

Согласно ТУ 100230575.451–2014 на машину для внесения полужидкого навоза МПН-16, размер твердых включений, присутствующих в навозе, не должен превышать 50 мм. Поэтому для беспрепятственного прохождения полужидкого навоза через выпускное окно, особенно при минимальных дозах внесения, когда заслонка открыта на минимальную величину, его высота *ad* должна быть вдвое больше размера допустимых частиц, то есть 100 мм. Длина *ab* выпускного окна должна определяться с учетом обеспечения максимальной дозы внесения. Поскольку выпускное окно соединяется с кожухом крыльчатки, его габариты не должны превышать линии, описываемой концами лопастей последней, обеспечивая тем самым беспрепятственное поступление навоза в кожух крыльчатки, а верхняя граница должна быть на уровне дна резервуара, для обеспечения его полного опорожнения.

27.10.2016

Заключение

Дозирование полужидкого навоза через выпускное окно прямоугольной формы, с изменением его проходного сечения вдоль горизонтальной осевой линии в зависимости от вносимой дозы, значительно повысит точность дозирования полужидких органических удобрений и в конечном итоге – качество распределения по поверхности поля.

Литература

1. Material spreader: US 3618824, Int. Cl. A01C3/06 / J.A. Brown, J.C. Thompson, J.J. Kennedy; Sperry Rand Corporation. – Appl. No. 756478; Fild 30.08.1968; Patented 09.11.1971.
2. Epandeur de produits pateaux ou semi-pateaux: FR 2710491, Int. Cl. A01C3/06, B60P3/22, B05C11/10, B65D88/68 / MAUGUIN (SA). – No. d'enreg. national 9311763, date de la deport: 28.09.93; date de la demande: 07.04.95.
3. Рабочий орган машины для разбрасывания органических удобрений: пат. RU 2237394, МПК7 А01С3/06 / Г.И. Стригин, А.И. Еськов, В.В. Рябков, Л.Н. Матвеева, К.К. Каскин; заявитель ГНУ Всерос. научно-исслед., констр. и проектно-технологич. институт органич. удобрений и торфа. – № 2002129994/12; заявл. 12.11.2002; опубл. 10.10.2004. // Изобретения. Полезные модели / Официальный бюллетень ФГУ ФИПС.

УДК 631.362.3:633.491

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

В.Н. Еднач
(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)

**РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ
ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
РОЛИКОВОГО КАЛИБРАТОРА**

Введение

В процессе послеуборочной доработки картофеля наибольшее влияние на качество закладываемого на хранение урожая оказывает операция сортирования. При сортировании удаляются растительные остатки и почвенные загрязнения, происходит разделение клубней картофеля на размерные фракции.

Показателями качества процесса разделения являются: точность разделения, повреждения, наносимые клубням рабочими органами, производительность машины в целом.

Рассматривая роликовые калибрующие поверхности с продольным расположением рабочих органов, необходимо отметить высокую точность разделения на фракции, минимальную повреждаемость клубней, но при этом сравнительно низкую производительность, что вызвано застреванием клубней в рабочих зазорах роликовой

поверхности, в результате чего значительно снижается скорость движения вороха вдоль роликов и уменьшается производительность поверхности.

Основная часть

Рассмотрим движение клубней по роликовой наклонной калибрующей поверхности. Клубень движется во впадине между вращающимися роликами, расположенными под наклоном. В результате исследования траектории движения клубня, выполненного в рамках предварительных опытов, было установлено, что точки поверхности клубня описывают спираль. Форма спирали в большей степени зависит от формы клубня, угла наклона поверхности и частоты вращения роликов.

Для упрощения анализа предположим, что клубень имеет шарообразную форму, тогда траектория движения точки на его поверхности будет иметь вид, представленный на рисунке 1.

