

УДК 631.361

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

К ВОПРОСУ ДЕФОРМАЦИИ ПОЧАТКОВ КУКУРУЗЫ В ПЛАНЕТАРНОМ МОЛОТИЛЬНОМ АППАРАТЕ

Погосян Владимир Макичевич
к.т.н., доцент
pogosyn@gmail.com

Полуэктв Александр Александрович
ассистент
aleksandr.poluektov2000@yandex.ru

Байрамов Паша Исхар оглы
bayramoff999@mail.ru
ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ им. И.Т.Трубилина»,
Краснодар, Россия

Обмолот кукурузы – это важный этап в процессе сбора урожая, который включает отделение зерен от початков. В результате обмолота на початок кукурузы действует различное множество факторов и условий, одни из которых являются благоприятными, а другие несут только негативные последствия. Как показывает ряд исследований, дробление зерна кукурузы, при ее обмолоте, может быть, связано с чрезмерно большими усилиями обмолота, которые могут быть вызваны неправильной настройкой рабочих органов или же неправильно спроектированными элементами молотильного устройства. Нами предлагается рассмотрение теоретического процесса работы планетарного молотильного аппарата для обмолота початков кукурузы, с целью расширения его функциональных особенностей в области селекционного обмолота кукурузы. Также в работе был проанализирован ряд научных работ других авторов, работающих в данной области. В настоящей статье представлен математический анализ прохождения початка кукурузы в молотильном барабане, а также получен ряд следующих зависимостей: величина деформации початка от скорости деформации и угла поворота барабана

Ключевые слова: ПОЧАТОК, ТРЕНИЕ, УСИЛИЕ, РАЗРУШЕНИЕ, ЗЕРНО, ПРОЧНОСТЬ, ВЛАЖНОСТЬ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-202-022>

UDC 631.361

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

ON THE QUESTION OF DEFORMATION OF CORN COBS IN A PLANETARY THRESHING UNIT

Pogosyan Vladimir Makichevich
Cand.Tech.Sci., Associate Professor
pogosyn@gmail.com

Poluektov Aleksander Aleksandrovich
assistant
aleksandr.poluektov2000@yandex.ru

Bayramov Pasha Iskhara oglu
bayramoff999@mail.ru
FGBOU VO "Kuban State Agrarian University named after I.T.Trubilin", Krasnodar, Russia

Corn threshing is an important stage in the harvesting process, which includes separating the grains from the cobs. As a result of threshing, a corn cob is affected by a variety of factors and conditions, some of which are favorable, while others have only negative consequences. As a number of studies show, crushing of corn grain during threshing may be associated with excessively large threshing efforts, which can be caused by improper adjustment of the working bodies or improperly designed elements of the threshing device. We propose to consider the theoretical process of operation of a planetary threshing apparatus for threshing corn cobs, in order to expand its functional features in the field of selective threshing of corn. Also, the work analyzed a number of scientific papers by other authors working in this field. This article presents a mathematical analysis of the passage of a corn cob in a threshing drum, and also obtained a number of the following dependencies: the magnitude of cob deformation on the deformation rate and the angle of rotation of the drum

Keywords: COB, FRICTION, EFFORT, DESTRUCTION, GRAIN, STRENGTH, MOISTURE

Как уже отмечалось ранее обмолот кукурузы – это важный этап на пути становления современной селекционной системы сельскохозяйствен-

ного производства. Именно от качества обмолота селекционного материала будет зависеть большая часть будущего урожая.

В современных реалиях сельскохозяйственного производства для стационарного селекционного обмолота початков кукурузы используются дисковые молотилки МКД-М. К недостаткам данной молотилки можно отнести высокий недомолот початков, который достигает 8%, что приводит к необходимости проведения повторного обмолота селекционного материала, но с другой стороны молотилки МКД-М практически полностью исключают возможность травмирования селекционного материала, что является положительным качеством данных молотилок. Однако в силу того, что необходимо производить повторный обмолот данные молотильные устройства являются трудозатратными, что делает их использование в крупных селекционных предприятиях экономически невыгодными.

На сегодняшний день одним из перспективных направлений развития молотильных устройств является планетарные молотилки, которые в последние годы активно внедряются в зерноуборочные комбайны. В нашей статье будет рассмотрен ряд теоретических вопросов работы такого молотильного устройства на примере обмолота кукурузы. Одним из основных этапов теоретического исследования любого молотильного устройства является определение величины деформации зерна при его обмолоте, так как это в первую очередь связано с качеством селекционного урожая.

