

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАПОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА С ПЕРЕМЕННЫМ УГЛОМ КРОШЕНИЯ

Савостина Т.П., Щипелев Н.А., Карачевский А.С.

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. Данная статья посвящена исследованиям в области определения основных прочностных характеристик стрелчатого лапового рабочего органа с переменным углом крошения. Особенностью изложенного материала является изучение изменения напряжённого состояния в характерных сечениях лапового рабочего органа. Все расчёты были проведены на созданной компьютерной модели лапы с использованием 3D-моделирования. Далее осуществлялось сравнение результатов прочностных расчётов исследуемой лапы с результатами, полученными при исследовании лапы, используемой традиционно.

Ключевые слова. Стрелчатая лапа, твердотельное моделирование, прочностные расчёты.

STUDY OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF THE PAW WORKING BODY WITH A VARIABLE ANGLE OF CRUMBLING

Savostina T.P., Shchipelev N.A., Karachevsky A.S.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Annotation. This article is devoted to research in the field of determining the main strength characteristics of a pointed leg working organ with a variable angle of crumbling. The peculiarity of the presented material is the study of changes in the stress state in the characteristic sections of the paw working organ. All calculations were performed on the created computer model of the paw using 3D modeling. Further, the results of strength calculations of the lamp under study were compared with the results obtained during the study of the traditionally used paw.

Keywords. The V-shaped sweep, solid modelling, stress analysis.

Введение. При проведении агротехнических работ особая роль отводится предпосевной подготовке, включающая обработку почвы с оборотом пласта, работ по культивации взошедших сорняков, а также частичной уборки пожнивных остатков с полей [1-3]. Особая роль при этом отводится обработке почвы без оборота пласта. Этот вид работ проводится, как известно, культиваторами, оснащёнными плоскорезными стрелчатыми лапами [4-7]. Обычная проблема таких рабочих органов заключается в качестве выполняемых ими работ, а также в их долговечности. К качественным показателям работы лаповых рабочих органов относятся: удовлетворительное крошение подрезаемого почвенного пласта и достаточно хорошее подрезание стеблей сорных растений [8-10]. Изучению и решению этих вопросов было посвящено достаточно большое количество материалов и затрачено усилий многих как отечественных, так и зарубежных учёных, работающих в данной области. Исследованиям прочностных характеристик лаповых рабочих органов в условиях увеличения продолжительности их работы уделялось сравнительно недостаточно внимания [11,13]. Современные возможности компьютерной техники позволяют создавать твердотельные модели любых объектов и назначать практически любые условия их работы, в том числе и наиболее тяжёлые. Данная статья как раз и посвящена исследованию проверки таких возможностей при их сравнении с результатами теоретических исследований.

Работоспособность лаповых рабочих органов культиваторов зависит от многих разнообразных факторов, например, таких как: состояние почвенной среды, т.е. её типа, влажности, плотности, температуры, выбора способа и режимов её обработки, номенклатуры почвообрабатывающих орудий, их геометрических параметров, материала, технических характеристик и пр [1,12]. Исходя из этого, процесс обработки почвы сводится по сути к решению достаточно сложной задачи, поскольку даже несмотря на многочисленные исследования самого объекта обработки - почвы, она ещё представляет собой «чёрный ящик» и при любых серьёзных исследованиях, приходится принимать ту или иную её модель, внося ряд ограничений и допущений. Данная работа направлена на изучение культиваторных рабочих органов, предназначенных для подготовки почвы под посевы различных культур. Объектом

исследования являлась жёсткая стойка с плоскорежущей стрелчатой лапой, имеющей переменный угол крошения. Задачами служили определение основных прочностных характеристик лапы в характерных сечениях и стойки, в зависимости от изменения геометрических размеров её поперечного сечения.

В процессе исследования была создана компьютерная модель рабочего органа при помощи программного продукта КОМПАС-3D. Основные расчёты проводились с помощью программного пакета IPM Win Machine [8,14].

