

РАЗРАБОТКА МАШИННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

DEVELOPMENT OF MACHINE TECHNOLOGY FOR LAND REHABILITATION

Т.М. НАТРИАШВИЛИ, д.т.н.
З.К. МАХАРОБЛИДЗЕ, д.т.н.
В.О. МАРГВЕЛАШВИЛИ, к.т.н.
С.Г. ШАРАШЕНИДЗЕ, к.т.н.

Институт механики машин им. Р. Двали, Тбилиси,
Грузия, rdimgg@yahoo.com

T.M. NATRIASHVILI, Dsc in Engineering
Z.K. MAKHAROBLIDZE, Dsc in Engineering
V.O. MARGVELASHVILI, PhD in Engineering
S.G. SHARASHENIDZE, PhD in Engineering

Rafiel Dvali Institute of Machine Mechanics, Tbilisi, Georgia,
rdimgg@yahoo.com

В Грузии в настоящее время актуален вопрос реабилитации заброшенных сельскохозяйственных земель. На реабилитированных участках осуществляется посадка винограда, интенсивных садов и разных плантационных культур. Реабилитация включает в себя очистку земли от растений и корневой системы, глубокую обработку почвы, устройство гребня и подготовку почвы для посадки саженцев. Известно, что из сельскохозяйственных работ, культурно-технические работы характеризуются наиболее высокими энерго- и трудовыми затратами. Одной из энергоемких операций в технологии реабилитации земель является очистка почвы от корневой системы растений. Несмотря на технический прогресс до сих пор не решен ряд проблемных вопросов по проектированию и изготовлению машин для некоторых сельскохозяйственных работ. Дело в том, что при реабилитации почвы применяют машины, рабочие органы которых спроектированы без учета реологических показателей обрабатываемой среды. В результате этого технологические работы сопровождаются высокими энергозатратами и приводят к механической эрозии обрабатываемой среды. Часто встречаются дорогие, широкозахватные мульчеры европейского производства с молоткообразными рабочими органами, использование которых противоречат теории резания и измельчения почвы и дает особенно отрицательные результаты при обработке почвы с повышенной влажностью.

В работе представлены технология и система машин для реабилитации заброшенных сельскохозяйственных земель. Рассмотрены основные принципы проектирования существующих машин для реабилитации земель. Изложены предпосылки для проектирования рабочих органов роторных сельскохозяйственных машин, работающих в упруго-пластической среде. Отмечено, что основой создания почвообрабатывающих машин должны быть реологические и механические показатели обрабатываемой среды. С применением теории удара исследован процесс взаимодействия режущих ножей и корневой системы растения в почвенной среде. Получено аналитическое изображение для расчета силы удара.

Ключевые слова: измельчение, энергоемкость, реология, реабилитация, удар.

Для цитирования: Натриашвили Т.М., Махароблидзе З.К., Маргвелашвили В.О., Шарашенидзе С.Г. Разработка машинной технологии для реабилитации земель // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 5. С. 13–17. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-5-13-17

The issue of rehabilitation of abandoned agricultural lands in Georgia is currently topical. In the rehabilitated areas there are grapes, intensive orchards and various plantation crops planted. Rehabilitation includes clearing the soil from plants and root systems, deep tillage, setting up a ridge and preparing the soil for planting seedlings. It is known that out of agricultural work the cultural and technical work is characterized by the highest energy and labor costs. One of such energy-intensive operations in land rehabilitation technology is cleaning the soil from the root system of plants. Despite technical progress, a number of problematic issues in the design and manufacture of machinery for some agricultural work have not yet been resolved. The fact is that in soil rehabilitation there are used the machines, which working bodies do not take into account in their design the rheological parameters of the treated medium. As a result, there is non-technological work with high energy consumption and mechanical erosion of the processed medium. Often there are expensive, wide-cut mulchers of European production with hammer-shaped working bodies. Its use contradicts the theory of cutting and crushing the soil and gives especially negative results when processing soil with high humidity.

The paper presents a technology and a system of machinery for the rehabilitation of abandoned agricultural areas. The basic principles of designing existing machinery for land rehabilitation are considered. The prerequisites for the design of the working bodies of rotary agricultural machines operating in an elastic-plastic medium are presented. It is noted that the basis for the creation of tillage machines should be the rheological and mechanical parameters of the treated medium. Using the theory of impact, the process of interaction between cutting knives and the root system of a plant in a soil environment was investigated. An analytical image for calculating the impact force was obtained.

Keywords: grinding, energy intensity, rheology, rehabilitation, impact.