Как показали исследования ряда авторов, дробление зерна кукурузы при ее обмолоте зависит от величины и скорости деформации початка, а также от скорости удара рабочего органа по его поверхности [1].

По исследованиям Н.А. Бобрикова, зерна не разрушаются при скорости деформации равной $1 + 1,6$ м/сек. в пределах абсолютной величины деформации равной 18 - 20 мм.

Теоретические исследования – это важный этап при проектировании и изготовлении новых сельскохозяйственных машин и агрегатов, позволяющий производить математический анализ новых машин не прибегая к большим вложения в изготовление самих машин, а проводя эксперименты на лабораторных макетах.

Основным определяющим фактором процесса обмолота кукурузы в планетарном молотильном аппарате (рис. 1) является деформация с вычесыванием зерен вальцами барабана и подбарабанья.

При проведении всех теоретических исследований учитывались факторы, которые проявляются в процессе проведения лабораторного и полевого эксперимента [2].

Для похождения интервала угловых скоростей, при котором скорость деформация не будет превышать допустимые пределы, определим зависимость между величиной деформации и углом поворота барабана, обеспечивающего эту деформацию, в зависимости от геометрических параметров молотильного аппарата [3].

Рассмотрим ΔOO_2O_3 со сторонами OO_3 ; O_2O_3 ; OO_2 (рис. 2). Сторона OO_3 непосредственно выражается через геометрические параметры молотильного аппарата

$$OO_3 = \tau\delta + \tau b + \tau + \tau g$$

где $\tau\delta$ – радиус окружности центров вальцов планетарного барабана;

τb – радиус вальцов барабана;

τg – радиус вальцов подбарабанья;

τ – зазор между барабаном и подбарабаньем.

Сторона $O_2O_3 = \tau g + \tau n$, где τn – радиус початка.

Величину стороны OO_2 найдем из ΔOO_1O_2 :

$$OO_2 = OC + CO_2 \quad OC = \tau\delta \cdot \cos\alpha \quad CO_2 = (\tau b + \tau n) \cdot \cos\gamma$$

Выразим угол γ через α для чего из ΔOO_1C и CO_1O_2 напишем значения O_1C и приравняем их.

$$\tau\delta \cdot \sin\alpha = (\tau b + \tau n) \cdot \sin\gamma$$

отсюда

$$\sin\gamma = \frac{\tau\delta \cdot \sin\alpha}{(\tau b + \tau n)}, \text{ а } \cos\gamma = \sqrt{1 - \frac{\tau^2\delta \cdot \sin^2\alpha}{(\tau b + \tau n)^2}}$$

Подставив значения $\cos\gamma$ в CO_2 и преобразовав, получим:

$$OO_2 = \sqrt{(\tau b + \tau n)^2 - \tau^2\delta \cdot \sin^2\alpha}$$

А сторона OO_2 будет равна:

$$OO_2 = \tau b \cdot \cos\alpha + \sqrt{(\tau b + \tau n)^2 - \tau^2\delta \cdot \sin^2\alpha} \quad (1)$$

Зная величины всех трех сторон ΔOO_2O_3 , выраженные через параметры молотильного аппарата, и диаметр початка, из теоремы косинусов найдем:

$$\cos\varphi = \frac{OO_2^2 + OO_3^2 - O_2O_3^2}{2 OO_2 \cdot OO_3} \quad (2)$$

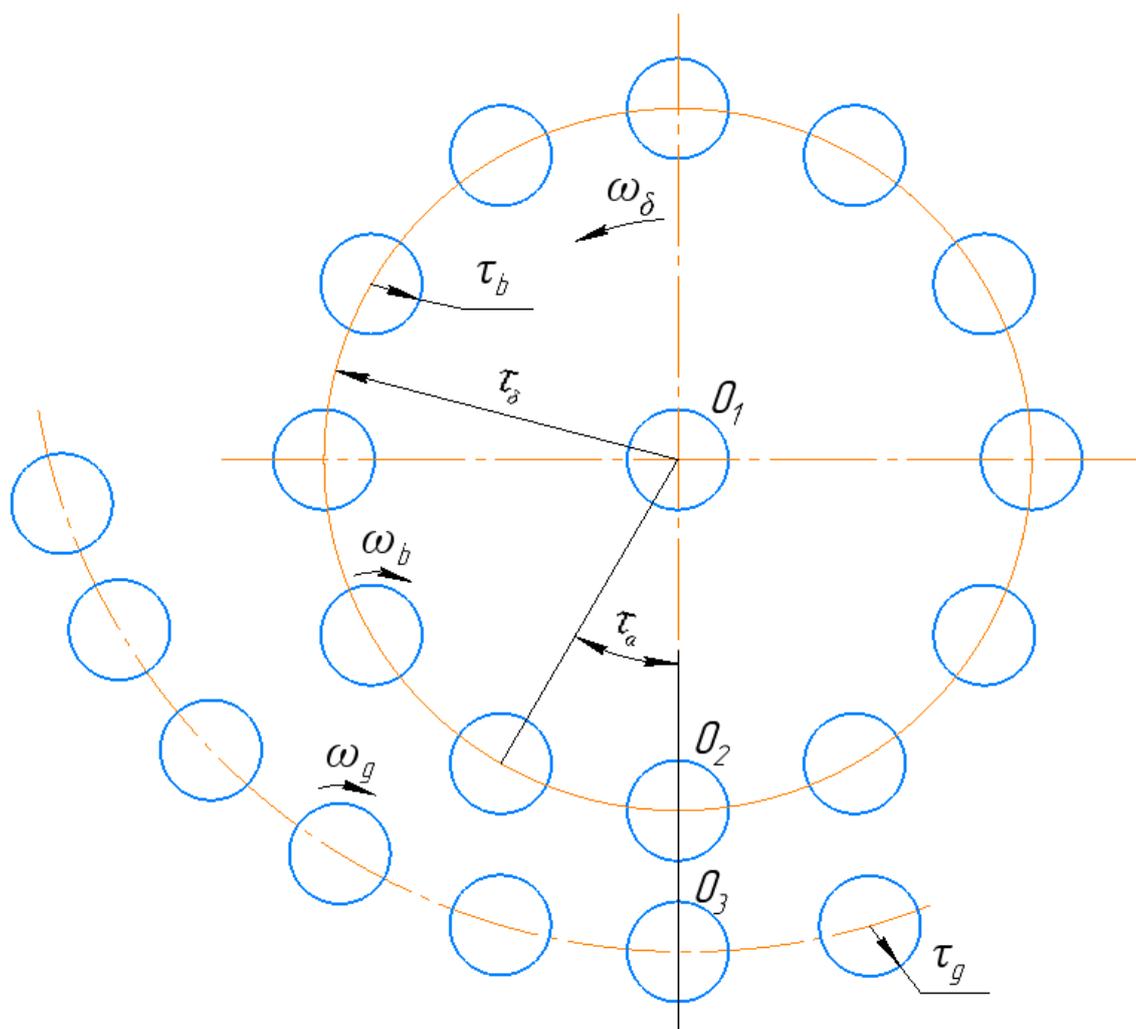


Рисунок 1 – Схема планетарного молотильного аппарата

Подставим в уравнение (2) значения сторон, получим:

$$\begin{aligned} \cos\varphi &= \\ &= \frac{(\tau\delta \cdot \cos\alpha + \sqrt{(\tau b + \tau n)^2 - \tau^2\delta \cdot \sin^2\alpha})^2 + (\tau\delta + \tau b + \tau g + \tau)^2 - (\tau g + \tau n)^2}{2(\tau\delta \cdot \cos\alpha + \sqrt{(\tau b + \tau n)^2 - \tau_\delta^2 \cdot \sin^2\alpha}) \cdot (\tau\delta + \tau b + \tau g + \tau)} \end{aligned} \quad (3)$$

откуда

$$\begin{aligned} \varphi &= \\ &= \arccos \frac{(\tau\delta \cdot \cos\alpha + \sqrt{(\tau b + \tau n)^2 - \tau_\delta^2 \cdot \sin^2\alpha})^2 + (\tau\delta + \tau b + \tau g + \tau)^2 - (\tau g + \tau n)^2}{2(\tau\delta \cdot \cos\alpha + \sqrt{(\tau b + \tau n)^2 - \tau_\delta^2 \cdot \sin^2\alpha})(\tau\delta + \tau b + \tau g + \tau)} \end{aligned} \quad (4)$$

