

УДК 631.354.2

UDC 631.354.2

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

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

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АГРЕГАТА ДЛЯ СРЕЗАНИЯ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ И МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЕГО РАБОТЫ

SUBSTANTIATION OF THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL SCHEME OF THE UNIT FOR CUTTING AND CHOPPING PLANTS AND A MODEL FOR EVALUATING ITS WORK

Потебня Андрей Николаевич
аспирант
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия

Potebnya Andrey Nikolaevich
postgraduate student
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin" Krasnodar, Russia

Приведены обоснования схемы срезающе-измельчающего агрегата, на основании многочисленных исследований дана сравнительная оценка эффективности его работы в поле

The article presents the substantiation of the scheme of the cutting-grinding unit, based on numerous studies; a comparative assessment of the effectiveness of its work in the field is also given

Ключевые слова: СРЕЗАЮЩЕ-ИЗМЕЛЬЧАЮЩИЙ РЕЖУЩИЙ АГРЕГАТ, ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ, МОДЕЛЬ

Keywords: CUTTING AND GRINDING CUTTING UNIT, EFFICIENCY IMPROVEMENT, MODEL

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-190-011>

Введение. Используемые в настоящее время режущие аппараты не обеспечивают срезание и одновременное измельчение стеблей [3, 4]. Нами предложен срезающе-измельчающий режущий аппарат для различных культур (кукуруза, подсолнечник, камыш, трава и др.).

Актуальным вопросом является обоснование структурно-функциональной схемы агрегата для срезания и измельчения растений и модели оценки его работы.

Теоретические исследования режущих аппаратов выполнены рядом исследователей: Артоболевским И. И., Березиным Н. Г., Босым Е. С., Василенко И. Ф., Вязьминым М. И., Геронимусом Я. Л., Горячкиным В. П., Догодой П. А., Жалниным Э. В., Желиговским В. А., Карпенко А. Н., Летошневым М. Н., Погоровым Т. А., Резником Н. Е., Сабликовым Н. В. и другими учеными.

<http://ej.kubagro.ru/2023/06/pdf/11.pdf>

При этом отсутствует обоснование структурно-функциональной схемы агрегата для срезания и измельчения растений, а также модели оценки его работы [5, 6].

Цель исследования. Обоснование структурно-функциональной схемы агрегата для срезания и измельчения растений и модели оценки его работы.

Результаты исследований. Известно, что на выбор параметров и режимов работы измельчающего аппарата любого типа влияют биологические и физико-механические свойства скашиваемых растений, а также рельеф поля и т. д. [1].

При этом, многочисленными исследованиями установлено, что работа резания зерновых культур $A_n = 100\text{--}200 \text{ Дж/м}^2$, усилие стебля среднее $P = 2\text{--}6 \text{ Н}$, а максимальное – до 30 Н.

При этом, предел прочности стебля, при растяжении, равен $\sigma_b = 150\text{--}400 \text{ МПа}$, а при срезе $\sigma_b = 60\text{--}80 \text{ МПа}$.

Модуль упругости E для стеблей пшеницы находится в пределах 4500–7500 МПа.

Жесткость стебля EJ , при изгибе, зависит от его влажности, а также количества стеблей в пучке.

Плотность ткани растений находится в пределах 1300–1600 кг/м³.

В тоже время на эффективность работы агрегата существенное влияние оказывают длина срезаемых стеблей, способ их размещения на поверхности поля, его рельефа и т. д. При этом, рис и бобовые культуры растут кустами по 2–5 стеблей.

На рисунке 1 приведена формализованная модель взаимодействия элементов системы «почва → стебельная масса → измельчающий агрегат».

