УДК 631.33.022.65:631.82

Л.Я. Степук, В.В. Микульский

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

СОГЛАСОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДАЮЩИХ ТРАНСПОРТЕРОВ И ШНЕКОВЫХ РАСПРЕДЕЛЯЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ УДОБРЕНЧЕСКИХ МАШИН

Введение

С каждым годом на международных выставках растет количество экспонируемых штанговых машин для внесения минеральных удобрений со шнековыми распределяющими рабочими органами. Образцы данных машин представляют такие известные фирмы, как Amazone, Streumaster, Rauch (Германия), Bredal и Sulky (Франция).

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» также разработан ряд штанговых машин, надо сказать, задолго до появления зарубежных аналогов. Например, для внесения пылевидных известковых удобрений созданы машина полуприцепная МШХ-9 и самоходная МХС-10; для внесения основных и подкормочных доз твердых минеральных удобрений – прицепная МШВУ-18 и навесная РШУ-18. Две последних машины и в настоящее время не имеют аналогов в мире.

Использование шнековых распределяющих рабочих органов, состоящих из кожуха, в нижней части которого выполнены отверстия с определенным шагом, винта и регулируемого привода, по сравнению с центробежными позволяет до минимума свести влияние таких факторов, снижающих качество внесения удобрений , как неровность рельефа поля, ветер, положение распределяющих рабочих органов относительно поверхности поля, физико-механические свойства удобрений, в том числе их гранулометрический состав.

Для получения высокого качества распределения удобрений по полю такими машинами необходимо обеспечить подачу удобрений на шнековый распределяющий рабочий орган, по существу представляющий собой многопоточный дозатор, непрерывным и равномерным потоком. Для выполнения данного условия необходимо согласовать между собой конструктивные и кинематические параметры подающего транспортера и шнекового распределяющего рабочего органа.

Основная часть

Основное назначение подающего цепочно-планчатого (цепочно-прутковое) транспортера в прицепной машине для внесения твердых минеральных удобрений заключается в непрерывной и равномерной подаче из кузова (бункера) удобрений в зону дозирования, где после прохождения через дозирующие заслонки происходит формирование заданной дозы и последующая ее подача на туконаправитель и далее в распределяющий ра-

бочий орган. При этом параметры подающего транспортера и шнекового распределяющего рабочего органа должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить укладку удобрений на винт неразрывным и равномерным потоком [1, с. 244–245].

Это условие выполняется, если скорость перемещения минеральных удобрений винтом шнека $\vartheta_{ш.н.}$ будет равна (рисунок 1):

$$\vartheta_{ш.н.} = \frac{b_{ц.п.}}{T_{под.}}, \qquad (1)$$

где $b_{ц.п.}$ – ширина цепочно-планчатого транспортера, *м*;

$T_{под.}$ – время подачи планкой транспортера одной порции удобрений в распределяющую штангу, *с*.

Время $T_{под.}$ определяется по формуле:

$$T_{под.} = t_n + t_1 + t_m + t_2, \qquad (2)$$

где t_n – время прохождения планкой одного шага, *с*;

t_1– время падения удобрений с транспортера на туконаправитель, *с*;

t_m– время движения удобрений по наклонной плоскости туконаправителя, *с*;

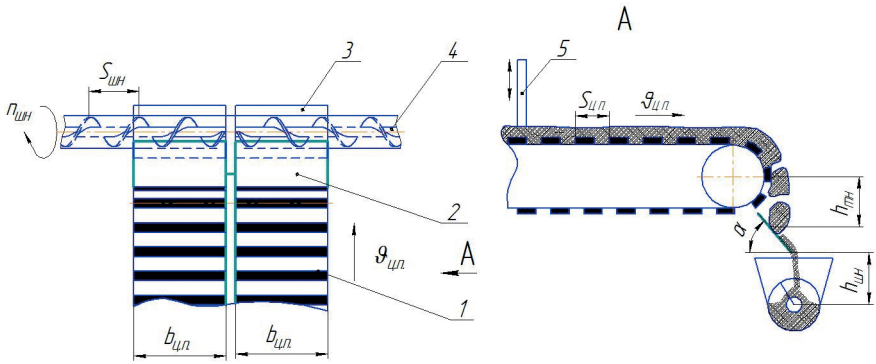
t_2– время падения удобрений с туконаправителя до оси шнека, *с*.

Время t_n рассчитывается по формуле:

$$t_n = \frac{S_{ц.п.}}{\vartheta_{ц.п.}}, \qquad (3)$$

где $S_{ц.п.}$ – шаг планок транспортера, *м*;

$\vartheta_{ц.п.}$ – линейная скорость подающего транспортера, *м/с*.



