

$$F_2 = (M_M + M_{PO} + M_O)\omega_n^2 R_n + g(M_M + M_{PO})(f_{CT} + \sin\theta) + \frac{\pi \rho d^3 g (e^{4f_{CT} k_b H k_3 k_k k_n - 1}) \cdot (f_{CT} + \sin\theta)}{4k_b}, \quad (10)$$

где ω_n – угловая скорость звездочки поворотного устройства, с⁻¹; R_n – радиус поворотного устройства, м; M_O – масса материала в межскребковом пространстве материалопровода, без M_M , кг.

Необходимая на привод мощность N (Вт) пропорциональна длине рабочей трубы L , поэтому целесообразно рассматривать не абстрактную необходимую на привод мощность, а мощность привода при работе с трубой, имеющей длину L (м).

Энергоемкость $N_{уд}$ (Дж/кг·м) определится:

$$N_{уд} = \frac{\nu(F_1 \cdot Z_1 + F_2 \cdot Z_2 \cdot n_2)}{Q_T \cdot L \cdot \eta}, \quad (11)$$

где Z_1 – количество межскребковых пространств, заполненных материалом на прямолинейном участке; Z_2 – количество межскребковых пространств, заполненных материалом в поворотном устройстве; n_2 – количество поворотных устройств; η – КПД привода.

Заключение. Теоретически обоснована форма чаши скребка в виде полусферы с углом относительно направляющей трубы не менее угла трения материала о стенки чаши; установлены выражения, позволяющие рассчитать основные параметры скребково-тросового конвейера.

Библиографический список

1. Сыроватка, В. И. Новые технические решения приготовления комбикормов в хозяйствах / В. И. Сыроватка, Н. В. Обухова, А. С. Комарчук // Кормопроизводство. – 2010. – №7. – С. 42-45.
2. Лянденбургский, В. В. Совершенствование канатно-скребкового кормораздатчика для птицы с обоснованием его конструктивно-режимных параметров : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Лянденбургский Владимир Владимирович. – Саратов, 1997. – 164 с.
3. Лянденбургский, В. В. Канатно-скребковый кормораздатчик для птицы / В. В. Лянденбургский, В. Н. Стригин // Птицеводство. – 2002. – №8. – С. 23-26.
4. Лянденбургский, В. В. Совершенствование канатно-скребкового кормораздатчика для птицы / В. В. Лянденбургский, В. Н. Стригин // Механизация и электрификация в сельском хозяйстве. – 2002. – №9. – С. 31-33.
5. Прохоров, А. В. Совершенствование букерного кормораздатчика для свиней с регулировкой захватывающей способностью шнековых дозаторов : дис....канд. техн. наук : 05.20.01 / Прохоров Алексей Владимирович. – Тамбов, 2001. – 139 с.
6. Пат. 2452173 Российская Федерация, А01К5/02 Раздатчик комбикормов / Повалихин Н. В., Андрюхина О. Л., Скоркин В. К. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. – №2010140068/13 ; заявл. 29.09.2010 ; опубл. 10.06.2012.
7. Кульпин, И. М. Обоснование режимов работы цепного кормораздатчика для птиц : дис... канд. техн. наук : 05.20.01 / Кульпин Илья Михайлович. – Уральск, 2003. – 163 с.

УДК 664.732.7

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДИСКОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ КОРНЕПЛОДОВ

Петрова Светлана Станиславовна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: ssaariz@mail.ru

Коновалов Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Теоретическая и прикладная механика», ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440039, Пензенская область, г. Пенза, проезд Байдукова, 1а.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Волков Сергей Васильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика», ФГБОУ ВПО Пензенский ГТУ.

440039, Пензенская область, г. Пенза, проезд Байдукова, 1а.

fpk_pgta@mail.ru

Воронова Инна Александровна, канд. с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА.

440014, Пензенская область, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: sha_penza@mail.ru

Ключевые слова: корнеплоды, клубнеплоды, измельчитель, ножи, энергоемкость, мощность, производительность.

