

УДК 550.4.08

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПРОКАТЕ СТЕБЛЕЙ КУКУРУЗЫ

Матущенко Алексей Евгеньевич  
старший преподаватель  
[archangel24@mail.ru](mailto:archangel24@mail.ru)

Сарксян Мовсес Дмитриевич  
студент  
[movses.sarksyan.03@mail.ru](mailto:movses.sarksyan.03@mail.ru)

*Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия*

Исследование сил, действующих на стебли кукурузы, является относительно новой областью в сельском хозяйстве, но открывает широкие перспективы для улучшения технологий выращивания и повышения урожайности. Эта статья представляет результаты экспериментальных исследований, посвященных изучению взаимодействия внешних и внутренних сил на стебель кукурузы. В статье подробно рассматриваются внешние факторы, такие как ветер, гравитация, дождь, а также вес початков, которые создают нагрузку на стебель. Особое внимание уделено изучению внутренних напряжений, возникающих в стебле в процессе роста, утолщения и перемещения питательных веществ. Предложены различные методы определения этих сил, используя современные инструменты и технологии измерения. Полученные данные анализируются с точки зрения их влияния на устойчивость растений и урожайность. Статья демонстрирует, что понимание механических процессов в стеблях кукурузы может привести к значительным изменениям в агротехнических приемах. Полученные знания могут быть использованы для создания более устойчивых сортов, оптимизации систем орошения и подкормки, а также для разработки новых методов сбора урожая

Ключевые слова: СТЕБЕЛЬ, ВАЛЬЦЫ, ЗОНА СЖАТИЯ, КУКУРУЗА, СИЛА ТРЕНИЯ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-204-024>

UDC 550.4.08

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

### DETERMINATION OF THE FORCES THAT ARISE WHEN ROLLING CORN STALKS

Matushchenko Alexey Evgenievich  
senior lecturer  
[archangel24@mail.ru](mailto:archangel24@mail.ru)

Sarksyan Movses Dmitrievich  
student  
[movses.sarksyan.03@mail.ru](mailto:movses.sarksyan.03@mail.ru)

*Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia*

The study of forces affecting corn stalks is a relatively new field in agriculture, but opens up broad prospects for improving cultivation technologies and increasing yields. This article presents the results of experimental studies devoted to the study of the interaction of external and internal forces on the corn stalk. The article discusses in detail external factors such as wind, gravity, rain, as well as the weight of the cobs, which create a load on the stem. Special attention is paid to the study of internal stresses arising in the stem during growth, thickening and movement of nutrients. Various methods for determining these forces using modern measurement tools and technologies are proposed. The data obtained are analyzed in terms of their impact on plant resistance and yield. The article demonstrates that understanding the mechanical processes in corn stalks can lead to significant changes in agrotechnical techniques. The knowledge gained can be used to create more sustainable varieties, optimize irrigation and fertilizing systems, as well as to develop new harvesting methods

Keywords: STEM, ROLLERS, COMPRESSION ZONE, CORN, FRICTION FORCE

## Введение

Кукуруза - символ урожая, источник питательных веществ и основа множества продуктов питания. Но мало кто задумывается о физических силах, которые действуют на её стебли во время роста, созревания и сбора урожая. Казалось бы, обычный, гибкий стебель, который легко можно

<http://ej.kubagro.ru/2024/10/pdf/24.pdf>

сломать. Однако, для достижения максимального урожая, важно понимать, какие силы возникают внутри и снаружи стебля и как они влияют на его устойчивость и жизнеспособность.

Ветры, дожди, вес початков - все это создает нагрузку на стебель. Но не только внешние силы играют роль. Внутри стебля также действуют напряжения, связанные с ростом, утолщением и перемещением питательных веществ.

В этой статье мы рассмотрим различные силы, воздействующие на стебли кукурузы: от ветра и гравитации до внутренних напряжений и деформаций. Мы исследуем, как эти силы влияют на рост, развитие и устойчивость растения, а также рассмотрим методы определения этих сил и их влияния на урожайность.