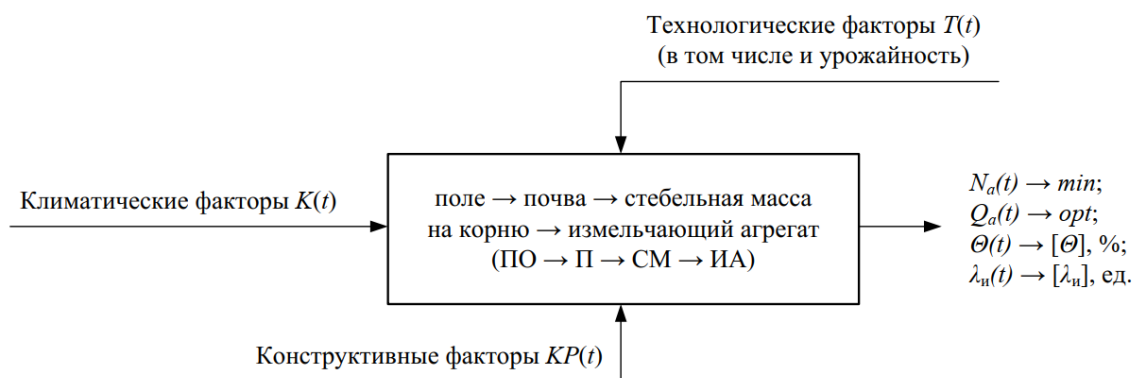


Рисунок 1 – Формализованная модель взаимодействия элементов системы ПО → П → СМ → ИА [Θ], [λ_н]

Согласно рисунку 1 основными показателями оценки функционирования данной системы являются:

- затраты энергии – $N_a(t)$, кВт;
- производительность агрегата – $Q_a(t)$, га/ч;
- неоднородность гранулометрического состава измельченной массы – $\Theta(t)$, %;
- степень измельчения стеблей – $\lambda_n(t)$, ед.

На рисунке 2 представлена структурно-функциональная схема измельчающего агрегата с режущим аппаратом срезающе-измельчающего типа.

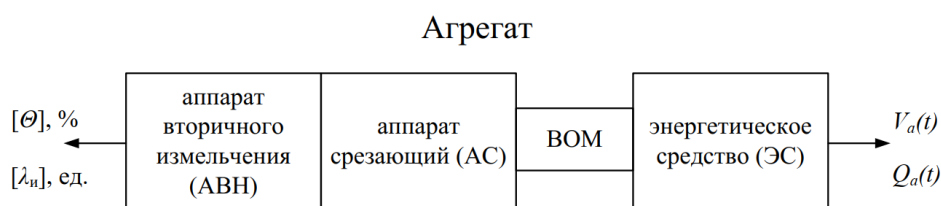


Рисунок 2 – Структурно-функциональная схема агрегата для утилизации растений на корнях

Для сравнительной оценки эффективности работы агрегата данного назначения принят показатель энергоемкости \mathcal{E} , учитывающий при этом, также показатели качества его работы, как однородность

гранулометрического состава измельченных частиц – Θ , %, а также степень измельчения стеблевой массы – $\lambda_{и}$, ед.

В общем виде параметрическая модель для сравнительной оценки с аналогами имеет вид:

$$\Xi = \frac{N}{Q_a \cdot \Theta \cdot \lambda_{и}}, \quad (1)$$

где N и Q_a – соответственно затраты энергии на измельчение, кВт

и производительность агрегата, га/ч.

Согласно принятой схеме работы агрегата, имеющего двух-ступенчатый измельчитель, уравнение баланса по измельченным стеблям, имеет следующий вид:

$$\frac{\sum_{i=1}^n V_{стi} \cdot \rho_{стi}}{F_{ст}} = \lambda_{и1} \cdot \lambda_{и2} = \frac{\sum_{j=1}^m V_{rj} \cdot \rho_{rj}}{F_{ст}}, \quad (2)$$

где $V_{ст}$ – объем стебля, м³;

$\rho_{ст}$ – плотность стебля, кг/м³;

n – количество стеблей, шт.;

$\lambda_{и1}$ и $\lambda_{и2}$ – степень измельчения стеблей соответственно первой ступенью и второй;

V_{rj} – объем полученного измельченного стебля, м³;

ρ_{rj} – плотность полученных частиц, кг/м³;

m – количество частиц после второй ступени, шт.;

Решая равенство (2) относительно параметров $\lambda_{и1}$ и $\lambda_{и2}$ получаем:

$$\lambda_{и1} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{стi} \cdot \rho_{стi}}{\lambda_{и2} \sum_{j=1}^m V_{rj} \cdot \rho_{rj}}, \quad (3)$$

$$\lambda_{и2} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{стi} \cdot \rho_{стi}}{\lambda_{и1} \sum_{j=1}^m V_{rj} \cdot \rho_{rj}}, \quad (4)$$

откуда

$$\lambda_{и} = \lambda_{и1} \cdot \lambda_{и2}. \quad (5)$$

Согласно схеме (рисунок 3) производительность агрегата равна

$$Q_a = \frac{G \cdot L_B \cdot \sin \alpha \cdot V_a}{F_n}, \quad (6)$$

где G – количество биологической массы стеблестоя, кг;

F_n – обрабатываемая площадь стеблестоя, м²;

V_a – скорость агрегата, м/с.