При проектировании рабочего органа культиватора, оснащённого стрелчатой лапой с переменным углом крошения:

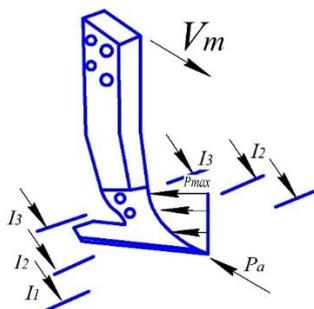


Рисунок 1 - Схема нагружения культиваторного рабочего органа, оснащённого стрелчатой плоскорежущей лапой с переменным углом крошения

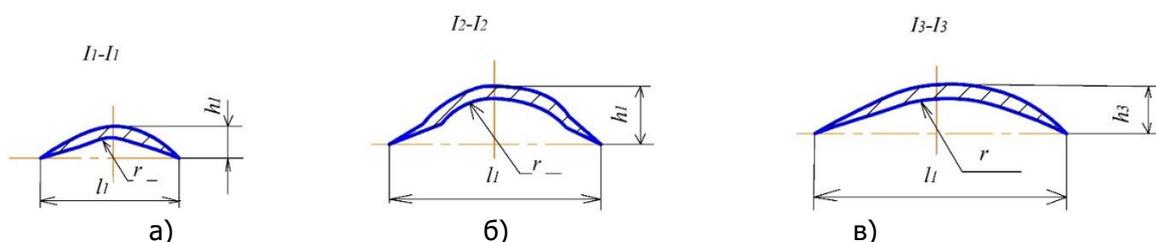


Рисунок 2 - Поперечные сечения лапового рабочего органа

Определяем площади поперечных сечений лапового рабочего органа (S_1, S_2, S_3), имеющего переменный угол крошения, используя следующие уравнения:

- в сечении I-I:

Для определения площади лапы S_1 в начале запишем общую формулу определения площади:

$$S = \int_0^l f_1(x)dx - \int_0^l f_2(x)dx ,$$

где: $f_1(x)$ - функция, описывающая площадь между верхней частью криволинейной поверхности лапы и осью абсцисс;

$f_2(x)$ - функция, описывающая площадь между нижней частью криволинейной поверхности лапы и осью абсцисс.

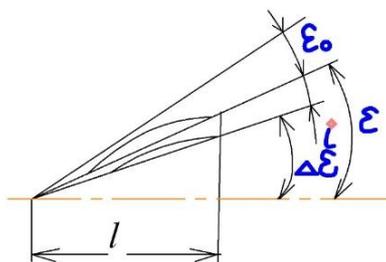


Рисунок 3 – Криволинейный профиль крыла лапы

где: ε - угол постановки лапы к горизонту (рекомендуемые значения углов для: плоскорежных $-12^0...18^0$; универсальных $- 25^0...35^0$), принимаем $\varepsilon=15^0$;

ε_0 - угол резания (рекомендуемые значения углов $< 32^0... 36^0$), принимаем $\varepsilon_0 = 34^0$;

$\Delta \varepsilon$ - затылочный угол (рекомендуемые значения углов $> 3^0...5^0$), принимаем $\Delta \varepsilon = 5^0$;

i - угол заострения лезвия (рекомендуемые значения углов $> 12^0...15^0$), принимаем $i = 12^0$;

l - $1/2$ ширины лапы в определённом сечении;

r - радиус скругления между крыльями лапы, принимаем $r = 20$ мм.

Раскроем формулу для определения S более подробно. Наиболее лучше, в рассмотренном случае, для описания верхней линии площади поверхности лапы подходит кривая $y = \sqrt{2x}$, т. е. формула примет следующий вид: $f_1(x) = \sqrt{2x}$, тогда вторая кривая примет вид - $f_2(x) = \sqrt{2x} - 2$. В этом случае, площадь поперечного сечения лапы (I-I), будет выражаться следующей формулой:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} R \cdot (1 - \cos t) \cdot [R \cdot (t - \sin t)] \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} R \cdot (1 - \cos t)^2 dt,$$

где: x_1 - абсцисса первой точки дуги;

y_1 - ордината первой точки дуги;

t_1 - параметр (меньший) первой точки дуги;

x_2 - абсцисса второй точки дуги;

y_2 - ордината второй точки дуги;

t_2 - параметр (большой) второй точки дуги;

R - радиус производящей окружности;

$x = R(t - \sin t)$ — параметрическое уравнение абсциссы циклоиды;

$y = R(1 - \cos t)$ — параметрическое уравнение ординаты циклоиды;

S - площадь циклоиды, мм².

