- удобрения подаются на РО в пределах сектора IV – $v_{\dot{a}\ddot{n}}=40,74$ м/с.

Для вычисления угла схода удобрений с РО необходимо определить их место схода с РО. Учитывая, что положение лопатки на РО в момент ее контакта с частицей удобрений известно целесообразным является использовать для определения места схода удобрений с РО угол их разгона β_δ . Угол разгона – это угол между положениями лопатки в момент ее контакта с частицей удобрений и той же лопаткой в момент схода удобрений с нее.

Запишем уравнение для определения β_δ :

$$\beta_\delta = \omega t. \quad (18)$$

Используя систему уравнений (17) и уравнение (18) было изучено влияние ω , r_0 и α на β_δ , полученные результаты приведены на рис.5 и 6.



1, 2 – соответственно угловая скорость РО 104,6; 26,2 рад/с;

Рис.5. Зависимость угла разгона частицы удобрений β_δ от угла α при $R = 0,34$ м,

$f_{\bar{e}} = 0,55$, $r_0 = 0,2$ м, $\gamma_0 = 1^0$, удобрения подаются на поверхность РО в секторе II

Анализируя рис.5 нетрудно прийти к выводу, что влияние угла наклона оси вращения РО на угол разгона частицы удобрений, при высоких значениях ω , незначительно. Например, при $\omega = 104,6$ рад/с увеличение α от 0 до 90° приводит к уменьшению β_δ от 79,13 до 78,86.

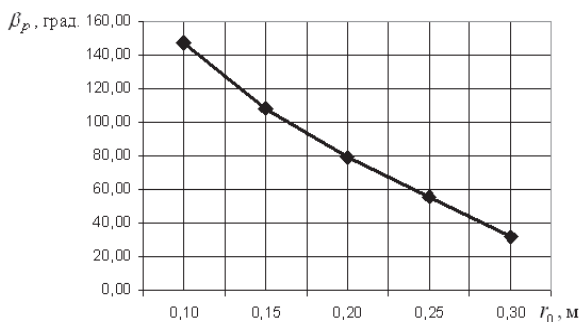


Рис.6. Зависимость угла разгона частицы удобрений β_δ от радиуса ее подачи

на РО r_0 при $R = 0,34$ м, $f_{\bar{e}} = 0,55$, $\omega = 104,6$ рад/с, $\alpha = 30^\circ$, $\gamma_0 = 1^0$, удобрения подаются на поверхность РО в секторе II

Установлено, что увеличение r_0 от 0,1 м до 0,3 м приводит к уменьшению β_δ от $147,53^\circ$ до $32,24^\circ$. Кроме того, выбор сектора для подачи удобрений на поверхность РО незначительно влияет на величину β_δ . Например, при $R = 0,34$ м, $f_{\bar{e}} = 0,55$, $\alpha = 90^\circ$, $r_0 = 0,2$ м, $\gamma_0 = 1^0$, $\omega = 104,6$ рад/с значения β_δ будут:

- удобрения подаются на РО в пределах сектора I – $\beta_{\delta} = 79,16^{\circ}$;
- удобрения подаются на РО в пределах сектора II – $\beta_{\delta} = 78,86^{\circ}$;
- удобрения подаются на РО в пределах сектора III – $\beta_{\delta} = 79,09^{\circ}$;
- удобрения подаются на РО в пределах сектора IV – $\beta_{\delta} = 79,23^{\circ}$.

Использование полученных зависимостей и методики для определения угла схода частицы удобрений с поверхности РО дает возможность получить исходные данные для расчета дальности рассева частицы удобрений РО. Определение дальности рассева частицы удобрений РО даст возможность обосновать рациональные параметры и режимы работы РО.

ВЫВОДЫ

1. Теоретическим путем получены зависимости, описывающие движение частицы удобрений вдоль радиально установленной лопатки РО, ось вращения которой расположена под углом к горизонтальной плоскости.

2. Установлено, что увеличение значения угла между осью вращения РО и вертикальной плоскостью α от 0 до 90° приводит к изменению значения абсолютной скорости схода частицы удобрений с РО $v_{\dot{a}n}$ не более чем на $0,1$ м/с. Увеличение радиуса подачи удобрений на РО r_0 от $0,1$ м до $0,3$ м при угловой скорости РО $\omega = 104,6$ рад/с приводит к уменьшению $v_{\dot{a}n}$ от $41,32$ м/с до $38,21$ м/с. Кроме того, увеличение ω от $26,2$ рад/с до $104,6$ рад/с при $r_0 = 0,1$ м приводит к увеличению $v_{\dot{a}n}$ от $10,33$ м/с до $41,32$ м/с. Выбор сектора для подачи удобрений на поверхность РО незначительно влияет на величину $v_{\dot{a}n}$.

3. Установлено, что влияние α на угол разгона частицы удобрений β_{δ} , при высоких значениях ω , незначительно. Так, при $\omega = 104,6$ рад/с увеличение α от 0 до 90° приводит к уменьшению β_{δ} от $79,13^{\circ}$ до $78,86^{\circ}$. Кроме того, увеличение r_0 от $0,1$ м до $0,3$ м приводит к уменьшению β_{δ} от $147,53^{\circ}$ до $32,24^{\circ}$. Выбор сектора для подачи удобрений на поверхность РО незначительно влияет на величину β_{δ} .

БИБЛИОГРАФИЯ

[1] Адамчук В.В. Вплив параметрів і режимів роботи розсівального органу на сходження з нього частинок мінеральних добрив // Вісник аграрної науки. – 2004, №12. – С.42-45.

[2] Адамчук О.В. Підвищення ефективності роботи машин для розсівання мінеральних добрив // В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха. ННЦ "ІМЕСГ". – 2005. Вип. 89. – С. 207-212.

[3] Адамчук В.В. Обгрунтування моделі внесення мінеральних добрив//Міжвід. темат. наук. зб. Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха. ННЦ "ІМЕСГ", 2002. – Вип. 86. – С.90-99.

[4] Адамчук В.В. Теория центробежных рабочих органов машин для внесения минеральных удобрений. – К.: Аграрна наука. 2010. – 117 с.

[5] Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. – К., УАСХН, 1960. – 260 с.

Адрес за контакти:

Олег Адамчук, старший научный сотрудник, (Национальный научный центр "Институт механизации и электрификации сельского хозяйства" Национальной академии аграрных наук Украины)

Докладът е рецензиран.