Цель исследования – аналитически обосновать зависимости по определению основных показателей работы дискового ножевого измельчителя корнеплодов. Повышение молочной продуктивности коров требует

улучшения качества кормов, а также включения в состав рациона корнеклубнеплодов. Одной из обязательных операций подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию является их измельчение и последующее скармливание животным в минимальные сроки (до 2 ч) во избежание порчи. Для измельчения корнеклубнеплодов используются терки, молотковые, штифтовые, ножевые и др. измельчающие аппараты. Наиболее предпочтительным для измельчения чистых корнеплодов является дисковый ножевой измельчающий аппарат с горизонтальной осью вращения. В силу особенностей эксплуатации измельчителя в фермерских хозяйствах предполагается ручная загрузка корнеплодов в измельчающий аппарат. Для повышения производительности предлагается оригинальное загрузное устройство. Приводится описание дискового измельчителя корнеклубнеплодов для фермерских хозяйств с оригинальным загрузным устройством, которое обеспечивает принудительный подвод корня к ножам диска, увеличивая производительность процесса. Чрезмерное усилие прижатия приведет к излишнему прижатию корня к диску и росту энергоемкости процесса. Толщина ломтиков ограничивается величиной отгиба ножа от плоскости поверхности диска. При недостаточном усилии корень не доходит до диска, соответственно, толщина ломтика меньше, производительность устройства ниже, эффективная энергоемкость процесса снижается. Поэтому теоретический анализ рабочего процесса позволит определить его основные показатели. В статье дается теоретическое обоснование, и приводятся выражения, описывающие энергоемкость процесса, мощности привода, производительности устройства, толщины ломтиков частиц корней.

Повышение молочной продуктивности коров требует улучшения качества кормов, а также включения в состав рациона корнеклубнеплодов. Одной из обязательных операций подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию является их измельчение и последующее скармливание животным в минимальные сроки (до 2 ч) во избежание порчи. Соответственно, производительность измельчителя должна быть по возможности достаточно высокой, чтобы сократить длительность измельчения корнеплодов. Конструкция измельчителя должна обеспечивать низкие энергозатраты, соблюдение зоотребований на размер частиц (толщина ломтиков до 10 или 15 мм в зависимости от вида животных), предотвращение потерь кормов (в т.ч. за счет сока, т.е. избегать переизмельчения) [1-3].

Цель исследования – аналитически обосновать зависимости по определению основных показателей работы дискового ножевого измельчителя корнеклубнеплодов.

Задача исследования – определить теоретические выражения, описывающие энергоемкость процесса, мощность привода, производительность устройства и среднюю толщину ломтиков частиц корней.

Материалы и методы исследований. Для измельчения корнеклубнеплодов используются терки, молотковые, штифтовые, ножевые и др. измельчающие аппараты [1-8]. Наиболее предпочтительным, по мнению авторов, для измельчения чистых корнеплодов является дисковый ножевой измельчающий аппарат. Предлагается использовать подобный аппарат с горизонтальной осью вращения. В силу особенностей эксплуатации измельчителя в фермерских хозяйствах, предполагается ручная загрузка корнеплодов в измельчающий аппарат. Для повышения производительности используется загрузное устройство, представленное на рисунке 1 [9]. После закладки корня в приемный бункер 5, рукояткой осуществляется поворот прижимной лопасти 4 устройства в сторону вращающегося диска с ножами 3. Тем самым обеспечивается принудительный подвод корня к ножам 3 диска, обеспечивающий увеличение производительности. Чрезмерное усилие прижатия приведет к излишнему прижатию корня к диску и росту энергоемкости процесса. Толщина ломтиков ограничивается величиной отгиба ножа от плоскости поверхности диска. При недостаточном усилии корень не доходит до диска, соответственно толщина ломтика меньше, производительность устройства ниже, эффективная энергоемкость процесса снижается. Теоретический анализ рабочего процесса позволит определить его основные показатели.