Cite as: Natriashvili T.M., Makharoblidze Z.K., Margvelashvili V.O., Sharashenidze S.G. Development of machine technology for land rehabilitation. Traktory i sel'khoz mashiny. 2021. No 5, pp. 13–17 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-5-13-17

Введение

При разработке конструкции почвообрабатывающих машин технологический процесс надо рассматривать как физическое явление и, согласно реологической модели обрабатываемой среды (растительный материал + почва), изыскивать пути измельчения и разрыва почвы механическим воздействием с минимальными энергозатратами. Известно, что любой сельскохозяйственный материал имеет разные формы механического воздействия и обработки. Современные методы расчета учитывают условия жесткости среды с учетом наиболее твердого составляющего элемента, а параметры машины выбираются из условия максимальной жесткости. Недостатком существующей методики является то, что не учитываются реологические характеристики пластической среды и способа воздействия на нее, что является главным для данного материала (грунта). Эта проблема возникает в почвах, когда высокоскоростная обработка почвы создает пластичную среду без какой-либо структуры, аэрации и биосферы. Очевидно, такие почвы неэффективны для дальнейшего производства.

Цель исследований

Разработка метода расчета элементов почвообрабатывающих машин с учетом реологических характеристик грунта, как пластической среды, и способа воздействия на него.

Материалы и методы

Над разработкой машинной технологии и системы машин для реабилитации заброшенных сельскохозяйственных земель занимается Институт механики машин им. Р. Двали.



Рис. 1. Аппарат для срезания и измельчения кустов
Fig. 1. Apparatus for cutting and shredding bushes

В институте разработан аппарат для подрезки и измельчения растительных материалов (рис. 1), который обеспечивает срез, одновременное измельчение растительного материала и укладку измельченной массы на поверхность почвы в виде мульчи. Также разработана машинная технология измельчения корневой системы растений в почве и техническое средство – культиватор, который обеспечивает измельчение корневой системы в почве. Предлагаемая технология относится к биотехнологиям и направлена на использование измельченной растительной массы в качестве удобрения.

Технологический процесс измельчения корневой системы растений в почве осуществляется одним проходом агрегата с применением фрезы-культиватора комбинированными рабочими органами рис. 2.

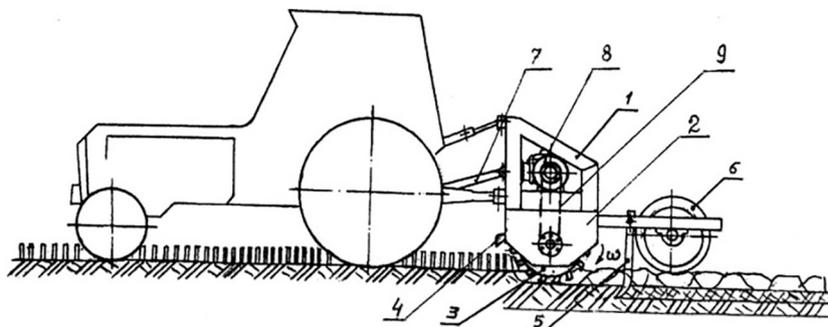


Рис. 2. Агрегат для измельчения корневой системы:

- 1 – рама; 2 – кожух; 3 – режущий нож; 4 – противорежущий нож; 5 – чизель-разрыхлитель;
6 – каток; 7 – карданный вал; 8 – конический редуктор; 9 – боковая передача

Fig. 2. Apparatus for cutting and shredding bushes: 1 – frame; 2 – casing; 3 – cutting knife; 4 – counter knife; 5 – chisel-opener; 6 – roller; 7 – cardan shaft; 8 – bevel gear, 9 – lateral gear

Режущие ножи рабочего органа фрезы обеспечивают измельчение корневой системы тяжело подрезанных растений на глубине 30 см, а чизельные рабочие органы обеспечивают разрыхление фрезеруемого слоя на глубине 40 см, что необходимо для улучшения водопроницаемости почвы и повышения аэрации. В настоящее время в рамках создания системы машин для реабилитации земель в институте разрабатывается машинная технология и конструкция гребне-образовательной машины с гидроприводом.

Процесс измельчения корневой системы растений в почве рассматривался как ударное воздействие взаимоударяемых тел. Поэтому при разработке конструкции машины были учтены следующие показатели: допустимая скорость обработки почвы, форма механического воздействия и реологические показатели, которые являются ключевыми для защиты структуры почвы. Соответственно, для изучения процесса измельчения корневой системы растений в почве были использованы методы теории удара.

