

3. Янко, В.М. Статистический метод расчета производительности машин / В.М. Янко // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. – № 11. – С. 9–12.

УДК 631.333:631.862

**Л.Я. Степук, А.А. Жешко,
Э.В. Дыба**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по
механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

ОБОСНОВАНИЕ ШАГА УСТАНОВКИ ДИСКОВ И РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ИХ РЯДАМИ В АДАПТЕРЕ ДЛЯ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ ЖИДКОГО НАВОЗА

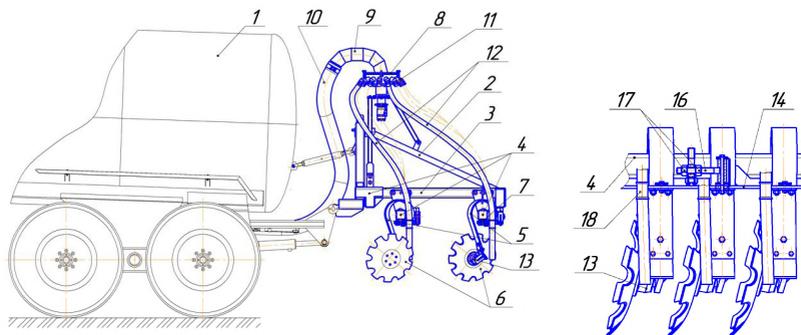
Введение

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана машина, оснащенная сменными модулями (адаптерами) для поверхностного и внутрипочвенного внесения жидкого навоза.

Целью настоящей работы является обоснование шага и угла установки дисков и расстояния между их рядами в адаптере для внутрипочвенного внесения жидкого навоза.

Основная часть

Машина, укомплектованная адаптером для внутрипочвенного внесения жидкого навоза (рисунок 73), состоит из цистерны 1, дискового адаптера 2, который, в свою очередь, имеет раму, состоящую из продольных 3 и поперечных 4 брусьев. К раме прикреплены упругие стойки 5 с дисками 6 с возможностью поворота их вокруг осей 7.



1 – цистерна; 2 – адаптер дисковый; 3 – продольные брусья; 4 – поперечные брусья; 5 – упругие стойки; 6 – сферические диски; 7 – оси; 8 – делительная головка; 9 – патрубок; 10 – напорный трубопровод; 11 – выпускные патрубки; 12 – разливочные патрубки; 13 – подшипниковые узлы; 14 – планка; 15 – жесткие поводки; 16 – регулировочные болты; 17 – контргайки; 18 – втулки-направители

Рисунок 73 – Схема машины для внутрипочвенного внесения жидкого навоза

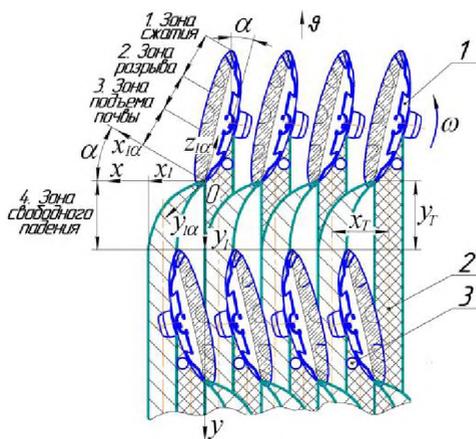
Сверху на раме адаптера закреплена делительная головка 8, в крышке которой имеются патрубок 9 с присоединенным напорным трубопроводом 10 и выпускные патрубки 11, к которым прикреплены верхними концами разливочные патрубки 12, а нижние концы их закреплены сзади по ходу движения агрегата на уровне осей подшипниковых узлов 13 дисков 6.

Механизм регулирования угла атаки дисков 6 каждого ряда состоит из планки 14, соединенной с упругими стойками 5 посредством жестких поводков 15 и регулировочных болтов 16 с контргайками 17. К планкам 14 приварены специальные втулки-направители 18, позиционирующие концы разливочных патрубков 12.

Работает агрегат следующим образом.

Жидкие органические удобрения, находящиеся в цистерне 1, подаются по напорному трубопроводу 10 в делительную головку 8, которая равномерно распределяет общий поток жидкого навоза на множество малых потоков (по количеству дисков в адаптере), поступающих далее по разливочным патрубкам 12 в канавки, отрываемые каждым диском 6.

Благодаря тому, что нижние концы разливочных патрубков 12 закреплены за подшипниковыми узлами 13 и на уровне их осей с выпуклой стороны дисков 6 (рисунок 73), обеспечивается точная подача жидкого навоза в открытые канавки 3 (рисунок 74), образуемые этими дисками. Тем самым исключается попадание навоза на поверхность поля и испарение питательных веществ.