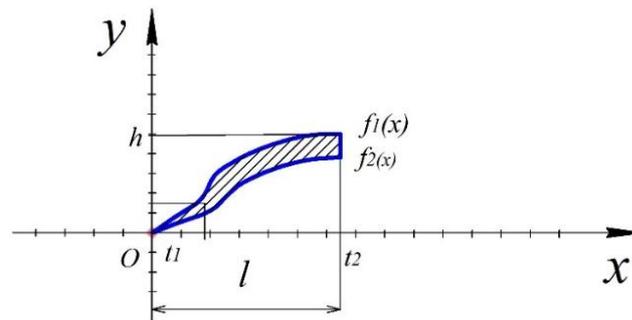


Рисунок 4 - Иллюстрация к определению площади поверхности криволинейного профиля в сечении I-I стрелчатой лапы

– для сечения I_1-I_1 $l = 70$ мм, высота над почвенным горизонтом $h = 40$ мм;

– для сечения I_2-I_2 $l = 140$ мм, высота над почвенным горизонтом $h = 60$ мм;

– для сечения I_3-I_3 $l = 220$ мм, высота над почвенным горизонтом $h = 80$ мм;

Подставив соответствующие данные в вышеуказанные формулы, выполнив интегрирование и удвоив результат, получим искомые площади в характерных сечениях лапы (S_1, S_2, S_3): $S_1 = 1468$ мм², $S_2 = 1684$ мм², $S_3 = 1832$ мм².

Расчётная часть. Определим напряжения в характерных сечениях при действии на лапу нагрузки $P = 1478$ (Н):

$$\sigma_1 = \frac{P}{S_1} = \frac{1478}{1468} = 1 \text{ (МПа)},$$

$$\sigma_2 = \frac{P}{S_2} = \frac{1478}{1684} = 0,88 \text{ (МПа)},$$

$$\sigma_3 = \frac{P}{S_3} = \frac{1478}{1832} = 0,8 \text{ (МПа)}.$$

Оценка стрелчатой лапы по коэффициенту запаса усталостной прочности

Используя полученные данные проведём расчёт стрелчатой лапы с переменным углом крошения по коэффициенту запаса усталостной прочности:

- по нормальным напряжениям:

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\beta \cdot \varepsilon_\sigma} \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_m},$$

где: σ_{-1} - предел выносливости материала, МПа;

k_{σ} - эффективный коэффициент концентрации напряжений;

β - коэффициент, учитывающий влияние шероховатости поверхности при параметре шероховатости $R_z \leq 20 \text{ мкм}$, $\beta = 0,9 - 1$;

ε_{σ} - масштабный фактор для нормальных напряжений;

σ_a - амплитуда нормальных напряжений: $\sigma_a = \frac{M_u}{W}$, МПа;

Ψ_{σ} - коэффициент чувствительности к асимметрии цикла напряжений;

σ_m - среднее напряжение $\sigma_m = \frac{P}{S}$, МПа.

- по касательным напряжениям:

$$S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_{\tau}}{\beta \cdot \varepsilon_{\tau}} \cdot \tau_a + \Psi_{\tau} \cdot \tau_m} ,$$

где: τ_{-1} - предел выносливости материала, МПа;

k_{τ} - эффективный коэффициент концентрации напряжений;

β - коэффициент, учитывающий влияние шероховатости поверхности при параметре шероховатости $R_z \leq 20 \text{ мкм}$, $\beta = 0,9 - 1$;

ε_{τ} - масштабный фактор для касательных напряжений;

τ_a - амплитуда касательных напряжений;

Ψ_{τ} - коэффициент чувствительности к асимметрии цикла напряжений;

τ_m - среднее напряжение, МПа;

σ_{-1} и τ_{-1} - пределы выносливости берём из справочника материалов для стали 65Г;

Суммарный коэффициенту запаса усталостной прочности. Проведя соответствующие вычисления, получаем коэффициенту запаса усталостной прочности для стрелчатой лапы с переменным углом крошения

$$S = \frac{S_{\sigma} \cdot S_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}} = 6,3 ,$$

что показывает вполне достаточный запас прочности.

Анализ полученных результатов. Выполненные исследования показали, что при приложении нагрузки к рабочему органу культиватора, оснащённого стрелчатой лапой с переменным углом крошения,

По прочностным характеристикам исследуемый рабочий орган, показал следующие результаты:

Обсуждения и выводы. Исходя из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Проведённые исследования доказали возможность реализации создания твердотельной модели стрелчатой лапы, закреплённой на жёсткой стойке для проведения её прочностных расчётов с помощью современных пакетов прикладных программ.

2. Расчёты подтвердили теоретические предположения о характере напряжённого состояния лапового рабочего органа и выявили степень его зависимости от изменения геометрических размеров сечений, причём максимальные напряжения получились чуть ниже крепления лапы к стойке (сечение III-III).

3. Интерес представляют дальнейшие исследования, направленные на улучшение прочностных характеристик стрелчатых лап с целью продления их срока службы.

