

УДК 631.352

UDC631.352

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
РЕЗАНИЯ СТЕБЛЕЙ ШНЕКОВЫМ
РЕЖУЩИМ АППАРАТОМ****THEORETICAL BASIS
CUTTINGSCREWSTEMS CUTTERBAR**

Труфляк Ирина Сергеевна, старший преподаватель

Truflyak Irina Sergeevna, senior Lecturer

*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия**KubanStateAgrarianUniversity, Krasnodar, Russia*

В данной работе представлено теоретическое обоснование процесса резания стеблей многофункциональным универсальным режущим аппаратом нового типа.

This paper presents a theoretical justification for the process of cutting the stems multi functional versatile new type of cutting system.

Ключевые слова: РЕЖУЩИЙ АППАРАТ, ШНЕК, КОСИЛКА, ЖАТКА

Keywords: CUTTING UNIT, AUGERS, MOWERS, HEADER

В целях повышения эффективности работы уборочной техники необходимо совершенствовать технологии и технические средства. В современных экономических и экологических условиях увеличение производства не может быть достигнуто только за счет расширения площадей посевов. Кроме того, резервы наращивания и интенсификации земледелия исчерпаны, так как экологическая обстановка и без этого напряжена. Выходом из создавшейся ситуации может быть использование принципов энергосбережения, универсальности и многофункциональности.

На основании проведенного обзора конструкций существующих режущих аппаратов нами предлагается режущий аппарат, который в себе содержит элементы как сегментных, так и ротационных аппаратов (рисунок 1) [2; 3; 5; 6]. Противорежущая часть аппарата представляет собой различные элементы – вырезы в корпусе, пластины, сегменты. Режущей частью является шнек.

Срезающие устройства машин должны выполнять чистый срез растений без смятия, разрывов, затягивания и выskalывания их из-под лезвий [4].



Рисунок 1. Классификация режущих аппаратов с учетом предлагаемых новых технических решений

При работе предлагаемого аппарата стебли растений заводятся между витком шнека и лезвием сегмента.

Предположим, что в определенный момент времени точка режущей кромки лезвия «а» перемещает стебель по направлению вектора скорости V_n (рисунок 2).

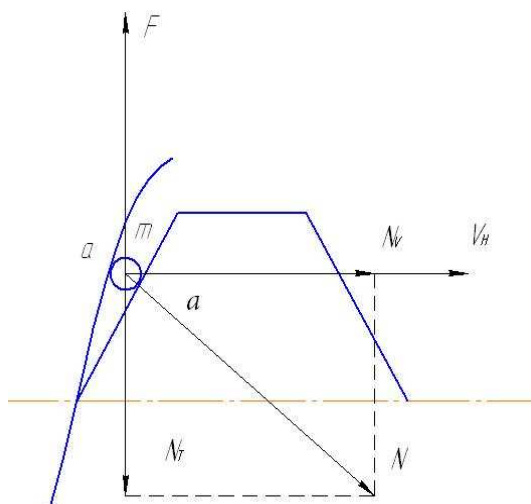


Рисунок 2. Определение условия скольжения $\alpha < \varphi$:
 α – угол между лезвием и направлением движения машины;
 φ – угол трения лезвия ножа по разрезанному материалу

Пусть угол α будет меньше угла трения φ лезвия ножа по разрезаемому материалу: $\alpha < \varphi$. Виток шнека давит на перерезаемый материал по нормали N .

Рассматривая действие этой силы, разложим ее по направлению движения витка на составляющие N_v и N_t . Рассмотрим действие этих сил порознь. Если точка шнека «а» встретила на своем пути стебель « m », то сила N_v стремится стебель « m » переместить вместе с ножом, сила N_t стремится стебель сместить вдоль витка шнека. Может ли стебель « m » скользить вдоль витка шнека, это зависит от того, способна ли сила трения уравновесить силу N_t . Для того чтобы стебель « m » скользил под действием силы N_t по витку шнека, сила N_t должна преодолеть силу трения F . Наибольшая возможная сила трения F_{max} при данном нормальном давлении N и угла трения φ будет:

$$F_{max} = Ntg\varphi,$$

$$N_t = Ntg\alpha.$$

Так как $\alpha < \varphi$, то N_t меньше предельного, наибольшего возможного значения силы трения F_{max} . При этих условиях сила трения F , действующая на стебель « m » в сторону, противоположную силе N_t , равной силе $N_t = Ntg\alpha$, а не максимально возможной силе трения $F_{max} = Ntg\varphi$, так как всякая сила реакции равна той силе, которой она возбуждена, т.е. $F = Ntg\alpha$. Если $\alpha < \varphi$, то никакого скольжения витка шнека по стеблю не будет.

Рассмотрим условия, когда $\alpha = \varphi$. В этом случае $N_t = F_{max}$. Силы F_{max} и N_t полностью уравновешиваются взаимно. Стебель « m » будет перемещаться по направлению оси шнека.

Резание будет происходить в случае, когда $\alpha > \varphi$ (рисунок 3, 4). Разложим силу N на N_v и N_t . Может ли в этом случае сила N_t заставить стебель « m » скользить по лезвию ножа? Это зависит от того, окажется ли сила N_t

больше силы трения, которая будет развиваться при скольжении частицы материала по лезвию.

