

Обоснование угла установки наклонной стенки загрузочного бункера измельчителя корнеплодов

Substantiation of installation angle of inclined wall of charging hopper of a root chopper

П. А. САВИНЫХ¹, д-р техн. наук
А. В. АЛЕШКИН², д-р техн. наук
С. Ю. БУЛАТОВ³, канд. техн. наук
Р. А. СМIRНОВ³, инж.

¹ Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, Киров, Россия, peter.savinyh@mail.ru

² Вятский государственный университет, Киров, Россия, tism1@rambler.ru

³ Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Нижегородская обл., Россия, bulatov_sergey_urevich@mail.ru

P. A. SAVINYKH¹, DSc in Engineering
A. V. ALESHKIN², DSc in Engineering
S. Yu. BULATOV³, PhD in Engineering
R. A. SMIRNOV³, Engineer

¹ N. V. Rudnitskiy Zonal Research Institute of Agriculture of the North-East, Kirov, Russia, peter.savinyh@mail.ru

² Vyatka State University, Kirov, Russia, tism1@rambler.ru

³ Nizhny Novgorod State Engineering-Economic University, Knyaginino, Nizhny Novgorod region, Russia, bulatov_sergey_urevich@mail.ru

За счет высоких удельной объемной энергии и урожайности, хорошей усвояемости корнеклубнеплоды явно выигрывают по сравнению с другими кормами. При их смешивании с другими компонентами повышается поедаемость животными готовой смеси, а количество усваиваемых питательных веществ, находящихся в корнеплодах, может достигать 90 %. Чтобы питательные вещества более полно усваивались животными, необходимо провести правильную подготовку к скармливанию, в том числе измельчение. Одна из проблем процесса резания корнеплодов — повышенное соковыделение, вследствие чего возникают неоправданные потери витаминов. Поэтому актуально создание измельчителей, обеспечивающих необходимое качество готового продукта. Цель исследования заключается в определении оптимального угла наклона стенки загрузочного бункера в зависимости от размеров корнеклубнеплодов и вылета горизонтального ножа измельчителя. Приведено краткое описание разработанного измельчителя корнеклубнеплодов, а также указаны источники, в которых можно найти подробное описание установки и принцип ее работы. При проведении теоретических расчетов составлена схема действия всех сил в момент защемления клубня между стенкой бункера и горизонтальным ножом, подробно показан ход рассуждений и теоретических выкладок. В результате расчетов получены теоретические зависимости, по которым, задаваясь толщиной получаемых ломтиков и размерами измельчаемых клубней, можно рассчитать нужный угол наклона стенки бункера. При расчетных значениях клубень не перекачивается через режущий нож, а смятие минимально. Вследствие этого выделяется меньшее количество сока, потери питательных веществ минимальны. На основании выведенной зависимости построены графики и дан их анализ.

Ключевые слова: вылет ножа; защемление клубня; измельчитель; корнеклубнеплоды; радиус; угол наклона.

Tuberous roots obviously benefit in comparison with other feeds, due to the high level of specific volume energy, productivity and good digestibility. When they are mixed with other components, the palatability of finished mixtures for animals increases. The quantity of digestible nutrients in tuberous roots can reach up to 90 %. To make the nutrients more fully digested by animals, the correct preparation for feeding is necessary, including chopping. One of the problems of roots cutting process is the increased exudation, which results in undue losses of vitamins. Therefore creation of choppers providing the required quality of finished product is a crucial task. The aim of the research is to determine the optimum angle of inclination of the wall of charging hopper depending on the size of tuberous roots and on the offset of horizontal knife of a chopper. Brief description of the developed chopper of tuberous roots is given, as well as the sources of information containing the detailed description of the installation and its operation principles. In the process of theoretical calculations, the scheme of all forces acting in the moment of tuber pinching between the wall of charging hopper and the horizontal knife is drawn; the chain of discourse and theoretical reasoning are shown in detail. As a result of calculations, the analytical dependences are obtained through which assigning the thickness of slices and sizes of chopped tubers, it is possible to calculate the desired inclination angle of wall of charging hopper. Under estimated values, the tuber does not roll over the cutting knife, and the deformation is minimal. Therefore the exudation decreases, and nutrients losses are minimal. On the basis of the derived dependence, the graphs and their analysis are given.

Keywords: knife offset; tuber pinching; chopper; tuberous roots; radius; inclination angle.

Введение

За счет высоких удельной объемной энергии и урожайности, хорошей усвояемости корнеклубнеплоды явно выигрывают по сравнению с другими кормами. При их смешивании с другими компонентами повышается поедаемость животными готовой смеси, а количество

усваиваемых питательных веществ, находящихся в корнеплодах, может достигать 90 % [1].