При этом пропускная способность срезающе-измельчающего аппарата $Q_{\text{СИА}}$ принимается из условия

$$Q_a \leq Q_{\text{СИА}}, \quad (7)$$

а с учетом 2-х ступеней – Q_{a_1} и Q_{a_2}

$$Q_a \leq Q_{\text{СИА}} \leq Q_{a_1} \leq Q_{a_2}. \quad (8)$$

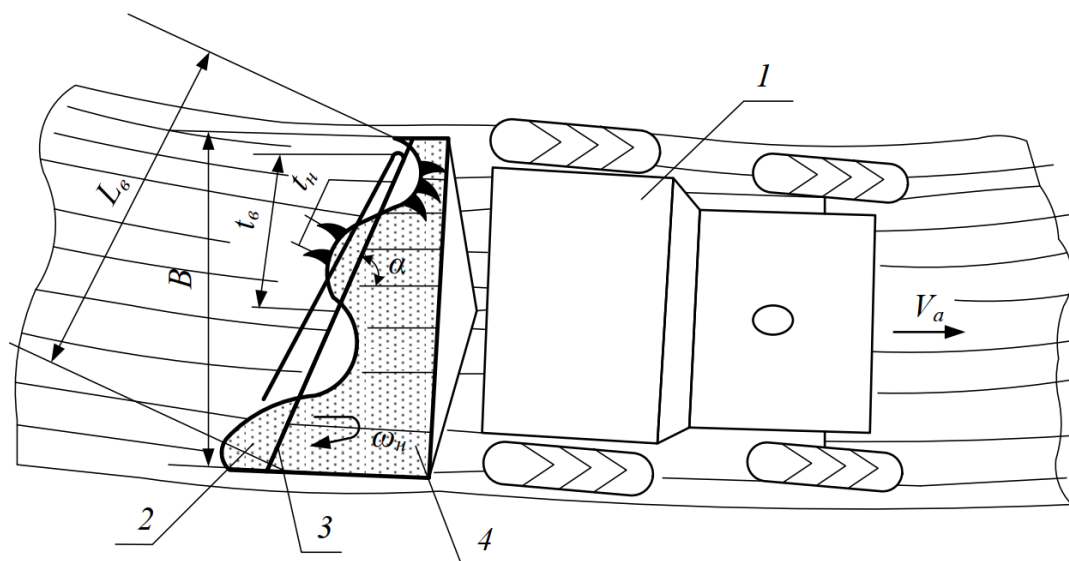


Рисунок 3 – Схема к определению параметров и режимов работы агрегата:

1 – энергетическое средство; 2 – винт измельчителя; 3 – вал винта; 4 – стеблестой;

L_B – длина вала винта; t_B – шаг винтов; t_n – шаг ножей; B – ширина захвата;

α – угол атаки; ω_n – угловая скорость ножей

Зависимость, характеризующая оценку гранулометрического состава измельченных стеблей – Θ , % (равенство 1) проведем через вероятность появления события, при котором

$$\frac{\sum_{j=1}^m l_{rj}}{m} = [l_{r_{cp}}],$$

где $[l_{r_{cp}}]$ – требуемый конечный размер получаемых частиц, мм.

Действительно, частота f появления события $[l_{r_{cp}}]$ может происходить в интервале от 0 до 1:

$$f = \frac{\sum_{j=1}^m l_{rj}}{m}. \quad (9)$$

Математическое ожидание l_r составляет ρ , дисперсия – $\rho \cdot \mu$, где $\mu = 1 - \rho$ [2]. Математическое ожидание $f = \rho$ [2]:

$$M[f] = \rho, \quad (10)$$

т. е. оценка f для ρ является не смещенной.

Дисперсия величины f равна

$$D[f] = \frac{\rho \cdot \mu}{m}. \quad (11)$$

Исходя из того, что математическое ожидание ρ и дисперсия $\rho \cdot \mu = \rho(1 - \rho)$ связаны функциональной зависимостью, можно построить доверительный интервал для f .