Но, так как $\alpha > \varphi$, то $N \tan \alpha > N \tan \varphi$, т.е. $N_T > F_{max}$. Значит, стебель окажется под воздействием двух сил: N и F_{max} , так как они действуют одновременно и совместно, то можно сложить их геометрически.

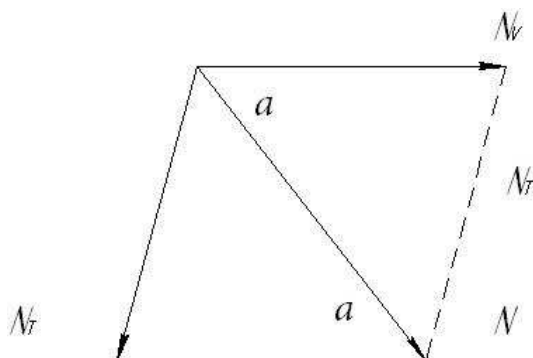


Рисунок 3. Определение N

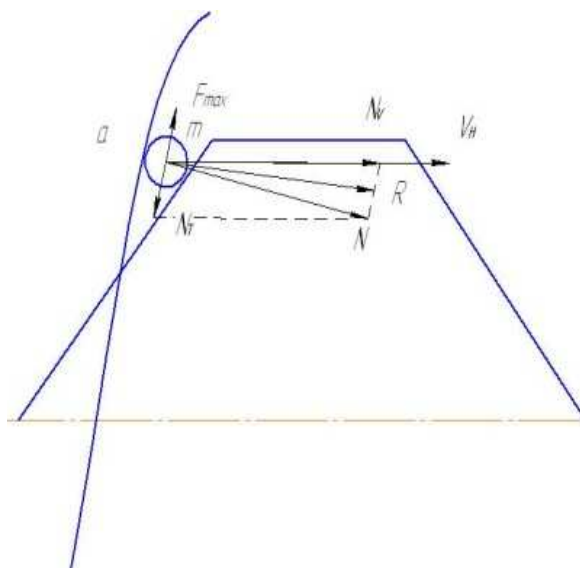


Рисунок 4. Определение условия скольжения $\alpha > \varphi$

Получим их равнодействующую R (рисунок 5), направленную под углом φ к нормали $n-n$.

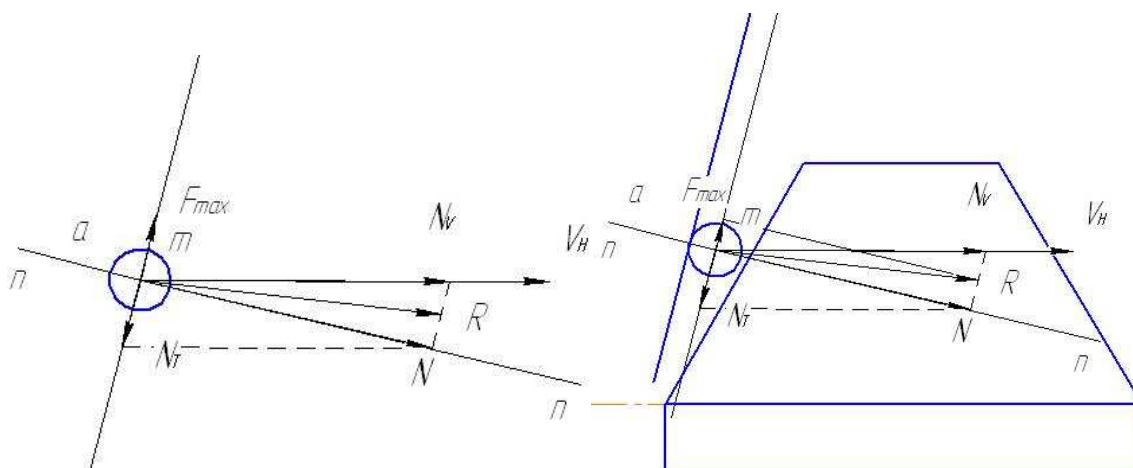


Рисунок 5. Определение равнодействующей R

Следовательно, частица будет перемещаться под действием (и по направлению) силы R , пока не перережется. Причем, виток шнека будет перемещаться по направлению скорости V_H , а стебель « t » – по направлению силы R . Из схемы следует, что в процессе резания, которое сопровождается смятием материала под давлением витка шнека, происходит скольжение стебля.

Итак, для резания в предлагаемом аппарате со скольжением должно выполняться условие: направление скорости лезвия должно составлять к нему угол больший, чем угол трения материала по витку шнека.

$$\begin{cases} \varphi_{\text{гл}} = 15^\circ & \alpha_{\text{гл}} > 15^\circ \\ \varphi_{\text{н}} = 46^\circ & \alpha_{\text{н}} > 46^\circ \end{cases}$$

Пшеница

Гладкое лезвие $\varphi = 15^\circ$

Насеченное лезвие $\varphi = 46^\circ$

Условия резания стеблей шнековым режущим аппаратом для пшеницы:

$$\gamma = 90 - \alpha$$

$$\gamma_{\text{гл}} = 90 - (15^\circ \text{ и } \uparrow) = \gamma_{\text{гл}} < 75^\circ$$

$$\gamma_{\text{н}} = 90 - (46^\circ \text{ и } \uparrow) = \gamma_{\text{н}} < 44^\circ$$

где γ – угол наклона витка шнека.