1 – сферический диск; 2 – трубопровод для подачи навоза в канавки; 3 – канавки, образуемые дисками

Рисунок 74 – Схема взаимодействия сферического диска с почвой

В процессе работы сферические диски под действием реактивных сопротивлений почвы вращаются вокруг горизонтальной оси. Диск, установленный под углом к направлению движения, образует после прохода канавку в почве с желобчатым дном, в которую подается определенное количество жидкого навоза из цистерны.

Во избежание испарения аммиачного азота канавка закрывается почвой, отбрасываемой соседним диском, который также проделывает канав-

ку и в которую также подается заданное количество навоза. Для обеспечения полной и качественной заделки навоза в почву и исключения попадания отбрасываемой первой секцией рабочих органов почвы на вторую секцию рабочего органа необходимо обосновать шаг установки сферических дисков на раме и расстояние между рядами секций.

Вращательное движение изменяет траекторию перемещения почвенной массы по рабочей поверхности диска и за ее пределами, влияет на характер резания почвы. Характер деформации и перемещений почвы под действием сферических дисков, форма дна борозды зависят от диаметра дисков, угла их установки, расстояния между дисками вдоль рамы, скорости поступательного движения машины и свойств почвы.

При теоретическом обосновании шага установки дисков необходимо определить зависимость траектории перемещения объема почвенной массы по сферической поверхности диска от его конструктивных и кинематических параметров.

Предположим, что диск совершает равномерное прямолинейное движение без скольжения и буксования, и этому движению соответствует установившееся движение почвенного пласта по его сферической поверхности, при этом каждая почвенная частица описывает определенную траекторию и имеет в каждой ее точке постоянные скорость и ускорение [1, 2]. Траектория движения пласта почвы после схода с поверхности диска определяется весом пласта, а также величиной \mathcal{G}_a и направлением ε_1 абсолютной скорости его движения в момент схода с диска.

Взаимодействие диска с почвой характеризуется четырьмя зонами: сжатия, разрыва, подъема и свободного падения (рисунок 74).

В зоне сжатия происходит подрезание пласта почвы режущей кромкой диска, после чего почва, двигаясь по его внутренней поверхности, уплотняется за счет сил трения, возникающих при их взаимодействии. Величина сжатия почвы зависит от угла атаки α и скорости движения диска \mathcal{G} .

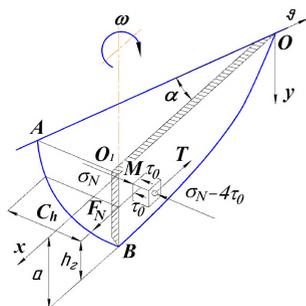


Рисунок 75 – Схема действия сил на частицу почвы

После сжатия пласта почвы происходит его разрыв, то есть нарушение его целостности. В зоне разрыва наибольшее влияние на характер движения почвы по сферической поверхности диска оказывает сила трения F_N и касательная сила T [1, 2, 3] (рисунок 75).

Уравнение равновесия сил в плоскости xOy (рисунок 75) имеет вид:

$$F_N - T = F_{y0},$$

где $F_{y0} > 0$, то есть движение частицы почвы по сферической поверхности диска будет осуществляться при условии $F_N > T$.

Сила, под действием которой происходит увлечение частицы M во вращение по поверхности диска, в зоне разрыва определяется выражением [4]:

$$F_{y0} = q(f - \varphi_{em}) \operatorname{tg} \alpha \sqrt{a(D - a)/2},$$

где q – коэффициент объемного смятия почвы, МПа/м^3 ;

f – коэффициент внешнего трения почвы о сталь;

φ_{em} – коэффициент внутреннего трения почвы;

a – глубина обработки, м ;

D – диаметр сферического диска, м .

В зоне подъема наблюдается относительное перемещение пласта по поверхности диска и отбрасывание его (пласта) под определенным углом.

Исследованиями [1] установлено, что зона подъема почвы занимает сектор с 30° до 150° . В соответствии с работами академика П.М. Василенко [5] возможными траекториями относительного движения частицы M по диску могут быть: спираль Архимеда, логарифмическая спираль, развертка окружности. Выполненные нами поисковые исследования показали, что частица M в относительном движении перемещается по траектории, близкой к логарифмической спирали, длина дуги которой определяется известным выражением [6]:

$$S_a = r \frac{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \psi}}{\operatorname{ctg} \psi},$$

где r – текущий радиус, м ;

ψ – угол между текущим радиусом и вектором относительной скорости, *град.*

В зоне свободного падения почвы (при сходе с диска) происходит перемещение ее по законам брошенного под углом к горизонту тела.