Результаты исследований. Конструктивные и энергетические параметры обосновывались авторами в ряде работ [9, 10]. Однако функционально не выявлялась производительность устройства.

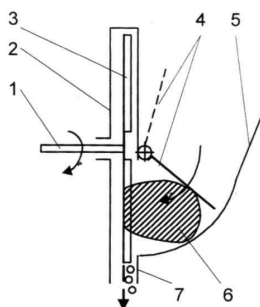


Рис. 1. Схема дискового ножевого измельчителя корнеплодов:

1 – вал привода; 2 – корпус измельчителя; 3 – диск с ножами; 4 – прижимная лопасть, шарнирно установленная на оси; 5 – приемный бункер; 6 – корнеплод; 7 – выгрузное отверстие для измельченных частиц

Для определения энергоемкости измельчения корнеклубнеплодов Y (Дж/кг) требуется знать затраченную энергию (работу) A (Дж) и массу приготовленного корма m (кг).

Соответственно [9]:

$$Y = \frac{A}{m} = \frac{A_1 + A_2}{m}, \quad (1)$$

где A_1 , A_2 – работа, затраченная на привод измельчающего аппарата и устройства подачи корнеплодов к измельчающему аппарату, Дж; m – масса измельченного корма, кг.

Учитывая, что масса корнеплодов одинакова, а подвод корнеплода осуществляется вручную и не связан с приводом измельчителя, можно записать:

$$Y = \frac{N}{Q}, \quad (2)$$

где N – мощность, необходимая на привод измельчителя, Вт; Q – производительность измельчителя, кг/с.

Потребная мощность привода измельчающего аппарата определится

$$N_1 = \frac{N_{\text{ИЗМ}} + N_{\text{АЭР}} + N_{\text{РАЗГ}} + N_{\text{ВЫГР}}}{\eta}, \quad (3)$$

где $N_{\text{ИЗМ}}$, $N_{\text{АЭР}}$, $N_{\text{РАЗГ}}$, $N_{\text{ВЫГР}}$ – мощность, необходимая соответственно на измельчение корнеплодов, на сопротивление воздуха, на разгон материала до скорости рабочего органа, на выгрузку корма из измельчителя, Вт; η – КПД привода рабочего органа.

Из указанных слагаемых достаточно постоянной величиной является мощность, необходимая на сопротивление воздуха, а остальные зависят от производительности измельчителя, причем существенно зависят от одной из ее составляющих – толщины срезаемых ломтиков. Чем тоньше ломтики, тем выше затраты энергии на резание. Чем толще ломтики, тем выше трение корнеплодов о диск измельчителя.

Производительность измельчителя (кг/с) может быть определена [10]:

$$Q = Z \cdot n \cdot \Delta \cdot a \cdot b \cdot k \cdot k_c \cdot \rho \cdot k_{\text{ис}}, \quad (4)$$

где Z – количество ножей измельчающего аппарата, шт.; n – частота вращения рабочего органа измельчителя, с⁻¹; Δ – толщина срезаемых ломтиков, м; a – ширина загрузочной горловины измельчающего аппарата, м; b – высота загрузочной горловины измельчающего аппарата, м; k – коэффициент, учитывающий пустоты между клубнями; k_c – коэффициент использования ножа; ρ – плотность вороха корнеплодов, кг/м³; $k_{\text{ис}}$ – коэффициент использования рабочего времени измельчающего аппарата, связанный с циклической подачей корнеплодов.

Однако данная формула не совсем корректна при используемом варианте работы предложенного измельчителя корнеплодов.

Так как фактически применяется порционная подача корнеплодов по циклам, поэтому производительность (кг/с) может определяться:

$$Q = \frac{M_k}{T_c} = \frac{N_k \cdot m}{T_{\text{и}} + T_{\text{п}} + T_{\text{д}}}, \quad (5)$$

где M_k – масса порции измельчаемых корнеплодов за смену, кг; T_c – длительность смены, с; m – средняя масса корнеплода, кг; N_k – количество измельчаемых корнеплодов, шт.; $T_{\text{и}}$ – длительность измельчения корнеплодов, с; $T_{\text{п}}$ – длительность операций по замене емкостей с корнеплодами, с; $T_{\text{д}}$ – длительность подготовительно-заключительных операций во время смены, с.