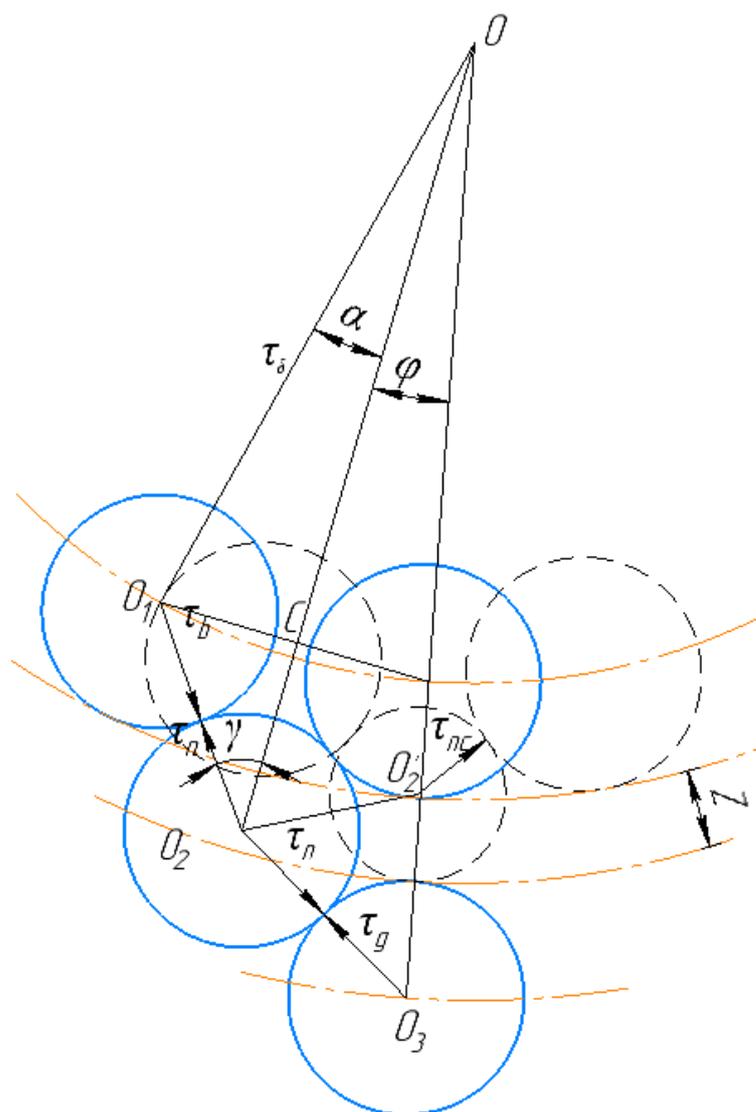


Рисунок 2 – Положение початка в процессе деформации.

Решая уравнение (4) для $\varphi = 0$, определим радиус сдеформированного початка при заданных геометрических параметрах аппарата [4]:

$$\tau_{n.c} = \frac{\tau_{\delta}^2 + (\tau_{\delta} + \tau_b + z)^2 - 2 \tau_{\delta} \cdot \cos\alpha(\tau_{\delta} + \tau_b + z) - \tau_b^2}{2 [2\tau_b + \tau_{\delta}(1 - \cos\alpha) + z]} \quad (5)$$

Приняв, что начальный радиус початка

$$\tau_n = \tau_{n.c} + \Delta d$$

и задаваясь последовательно значениями $\Delta d = 4, 6, 8, 16, 20$ по формуле (4), определим величину угла, в пределах которого происходит деформация при различной ее величине.

На рис. 3 представлена зависимость угла φ от величины деформации. График построен для значений $\tau_\delta = 170$ мм, $\tau_b = 28$ мм, $\tau_g = 27$ мм, $\alpha = 12^\circ$, $z = 2$ мм, при этих значениях радиус сдеформированного початка по формуле (5) равен – 15,5 мм [5].

Чтобы перейти к определению скорости деформации, решим уравнение (3) относительно τ_n .