Принимая частоту f распределенной по нормальному закону имеем, что математическое ожидание равно $m_f = \rho$, а среднеквадратическое

$$\text{отклонение} - \sigma_f = \sqrt{\frac{\rho \cdot \mu}{m}} = \left(\frac{\rho \cdot \mu}{m}\right)^{0,5}.$$

Примем доверительную вероятность ξ для интервала $(\rho - \varepsilon_\xi; \rho + \varepsilon_\xi)$, чтобы f попала в интервал при вероятности ξ :

$$\Psi(|f - \rho| < \varepsilon_\xi) = \xi. \quad (12)$$

Так как величина f распределена нормально, но

$$\Psi(|f - \rho| < \varepsilon_\xi = 2\phi^1\left(\frac{1+\xi}{2}\right), \quad (13)$$

откуда

$$\varepsilon_\xi = \sigma_f \cdot \arg \phi^1\left(\frac{1+\xi}{2}\right),$$

где $\arg \phi^1$ – функция обратная нормальной функции распределения ϕ^1 .

Для ξ , обозначим

$$t_\xi = \arg \phi^1\left(\frac{1+\xi}{2}\right),$$

и тогда

$$\varepsilon_\xi = t_\xi + \sigma_f, \quad (14)$$

где t_ξ определяем из таблицы [2].

Таким образом, с вероятностью ξ получаем, что

$$|f - \rho| < t_\xi \cdot \left(\frac{\rho \cdot \mu}{m}\right)^{0,5}. \quad (15)$$

Фактически значение ρ нам не известно, но (14) имеет вероятность ξ независимо от этого факта.

Полученное неравенство (15) преобразуем к следующему виду

$$(f - \rho)^2 < \frac{t_\xi^2}{m} \cdot \rho(1 - \rho). \quad (16)$$

Геометрической интерпретацией неравенство (15) в координатах f и ρ является положение точек, ограниченное частью площади эллипса с координатами (0; 0) и (1; 1).

Для точек $f = 0$ и $f = 1$ имеем доверительный интервал Δf , который с вероятностью ξ выявит неизвестное значение ρ .

Геометрическое место точек в области, ограниченной эллипсом зависит от m .

Доверительные границы ρ_1 и ρ_2 доверительного интервала $\Delta\xi$ определим по (15), приравняв правую и левую части.

Его решением являются два корня:

$$\rho_1 = \left\{ \left(\frac{\sum_{j=1}^m lrj}{m} \right) + \frac{t_\xi^2}{2m} - t_\xi \left\{ \left[\frac{\left(\sum_{j=1}^m lrj/m \right) \left(1 - \sum_{j=1}^m lrj/m \right)}{m} \right] + \left. \left. + \left[\frac{t_\xi^2}{4m^2} \right]^{0,5} \right\} \right\} / \left[1 + (t_\xi^2) \cdot m^{-1} \right]; \quad (17)$$

$$\rho_2 = \left\{ \left(\frac{\sum_{j=1}^m lrj}{m} \right) + \frac{t_\xi^2}{2m} - t_\xi \left\{ \left[\frac{\left(\sum_{j=1}^m lrj/m \right) \left(1 - \sum_{j=1}^m lrj/m \right)}{m} \right] + \left. \left. + \left[\frac{t_\xi^2}{4m^2} \right]^{0,5} \right\} \right\} / \left[1 + (t_\xi^2) \cdot m^{-1} \right]. \quad (18)$$

Соответственно, доверительный интервал вероятности ρ будет

$$\Delta\xi = (\rho_1; \rho_2), \quad (19)$$

а область, перекрываемая границами ρ_1 и ρ_2 составит

$$O_f = (\rho_2 - \rho_1). \quad (20)$$

В связи с тем, что при увеличении m , значения $\left(\frac{t_\xi^2}{m} \right)$ и $\left(\frac{t_\xi^2}{4m^2} \right)$ в равенствах (16) и (17) стремятся к нулю, то в пределе они имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= f - t_\xi \cdot \left[\frac{f(1-f)}{m} \right]^{0,5} \\ \rho_2 &= f + t_\xi \cdot \left[\frac{f(1-f)}{m} \right]^{0,5} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

где $f = \frac{\sum_{j=1}^m lrg}{m}$.