Длительность измельчения корнеплодов (с):

$$T_{\text{и}} = N_k \cdot (T_p + T_3), \quad (6)$$

где T_p – длительность резания корнеплода, с; T_3 – длительность закладки корнеплода, с.

Длительность резания (с) можно найти:

$$T_p = \frac{2R \cdot t}{\Delta_c}, \quad (7)$$

где R – радиус основания конуса корнеплода, м; Δ_c – толщина средней части ломтика, м.

Время между проходами ножа (с) составит:

$$t = \frac{2\pi}{\omega \cdot Z}. \quad (8)$$

Толщину средней части ломтика можно найти на основании рисунка 2,б. Если нож 2 отстоит от поверхности диска 1 на расстоянии z , то при малой частоте резания ножей ожидается наибольшая толщина ломтиков Δ (м). С ростом частоты вращения диска с ножами время t смещения корнеплода к диску будет сокращаться, соответственно толщина средней части ломтика Δ_c будет также уменьшаться.

При силовом воздействии (рис. 2,а) момента M прижимной лопасти 4 на корнеплод 5, возникнет сила воздействия лопасти F , расположенная на расстоянии R_i от оси вращения лопасти (т. С), а также ранее

существовавшая сила тяжести плода G . Под воздействием указанных сил корнеплод прижимается к днищу приемного бункера 6. Как результат возникает сила нормальной реакции днища N и производная от нее сила трения по днищу $F_{тр}$ (N). В результате на центр тяжести корнеплода (т. O) подействует сила инерции $F_{ин}$. Она будет стараться сместить корнеплод вдоль днища, т.к. его движение к днищу невозможно. В силу опоры корня о днище (т. A) дополнительно возникает вращение вокруг точки A . Т.е. корнеплод 5 начнет прокатываться по днищу приемного бункера 6 в сторону диска 1. Как результат, первый период длительностью t_1 – перемещение верхней части корнеплода по точкам 1-2-3-4-5, при минимальном сдвиге в районе т. O . При достижении верней части диска (т. 5), второй период длительностью t_2 – дальнейшее движение пройдет по точкам 6-7-8-9. В зависимости от имеющегося времени, движение прекратится по достижении лимита времени t . Для упрощения теоретических расчетов сделаем допущение о форме плода, близкой к цилиндру, лежащему вдоль плоскости диска.

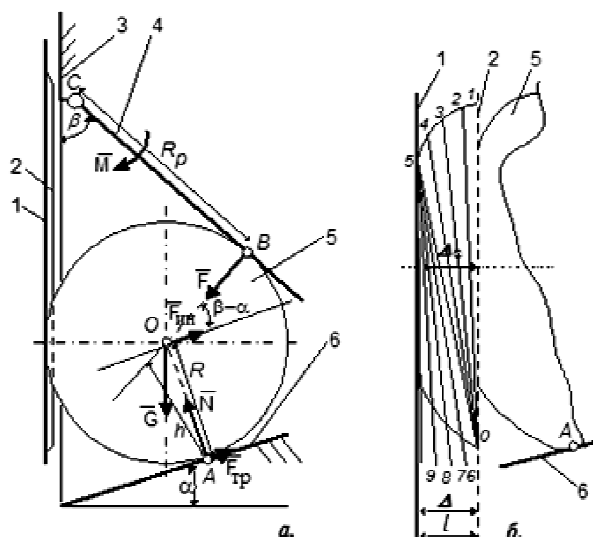


Рис. 2. Схема взаимодействия корнеплода и ножевого аппарата:

а – схема действующих сил; б – схема перемещений корнеплода между воздействиями ножа; 1 – диск; 2 – нож; 3 – корпус измельчителя; 4 – прижимная лопасть, шарнирно установленная на оси; 5 – корнеплод; 6 – приемный бункер

Нормальная реакция днища (N):

$$N = -G \cdot \cos \alpha - F \cdot \sin(\beta - \alpha), \quad (9)$$

где α – угол наклона днища от горизонтали, рад; β – угол наклона прижимной лопасти от вертикали, рад.