Учитывая сказанное, пользуясь рассуждениями Я.У. Яроцкого [4], определим шаг установки сферических дисков на раме и количество секций (дисковых рядов) адаптера, обеспечивающего внутрпочвенное внесение жидкого навоза и качественное лушение почвы.

Рассмотрим движение частицы M в плоскости вращения плоского диска (рисунок 76).

В момент отрыва диском почвы от монолита на частицу M действует сила F_{y0} . Дальнейшее взаимодействие частицы M с поверхностью диска изменяет величину и направление скорости ее движения ввиду нарушения связей, однако будем полагать, что сила F_{y0} изменяется незначительно. Также положим, что частица M в абсолютном вращательном движении перемещается по некоторой траектории S_a со скоростью \mathcal{S}_r , в переносном движении – со скоростью \mathcal{S}_e , направленной параллельно поступательному движению.

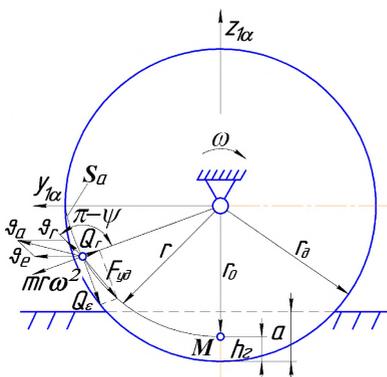


Рисунок 76 – Схема к определению абсолютной скорости движения частицы почвы, сходящей с вращающегося диска

формулой:

$$\varepsilon_1 = \arcsin \frac{g_r}{\sqrt{g_e^2 + g_r^2}} \quad (1)$$

Для определения переносной скорости g_e используем выражение:

$$g_e = g \cos \alpha \quad (2)$$

Окружную скорость g_r определим по формуле:

$$g_r = \sqrt{\frac{2F_{y0} S_a}{m} + r^2 \omega^2},$$

где ω – угловая скорость, рад./с;

m – плотность почвы, кг/см³.

Подставив в уравнения (1) и (2) значение g_e и g_r , получим:

$$g_a = \sqrt{g^2 \cos^2 \alpha + \frac{2F_{y0} S_a}{m} + r^2 \omega^2}; \quad (3)$$

$$\varepsilon_1 = \arcsin \sqrt{\frac{\frac{2F_{y0} S_a}{m} + r^2 \omega^2}{g^2 \cos^2 \alpha + \frac{2F_{y0} S_a}{m} + r^2 \omega^2}} \quad (4)$$

В момент схода частицы с поверхности диска $r = r_0$ угловая скорость $\omega = \frac{2g_e}{D} = \frac{2g \cos \alpha}{D}$.

Так как $D = 2r_0$, то $\omega = \frac{g \cos \alpha}{r_0}$,

где r_0 – радиус сферического диска, м.

Дальность полета частицы будет зависеть от величины g_a и направления ε_1 ее абсолютной скорости в момент схода с диска.

Значение абсолютной скорости определяется выражением (рисунок 76):

$$g_a = \sqrt{g_e^2 + g_r^2},$$

а направление ε_1 абсолютной скорости в момент схода с диска –

Тогда $\omega r_D = g \cos \alpha$ или $\omega^2 r_D^2 = g^2 \cos^2 \alpha$.

После математического преобразования и подстановки значений S_a , F_{y0} уравнения (3) и (4) принимают вид:

$$g_a = \sqrt{2g^2 \cos^2 \alpha + \frac{0,84q(f - \varphi_{em}) \operatorname{tg} \alpha \sqrt{a^3(D-a)}}{m}}; \quad (5)$$

$$\varepsilon_1 = \arcsin \sqrt{\frac{g^2 \cos^2 \alpha + \frac{0,84q(f - \varphi_{em}) \operatorname{tg} \alpha \sqrt{a^3(D-a)}}{m}}{2g^2 \cos^2 \alpha + \frac{0,84q(f - \varphi_{em}) \operatorname{tg} \alpha \sqrt{a^3(D-a)}}{m}}}. \quad (6)$$

В системе координатных осей $x_1 O y_1 z_{1\alpha}$ (рисунок 75) уравнения полета частицы M в зоне свободного падения имеют вид:

$$\begin{cases} x_1 = g_a \cos \varepsilon_1 \sin \alpha t; \\ y_1 = g_a \cos \varepsilon_1 \cos \alpha t; \\ z_{1\alpha} = g_a \sin \varepsilon_1 t - \frac{gt^2}{2}, \end{cases} \quad (7)$$