Понимание механики стеблей кукурузы поможет улучшить агротехнические приемы и разработать более устойчивые сортовые линии, что в итоге повысит урожайность и улучшит качество продукции.

### **Материал и методы**

В процессе проката стебель не доводится до пластического состояния, поэтому его следует рассматривать как упруго-пластический материал.

Для определения сил, возникающих в процессе проката стеблей, было исследовано взаимодействие гладких цилиндрических вальцов со стеблями. Процесс проката рассматривался при условии, когда оба вальца ведущие, имеют равные диаметры и окружные скорости, рабочая поверхность их абсолютно твёрдая без диаметральных и осевых прогибов.[1]

Рассматривая процесс проката как последовательное прохождение элементарной площадки поперечного сечения стебля между вальцами, необходимо выделить две зоны (рис.а,б)

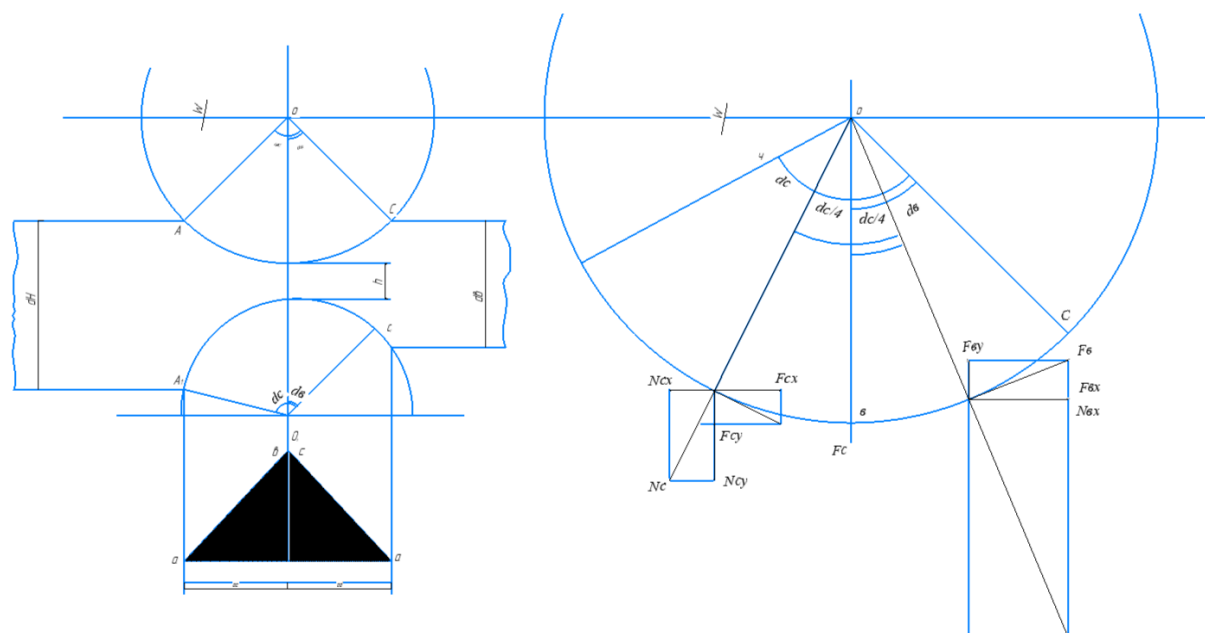


Рисунок зоны проката.

- 1) Зона сжатия, ограниченная дугами АБ и А<sub>1</sub>Б<sub>1</sub>, в которой стебель сжимается до величины зазора между вальцами;
- 2) Зона восстановления, ограниченная дугами ВС и Б<sub>1</sub>С<sub>1</sub>, в которой стебель частично восстанавливает свой первоначальный диаметр.