Результаты и обсуждение

Одним из вариантов исследования процесса резания грунта активными рабочими органами, безусловно, является методика теории удара и реологии. Режущие элементы фрезы не являются абсолютно острыми, поэтому при фрезеровании почвы в качестве закона местной деформации в первом приближении можно использовать формулу Герца:

$$P = K\alpha^{3/2}. \quad (1)$$

Учитывая предположения, изложенные в работе [2], приемлемые для режущего элемента и обрабатываемого материала (растения), коэффициент K в формуле Герца определяется в упрощенном виде:

$$K = 1,33E\sqrt{R}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала; R – радиус резания режущего элемента.

Для определения силы резания пользуемся уравнением движения:

$$M \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = -k \alpha^{3/2}, \quad (3)$$

где $M = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}$ – приведенная масса;

$\alpha = \omega t$ – угол поворота барабана от начального состояния.

В работах [3, 5] рассматривается процесс ударного взаимодействия абсолютно твердого тела с упруго-вязким телом, результаты которого можно распространить на рассматриваемый процесс и определить максимальное значение ударной силы по формуле:

$$\rho_{\max} = 1,576K \left(\frac{M v_0^2}{K} \right)^{2/5} \left[1 - 0,9 \frac{1}{\tau} \left(\frac{M}{K} \right)^{2/5} v_0^{-1/5} \right]^{3/5}, \quad (4)$$

где v_0 – начальная скорость ударяющего тела; τ – время релаксации.

В машинах фрезерного типа $\lambda = \frac{\omega R_\phi}{v_a} > 1$,

где ω – угловая скорость барабана, R_ϕ – радиус фрезерования; v_a – скорость движения объекта.

Абсолютная скорость движения рабочего тела, то есть скорость резания определяется выражением [4]:

$$u_0 = u_0 \sqrt{t^2 \pm 2l \sin \mu + 1}. \quad (5)$$

Верхний знак в формуле (5) принадлежит вращению в направлении движения, а нижний – в обратном направлении. В зоне резания максимальная скорость равна: $v_0 = v_a \sqrt{\lambda^2 + 1}$; при вращении в обратном направлении $v_0 = v_a (\lambda + 1)$.

Приведенная масса ротора в точке удара:

$$M_1 = \frac{I}{R_\phi^2}, \quad (6)$$

где I – момент инерции ротора; R_ϕ – радиус фрезы, который определяется от места удара.

Масса, которая участвует в ударе:

$$M_2 = \rho V, \quad (7)$$

где ρ – плотность; V – объем срезаемого материала.

Для приблизительного расчета объем можно выразить формулой:

$$V = Sab, \quad (8)$$

где a и b – глубина и толщина срезанного слоя; S – величина подачи ножа:

$$S = v_a t,$$

где t – время; $t = \frac{2\pi}{Z\omega}$.

Соответственно, подача:

$$S = \frac{2\pi v_a}{Z\omega} = \frac{2\pi R_\phi}{\lambda Z}. \quad (9)$$

Подставляя (8) и (9) в формулу (7), получаем, что масса срезанной земли (стружки), участвующей в ударе, равна:

$$M_2 = \frac{2\pi R_\phi}{\lambda z} \rho ab. \quad (10)$$

Тогда общая приведенная масса в формуле (4) определяется выражением:

$$M = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} = \frac{2\pi I R_\phi \rho ab}{I \lambda Z + 2\pi R_\phi^3 \rho ab}. \quad (11)$$

Если подставим значения параметров формул (2), (5) и (11) в окончательную формулу (4), то получим формулу расчета ударной резки (фрезерования) в следующем виде:

$$P_{\max} = 2,096 E \sqrt{R} \left[\frac{2\pi I R_\phi \rho ab v_a^2 (\lambda^2 + 1)}{(I \lambda Z + 2\pi R_\phi^3 \rho ab) 1,33 E \sqrt{R}} \right]^{\frac{3}{5}} \times \left\{ 1 - 0,09 \frac{1}{2} \left[\frac{2\pi I R_\phi \rho ab}{(I \lambda Z + 2\pi R_\phi^3 \rho ab) 1,33 E \sqrt{R}} \right]^{\frac{2}{5}} \times \frac{1}{(v_a \sqrt{\lambda^2 + 1})^{1/5}} \right\}^{\frac{3}{5}}. \quad (12)$$

Второй член, указанный в скобках, формулы для почвы, очень мал по сравнению с единицей, и им можно пренебречь. Тогда, если мы сгруппируем постоянные члены в формуле (12) и учтем количество одновременно работающих ножей, получим:

$$P_{\max} = 5,23 E^{\frac{2}{5}} R^{\frac{1}{5}} \left[\frac{I R_\phi \rho ab v_a^2 (\lambda^2 + 1)}{I \lambda Z + 2\pi R_\phi^3 \rho ab} \right]^{\frac{3}{5}} n, \quad (13)$$

где n – количество одновременно работающих ножей.