Условия резания стеблей шнековым режущим аппаратом для кукурузы:

$$\gamma_{\text{гл(кук)}} = 90 - 10,5 = 80^\circ$$

$$\gamma_{\text{н(кук)}} = 90 - 42 = 48^\circ$$

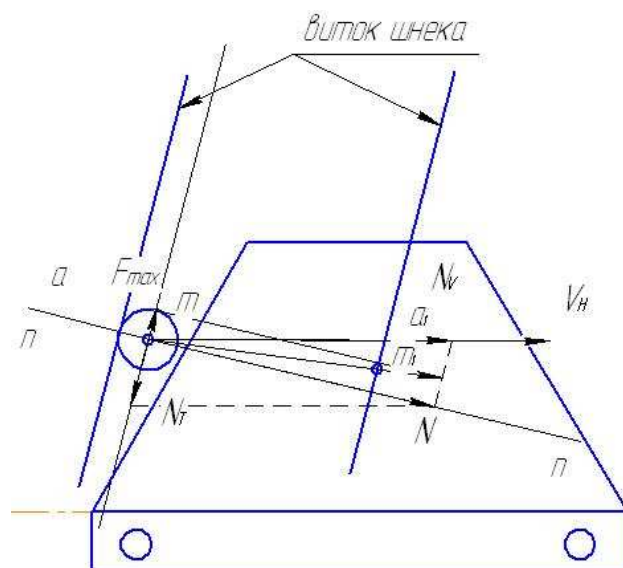


Рисунок 6. Процесс резания стебля

Коэффициент скольжения:

$$\varepsilon = \frac{a'm'}{am'}$$

$a'm'$ – путь, проходимый перерезаемым материалом по лезвию со скольжением;

am' – единица деформации материала.

В $\Delta am'a$ по теореме синусов:

$$\frac{a'm'}{\sin(\alpha - \varphi)} = \frac{am'}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{am'}{\cos\alpha}$$

$$\varepsilon = \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos\alpha}$$

ε тем больше, чем больше α , и если $\alpha = \varphi$, то $\varepsilon = 0$.

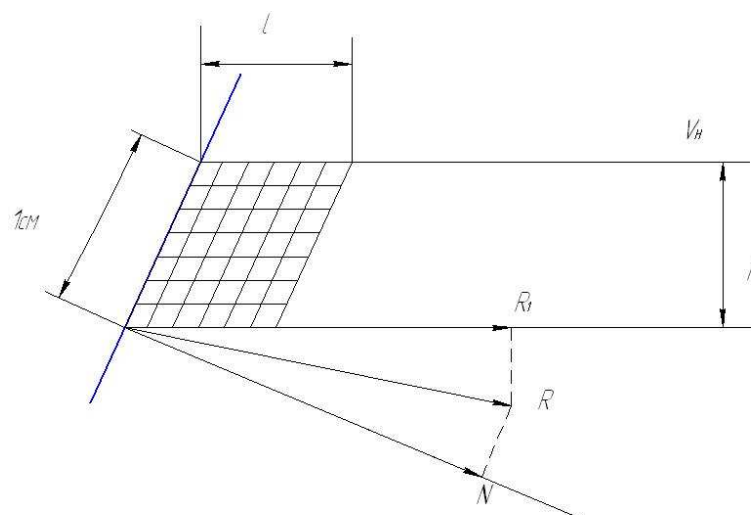


Рисунок 7. Схема определения работы, затрачиваемая на перерезание 1 cm^2 материала

Определим работу, затрачиваемую на перерезание 1 cm^2 материала при использовании режущей кромки на витке. Представим прямолинейный отрезок витка шнека по длине, равный 1 cm . Допустим, что лезвие разрезает материал со скольжением, тогда необходимо, чтобы $\alpha > \varphi$. Значит, виток будет двигаться под углом α к нормали, причем большим угла φ .

Следовательно, 1 cm длины шнека перережет (переместит) полосу шириной $h = 1 \cdot \cos\alpha$ с силой резания $R = \frac{N}{\cos\alpha}$. Для вычисления работы силы нужно определить проекцию этой силы на направление пути точки ее приложения:

$$R_1 = R \cos(\alpha - \varphi) = \frac{N \cos(\alpha - \varphi)}{\cos\varphi}, \quad H$$

Найдем путь, который должен совершать отрезок витка шнека, чтобы резать материал 1см^2 . Площадь разреза выражается площадью параллелограмма с высотой h и основанием l , так как $h \cdot l = 1\text{см}^2$, а $h = 1\cos\alpha$, то

$$l = \frac{1}{h} = \frac{1}{\cos\alpha}, \text{ см}$$

Работа резания:

$$E = R \cdot l = \frac{N\cos(\alpha-\varphi)}{\cos\varphi \cdot \cos\alpha}, \text{ Дж.}$$

В результате углы наклона лезвий составляют: для пшеницы – не более 75° (гладкое лезвие) и 44° (насеченное лезвие); для кукурузы – не более 80° (гладкое лезвие) и 48° (насеченное лезвие).