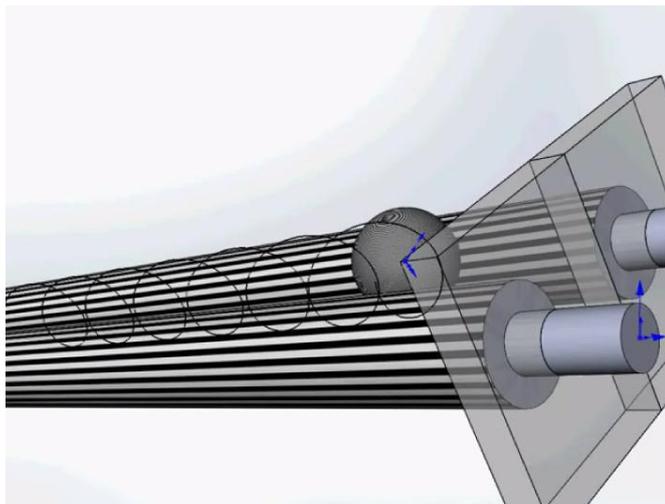


Рисунок 1. – Винтовая траектория, описываемая точкой на поверхности клубня при его движении между роликами

Рассматривая данную траекторию движения, необходимо отметить, что она образована благодаря сложению двух движений, первое из которых направлено вдоль впадины между роликами, второе – перпендикулярно оси вращения роликов.

Первое движение осуществляется за счет силы тяжести, заставляющей клубни скатываться вниз. Второе – за счет вращения роликов, при условии, что ролики вращаются в одном направлении. Рассматривать данный тип движения можно как результирующую двух скоростей.

Для нахождения параметров описываемой траектории точки рассмотрим более подробно саму винтовую линию (рисунок 2). В развертке один виток будет представлять линию, которая характеризуется углом подъема винтовой линии ψ , длиной окружности и шагом спирали H .

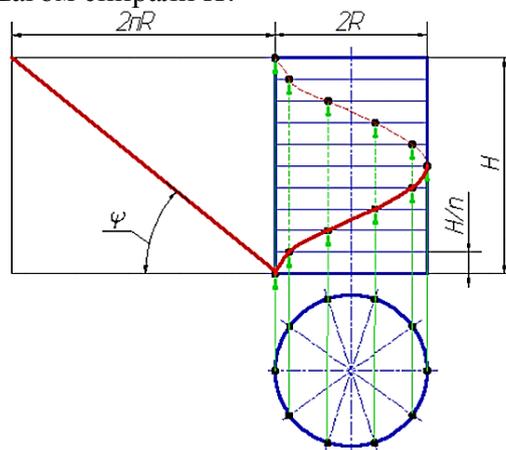


Рисунок 2. – Развертка цилиндрической винтовой линии

Таким образом, скорость движения точки может быть определена из условия траектории ее движения.

Скорость клубня в векторной форме будет иметь вид:

$$V_{\text{кл}} = \sqrt{V_{\text{вращкл}}^2 + V_{\text{кач}}^2},$$

где $V_{\text{вращкл}}$ – составляющая окружной скорости роликов, м/с;

$V_{\text{кач}}$ – составляющая поступательной скорости, м/с.

Угол наклона образующей спирали траектории движения ψ определим через тангенс угла наклона:

$$\tan \psi = \frac{V_{\text{кач}}}{V_{\text{вращкл}}}.$$

Рассмотрим зависимость угловой частоты вращения клубня $\omega_{\text{кл}}$ от частоты вращения ролика $\omega_{\text{р}}$:

$$V_{\text{вращкл}} = \omega_{\text{кл}} \cdot r_{\text{к}} = \omega_{\text{р}} \cdot R_{\text{р}},$$

где $r_{\text{к}}$ – усредненный радиус клубня картофеля, м;

$R_{\text{р}}$ – радиус ролика, м.

С учетом частоты вращения ролика

$$V_{\text{вращкл}} = \frac{n \cdot \pi \cdot R_{\text{р}}}{30},$$

где n – число оборотов роликов, мин^{-1} .

Рассмотрим скорость движения клубня вдоль роликов как движение материальной точки (рисунок 3).