С учетом технологических требований, которые предполагают максимальное значение измельченных фракций $L = S = 10$ см, кинематический фактор можно определить по зависимости:

$$\lambda = \frac{\pi D}{S n} = \frac{3,14 \cdot 0,9}{0,1 \cdot 2} = 14,13,$$

где D – диаметр фрезы, м; n – количество рабочих органов, одновременно работающих в продольной вертикальной плоскости.

Определим максимальную силу удара при резании по формуле (13), с учетом скорости обработки почвы $V \leq 10$ м/с, и кинематический коэффициент $\lambda = 14,13$.

Для численного примера силы удара примем следующие характеристики:

- плотность почвы $\rho = 1600$ кг/м³;
 - момент инерции ротора ($D = 0,9$ м, $\Delta = 20$ мм, количество дисков ротора $N = 3$) $I = 7,8 \cdot 3 = 23,4$ кг/м²;
 - предел прочности грунта $\sigma_{np} = 0,4 \cdot 10^6$ Н/м²;
 - модуль упругости $E = 2 \cdot 10^6$ Н/м²;
 - кинематический фактор $\lambda = 14,13$;
 - глубина обработки $a = 0,35$ м;
 - ширина захвата $b = 0,1$ м;
 - радиус заточки режущего элемента $R = 25$ мкм = $2,5 \cdot 10^{-6}$ м;
 - радиус ротора $R_\phi = 0,45$ мм;
 - количество режущих ножей на диске $Z = 8$;
 - количество режущих элементов, работающих одновременно в продольной вертикальной плоскости $n = 9$;
 - скорость движения агрегата с учетом кинематического фактора $V_a = \frac{V_f}{\lambda} = \frac{8,47}{14,13} = 0,6$ м/с.
- Тогда:

$$P_{\max} = 5,23 E^{\frac{2}{5}} R^{\frac{1}{5}} \left[\frac{I R_\phi \rho ab v_a^2 (\lambda^2 + 1)}{I \lambda Z + 2\pi R_\phi^3 \rho ab} \right]^{\frac{3}{5}} n = 5,23 (2 \cdot 10^6)^{\frac{2}{5}} (2,5 \cdot 10^{-6})^{\frac{1}{5}} \times \left[\frac{23,4 \cdot 0,45 \cdot 1600 \cdot (0,6)^2 (14,13^2 + 1) \cdot 0,35 \cdot 0,3}{23,4 \cdot 14,13 \cdot 24 + 2\pi (0,45)^3 \cdot 1600 \cdot 0,35 \cdot 0,3} \right]^{\frac{3}{5}} 9 = 9816 \text{ Н.}$$

Требуемая мощность $N = P_{\max} V_a = 9816 \times 0,6 = 5889,6$ Вт; $N = 5,89$ кВт.

Выводы

Полученная формула полностью учитывает физико-механические свойства рабочей среды, а также кинематические и динамические факторы фрезерования. Ее можно использовать для определения сил сопротивления резанию в сельскохозяйственной технике аналогичного типа, работающей по принципу удара.

Литература

1. Мульчеры и измельчители пней. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1329#secondnav-recommend> (дата обращения: 11.09.2021).
2. Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства ударяемых тел. М.: Издательство литературы по строительству. 1965. 447 с.

3. Махароблидзе Р.М. Методы теории удара и реологии в земледельческой механике. Тбилиси: «Интеллект». 2006. 314 с.
4. Синсоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. 326 с.
5. Кормшиков А.Д. Механизация обработки почвы на склонах. Чебоксары: Чувашское книжное издательство, 1981. 125 с.

References

1. Mul'chery i izmel'chiteli pney [Mulchers and stump grinders]. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1329#second-nav-recommend> (accessed: 11.09.2021).

2. Gol'dsmit V. Udar. Teoriya i fizicheskiye svoystva udaryayemykh tel [Impact. Theory and physical properties of impacted bodies]. Moscow. Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu Publ. 1965. 447 p.
3. Makharoblidze R.M. Metody teorii udara i reologii v zemledel'cheskoy mekhanike [Impact theory and rheology methods in agricultural mechanics]. Tbilisi. «Intellekt» Publ. 2006. 314 p.
4. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Theory and calculation of tillage machinery]. Moscow. Mashinostroyeniye Publ. 1977. 326 p.
5. Kormshikov A.D. Mekhanizatsiya obrabotki pochvy na sklonakh [Mechanization of tillage on slopes]. Cheboksary. Chuvashskoye knizhnoye izdatel'stvo. Publ. 1981. 125 p.