Однако чтобы питательные вещества более полно усваивались животными, необходимо провести правильную подготовку к скармливанию, в т.ч. измельчение. Одна из проблем процесса резания корнеплодов — по-

вышенное соковыделение, вследствие чего возникают неоправданные потери витаминов. Поэтому создание измельчителей с научно обоснованными конструктивными и технологическими параметрами, обеспечивающих необходимое качество готового продукта, представляет собой актуальную задачу.

Цель исследования

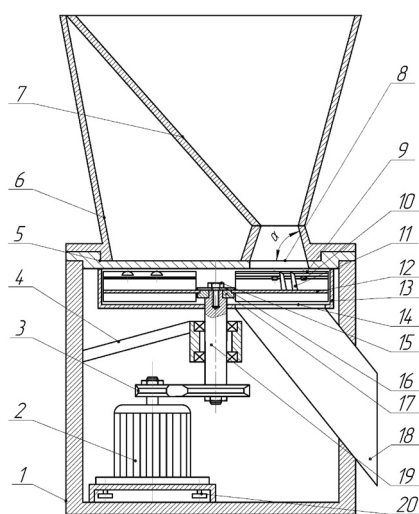
Цель исследования состоит в определении оптимального угла наклона стенки загрузочного бункера в зависимости от размеров корнеклубнеплодов и вылета горизонтального ножа измельчителя.

Материалы и методы

Для измельчения корнеклубнеплодов на ломтики разработан опытный образец измельчителя (рис. 1). Опытная установка включает корпус, внутри которого смонтирован электродвигатель, посредством ременной пере-



а)



б)

Рис. 1. Измельчитель корнеклубнеплодов:

а — общий вид; б — конструктивно-технологическая схема; 1 — корпус; 2 — электродвигатель; 3 — ременная передача; 4 — кронштейн крепления опорных подшипников; 5 — крышка; 6 — загрузочный бункер; 7 — наклонная перегородка; 8 — загрузочное окно; 9 — горизонтальный нож; 10 — винт; 11 — вертикальный нож; 12 — режущий диск; 13 — отбойник; 14 — выгрузное окно; 15 — винт; 16 — прижимная шайба; 17 — посадочная шайба; 18 — выгрузная горловина; 19 — приводной вал; 20 — натяжное устройство

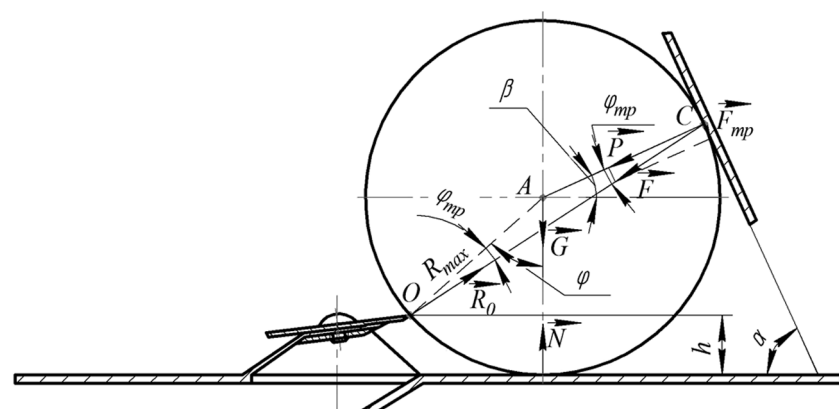


Рис. 2. Защемление клубня наклонной стенкой и ножом

дачи приводящий во вращение режущий диск. К диску винтами крепятся вертикальные и горизонтальные ножи. Режущий диск крепится к приводному валу с помощью предохранительной муфты, в конструкцию которой входят винт, прижимная и посадочная шайбы. Приводной вал вращается в опорных подшипниках кронштейна. Загрузка и выгрузка корнеплодов осуществляются через загрузочный бункер и выгрузную горловину.

Наиболее полное описание конструкции и принципа работы представленного измельчителя корнеклубнеплодов дано в работах [2—4].

Результаты и их обсуждение

Конструкционные и технологические параметры влияют на качество получаемого корма, что подтверждается результатами эксперимента [5—7]. В указанных работах приведены результаты, характеризующие влияние параметров режущих ножей и их окружной скорости на качество корма. В данной работе рассмотрим влияние угла α между горизонтальным ножом и наклонной стенкой загрузочного бункера (см. рис. 1, б) и определим его наибольшее значение в интервале от 0 до 90°, при котором не происходит перекатывания клубня через нож. Чем ближе угол α к 90°, тем в меньшей степени проявляется разрушение клубня смятием, которое более энергоемко, чем резание, и сопровождается существенным выделением жидкости.