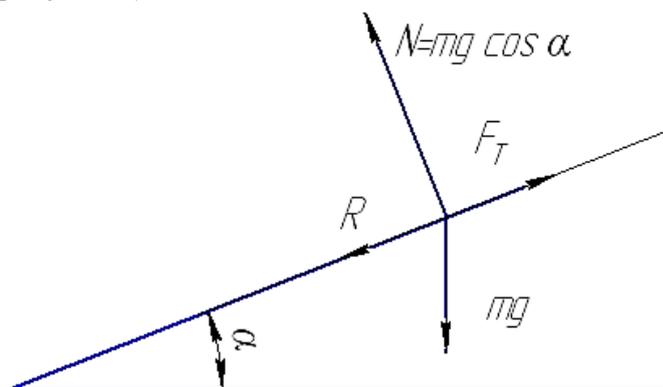


Рисунок 3. – Силы, действующие на клубень вдоль роликов

На клубень, находящийся на наклонной поверхности во впадине между роликами, действуют сила тяжести и трения. Суммарная сила, обеспечивающая движение клубня в сторону схода, может быть определена как

$$F = m \cdot g \cdot \sin \alpha - f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha,$$

где m – масса клубня, кг;

g – ускорение свободного падения, кг/с ;

α – угол установки поверхности, град. ;

f – коэффициент трения клубня о материал поверхности.

Рассмотрим ускорение как

$$a = F / m. \tag{1}$$

Поскольку ускорение – это разность скоростей,

$$a = \frac{V_{\text{конеч}} - V_{\text{нач}}}{t}, \tag{2}$$

где $V_{\text{конеч}}$ – конечная скорость, м/с;

$V_{\text{нач}}$ – начальная скорость, м/с;

t – время движения на контрольном участке, с.

Приравняв формулы (1) и (2), получим:

$$\frac{F}{m} = \frac{V_{\text{конеч}} - V_{\text{нач}}}{t}.$$

Время изменения скорости можем определить исходя из длины контрольного участка L поверхности.

$$L = V \cdot t = \frac{a \cdot t^2}{2},$$

где V – скорость перемещения клубней вдоль роликов, м/с.

Отсюда выразим время как

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot L}{a}}. \quad (3)$$

$$V_{\text{конеч}} - V_{\text{нач}} = a \cdot t.$$

$$t = \frac{V_{\text{конеч}} - V_{\text{нач}}}{a}. \quad (4)$$

Приравняв формулы (3) и (4), получим:

$$\frac{V_{\text{конеч}} - V_{\text{нач}}}{a} = \sqrt{\frac{2 \cdot L}{a}}.$$

Выразим конечную скорость как

$$V_{\text{конеч}} = a \sqrt{\frac{2 \cdot L}{a}} + V_{\text{нач}} = \sqrt{2 \cdot a \cdot L} + V_{\text{нач}}. \quad (5)$$

Если принять скорость движения в начале $V_{\text{нач}} = 0$ м/с, то уравнение (5) примет вид:

$$V_{\text{конеч}} = \sqrt{2 \cdot a \cdot L}. \quad (6)$$

Подставим значение формулы (1) в (6), получим:

$$V_{\text{конеч}} = \sqrt{2 \cdot L \cdot \frac{F}{m}} = \sqrt{2 \cdot L \cdot \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha - f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha}{m}}.$$

$$V_{\text{конеч}} = \sqrt{2 \cdot L \cdot g (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha)}.$$

Таким образом, скорость клубня определим как

$$V_{\text{кл}} = \sqrt{\left(\frac{n \cdot \pi \cdot R_g}{30}\right)^2 + 2 \cdot L \cdot g (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha)}.$$

Угол наклона образующей спирали траектории движения ψ определим:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{30 \sqrt{2 \cdot L \cdot g (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha)}}{n \cdot \pi \cdot R_g}. \quad (7)$$

Анализируя схему развертки спирали (рисунок 2), можем определить шаг спирали:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{2 \pi \cdot R_g}{H}. \quad (8)$$

Таким образом, подставляя значения в выражение (7), можем определить угол витка спирали, определяемый исходя из кинематических режимов работы калибрующей поверхности.