Избавившись от дроби и иррациональности и проведя дальнейшие преобразования, получим квадратное уравнение (6).

$$4 [(00_3 \cdot \cos\varphi - \tau_\delta \cdot \cos\alpha)^2 - (\tau_b - \tau_g)^2] \tau_n^2 + [8\tau_b(00_3 \cdot \cos\varphi - \tau_\delta \cdot \cos\alpha)^2 - 4(\tau_b - \tau_g)^2(\tau_b - \tau_g) - 4\tau_\delta^2(\cos^2\alpha \cdot \sin^2\alpha)(\tau_b - \tau_g) - 4 00_3(00_3 - 2\tau_\delta \cdot \cos\alpha \cdot \cos\varphi)(\tau_b - \tau_g)] \tau_n$$

проведя дальнейшие преобразования, получим:

$$4[(00_3 \cdot \cos\varphi - \tau_\delta \cdot \cos\alpha)^2 \cdot (\tau_b^2 - \tau_\delta^2 \cdot \sin^2\alpha)(\tau_b - \tau_g) - [\tau_\delta^2(\cos^2\alpha - \sin^2\alpha) + 00_3(00_3 - 2\tau_\delta \cdot \cos\alpha \cdot \cos\varphi) + (\tau_b^2 - \tau_g^2)]^2] \tau_n^2 = 0 \quad (6)$$

Для упрощения выражения (6) примем, что $\tau_b = \tau_g$. Преобразовав свободный член уравнения и вводя для сокращения записи следующие коэффициенты

$$A_1 = 00_3 = (\tau_\delta + \tau_b + \tau_g + \tau)$$

$$A_2 = \tau_\delta \cdot \cos\alpha$$

$$A_3 = \tau_b^2 - \tau_\delta^2 \cdot \sin^2\alpha$$

$$A_4 = \tau_\delta^2(\cos^2\alpha - \sin^2\alpha)$$

$$A_5 = A_4 + A_1^2$$

$$A_6 = 4 A_3 A_1^2 - 4 A_1^2 A_2^2$$

$$A_7 = 8 A_3 A_2 A_1 - 4 A_5 A_1 A_2$$

$$A_8 = 4 A_3 A_2^2 - A_5^2$$

перепишем уравнение (6) в окончательном виде

$$4(A_1 \cos \varphi - A_2)^2 \cdot \tau_n^2 + 8\tau_q(A_1 \cos \varphi - A_2)^2 \cdot \tau_n + (A_6 \cdot \cos^2 \varphi + A_8) = 0 \quad (7)$$

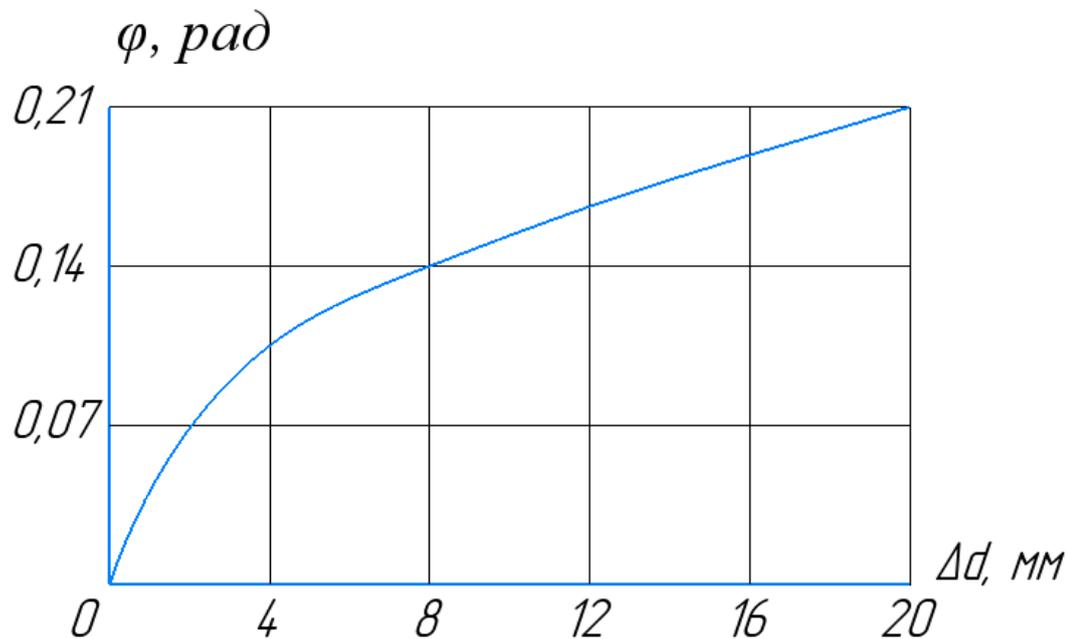


Рисунок 3 – Зависимость угла φ от величины деформации.