Точки А и А<sub>1</sub> – начало воздействия вальцов на стебель. Расстояние А-А<sub>1</sub> равно начальному диаметру стебля  $d_h$ . Точки С и С<sub>1</sub> – окончание воздействия вальцов на стебель. Расстояние С-С<sub>1</sub> равно конечному диаметру стебля  $d_b$ . Расстояние Б-Б<sub>1</sub> равно зазору между вальцами  $h$ . [2]

Зоны сжатия и восстановления характеризуют соответствующие углы  $d_c$ , и  $d_b$ . Величина их определяется из выражений (рисунок, а):

$$d_c = \cos^{-1} \frac{D-d_h+h}{D} \tag{1}$$

$$d_b = \cos^{-1} \frac{D-d_b+h}{D}$$

Где  $D$  - диаметр вальцов.

Начало отсчёта углов  $d_c$  и  $d_b$  лежит на линии центров  $O - O_1$ .

Представим, что точка А движется по окружности вальца и её положение определяется соответствующим углом  $d_c$  в зоне сжатия или углом  $d_b$  в зоне восстановления ( рисунок б). По мере уменьшения угла  $d_c$  нормальное давление в зоне сжатия возрастает и достигает максимума в

точке Б при  $d_c = 0$ . По мере увеличения угла  $d_b$  нормальное давление уменьшается от  $max$  в точке Б до 0 в точке С.[3]

Выразив величины удельных давлений в зонах сжатия и восстановления как функции от углов  $d'_c$  и  $d'_b$  и приняв, что изменение удельного давления в соответствующих зонах прямо пропорционально изменению углов  $d'_c$  и  $d'_b$  (участки кривой ав и cd, рисунок, а), получим:

$$\sigma_c = K_c d'_c; \quad (2)$$

$$\sigma_b = K_b d'_b,$$

где  $\sigma_c$  - удельное давление в зоне сжатия;

где  $\sigma_b$  - удельное давление в зоне восстановления;

$K_c, K_b$  - коэффициенты пропорциональности между максимальным давлением и углами  $d'_c$  и  $d'_b$  в соответствующих зонах.

Значение коэффициентов определяется из выражений:

$$K_c = \frac{\sigma_{max}}{d'_c}; \quad (3)$$

$$K_b = \frac{\sigma_{max}}{d'_b},$$

Где  $\sigma_{max}$  - максимальное удельное давление, соответствующее максимальному сжатию в точках Б и Б<sub>1</sub>. [4]

По данным,  $\sigma_{max} = 0,115 - 0,3 \text{ кг/см}^2$  при степени относительной деформации стебля  $\sigma = 0,9$ .

Значения углов  $d'_a$  и  $d'_b$ , определяют формулы (1).

### Результаты и обсуждения

Площадь элементарного участка вальца  $d_s$ , соответствующего элементарному углу  $d'_a$ , проходящего через зоны деформации, будет

$$d_s = l \tau d'_a, \quad (4)$$

где  $l$  - рабочая длина вальца;

$\tau$  - радиус вальца.

Нормальные давления на элементарном участке в зоне сжатия  $\eta_c$  и зоне восстановления  $\eta_B$  с учётом выражений (2) и (4) будут:[5]

$$\eta_c = K_c l \tau d'_c d_a; \quad (5)$$

$$\eta_B = K_B l \tau d'_B d_a.$$

Интегрируя выражения (5) в пределах изменения углов  $d_c$  и  $d_B$  соответственно, получим значения суммарных нормальных давлений в зоне сжатия  $N_c$  и зоне восстановления  $N_B$ :

$$N_c = \frac{l \tau d_c \sigma_{max}}{2} \quad (6)$$

$$N_B = \frac{l \tau d_B \sigma_{max}}{2}$$

Точкам приложения  $N_c$  и  $N_B$  соответствуют углы, равные  $0,25d_c$  в зоне сжатия, и  $0,25d_B$  - в зоне восстановления. Тогда горизонтальные ( $N_{cx}$ ,  $N_{Bx}$ ) и вертикальные ( $N_{cy}$ ,  $N_{By}$ ) составляющие от сил  $N_c$  и  $N_B$  в соответствующих зонах определяются выражениями:

$$N_{cx} = \frac{1}{2} l \tau d_c \sigma_{max} \sin 0,25 d_c;$$

$$N_{Bx} = \frac{1}{2} l \tau d_B \sigma_{max} \sin 0,25 d_B;$$

$$N_{cy} = \frac{1}{2} l \tau d_c \sigma_{max} \cos 0,25 d_c; \quad (7)$$

$$N_{By} = \frac{1}{2} l \tau d_B \sigma_{max} \cos 0,25 d_B$$

Суммарные силы трения, возникающие в зонах сжатия и восстановления, пропорциональны соответствующим суммарным нормальным давлением и определяются выражениями:

$$F_c = N_c f = \frac{1}{2} l \tau d_c \sigma_{max} f; \quad (8)$$

$$F_B = N_B f = \frac{1}{2} l \tau d_B \sigma_{max} f,$$

где  $f$  - коэффициент трения валцов по стеблю.

Горизонтальные ( $F_{cx}$ ,  $F_{Bx}$ ) и вертикальные ( $F_{cy}$ ,  $F_{By}$ ) составляющие сил  $F_c$  и  $F_B$  определяются:

$$F_{cx} = F_c \cos 0,25 d_c;$$

$$F_{cy} = F_c \sin 0,25 d_c; \quad (9)$$

$$F_{bx} = F_b \cos 0,25 d_b;$$

$$F_{by} = F_b \sin 0,25 d_b.$$

Суммарная сила, протягивающая стебель ( $P_{пр}$ ), будет:

$$P_{пр} = 2(F_{cx} - N_{cx} + F_{bx} + N_{bx}), \quad (10)$$

где коэффициент “2” учитывает действие на стебель двух валцов початкоотделяющего аппарата.[5]

Условие отделения початка от стебля будет:

$$P_{пр} > P_c, \quad (11)$$

где  $P_c$  - усилие сопротивления плодоножки разрыву.

Среднее значение сопротивления плодоножки ( $P_c$ ) в зависимости от ее диаметра и состояния кукурузы колеблется в пределах 52-77 кг при крайних значениях 15-95 кг. Следовательно, валцы должны обеспечивать приложение к каждому початку усилия не менее 100 кг. Без учёта степени восстановления стебля после его прохода через рабочую щель условие отделения початка будет:

$$2(F_{cx} - N_{cx}) \geq 100 \text{ кг} \quad (12)$$

### Выводы

Выбор параметров початкоотделяющего аппарата только из условия (12) приводит к тому, что действительная сила, действующая на початок в момент его отрыва, значительно превышает 100 кг, так как горизонтальные составляющие от сил нормального давления и сил трения в зоне восстановления направлены в одну сторону и способствуют протягиванию стебля.[6] Следовательно, при расчете початкоотделяющего аппарата необходимо учитывать степень восстановления стебля целью уменьшения повреждений початков в момент отделения от стеблей.