Однако необходимо учитывать возможное защемление клубней витком спирали, которое приводит к протаскиванию клубней в щели, к их деформации и повреждению. Для предотвращения данного эффекта угол спирали должен быть больше либо равен углу трения ϕ клубней о материал ролика.

$$\psi \geq \varphi. \quad (9)$$

В случае если условие (9) выполняется, шаг спирали можем определить, подставляя (7) в (8):

$$H = \frac{\pi \cdot R_g \cdot 30 \sqrt{2 \cdot L \cdot g(\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha)}}{n \cdot 2\pi \cdot R_g} = \frac{15 \sqrt{2 \cdot L \cdot g(\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha)}}{n}. \quad (10)$$

Из полученной формулы мы видим прямую зависимость шага спирали от частоты вращения роликов.

Если условие (9) не выполняется, приравняв угол трения углу наклона витка спирали ($\varphi = \psi$), из выражения (8) определим шаг спирали как

$$H = \frac{2\pi \cdot R_g}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (11)$$

После подстановки в выражение (11) значений параметров машины: длина поверхности – 0,8 м; коэффициент трения картофеля о ролики – 0,25...0,7; частота вращения роликов – 80...150 мин⁻¹ [4], шаг спирали составит 140...400 мм. С другой стороны, при подстановке указанных параметров в выражение (10) оптимальный шаг спирали составит 60...100 мм.

Это позволяет сделать вывод, что угол наклона витка спирали должен быть заведомо больше угла трения.

Исходя из заданного угла наклона спирали и, соответственно, шага, производительность поверхности может быть определена как функция скорости перемещения клубней вдоль роликов [3].

$$V = H \cdot n \cdot (1 - 0,01k),$$

где k – коэффициент проскальзывания клубней над спиралью, %.

$$Q = 3,6B \cdot d_{cp} \cdot V \cdot \tau \cdot \gamma, \quad (12)$$

где Q – производительность поверхности, т/ч;

B – ширина поверхности, м;

d_{cp} – средний диаметр клубня, м;

τ – коэффициент заполнения поверхности (0,7...0,8) [4];

γ – плотность массы, (650...750 кг/м³) [4].

Подставляя в (12) формулы (9) и (10), получим:

$$Q = 3,6B \cdot d_{cp} \cdot H \cdot n \cdot (1 - 0,01k) \cdot \tau \cdot \gamma.$$

Анализируя полученные выражения, можно сделать вывод о целесообразности использования в конструкции калибрующих поверхностей роликов со спиральной навивкой.

Для подтверждения теоретических исследований нами были проведены опыты на лабораторной установке с продольным положением роликов калибрующей поверхности. Процесс разделения осуществляется по толщине клубней. Конструкция установки позволяет получить разный шаг изменения рабочих параметров калибрующей поверхности и подающего транспортера для реализации многофакторных экспериментов.

Состав картофельного вороха, подготовленного к проведению опытов, подобран на основании корреляционной таблицы веса и толщины клубней сорта Скарб, собранного с контрольного участка: клубни крупной фракции (свыше 80 г) – 35,8 %; средней фракции (51–80 г) – 33,9 %; мелкой фракции (до 50 г) – 30,3 %.

С позиции системного анализа калибрующее устройство можно представить в виде сложной кибернетической многомерной системы с входом и выходом [1]. Выходной блок этой системы представляет собой агротехнические показатели разделения клубней по фракциям, оцениваемые коэффициентом точности сортирования.

Входной блок включает управляющие факторы, влияющие на выходные показатели системы. Исследование функционирования таких систем сводится к установлению и анализу математических моделей зависимости агротехнических показателей качества работы калибрующего устройства от входных факторов.

Входной блок математической модели калибрующей поверхности включает три группы факторов:

- 1) кинематические: i – передаточное отношение механизма привода роликов;
- 2) конструктивные: α , град. – угол наклона калибрующей поверхности; L – рабочая длина калибрующей поверхности;
- 3) технологические: q – секундная подача картофельного вороха.

Выходными параметрами модели являются: r_{Σ_i} – коэффициент точности сортирования по каждой фракции; r – общий коэффициент точности сортирования.

Эти коэффициенты вычисляем следующим образом:

$$r_{\Sigma_i} = \frac{m_i}{m_{\phi i}} \cdot 100 \% ,$$

где $m_{\phi i}$ – общая масса клубней, выделенных в данную фракцию.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^z m_i}{m_{\Sigma}} \cdot 100 \% ,$$

где z – число фракций;

m_{Σ} – суммарная масса клубней всех фракций;

m_i – масса клубней, оказавшихся в данной фракции и отвечающих ее требованиям.