После проникновения лезвия в материал грани клина сегмента вступают во взаимодействие с ним, при этом в зависимости от свойств разрезаемого материала они могут содействовать резанию или тормозить его.

Стебли сельскохозяйственных растений состоят из клеток, которые располагаются в определенном порядке, образуя ткани. Механические проводящие ткани главным образом определяют прочность стебля.

Выделим главные сопротивления, которые преодолевает нож при резании сегментом предложенного режущего аппарата.

Рассмотрим сегмент, у которого угол заострения γ увеличен с каждой стороны на угол трения φ , считая его одинаковым для обеих сторон (рисунок 8).

Нормальные давления, приложенные к граням сегмента, будут равны

$$\frac{N}{\cos\varphi} \text{ и } \frac{N_1}{\cos\varphi}.$$

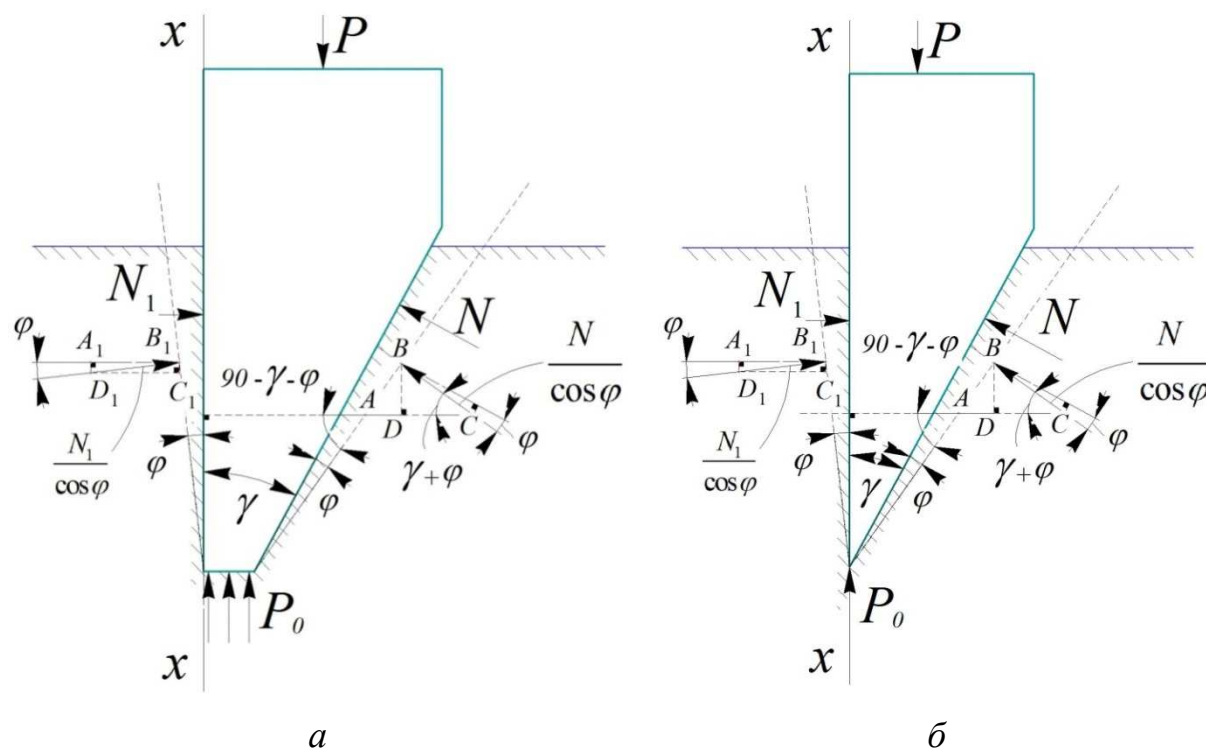


Рисунок 8. Силы, действующие на сегмент при резании
в шнековом режущем аппарате:

a – с односторонним сегментом; *б* – односторонним сегментом без передней грани

Из треугольника $B_1C_1D_1$: $C_1B_1 = \frac{N_1}{\cos \varphi} \sin \varphi$.

Из треугольника ABD : $\angle BAD = 90 - \gamma - \varphi$; $\angle ABD = \gamma + \varphi$.

Из треугольника BCD : $\angle DBC = 90 - \gamma - \varphi$; $\angle BCD = \gamma + \varphi$;

$$DB = \frac{N}{\cos \varphi} \sin(\gamma + \varphi); N_1 = \frac{N}{\cos \varphi} \cos(\gamma + \varphi).$$

Спроектируем силы на ось X-X:

$$P = P_0 + \frac{N_1}{\cos \varphi} \sin \varphi + \frac{N}{\cos \varphi} \sin(\gamma + \varphi).$$

$$P = P_0 + N \frac{\sin(\gamma + 2\varphi)}{\cos^2 \varphi}. \quad (1)$$

где P_0 – сопротивление лезвия проникновению в стебель, которое зависит только от толщины лезвия и направлено перпендикулярно к нему;
 N и N_1 – нормальные давления перерезаемых и смятых волокон стебля о щеки сегмента.