Решая полученное уравнение относительно τ_n , получим

$$\tau_n = \frac{-8\tau_q(A_1 \cos \varphi - A_2)^2 \pm \sqrt{64 \tau_q^2 b(A_1 \cos \varphi - A_2)^4 - 16(A_1 \cos \varphi - A_1)^2(A_6 \cos^2 \varphi - A_7 \cos \varphi + A_8)}}{8(A_1 \cos \varphi - A_2)^2}$$

учитывая, что $\varphi = \omega t$

$$\tau_n = -\tau_b \pm \frac{\sqrt{64 \tau_q^2 b(A_1 \cos \omega t - A_2)^4 - 16(A_1 \cos \omega t - A_1)^2(A_6 \cos^2 \omega t - A_7 \cos \omega t + A_8)}}{8(A_1 \cos \omega t - A_2)^2} \quad (8)$$

Дифференцируя выражение (8) по времени и учитывая, что $\frac{d\tau_n}{dt}$ есть скорость деформации V_g , получим:

$$\begin{aligned}
 &V_g \\
 &= \frac{256 \tau_b^2 \cdot \omega A_1 (A_1 \cos \omega t - A_2)^3 (-\sin \omega t)}{4 \sqrt{64 \tau^2 b (A_1 \cos \omega t - A_2)^4 - 16 (A_1 \cos \omega t - A_2)^2 (A_6 \cos^2 \omega t - A_7 \cos \omega t + A_8)} (A_1 \cos \omega t - A_2)^2} \\
 &- \\
 &\frac{32 \omega A_1 (-\sin \omega t) (A_1 \cos \omega t - A_2) (A_6 \cos^2 \omega t - A_7 \cos \omega t + A_8)}{4 \sqrt{64 \tau^2 b (A_1 \cos \omega t - A_2)^4 - 16 (A_1 \cos \omega t - A_2)^2 (A_6 \cos^2 \omega t - A_7 \cos \omega t + A_8)} (A_1 \cos \omega t - A_2)^2} \\
 &+ \\
 &+ \frac{[2 A_6 \cos \omega t \cdot \omega (-\sin \omega t) - A_7 \cdot \omega \cdot (-\sin \omega t)] \cdot 16 (A_1 \cos \omega t - A_2)^2}{4 \sqrt{64 \tau^2 b (A_1 \cos \omega t - A_2)^4 - 16 (A_1 \cos \omega t - A_2)^2 (A_6 \cos^2 \omega t - A_7 \cos \omega t + A_8)} (A_1 \cos \omega t - A_2)^2} \\
 &- \\
 &\frac{16 \omega A_1 (A_1 \cos \omega t - A_2) (-\sin \omega t) \sqrt{64 \tau^2 b (A_1 \cos \omega t - A_2)^4 - 16 (A_1 \cos \omega t - A_2)^2 (A_6 \cos^2 \omega t - A_7 \cos \omega t + A_8)}}{64 (A_1 \cos \omega t - A_2)^4}
 \end{aligned}$$

На рис. 4 построен график зависимости скорости деформации, вычисленной по формуле (9), от величины деформации для значений угловых скоростей $\omega = 5$ 1/сек, $\omega = 10$ 1/сек и $\omega = 15$ 1/сек [6, 7].

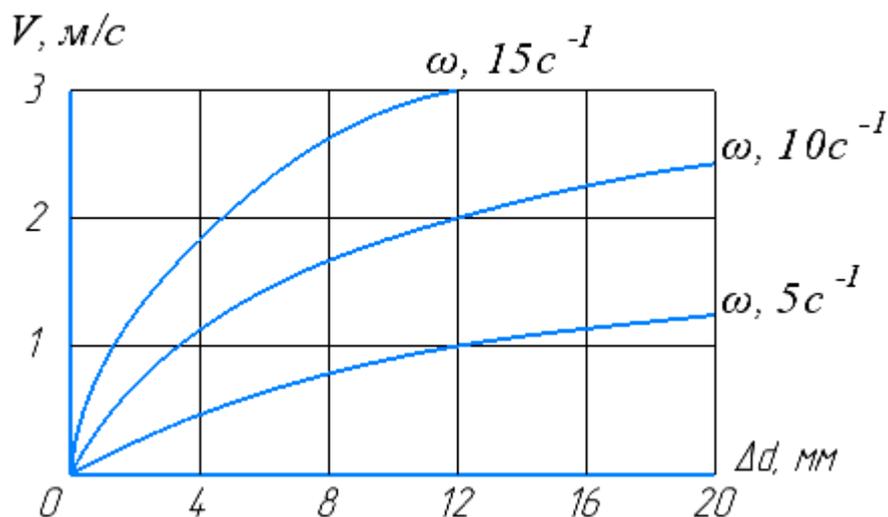


Рисунок 4 – Скорость деформации початка в зависимости от величины деформации

В результате проведения теоретических исследований были установлены зависимости, представленные на рисунках 3 и 4, которые позволяют не проводя лабораторных испытаний произвести математический анализ работы планетарного молотильного устройства с целью выявления деформации початка кукурузы.