Список использованных источников

1. Антибас И.Р. Исследование зависимости силы сопротивления проникновению и размеров пор некоторых видов почв методом сжатого воздуха при различных влажностях/ И.Р. Антибас, А.Г. Дьяченко //В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения

Сборник статей 8-й международной научно-практической конференции в рамках 18-й международной агропромышленной выставки "Интерагромаш-2015". С. 81-84.

2. Дьяченко, А.Г. Исследование прочностных характеристик комбинированного рабочего органа культиватора-глубококорыхлителя/ А.Г. Дьяченко, С.А. Партко, А.Н. Сиротенко //Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: мат-лы 7-й Междунар. науч.-практ. конф. рамках 17-й Междунар. агропромышленной выставки «Интерагромаш-2014». - Ростов-на-Дону, 2014. - С. 81–83.

3. Антибас И.Р. Технические параметры модифицированной сеялки для высева зерновых культур в тяжёлые по механическому составу почвы. /И.Р. Антибас, А.Г. Дьяченко// Вестник Донского государственного технического университета, 2015г. Т. 15. № 3 (82).С. 81-88.

4. Антибас И.Р. Моделирование, изучение и изготовление стойки культиватора из композитных материалов/ И.Р. Антибас, А.Г. Дьяченко // Вестник мордовского. ун-та. - 2018. - Т. 28, № 3. - С. 366-378

5. Соловьёв С.Г. Совершенствование технологического процесса и обоснование комбинированного рабочего органа для основной безотвальной обработки почвы: Дис.... канд. техн. наук. - Ростов-на-Дону.- 2002. -184 с.

6. Дьяченко А.Г. Анализ прочностных стойки культиватора-глубококорыхлителя / А.Г. Дьяченко, Соловьёв С.А., С.А. Партко, А.Н. Сиротенко //Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: мат-лы 6-й Междунар. науч.- практ. конф. в рамках

16-й Междунар. агропромышленной выставки «Интерагромаш-2014. - Ростов-на-Дону, 2013. - С. 67-68.

7. Антибас И.Р. Обоснование способа измерения силы сопротивления почвы проникновению/ И.Р. Антибас, А.Г. Дьяченко //В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения Материалы 7-й Международной научно-практической конференции, в рамках 17-й Международной агропромышленной выставки "Интерагромаш-2014". С. 67-70.

8. Грошев, Л.М. Сравнение параметров разгона мобильной машины с механическим и гидромеханическим приводом/ Л.М. Грошев [и др.]// Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы 6-й Междунар. науч.-практ. Конф., в рамках 16-й Междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2013». - Ростов-на-Дону, 2013. - С. 74-76.

9. Антибас И.Р. Параметрическая оптимизация конструкции /Антибас И.Р., Савостина Т.П.// Инновации в машиностроении. сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. Под редакцией А.М. Маркова, А.В. Балашова, М.В. Доц. 2018. С. 268-271.

10. Antibas I.R. Evaluation of soil force of resistance to penetration with the use of new design of penetrometer's probe tip / I.R. Antibas, A.G. Dyachenko //International Journal of Environmental and Science Education. 2016. Т. 11. № 18. С. 10941-10950.

11. Антибас И.Р. Влияние параметров молотильно-сепарирующего устройства на обмолот/ И.Р. Антибас, Т.П. Савостина, И. Саед бакир // Вестник Донского государственного технического университета. 2017. Т. 17. № 2. С. 108-115.

12. Антибас И.Р. Исследование влияния скорости почвообрабатывающего агрегата на силу сопротивления нового рабочего органа/ И.Р. Антибас, А.Г. Дьяченко, Т.П. Савостина// В сборнике: Сост. и перспект. разв. агропром. компл. сборник научных трудов XII Межд. научно-практической конф. в рамках XXII Агропром. форума юга России и выставки «Интерагромаш». Донской государственный технический университет, Аграрный научный центр «Донской». Ростов-на-Дону, 2019. С. 736-740.

13. Дьяченко А.Г. Влияние влажности обмолачиваемого материала на процесс обмолота / Дьяченко, Т.П. Савостина // В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения Сборник статей 9-й международной научно-практической конференции в рамках 19-й международной агропромышленной выставки "Интерагромаш-2016- С.79-82.

14. Грошев, Л.М. Повышение работоспособности бортового редуктора комбайна серии «Дон» / Л.М. Грошев, С.А. Партко, А.Г. Дьяченко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: мат-лы 7-й Междунар. науч.-практ. конф. в рамках 17-й Междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2014». - Ростов-на-Дону: Изд. Центр ДГТУ, 2014. - С. 89-90.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.