Сила инерции корнеплода (N):

$$F_{ин} = -G \cdot \sin \alpha - F \cdot \cos(\beta - \alpha). \quad (10)$$

Сила трения о днище (N):

$$F_{тр} = N \cdot f = f \cdot (-G \cdot \cos \alpha - F \cdot \sin(\beta - \alpha)), \quad (11)$$

где f – коэффициент трения корнеплода по днищу.

Вращающий момент корнеплода ($H \cdot m$):

$$M_k = F_{тр} \cdot R = f \cdot R \cdot (-G \cdot \cos \alpha - F \cdot \sin(\beta - \alpha)). \quad (12)$$

Угловое ускорение корнеплода (рад/с²):

$$\varepsilon = \frac{M_k}{J_s}. \quad (13)$$

Момент инерции корнеплода (кг·м²) [10]:

$$J_s = \Sigma(m_i \cdot r^2) = \Sigma \left(m_i \cdot \left(\frac{2}{3} R \cdot \frac{\sin(d\varphi)}{d\varphi} \right)^2 \right) = \frac{4}{9} m \cdot R^2, \quad (14)$$

где r – радиус центра тяжести элементарного сектора с центральным углом при вершине $\varphi \rightarrow 0$, м; m_i – масса элементарного сектора, кг.

Угловая скорость вращения корнеплода (рад/с):

$$\omega_k = \frac{9 \cdot t \cdot M_k}{4 \cdot m \cdot R^2} = \frac{9 \cdot t \cdot f \cdot (-G \cdot \cos \alpha - F \cdot \sin(\beta - \alpha))}{4 \cdot m \cdot R}. \quad (15)$$

Окружной путь вращения корнеплода (рад):

$$x_k = \frac{9 \cdot t^2 \cdot f \cdot (-G \cdot \cos \alpha - F \cdot \sin(\beta - \alpha))}{2 \cdot 4 \cdot m \cdot R} = \frac{9 \cdot t^2 \cdot f \cdot (-m \cdot g \cdot \cos \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / R_l)}{8 \cdot m \cdot R} \quad (16)$$

Скорость движения корнеплода (м/с):

$$v = t \cdot \frac{-G \cdot \sin \alpha - F \cdot \cos(\beta - \alpha)}{m} = t \cdot \frac{-m \cdot g \cdot \sin \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / R_l}{m} = t \cdot [-g \cdot \sin \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / (R_l \cdot m)].$$

Перемещение центра тяжести корнеплода (м):

$$x_c = 0,5 \cdot t^2 \cdot [-g \cdot \sin \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / (R_l \cdot m)]. \quad (17)$$

Точка «ноль» (т. 0) будет смещаться влево на расстояние (м):

$$x(t) = x_c(t) - R \cdot (\cos(\gamma) - \cos(\gamma + \omega_k \cdot t)). \quad (18)$$

В тоже время верхние точки (т.1-2-3-4-5) будут смещаться влево на расстояние, м:

$$x(t) = x_c(t) + R \cdot (\cos(\gamma) - \cos(\gamma - \omega_k \cdot t)) \leq l. \quad (19)$$

При достижении края корнеплода (т. 5) вращение корнеплода против часовой стрелки прекратится, и далее начнется вращение в противоположную сторону из-за продолжающегося движения центра тяжести корнеплода.