### Литература

1. Труфляк, Е. В. Приспособление к початкоотделяющему аппарату для уборки кукурузы / Е. В. Труфляк // Техника в сельском хозяйстве. – 2010. – № 4. – С. 36-37. – EDN LVXWRZ.
2. Обзор теоретических исследований планетарных початкоотделяющих аппаратов / Н. Б. Василенко, Д. А. Котов, А. Н. Аурсалиди [и др.] // Стратегии и векторы развития АПК : Сборник статей по материалам национальной конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ, Краснодар, 15 ноября 2021 года / Отв. за выпуск А.А. Титученко. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2021. – С. 129-131. – EDN НУОПС.
3. Погосян, В. М. Динамика планетарного початкоотделяющего аппарата / В. М. Погосян, Л. Д. Сарксян, Ж. Д. Кобзарь // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 4(90). – С. 149-153. – DOI 10.37670/2073-0853-2021-90-4-149-153. – EDN NYKOZB.
4. Патент № 2807516 С1 Российская Федерация, МПК А01F 11/06. Селекционная установка для обмолота початков кукурузы : № 2023100953 : заявл. 17.01.2023 : опубл. 15.11.2023 / В. В. Цыбулевский, А. А. Полуэктов, Б. Ф. Тарасенко, В. М. Погосян ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский
5. Полуэктов, А. А. Селекционный обмолот початков кукурузы / А. А. Полуэктов, М. Д. Сарксян // Инновационные инженерные решения для АПК : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Рязань, 28 марта 2024 года. – Рязань: РГАТУ, 2024. – С. 21-26.
6. Погосян, В. М. Обмолот початков кукурузы трехвальцовой молотилкой на этапе селекции / В. М. Погосян, А. А. Полуэктов // Общество, образование, наука в современных парадигмах развития : Сборник трудов по материалам III Национальной научно-практической конференции, Керчь, 17–18 октября 2022 года / Редколлегия: Е.П. Масюткин [и др.]. – г. Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2022. – С. 61-65.

### References

1. Truflyak, E. V. Prispособlenie k pochatkootdelyayushhemu apparatu dlya uborki kukuruzy` / E. V. Truflyak // Texnika v sel`skom hozyajstve. – 2010. – № 4. – S. 36-37. – EDN LVXWRZ.
2. Obzor teoreticheskix issledovaniy planetarny`x pochatkootdelyayushhix apparatov / N. B. Vasilenko, D. A. Kotov, A. N. Aursalidi [i dr.] // Strategii i vektory` razvitiya APK : Sbornik statej po materialam nacional`noj konferencii, posvyashhennoj 100-letiyu Kubanskogo GAU, Krasnodar, 15 noyabrya 2021 goda / Otv. za vy`pusk A.A. Tituchenko. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni I.T. Trubilina, 2021. – S. 129-131. – EDN НУОПС.
3. Pogosyan, V. M. Dinamika planetarnogo pochatkootdelyayushhego apparata / V. M. Pogosyan, L. D. Sarksyian, Zh. D. Kobzar` // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2021. – № 4(90). – S. 149-153. – DOI 10.37670/2073-0853-2021-90-4-149-153. – EDN NYKOZB.
4. Patent № 2807516 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01F 11/06. Selekcion-naya ustanovka dlya obmolota pochatkov kukuruzy` : № 2023100953 : zayavl. 17.01.2023 : opubl. 15.11.2023 / V. V. Cybulevskij, A. A. Polue`ktov, B. F. Tarasenko, V. M. Pogosyan ; zayavitel` Federal`noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego obrazovaniya "Kubanskij

5. Polue`ktov, A. A. Selekcionny`j obmolot pochatkov kukuruzy` / A. A. Polue`k-tov, M. D. Sarksyant // Innovacionny`e inzhenerny`e resheniya dlya APK : Materialy` Vse-rossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Ryazan`, 28 marta 2024 goda. – Ryazan`: RGATU, 2024. – S. 21-26.

6. Pogosyan, V. M. Obmolot pochatkov kukuruzy` trexval`czovoj molotilkoj na e`tape selekcii / V. M. Pogosyan, A. A. Polue`ktov // Obshhestvo, obrazovanie, nauka v sovremenny`x paradigmakh razvitiya : Cbornik trudov po materialam III Nacional`noj nauchno-prakticheskoj konferencii, Kerch`, 17–18 oktyabrya 2022 goda / Redkollegiya: E.P. Masyutkin [i dr.]. – g. Kerch`: FGBOU VO «Kerchenskij gosudarstvenny`j morskij tehnologicheskij universitet», 2022. – S. 61-65.