где g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

Исключив время t из уравнений полета частиц почвы, получим траектории абсолютного движения почвенной массы после схода с диска по x_1 :

$$z_{1\alpha} = \frac{x_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1}{\sin \alpha} - \frac{g x_1^2}{2 g_a^2 \cos^2 \varepsilon_1 \sin^2 \alpha}; \quad (8)$$

по y_1 :

$$z_{1\alpha} = \frac{y_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1}{\cos \alpha} - \frac{g y_1^2}{2 g_a^2 \cos^2 \varepsilon_1 \cos^2 \alpha}. \quad (9)$$

Допустив в данных уравнениях, что высота падения почвы равна

$$z_{1\alpha} = -(0,5D - a), \quad (10)$$

получим дальность отбрасывания частицы почвы в поперечном и продольном направлениях:

$$\begin{aligned} \frac{g}{2 g_a^2 \cos^2 \varepsilon_1 \sin^2 \alpha} x_1^2 - \frac{\operatorname{tg} \varepsilon_1}{\sin \alpha} x_1 - \frac{D-2a}{2} &= 0; \\ \frac{g}{2 g_a^2 \cos^2 \varepsilon_1 \cos^2 \alpha} y_1^2 - \frac{\operatorname{tg} \varepsilon_1}{\cos \alpha} y_1 - \frac{D-2a}{2} &= 0. \end{aligned}$$

Имеем квадратное уравнение типа $jx^2 - bx - l = 0$, у которого для нашего случая представляет интерес нахождение максимального значения корней x_1 и y_1 :

$$x_1 = \frac{\frac{tg\varepsilon_1}{\sin\alpha} + \sqrt{\left(\frac{tg\varepsilon_1}{\sin\alpha}\right)^2 + \frac{g(D-2a)}{g_a^2 \cos^2\varepsilon_1 \sin^2\alpha}}}{\frac{g}{g_a^2 \cos^2\varepsilon_1 \sin^2\alpha}};$$

$$y_1 = \frac{\frac{tg\varepsilon_1}{\cos\alpha} + \sqrt{\left(\frac{tg\varepsilon_1}{\cos\alpha}\right)^2 + \frac{g(D-2a)}{g_a^2 \cos^2\varepsilon_1 \cos^2\alpha}}}{\frac{g}{g_a^2 \cos^2\varepsilon_1 \cos^2\alpha}}.$$

Выполним математическое преобразование уравнений:

$$\cos\varepsilon_1 = \cos\left(\arcsin\left(\frac{\sqrt{g^2 \cos^2\alpha + \frac{0,84q(f-\varphi_{em})tg\alpha\sqrt{a^3(D-a)}}{m}}}{\sqrt{2g^2 \cos^2\alpha + \frac{0,84q(f-\varphi_{em})tg\alpha\sqrt{a^3(D-a)}}{m}}}\right)\right) = \cos(\arcsin\chi).$$

Но $\arcsin\chi = \arccos\sqrt{1-\chi^2}$, тогда

$$\cos\varepsilon_1 = \cos\left(\arcsin\arccos\sqrt{1-\chi^2}\right) = \sqrt{1 - \frac{g^2 \cos^2\alpha + \frac{0,84q(f-\varphi_{em})tg\alpha\sqrt{a^3(D-a)}}{m}}{2g^2 \cos^2\alpha + \frac{0,84q(f-\varphi_{em})tg\alpha\sqrt{a^3(D-a)}}{m}}}.$$

Заменив значение $\cos\varepsilon_1$ и $\sin\varepsilon_1$, подставив значение g_a и выполнив сокращения, получим уравнения дальности отбрасывания почвы в поперечном направлении:

$$x_T = x_1 = \frac{1}{2g} g \sin 2\alpha (\sqrt{A} + \sqrt{A+B}), \quad (11)$$

а также в продольном (при высоте падения частиц почвы на уровне оси вращения заднего ряда дисков):

$$y_T = y_1 = \frac{1}{g} g \cos^2\alpha \sqrt{A}, \quad (12)$$

$$\text{где } A = g^2 \cos^2\alpha + \frac{0,84q(f-\varphi_{em})tg\alpha\sqrt{a^3(D-a)}}{m};$$

$$B = g(D-2a).$$

По существу, формула (11) позволяет определить шаг установки дисков в ряду, обеспечивающий качественную заделку навоза в канавках, а формула (12) – расстояние между дисковыми рядами в адаптере.