Анализируя выражение (1), можно утверждать, что чем меньше толщина передней грани сегмента и меньше угол γ , тем меньше сила P .

В случае, представленном на рисунке 8, б, сопротивление P_0 в случае уборки зерновых колосовых культур при наличии специальных делителей по нашей разработке будет незначительным и им можно пренебречь, тогда выражение будет иметь вид:

$$P = N \frac{\sin(\gamma + 2\varphi)}{\cos^2 \varphi}. \quad (2)$$

В предлагаемом режущем аппарате рассмотрим резание условно тонких и толстых стеблей (рисунок 9).

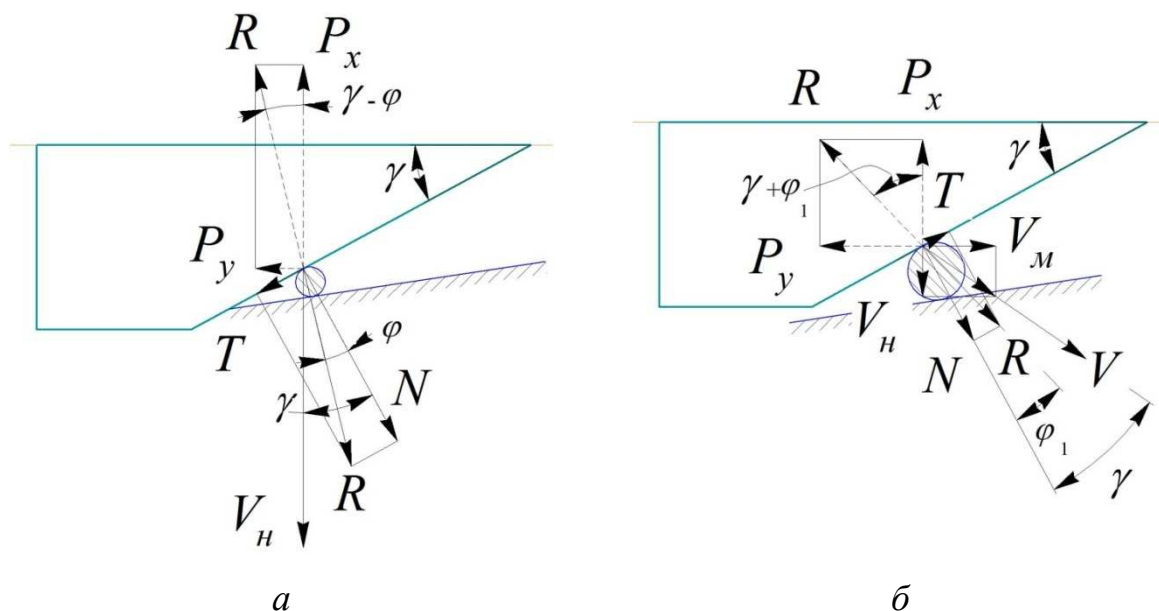


Рисунок 9 – Силы, действующие на сегмент при резании в шнековом режущем аппарате:

a – тонких стеблей; b – толстых стеблей

Из схемы действия сил на сегмент (рисунок 10):

$$P_y = P_o \cos \gamma. \quad (3)$$

$$P_x = P_o \cos \gamma \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}. \quad (4)$$

где $P_o = N_{\max}$ – сила резания стебля одним лезвием, когда угол наклона сегмента $\gamma = 0^\circ$;

N – нормальные давления перерезаемых и смятых волокон стебля на грани сегмента;

N_1 – нормальные давления перерезаемых и смятых волокон стебля на поверхности сегмента.