Список литературы

1. Погосян, В. М. воздействие сил на обмолачиваемый початок кукурузы / В. М. Погосян, А. А. Полуэктов, П. И. Байрамов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 198. – С. 228-237. – DOI 10.21515/1990-4665-198-022.
2. Курасов В. С. Механико-технологическое обоснование комплекса технических средств для селекции, сортоиспытания и первичного семеноводства кукурузы / В. С. Курасов // дис. д-ра техн. наук: 05.20.01 / КГАУ. – Краснодар, 2003. – 343 с.
3. 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 государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина".
4. Погосян, В. М. К вопросу зависимости прочности зерна кукурузы от его влажности / В. М. Погосян, А. Л. Мечкало, А. А. Полуэктов // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90, № 1. – С. 59-66. – DOI 10.17816/0321-4443-111809.
5. Пастухов, А. Г. Молотильно-сепарирующее устройство для первичного семеноводства кукурузы / А. Г. Пастухов, Д. Н. Бахарев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14, № 1. – С. 34-39. – DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-34-39.
6. Бахарев, Д. Н. Совершенствование технологии послеуборочной обработки початков семенной кукурузы на основе технических решений поэтапного обмолота: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Бахарев Дмитрий Николаевич. – Мичуринск, 2022. – 446 с.
7. Курасов, В. С. К определению оптимальных сроков замены технических средств механизации полевого эксперимента в селекции кукурузы / В. С. Курасов, В. Н. Плешаков, А. С. Брусенцов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2010. – № 27. – С. 154-157.

References

1. Pogosyan, V. M. vozdejstvie sil na obmolachivaemyj pochatok kukuruzy` / V. M. Pogosyan, A. A. Polue`ktov, P. I. Bajramov // Politematicheskij setevoj e`lektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – № 198. – S. 228-237. – DOI 10.21515/1990-4665-198-022.
2. Kurasov V. S. Mexaniko-texnologicheskoe obosnovanie kompleksa texniche-skix sredstv dlya selekcii, sortoispy`taniya i pervichnogo semenovodstva kukuruzy` / V. S. Kurasov // dis. d-ra texn. nauk: 05.20.01 / KGAU. – Krasnodar, 2003. – 343 s.
3. Patent № 2807516 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01F 11/06. Selekcionnaya 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 gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni I.T. Trubilina".
4. Pogosyan, V. M. K voprosu zavisimosti prochnosti zerna kukuruzy` ot ego vlazhnosti / V. M. Pogosyan, A. L. Mechkalo, A. A. Polue`ktov // Traktory` i sel`hozma-shiny`. – 2023. – Т. 90, № 1. – S. 59-66. – DOI 10.17816/0321-4443-111809.

5. Pastuxov, A. G. Molotil`no-separiruyushhee ustrojstvo dlya pervichnogo semenovodstva kukuruzy` / A. G. Pastuxov, D. N. Baxarev // Sel`skoxozyajstvenny`e mashiny` i texnologii. – 2020. – Т. 14, № 1. – S. 34-39. – DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-34-39.

6. Baxarev, D. N. Sovershenstvovanie texnologii posleuborochnoj obrabotki pochatkov semennoj kukuruzy` na osnove texnicheskix reshenij poe`tapnogo obmolota: special`nost` 05.20.01 "Texnologii i sredstva mexanizacii sel`skogo xozyajstva" : dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora texnicheskix nauk / Baxarev Dmitrij Nikolaevich. – Michurinsk, 2022. – 446 s.

7. Kurasov, V. S. K opredeleniyu optimal`ny`x srokov zameny` texnicheskix sredstv mexanizacii polevogo e`ksperimenta v selekcii kukuruzy` / V. S. Kurasov, V. N. Pleshakov, A. S. Brusenczov // Trudy` Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 27. – S. 154-157.