Чтобы качественно не только обеспечивать внутривспашечное внесение навоза, но и выполнять операцию лущения почвы, необходимо исключить наличие почвы, необработанной дисками первой секции. Это условие выполняется путем подбора рационального количества дисковых рядов в адаптере, независимо от ширины захвата агрегата, по формуле:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{X_T}{2 \sin \alpha \sqrt{a(D-a)}}. \quad (13)$$

Выполнение данного условия исключает повторное прохождение дисков по предыдущему следу, что обеспечивает снижение энергоемкости агрегата в целом и исключает раскрытие уже укрытых почвой каналов, заполненных навозом. Рациональное расстояние между рядами дисков в агрегате, исключающее забрасывание почвы дисками передних рядов на диски последующих рядов, также позволяет снизить энергоемкость процесса.

Расчетные значения дальности отбрасывания почвы сферическим диском в продольном Y_T и поперечном X_T направлениях в зависимости от угла атаки α при различных скоростях дискового адаптера отображены на рисунке 77.

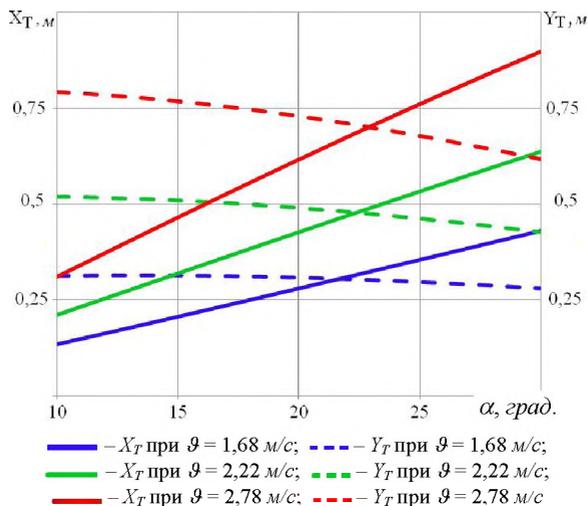


Рисунок 77 – Дальность отбрасывания почвы в поперечном X_T и продольном Y_T направлениях в зависимости от угла атаки диска α при различных скоростях движения и глубине $h = 0,08$ м

Анализ рисунка 77 показывает, что при изменении скорости движения ($v = 1,68 \div 2,78$ м/с) и угла атаки ($\alpha = 10 \div 30^\circ$) дискового адаптера изменяется дальность отбрасывания почвы (в поперечном направлении увеличивается, а в продольном – уменьшается).

Заключение

Полученные аналитические зависимости (11) и (12) позволяют определить рациональное значение шага установки дисков в ряду, обеспечивающего качественную заделку навоза в канавках и расстояние между дисковыми рядами в адаптере. Аналитическая зависимость (13) позволяет определить количество дисковых рядов в адаптере, независимо от ширины захвата агрегата.

20.08.13

Литература

1. Синеоков, Г.Н. Дисковые рабочие органы почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков. – М.: Машгиз, 1949 – 86 с.
2. Летошнев, М.Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчет, проектирование / М.Н. Летошнев. – Изд. 3, перераб. и доп. – М.: Сельхозгиз, 1955. – 728 с.
3. Нартов, П.С. Дисковые почвообрабатывающие орудия / П.С. Нартов. – Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1972. – 182 с.
4. Яроцкий, Я.У. Повышение качества мелкой обработки почвы комбинированным агрегатом с лаповым рыхлителем и гофрированным катком: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Я.У. Яроцкий. – Горки, 1987. – 303 с.
5. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко [и др.]. – Киев: Наука. – 1960. – 283 с.
6. Справочник машиностроителя: в 3 т. Т. 1. / Гл. ред. тома проф., д-р техн. наук М.А. Саверин. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1951. – 1036 с.

УДК 631.333:631.862

**Л.Я. Степук, А.А. Жешко,
Э.В. Дыба**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по
механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

ОБОСНОВАНИЕ ТИПА РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ ЖИДКОГО НАВОЗА

Введение

Внесение жидкого навоза осуществляют внутрипочвенным или поверхностным способами. Внутрипочвенное внесение выполняется специальными комбинированными машинами. Процесс внутрипочвенного внесения навоза происходит следующим образом. Во время движения машины рабочий орган образует канавку (щель, полость), размеры которой зависят от его типа, конструктивных и кинематических параметров. Навоз, находящийся в цистерне, подается по трубопроводам в делительную головку, ротор которой, вращаясь, распределяет навоз в равных количествах по выливным шлангам. Концы шлангов прикреплены к рабочим органам таким образом, чтобы навоз из них непрерывно заполнял проделываемые в почве канавки. Объем подаваемого навоза должен быть равен объему образованной канавки.