Время до полного прижатия корнеплода к диску (с) составит:

$$t^* = \frac{\sqrt{2 \cdot l \cdot [-g \cdot \sin \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / (R_l \cdot m)]}}{[-g \cdot \sin \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / (R_l \cdot m)]} \rightarrow t. \quad (20)$$

Время периода t_1 можно определить из условия:

$$x(t) = x_c(t) + R \cdot (\cos(\gamma) - \cos(\gamma - \omega_k \cdot t)) = l. \quad (21)$$

При этом данное выражение решается только приближенным численным методом, а аналитическое решение отсутствует.

Время периода t_2 можно определить из условия:

$$t_2 = t^* - t_1. \quad (22)$$

Потребная (оптимальная) угловая скорость диска (рад/с) составит:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot [-g \cdot \sin \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / (R_l \cdot m)]}{Z \cdot \sqrt{2 \cdot l \cdot [-g \cdot \sin \alpha - M \cdot \sin(\beta - \alpha) / (R_l \cdot m)]}} \quad (23)$$

При меньшей угловой скорости корнеплод будет полностью прижиматься к диску, увеличивая трение об него, деформируя диск и повышая затраты мощности на привод. При несколько большей угловой скорости полного прижатия корнеплодов к диску не происходит, толщина средней части ломтика Δ_c стремится к величине l .

Производительность измельчителя (кг/с) определится:

$$Q = \frac{N_k \cdot m}{N_k \cdot \left(\frac{2 \cdot R \cdot t}{l} + T_3 \right) + T_n + T_d}. \quad (24)$$

Заключение. Аналитически определены основные параметры работы предложенного дискового измельчителя корнеплодов.

Библиографический список

1. Мухин, В. А. Механизация приготовления кормов. – Саратов : СГСХА, 1994. – 186 с.
2. Сыроватка, В. И. Механизация приготовления кормов : справочник / В. И. Сыроватка, А. В. Демин, А. Х. Джалилов [и др.] ; под общ. ред. В. И. Сыроватка. – М. : Агропромиздат, 1985. – 368 с.
3. Коновалов, В. В. Механизация технологических процессов животноводства / В. В. Коновалов, С. И. Щербаков, В. Ф. Дмитриев. – Пенза, 2006. – 232 с.
4. Ведищев, С. М. Совершенствование измельчающего аппарата для клубнелопастной ИКМ-5М / С. М. Ведищев, А. В. Брусенков, А. В. Прохоров // Сельский механизатор. – 2009. – №6. – С. 25.
5. Курдюмов, В. И. Результаты исследования процесса смешивания в измельчителе-смесителе вертикального типа / В. И. Курдюмов, В. Ф. Некрашевич // Инновационные технологии в аграрном образовании, науке и АПК России : мат. Всероссийской научно-производственной конф. – Ульяновск : УГСХА, 2003. – С. 224-227.
6. Кухарев, О. Н. Физико-механические свойства современных сортов и гибридов сахарной свеклы / О. Н. Кухарев, Г. Е. Гришин, И. Н. Семов, И. А. Старостин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 8, №2 (28). – С. 77-80.
7. Савиных, П. А. Результаты экспериментальных исследований рабочего процесса измельчителя-раздатчика с ножевым ротором / П. А. Савиных, Ю. В. Сычугов, Н. Н. Соболева, В. Е. Тупицын // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2006. – Т. 16, №3. – С. 38-47.
8. Тишанинов, Н. П. Новые направления совершенствования процессов измельчения компонентов кормов / Н. П. Тишанинов, С. Г. Калинин // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – №3. – С. 46-48.

9. Коновалов, В. В. Определение показателей работы дискового измельчителя корнеклубнеплодов с обоснованием устройства загрузки / В. В. Коновалов, И. А. Воронова, В. П. Терюшков, А. В. Чупшев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – №02(24). – С. 146-151.

10. Коновалов, В. В. Расчет оборудования и технологических линий приготовления кормов. – Пенза : РИО ПГСХА, 2002. – 206 с.

УДК 631.3.635

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕ-УДОБРИТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Милюткин Владимир Александрович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Оборудование и автоматизация перерабатывающих производств», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2.