Калибрующее устройство выполняет разделение клубней на две фракции, и поэтому секундная подача картофельного вороха q представлена как сумма этих фракций:

$$q = m_{\Sigma} = m_K + m_C ,$$

где m_{Σ} – суммарная масса клубней всех фракций;

m_K – масса клубней крупной фракции;

m_C – масса клубней средней (просеиваемой) фракции.

Математическая модель, описывающая зависимость между входными факторами и выходными параметрами процесса сортирования, находилась в виде уравнения регрессии второго порядка. Для проведения экспериментов выбран ортогональный центральный композиционный план [2] для факторов X_1 – X_3 , выполненный тремя блоками для каждого уровня фактора X_4 . Уровни факторов в натуральных и нормированных координатах приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Уровни варьирования факторов

Уровни варьирования	Нормированные значения	Факторы			
		$X_1 (i)$	$X_2 (\alpha), \text{град.}$	$X_3 (q), \text{кг/с}$	$X_4 (L), \text{см}$
Верхний	+1	0,9	45	3,61	120
Основной	0	0,8	30	2,92	80
Нижний	-1	0,7	15	2,23	60

В результате статистической обработки данных эксперимента получены адекватные уравнения регрессии, определяющие зависимость точности разделения клубней картофеля на фракции от варьируемых факторов в нормированных координатах.

Точность выделения клубней мелкой фракции на калибрующей поверхности длиной 60 см описывается уравнением вида:

$$r = 85,04 + 3,57X_1 - 0,13X_2 + 3,99X_3 - 1,75X_1X_2 - 4,38X_1X_3 - 2,24X_2X_3 - 0,45X_1^2 - 2,44X_2^2 - 2,43X_3^2.$$

Точность выделения клубней крупной фракции на калибрующей поверхности длиной 60 см описывается уравнением вида:

$$r = 93,96 - 6,16X_1 - 3,50X_2 - 0,58X_3 - 1,75X_1X_2 - \\ - 0,83X_1X_3 - 8,25X_1^2 - 2,44X_2^2 - 0,17X_2X_3 - 0,36X_3^2.$$

Заключение

Анализ полученных результатов указывает на существенное влияние передаточного отношения роликовой поверхности на качественные показатели процесса калибрования. С увеличением длины калибрующей поверхности точность выделения сходящей фракции увеличивается, а проходной – уменьшается.

Установлена критическая величина угла наклона калибрующей поверхности в 35 градусов, после увеличения которой резко ухудшается точность разделения картофеля на фракции.

При уменьшении подачи картофельного вороха ниже оптимальной величины снижается точность разделения клубней на фракции. Это вызвано тем, что на более свободной калибрующей поверхности клубни в большей степени перемещаются относительно элементов, при этом из-за повышенной скорости вероятность их прохода в отверстия снижается.

В результате опытов установлено, что качественное разделение клубней картофеля на фракции достигается при длине калибрующей поверхности для выделения проходящей средней фракции 60 см, для выделения крупной – 120 см, угол наклона калибрующей поверхности – от 20 до 24 градусов.

Полученные уравнения регрессии позволяют выявить, что из варьируемых факторов наибольшее влияние на качество разделения оказывает передаточное отношение. При выделении крупной фракции оптимальной является конструкция калибрующей поверхности с передаточным отношением механизма привода роликов $i = 0,75$, средней – 0,92.

Установлено, что в одинаковых условиях точность калибрования крупной фракции выше, чем средней (~95 % против ~85 %, согласно свободному члену уравнения).

11.11.2016

Литература

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Изд-во «Наука», 1976. – 278 с.
2. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей (справочное издание) / В.З. Бродский [и др.]. – М: Металлургия, 1982. – 752 с.
3. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные машины: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Н.И. Кленин. – М.: Колос, 2008. – 816 с.
4. Колчин, Н.Н. Комплексы машин и оборудования для послеуборочной обработки картофеля и овощей / Н.Н. Колчин. – М.: Машиностроение, 1982. – 268 с.