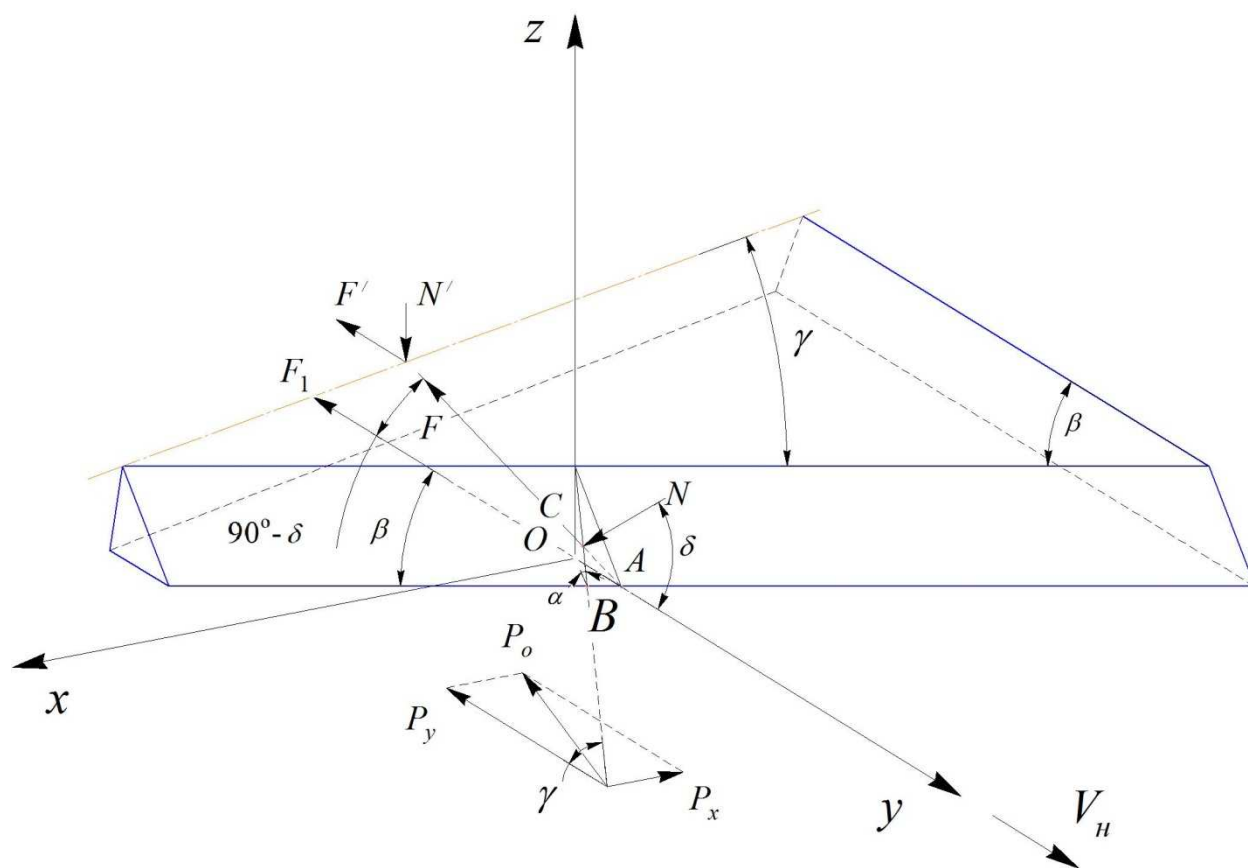


Рисунок 10. Силы, действующие на сегмент при резании

В результате действия нормальных давлений N и N_1 возникают силы трения F и F_1 на гранях заточки сегмента и на поверхности сегмента.

Если пренебречь силой трения спинки ножа о направляющие, а при срезе тонкого стебля силой $2F'$, то:

$$P_1 = P_o \cos \gamma + \frac{N}{\cos^2 \varphi} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \delta + 2\varphi\right). \quad (5)$$

где φ – угол трения перерезанных волокон стебля о поверхность сегмента.

Из формулы (5) следует, что с увеличением угла γ наклона лезвия сегмента уменьшается сила резания.

При статическом действии силы невозможно перерезать стебель в строго вертикальном положении без опоры; обязательно он должен отгибаться в сторону резания, так как только тогда появится реакция стебля N по отношению к режущему аппарату, для преодоления которой необходимо приложить к ножу в горизонтальном направлении силу P (рисунок 11).

Горизонтальная сила P , которая возникает при отклонении стебля:

$$P = N(\cos \vartheta + \operatorname{tg} \varphi \sin \vartheta). \quad (6)$$

Рассмотрим различные случаи установки сегментов в режущих аппаратах по отношению к горизонту (рисунок 12).