С учетом условия (19) получим выражение для определения среднеквадратического отклонения

$$\sigma = \left[\frac{(\rho_1; \rho_2)}{m} \right]^{0,5}. \quad (22)$$

Тогда для коэффициента вариации имеем, что

$$\vartheta = \frac{\left[\frac{(\rho_1; \rho_2)}{m} \right]^{0,5}}{lr_{cp}}. \quad (23)$$

При этом, однородность получаемых частиц по размерному составу, входящая в формулу (1) будет определяться по выражению

$$\Theta = 1 - \vartheta, \quad (24)$$

или в процентах

$$\Theta = 100(1 - \vartheta). \quad (25)$$

Для показателя качества измельчения стеблей имеем, что [3]:

$$K = \frac{[l_r] \sum_{l_1}^{l_2} q_i}{l_o \sum_o^l q_n}, \quad (26)$$

где $[l_r]$, l_o – допустимое и среднее отклонение от средней заданной длины частиц;

$\sum_{l_1}^{l_2} q_i$ – масса частиц во фракциях требуемого размера;

$\sum_o^l q_n$ – общая масса пробы.

Выводы. Посредством разработанной формализованной модели взаимодействия элементов системы «поле–почва–стебельная масса на корнях–измельчающий агрегат» обоснована структурно-функциональная схема агрегата, включающего энергетическое средство и двухступенчатый режущий аппарат срезающе-измельчающего типа для утилизации растений на корнях.

На основании принятых подходов обоснована модель сравнительной оценки агрегата по энергоемкости с учетом качественных показателей работы – однородности частиц по размеру и степени дезинтеграции.

Получены аналитические зависимости, характеризующие степень измельчения на первой ступени СИА – формула (3), второй ступени (4) и общей степени – дезинтеграции стеблей – (5).

При рассмотрении взаимодействия стеблей, размещенных в рядках или условных рядках (камыш, кустарник) и ножей, размещенных по винтовой линии шнека с определенным шагом (в проекции на поверхность поля) возникает необходимость оценки интенсивности такого взаимодействия. На основании данной теории будут проведены теоретические исследования по обоснованию физической сути показателя кинематического режима и параметров режущего аппарата срезающе-измельчающего типа.

Библиографический список

1. Труфляк И. С. Теоретическое обоснование резания стеблей шнековым режущим аппаратом / И. С. Труфляк // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – № 07(101). – С. 2282–2297. – Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/153.pdf>, 1 у. п. л.
2. Труфляк И. С. Жатка зерноуборочного комбайна нового типа / И. С. Труфляк // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – № 07(101). С. 2298–2310. Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/154.pdf>, 0,812 у. п. л.
3. Труфляк И. С. Новый режущий аппарат косилок / И. С. Труфляк, Е. И. Трубилин // Материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых / КубГАУ. – Краснодар, 2012. – С. 370–371.
4. Пат 163826 РФ, МПК А 01 D 34/412 Шнековый режущий аппарат / Е. В. Труфляк, Г. Г. Маслов, И. С. Труфляк ; заявитель и патентообладатель КубГАУ. – № 20155151285/13 ; заявл. 30.11.2015 ; опубл. 10.08.2016. Бюл. № 22.

References

1. Truflyak I. S. Teoreticheskoe obosnovanie rezanija steblej shnekovym rezhushhim apparatom / I. S. Truflyak // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar : KubGAU, 2014. – № 07(101). – S. 2282–2297. – Rezhim dostupa : <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/153.pdf>, 1 u. p. l.

2. Truflyak I. S. Zhatka zernouborochnogo kombajna novogo tipa / I. S. Truflyak // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar : KubGAU, 2014. – № 07(101). S. 2298–2310. Rezhim dostupa : <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/154.pdf>, 0,812 u. p. l.

3. Truflyak I. S. Novyj rezhushhij apparat kosilok / I. S. Truflyak, E. I. Trubilin // Materialy VI Vseros. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh / KubGAU. – Krasnodar, 2012. – S. 370–371.

4. Pat 163826 RF, MPK A 01 D 34/412 Shnekovyy rezhushhij apparat / E. V. Truflyak, G. G. Maslov, I. S. Truflyak ; zajavitel' i patentoobladatel' KubGAU. – № 20155151285/13 ; zajavl. 30.11.2015 ; opubl. 10.08.2016. Bjul. № 22.