1 – подающий цепочно-планчатый транспортер; 2 – туконаправитель;
3 – загрузочная горловина распределяющей штанги; 4 – винт;
5 – дозатор шиберный

Рисунок 1. – **Схема подачи минеральных удобрений цепочно-планчатым транспортером в распределяющую штангу**

В современных машинах подача удобрений к распределяющим рабочим органам осуществляется скребковым или прутковым транспортером, у которого [2, с. 40–41]

$$\frac{S_{ц.п.}\vartheta_{м}}{\vartheta_{ц.п.}} > 10\,м,$$

где $\vartheta_{м}$ – скорость машины, *м/с*.

У кузовных машин транспортер, подающий удобрения к дозирующей заслонке, работает как транспортер сплошного волочения. Поэтому материал после него выносится непрерывным и относительно равномерным потоком. Но разгрузка транспортера и подача материала в туконаправитель осуществляется не непрерывно, а порциями. Происходит это потому, что линейная скорость подающего транспортера значительно меньше скорости движения машины. Поэтому объем материала в межпрутковом пространстве при подходе к месту разгрузки (к закруглению) некоторое время удерживается в общем массиве, затем обрушается порциями.

Точка сброса удобрений будет находиться в зоне закругления транспортера под некоторым углом отрыва, когда нормальная реакция частицы равна нулю. Тогда время, затрачиваемое на падение удобрений на туконаправитель, можно определить по известной формуле [3, с. 18]:

$$t_1 = \frac{\vartheta_{к} - \vartheta_0}{g}, \tag{4}$$

где $\vartheta_{к}$ – скорость частицы удобрения в момент соприкосновения с туконаправителем, *м/с*;

ϑ_0 – начальная скорость частицы удобрения в момент достижения точки сброса, равная скорости подающего транспортера, *м/с*;

g – ускорение свободного падения, *м/с*^{2}.

Скорость частицы удобрения в момент соприкосновения с туконаправителем можно определить также по известной формуле [3, с. 18]:

$$h_{тн.} = \frac{\vartheta_{к}^2 - \vartheta_0^2}{2 \cdot g}, \tag{5}$$

где $h_{тн.}$ – расстояние от начала падения частицы удобрения до точки соприкосновения с туконаправителем, *м*.

Тогда, выразив из формулы (5) скорость $\vartheta_{к}$ и подставив в формулу (4), получим:

$$t_1 = \frac{\sqrt{\vartheta_{ц.п.}^{\;2} + 2 \cdot h_{тн.} \cdot g} - \vartheta_{ц.п.}}{g}. \tag{6}$$

Согласно [4, с. 92–94], время движения частицы удобрения по наклонной плоскости туконаправителя t_m определяется по формуле:

$$t_m = \frac{\left(\vartheta_{вых.} - \vartheta_0\right) \cdot cos\varphi}{g \cdot sin\left(\alpha - \varphi\right)}, \tag{7}$$

где $\vartheta_{вых}$ – скорость частицы удобрения в момент схода с туконаправителя, *м/с*;

ϑ_0 – скорость частицы удобрения в момент соприкасания с туконаправителем, *м/с*;

φ – угол трения скольжения частицы удобрения о поверхность туконаправителя, *град.*;

α – угол наклона туконаправителя, который должен быть всегда больше угла φ (для устранения образования затора), *град*.

Так как в нашем случае удобрения сходят с туконаправителя под углом α с начальной скоростью $\vartheta_{вых}$, то время падения удобрений с туконаправителя до оси штанги можно определить, преобразовав формулу (6):

$$t_2 = \frac{\sqrt{\left(\vartheta_{вых.} \cdot \sin\alpha\right)^2 + 2 \cdot h_{шн.} \cdot g} - \vartheta_{вых.} \cdot \sin\alpha}{g}, \tag{8}$$

где $h_{шн.}$ – расстояние от туконаправителя до оси штанги, *м*.

Полное время подачи можно найти, подставив в формулу (2) формулы (3), (6), (7), (8). Получим:

$$T_{под.} = \frac{S_{ц.п.}}{\vartheta_{ц.п.}} + \frac{\sqrt{\vartheta_{ц.п.}{}^2 + 2 \cdot h_{тн.} \cdot g} - \vartheta_{ц.п.}}{g} + \frac{\left(\vartheta_{вых.} - \vartheta_0\right) \cdot \cos\varphi}{g \cdot \sin\left(\alpha - \varphi\right)} + \\ + \frac{\sqrt{\left(\vartheta_{вых.} \cdot \sin\alpha\right)^2 + 2 \cdot h_{шн.} \cdot g} - \vartheta_{вых.} \cdot \sin\alpha}{g}. \tag{9}$$