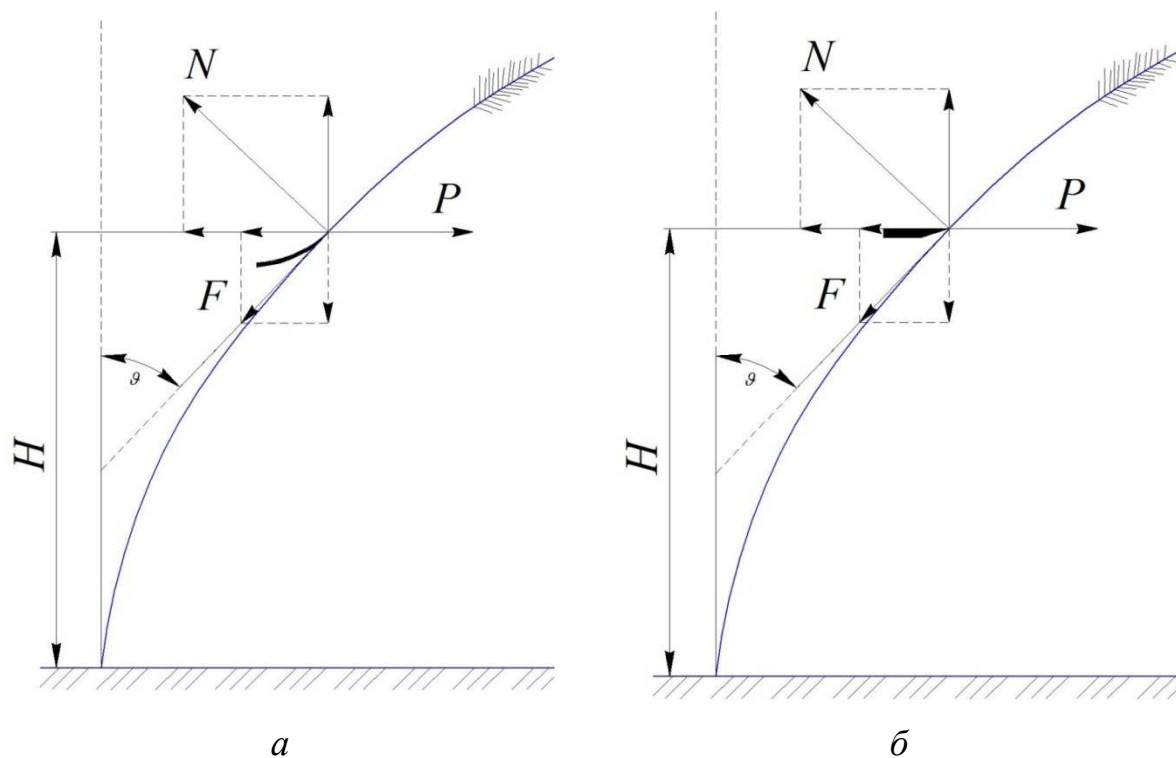


Рисунок 11. Действие сил на сегмент при отгибе стебля в шнековом режущем аппарате:

a – сегмент, копирующий форму витков шнека; *б* – сегмент, повернутый на 180°

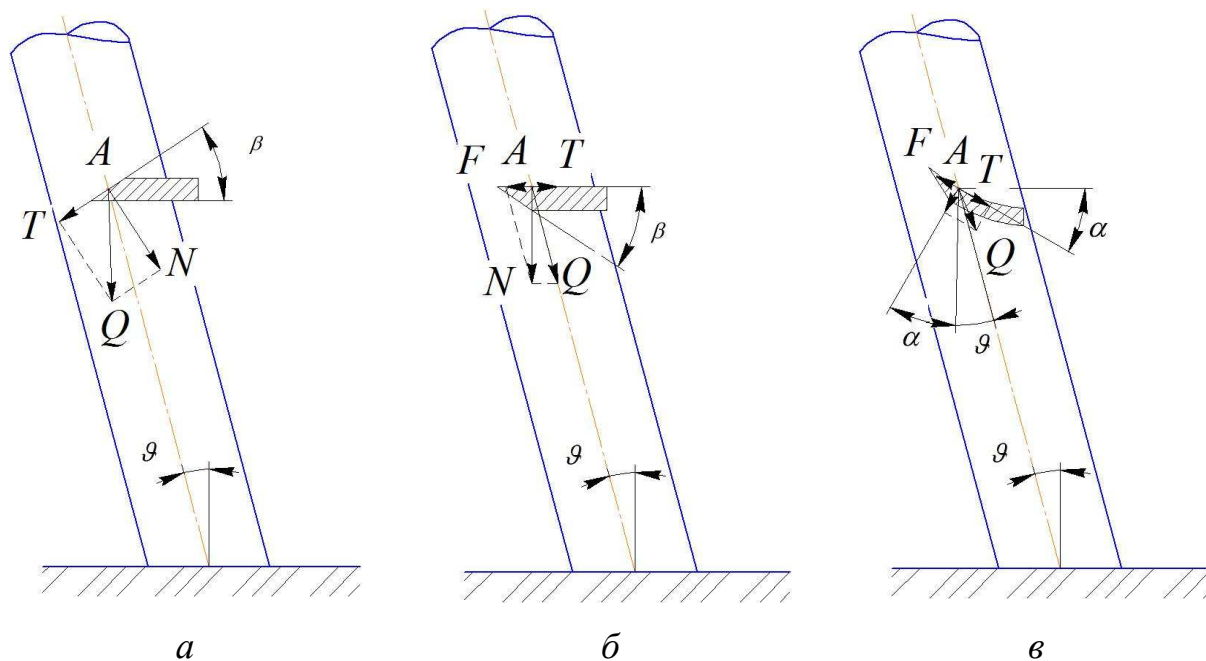


Рисунок 12. Случаи установки сегментов при резании:

a – стандартная установка; *б* – в шнековом режущем аппарате с поворотом на 180° ; *в* – в шнековом режущем аппарате изогнутые по форме шнека

Проникновение лезвия в стебель возможно в том случае, если перерезаемые волокна легко скользят по верхней части сегмента в направлении, обратном его движению.

Резание стебля в случае, показанном на рисунке 12 в, будет самое благоприятное, поскольку скольжение перерезанных волокон стебля по поверхности ножа $\alpha + \vartheta \geq \varphi$ выполнить значительно легче за счет приподнятия (изгиба) лезвия на угол α по отношению к горизонту.

Стебли хлебных злаков и, особенно, трав оказывают незначительное сопротивление изгибу, поэтому резание при статическом действии силы возможно очень острым режущим инструментом и с низкой производительностью. Обычно резание стеблей сопровождается динамическим действием режущего аппарата.