Рассмотрим схему действия сил в момент защемления клубня картофеля между горизонтальным ножом и наклонной стенкой загрузочного бункера (рис. 2).

Для определения предельного состояния равновесия корнеклубнеплода, находящегося в загрузочной горловине в защемлении с плоскостью режущего диска, применим графоаналитическое решение без учета силы тяжести (полагая, что сила действия стенки во много раз больше силы тяжести клубня). $\vec{R} = 0$ при силе $\vec{N} \rightarrow 0$. Согласно рис. 2, величина вылета горизонтального ножа относительно плоскости режущего диска выражается уравнением:

$$h = (1 - \cos\varphi)R_{\max}, \quad (1)$$

где $R_{\max}$ — максимальный радиус клубня, м; φ — угол между радиусом клубня, проведенным от начала лезвия ножа, и вертикалью, проходящей через центр клубня, град.

Преобразуем уравнение (1), выразив угол φ , который связан с радиусом корнеклубнеплода $R_{\max}$ и величиной вылета ножа h :

$$\varphi = \arccos\left(1 - \frac{h}{R_{\max}}\right). \quad (2)$$

Введем угол трения $\varphi_{\text{тр}}$, связанный с коэффициентом трения f корнеклубнеплода:

$$\varphi_{\text{тр}} = \arctg f. \quad (3)$$

В предельном равновесии перед перекачиванием клубня через нож равнодействующая сила $\vec{F}$ суммы сил $\vec{P}$ и $\vec{F}_{\text{тр}}$ пройдет через точку O лезвия ножа. Треугольник OAC равнобедренный, и его углы AOC и OCA равны между собой: $AOC = OCA = \varphi_{\text{тр}}$.

Введем угол β между прямой AC и горизонтальной плоскостью. С одной стороны,

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha, \quad (4)$$

где α — угол, определяющий конструктивный параметр положения стенки загрузочной горловины по отношению к плоскости режущего диска, град.

С другой стороны, из треугольника OAC угол β выразим как:

$$\beta = (\pi - 2\varphi_{\text{тр}}) - \varphi - \frac{\pi}{2}. \quad (5)$$

Приравняв выражения (4) и (5), получим:

$$\frac{\pi}{2} - \alpha = (\pi - 2\varphi_{\text{тр}}) - \varphi - \frac{\pi}{2}. \quad (6)$$

Из равенства (6) следует, что для предельного равновесия корнеклубнеплода в загрузочной горловине измельчителя угол α равен:

$$\alpha = 2\varphi_{\text{тр}} + \varphi. \quad (7)$$

Для отсутствия перекачивания корнеклубнеплода через нож угол α должен быть меньше значения, приведенного в выражении (7):

$$\alpha \leq 2\varphi_{\text{тр}} + \varphi. \quad (8)$$

Существенное уменьшение угла α может приводить к защемлению и раздавливанию корнеклубнеплодов, что нецелесообразно. Поэтому угол α рекомендуется принимать в пределах:

$$\alpha = (0,8...1)(2\varphi_{\text{тр}} + \varphi). \quad (9)$$

Подставив в уравнение (9) выражения (2) и (3), получим зависимость угла наклона стенки загрузочной горловины камеры измельчения от ее конструктивных параметров:

$$\alpha = (0,9...1) \left[2\arctg f + \arccos \left(1 - \frac{h}{R_{\text{max}}} \right) \right]. \quad (10)$$

На основании уравнения (10) построены графики (рис. 3), характеризующие влияние размеров клубня и толщины ломтиков на предельную величину угла α между горизонтальным ножом и наклонной стенкой загрузочного бункера. Оптимальные значения толщины получаемых ломтиков взяты в соответствии с рекомендациями, данными в работе [8].

Из анализа графиков, приведенных на рис. 3, можно сделать вывод, что для увеличения минимального предельного значения угла α необходимо измельчать клубни меньшего диаметра. Увеличение толщины ломтиков также позволяет увеличить угол α между горизонтальным ножом и наклонной стенкой загрузочного бункера.