E-mail: oiapp@mail.ru.

Ключевые слова: биология, корни, технология, параметры, растения, почвообработка, удобрения, агрегаты.

Проведенные исследования являются экспериментально-теоретическим обоснованием оптимального расположения рабочих органов с совершенствованием их конструкции на примере опытного комбинированного почвообрабатывающе-удобрительного агрегата «Пегасус» (фирмы «Амазоне-Верке», Германия, Самара) для внутрипочвенного, объемного (двухъярусного) внесения минеральных удобрений. При двухъярусном расположении рабочих органов в поперечной плоскости, первый ряд оборудуется стрелчатыми рабочими органами, второй ряд – рыхлительными лапами с тукопроводящей системой, что обеспечивает качественное объемное внесение минеральных удобрений в двух ярусах 120-150 мм и 270-300 мм без значительного увеличения тягового сопротивления в отличие от двухъярусного размещения только стрелчатых лап. Результаты модернизации комбинированного агрегата «Пегасус» с учетом параметров зоны максимального расположения корней с.-х. культур (40-90 см) в соответствии с биологией их развития обеспечивают оптимальные условия для эффективного роста и получения максимального урожая. Исследовали три случая разрушения почвы рабочими органами с образованием деформированной зоны – зоны размещения минеральных удобрений. Специально разработанная методика качественной оценки размещения минеральных удобрений заменой их полиэтиленовыми белыми шариками позволяет управлять процессом оптимизации параметров рабочих органов. Проведенные исследования направлены как на модернизацию существующих, так и на создание новых комбинированных почвообрабатывающе-удобрительных агрегатов с максимальной эффективностью для развития сельскохозяйственных культур и повышения их урожайности, так как полученные рекомендации основаны на размещении рабочих органов для работы в зоне корневой системы растений в процессе их сезонной вегетации, начиная от всходов, получающих дополнительное питание от удобрений первого яруса, до заключительной вегетации – формирования урожая, при дополнительном питании корневой системы от удобрений второго яруса. От внутрипочвенного внесения удобрений урожайность подсолнечника (на семена) возросла до 16%, кукурузы (на зеленую массу) – до 10%. Двухъярусное объемное внесение удобрений дополнительно повышает урожайность сельскохозяйственных культур на 10-20%.

В настоящее время большее число применяемых удобрений в мире и Российской Федерации вносятся разбросным способом из-за высокой производительности агрегатов и малых затрат на внесение удобрений. Однако в засушливые годы и особенно при внесении азотных удобрений этот способ малоэффективен. Более совершенен внутрипочвенный способ внесения удобрений. Исследования проведены с почвообрабатывающе-удобрительным агрегатом «Пегасус» (фирма Амазоне – Веерке – Германия, Самара), модернизированным установленными дополнительно глубокорыхлителями для обработки почвы и внесения удобрений на глубину 12 и 30 см. Прибавка урожайности составила: подсолнечник – около 16%, зеленая масса кукурузы – до 10%. Поочередное размещение рабочих органов по высоте или глубине обработки почвы (первый ярус – стрелчатые лапы, второй ярус – рыхлительные лапы) в соответствии с биологией развития корней позволяет поярусно вносить минеральные удобрения и обеспечивать дополнительным «питанием» корневую систему возделываемых культур на протяжении всего периода вегетации, тем самым прогрессивно влияя на увеличение биологической массы и урожайности. Рациональной расстановкой рабочих органов рыхлителей-удобрителей в поперечной плоскости в зоне максимального расположения корней (40-90 см) в соответствии с биологией их развития, корням обеспечиваются условия максимального использования внесенных внутрипочвенно удобрений.

Многочисленными научными исследованиями доказана эффективность внутрипочвенного внесения удобрений. Ряд исследователей [1-7] проводят большую опытную работу по совершенствованию технологий и конструкций сельскохозяйственных машин для улучшения качества и равномерности внесения удобрений в почву. В работе представлено аналитическое обоснование рациональной расстановки рабочих органов