Условие среза стебля при действии на него режущего аппарата без учета сопротивления воздуха и сопротивления отклонению стебля со стороны рядом стоящих стеблей:

$$R_s < P_{из} + P_{ин}, \quad (7)$$

где R_s – сила перерезания стебля;

$P_{из}$ – сопротивление стебля изгибу;

$P_{ин}$ – силы инерции стебля.

Рассмотрим срез свободно стоящего стебля как балку, жестко закрепленную в основании и подвергающуюся действию силы R_s со скоростью V_n на высоте резания H (рисунок 13).

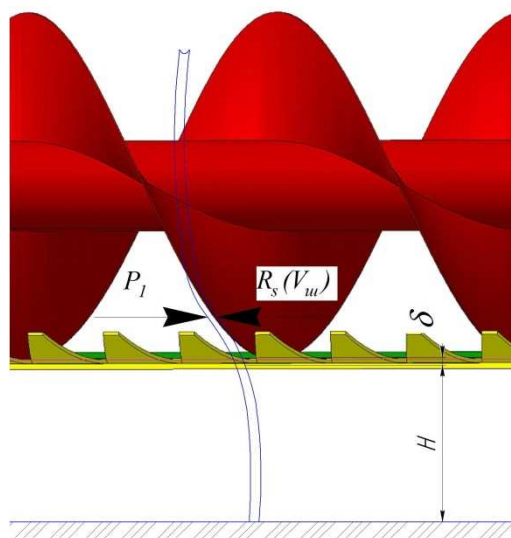


Рисунок 13. Схема резания стебля с одной опорой

Скорость витка шнека, необходимую для перерезания стебля с одной опорой, получим, допустив жесткую заделку стебля у опоры.

Тогда

$$R_s \left\langle \frac{3V_{uu}\Delta t EJ}{\delta^3} + \frac{mV_{uu}}{\Delta t} \right\rangle \frac{R_s}{\frac{3\Delta t EJ}{\delta^3} + \frac{m}{\Delta t}} \quad (8)$$

В данной работе представлено теоретическое обоснование резания стеблей многофункциональным универсальным режущим аппаратом сегментно-ротационного типа. Данный аппарат может быть использован для среза трав и зерновых культур.

Определены углы наклона лезвий сегментов режущего аппарата: для пшеницы – не более 75° (гладкое лезвие) и 44° (насеченное лезвие); для кукурузы – не более 80° (гладкое лезвие) и 48° (насеченное лезвие).

Список литературы

1. Босой Е.С. Режущие аппараты уборочных машин / Е.С. Босой. – М.: Машиностроение, 1976. – 167 с.
2. Пат. 2513421 РФ, МПК А 01 D 34/00, А 01 D 34/43. Шнековый режущий аппарат / И.С. Труфляк; заявитель и патентообладатель КубГАУ. – № 2012148641/13; заявл. 15.11.2012; опубл. 20.04.2014.Бюл. № 11.
3. Трубилин Е.И.Альтернативный режущий аппарат механических косилок / Е.И. Трубилин, И.С. Труфляк, Е.В. Труфляк // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 2 (188). – С. 10-12.
4. Трубилин Е.И. Машины для уборки сельскохозяйственных культур / Е.И. Трубилин, В.А. Абликов. – Краснодар, 2010. – 235 с.
5. Труфляк И.С. Новый режущий аппарат косилок / И.С. Труфляк, Е.И. Трубилин // Материалы VI всероссийской научно-практической конференции молодых ученых / КубГАУ. – Краснодар, 2012. – С. 370–371.
6. Труфляк И.С. Шнековый режущий аппарат / И.С. Труфляк, Н.Н. Бульдяев, Е.В. Труфляк // Материалы научной конференции факультета механизации. – Краснодар, 2012. – С. 31–35.

References

1. Bosoy E.S. Cuttersweepers/E.S. Bosoy.– Moscow: Mashinostroenie, 1976. – 167pages.
2. Patent 2513421RF, IPCA 01D34/00, A 01D34/43. Screwcuttingmachine /I.S. Truflyak; applicant and patenteeKubGAU.– №2012148641/13; appl. 15.11.2012; publ. 20.04.2014. Byul. Number 11.
3. Trubilin E.I. Alternative cuttingmachinemechanicalmowers/E.I. Trubilin, I.S. Truflyak E.V. Truflyak//Machinery and equipmentfor the village. – 2012. – № 2 (188).– Pages.10-12.
4. Trubilin E.I. Machines for harvestingcrops/E.I. Trubilin, V.A. Ablikov. – Krasnodar, 2010. – 235pages.
5. Truflyak I.S. Newcutterbarmower/I.S. Truflyak, E.I. Trubilin//Proceedings of the VI All-Russian scientific-practical conference of young scientists/KubGAU. - Krasnodar, 2012. - S.370-371.
6. Truflyak I.S. Screwcuttingmachine /I.S. Truflyak, N.N. Buldyaev, E.V. Truflyak//Proceedings of the conferencefaculty mechanization.– Krasnodar, 2012. –Pages.31–35.