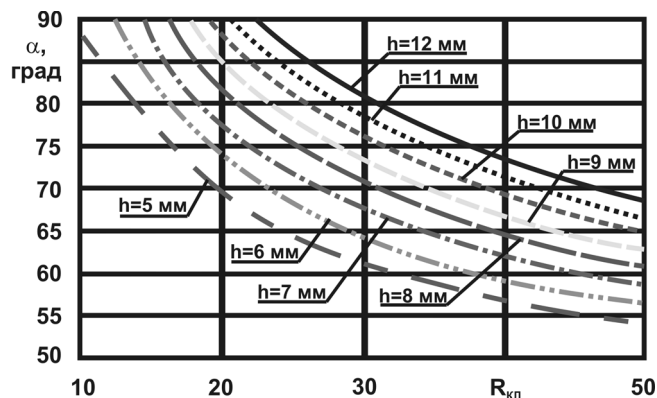


Рис. 3. Влияние размеров клубня и толщины ломтиков на предельную величину угла α

Используя построенные графики, задаваясь необходимой толщиной ломтиков и зная диаметр измельчаемых клубней, можно определить предельное значение угла α между горизонтальным ножом и наклонной стенкой загрузочного бункера, при котором не будет происходить перекачивание клубня через нож.

Выводы

В результате проведенного теоретического исследования получено выражение, позволяющее определить необходимое минимальное значение угла установки стенки бункера измельчителя при известных размерах клубней и заданной толщине получаемых ломтиков. Для снижения выделения сока из клубней во время резания в предлагаемом измельчителе необходимо стремиться к получению более толстых ломтиков из корнеклубнеплодов меньших размеров.

Литература и источники

1. Сысуев В. А., Алешкин А. В., Савиных П. А. Кормоприготовительные машины. Теория, разработка, эксперимент. В 2 т. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2008. Т. 1. 640 с.
2. Савиных П. А., Булатов С. Ю., Смирнов Р. А. Измельчитель корнеклубнеплодов // Сельский механизатор. 2013, № 8. С. 40—41.
3. Савиных П. А., Булатов С. Ю., Смирнов Р. А. и др. Измельчитель кормов. Патент РФ на полезную модель № 140129, 2014.
4. Савиных П. А., Булатов С. Ю., Смирнов Р. А. и др. Измельчитель корнеклубнеплодов. Патент РФ № 2545819, 2014.
5. Булатов С. Ю., Смирнов Р. А. Анализ факторов, влияющих на рабочий процесс измельчителя корнеплодов // Вестник НГИЭИ. Серия Технические науки. 2013, № 10 (29). С. 15—23.
6. Савиных П. А., Булатов С. Ю., Смирнов Р. А. Разработка и результаты предварительных исследований малогабаритного измельчителя корнеклубнеплодов // Вестник ВНИИМЖ. 2014, № 4 (16). С. 115—118.
7. Савиных П. А., Булатов С. Ю., Смирнов Р. А. Оптимизация рабочего процесса измельчителя корнеклубнеплодов // Вестник марийского государственного университета. Серия Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2015, № 3 (3). С. 36—42.
8. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: Справ. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. / Под ред. А. П. Калашникова и др. М.: ВИЖ, 2003. 456 с.

Окончание статьи П. А. Савиных и др. Начало см. на стр. 7

References

1. Sysuev V. A., Aleshkin A. V., Savinykh P. A. *Kormoprigotovitel'nye mashiny. Teoriya, razrabotka, eksperiment* [Feed processing machines. Theory, designing, testing]. Kirov, Zonal Research Institute of Agriculture of the North-East, 2008, vol. 1, 640 p.
2. Savinykh P. A., Bulatov S. Yu., Smirnov R. A. Chopper of tuberous roots. *Sel'skiy mekhanizator*, 2013, no. 8, pp. 40—41 (in Russ.).
3. Savinykh P. A., Bulatov S. Yu., Smirnov R. A., Nechaev V. N. *Izmel'chitel' kormov* [Feed chopper]. RF utility model no. 140129, 2014.
4. Savinykh P. A., Bulatov S. Yu., Smirnov R. A., Nechaev V. N. *Izmel'chitel' korneklubneplodov* [Chopper of tuberous roots]. RF patent no. 2545819, 2014.
5. Bulatov S. Yu., Smirnov R. A. Analysis of factors affecting the workflow of root crop chopper. *Vestnik NGIEI. Seriya Tekhnicheskie nauki*. 2013, no. 10 (29), pp. 15—23 (in Russ.).
6. Savinykh P. A., Bulatov S. Yu., Smirnov R. A. Development and results of preliminary studies of a small-sized chopper of tuberous roots. *Vestnik VNIIMZh*, 2014, no. 4 (16), pp. 115—118 (in Russ.).
7. Savinykh P. A., Bulatov S. Yu., Smirnov R. A. Optimization of workflow of tuberous roots chopper. *Vestnik mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Sel'skokhozyaystvennyye nauki. Ekonomicheskie nauki*, 2015, no. 3 (3), pp. 36—42 (in Russ.).
8. *Normy i ratsiony kormleniya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh* [Standards and rations of livestock feeding]. Under the editorship of A. P. Kalashnikov et al. Moscow, VIZh Publ., 2003, 456 p.