Тогда скорость образования винтовой поверхности шнека, согласно формуле (1), будет равна:

$$\vartheta_{ш.н.} = \frac{b_{ц.п.}}{\frac{S_{ц.п.}}{\vartheta_{ц.п.}} + \frac{\sqrt{\vartheta_{ц.п.}{}^2 + 2 \cdot h_{шн.} \cdot g} - \vartheta_{ц.п.}}{g} + \frac{\left(\vartheta_{вых.} - \vartheta_0\right) \cdot \cos\varphi}{g \cdot \sin\left(\alpha - \varphi\right)} + \frac{b_{ц.п.}}{+\frac{\sqrt{\left(\vartheta_{вых.} \cdot \sin\alpha\right)^2 + 2 \cdot h_{шн.} \cdot g} - \vartheta_{вых.} \cdot \sin\alpha}{g}}}. \tag{10}$$

Работу штанги можно представить как работу многопоточного дозатора, в котором процесс перемещения материала совмещен с расходом (дозированием) по его длине через дозирующие высевные устройства, расположенные в днище кожуха. При этом происходит три взаимосвязанных поочередных процесса (прием удобрений, перемещение внутри кожуха шнека винтом и дозирование), характеризующихся производительностью подающего цепочно-планчатого транспортера $Q_{ц.п.}$, распределяющего рабочего органа $Q_{шн.}$ и всех дозирующих высевных устройств $Q_{д.}$ соответственно.

В этом случае для обеспечения достаточного питания высевающих устройств по всей длине одной штанги необходимо, чтобы выполнялось следующее условие:

$$Q_{ц.п.} \leq Q_{шн.} > Q_{д.}, \quad (11)$$

причем

$$Q_{ц.п.} > Q_{д.}. \quad (12)$$

В связи с тем, что любая машина должна обеспечивать внесение удобрений в широком диапазоне доз, дальнейшее согласование параметров выполним, исходя из условия обеспечения внесения максимальной погектарной дозы. Тогда, чтобы обеспечить внесение меньших доз, необходимо в конце штанги предусматривать установку датчика уровня удобрений над последним дозирующим устройством, который должен отключать и включать привод подающих транспортеров и винта штанги. Такая схема работы распределяющего рабочего органа предполагает наличие между шнеком и дозирующими устройствами накопительных емкостей для запаса удобрений на время отключения привода штанги.

Производительность цепочно-планчатого транспортера определяется по формуле [5, с. 165]:

$$Q_{ц.п.} = \vartheta_{ц.п.} \cdot b_{ц.п.} \cdot h \cdot \gamma \cdot k, \quad (13)$$

где h – высота транспортируемого слоя удобрений цепочно-планчатым транспортером, *м*;

γ – насыпная плотность удобрения, *кг/м*^{3};

k – поправочный коэффициент.

Суммарная производительность дозирующих высевных устройств на одной штанге определяется по формуле:

$$Q_{д.} = \frac{2,777 \cdot 10^{-5} D_{\max.вн.} \cdot B_р \cdot V_р}{2}, \quad (14)$$

где $D_{max.вн.}$ – максимальная доза внесения удобрений, *кг/га*;

$B_р$ – рабочая ширина захвата машины, *м*;

$V_р$ – рабочая скорость агрегата, *км/ч*.

Подставив в формулу (12) формулы (13) и (14), получим:

$$\vartheta_{ц.п.} \cdot b_{ц.п.} \cdot h \cdot \gamma \cdot k > 2,777 \cdot 10^{-5} \cdot D_{вн.} \cdot B_р \cdot V_р. \quad (15)$$

Тогда скорость перемещения цепочно-планчатого транспортера, при которой будет обеспечиваться требуемая производительность $Q_{ц.п.}$:

$$\vartheta_{ц.п.} > \frac{2,777 \cdot 10^{-5} D_{\max.вн.} \cdot B_р \cdot V_р}{2 \cdot b_{ц.п.} \cdot h \cdot \gamma \cdot k}. \quad (16)$$

Окончательную формулу для определения скорости перемещения удобрений винтом штанги найдем, подставив в формулу (10) формулу (16), и с учетом условия (11) и некоторых преобразований получим:

$$\vartheta_{ш.н.} = \frac{2,777 \cdot 10^{-5} D_{\max.вн.} \cdot B_р \cdot V_р \cdot b_{ц.п.}}{2 \cdot b_{ц.п.} \cdot h \cdot \gamma \cdot k \cdot S_{ц.п.} + 2,777 \cdot 10^{-5} D_{\max.вн.} \cdot B_р \cdot V_р \cdot T}, \quad (17)$$

где

$$T = t_1 + t_m + t_2. \quad (18)$$

Скорость образования винтовой поверхности шнека также можно определить по формуле:

$$\vartheta_{ш.н.} = S_{ш.н.} + n_{ш.н.} \quad (19)$$

где $S_{ш.н.}$ – шаг винта штанги, *м*;

$n_{ш.н.}$ – частота вращения шнека, c^{-1}.

Тогда частота вращения винта штанги, при которой будет обеспечиваться требуемая производительность $Q_{шн.}$:

$$n_{ш.н.} = \frac{2,777 \cdot 10^{-5} D_{\max.вн.} \cdot B_p \cdot V_p \cdot b_{ц.п.}}{2 \cdot b_{ц.п.} \cdot h \cdot \gamma \cdot k \cdot S_{ц.п.} \cdot S_{ш.н.} + 2,777 \cdot 10^{-5} D_{\max.вн.} \cdot B_p \cdot V_p \cdot S_{ш.н.} \cdot T}. \quad (20)$$

Для перемещения сыпучих материалов в большинстве случаев шаг шнека $S_{ш.н.}$ равен диаметру D винта шнека, то есть $S_{ш.н.}/D = 1$, это отношение чаще всего применяется на практике [5, с. 183; 1, с. 193].

Диаметр винта шнека можно определить с достаточной точностью из формулы производительности $Q_{шн.}$ [6, с. 295]:

$$Q_{шн.} = 47 \cdot D^2 \cdot S_{ш.н.} \cdot n_{ш.н.} \cdot \psi \cdot \gamma \cdot c, \quad (21)$$

где D – наружный диаметр винта, *м*;

$n_{ш.н.}$ – частота вращения винта, *мин*$^{-1}$;

ψ – коэффициент заполнения кожуха шнека;

γ – насыпная плотность удобрения, *т/м*^{3};

c – коэффициент, учитывающий угол наклона оси винта к горизонту.

Подставив формулы (13) и (21) в неравенство (11) и сделав преобразования, получим формулу для определения диаметра винта штанги:

$$D \geq \sqrt{\frac{\vartheta_{ц.п.} \cdot b_{ц.п.} \cdot h \cdot k}{0,785 \cdot \vartheta_{ш.н.} \cdot \psi \cdot c}}. \quad (22)$$

Выводы

1. Полученное выражение (20) позволяет согласовать конструктивные и кинематические параметры подающего транспортера и многопоточного штангового распределителя удобрений, обеспечивающих непрерывную и равномерную подачу удобрений из кузова машины в штангу.

2. Обоснование вместимости накопительных емкостей между кожухом штанги и дозирующими устройствами является предметом отдельного научного исследования.

30.06.2015

Литература

1. Степук, Л.Я. Механизация получения и применение многокомпонентных сельскохозяйственных материалов / Л.Я. Степук. – Минск: Урожай, 1990. – 311 с.

2. Степук, Л.Я. Механизация процессов химизации и экология / Л.Я. Степук, И.С. Нагорский, В.П. Дмитрачков. – Минск: Ураджай, 1993. – 272 с.
3. Гольман, Л.П. Физика: учеб. пособие / Л.П. Гольман. – Минск, 2004. – 89 с.
4. Василенко, П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – Киев: Изд-во Украинской Академии сельскохозяйственных наук, 1960. – 283 с.
5. Степук, Л.Я. Построение машин химизации земледелия / Л.Я. Степук, А.А. Жешко; Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2012. – 443 с.
6. Гурфинкель, М.А. Транспортные погрузочно-разгрузочные машины в химической промышленности / М.А. Гурфинкель, С.Ф. Сорокин, Л.Г. Умековский. – Ленинград, 1960. – 496 с.

УДК 631.33.022

Б.Х. Ахалая, В.А. Колос

(ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства» (ФГБНУ ВИМ)
г. Москва, Российская Федерация

Н.Д. Лепешкин

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

РАЗРАБОТКА ДВУХДИСКОВОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ДЛЯ СОВМЕЩЕННОГО ПОСЕВА

Введение

Одним из перспективных направлений интенсивного земледелия принято считать применение совмещенных посевов сельскохозяйственных культур. В ВИМе разработана конструкция пневматического высевающего аппарата секции сеялки для пунктирного высева калиброванных и некалиброванных семян кукурузы, подсолнечника, клещевины, сорго, сои, а также семян кормовых бобов, фасоли как совмещенным, так и пунктирным способами [1] (рисунок 1). Испытания выявили некоторые его недостатки:

а) в процессе удаления лишних семян из конической ячейки нередко удаляются все семена, что недопустимо, так как нарушается схема посева и снижается урожайность;

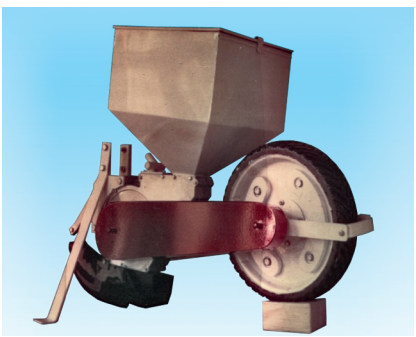


Рисунок 1. – **Секция сеялки для совмещенного посева**