

ностей в окончательном проекте в этом случае формируется аналогично: только изменяются граничные условия. При этом топология конструкции, полученная после оптимизации, полностью совпадает формой конструкции, показанной на рисунке 2.

### **Список использованной литературы**

1. Болдырев А.В. Топологическая оптимизация силовых конструкций на основе модели переменной плотности // Известия СНЦ РАН, Том 13, №1 (3). 2011. Том 13, №1 (3). С. 670-673
2. Topping, В.Н. Shape Optimization of Skeletal Structures: A Review / В.Н. Topping // J. Struct. Engr. 1983. V. 109, №8.
3. Bendsoe, М.Р. Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenization Method / М.Р. Bendsoe, N. Kikuchi // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 1988. V. 7.

### **УДК 631.31.22**

**И.С. Крук<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, С.Н. Герук<sup>2</sup>, к.т.н., доцент,  
Г.Ф. Назарова<sup>1</sup>, ст. преподаватель**

*<sup>1</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет  
<sup>2</sup>Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства» НААН  
Украины, п. Глеваха*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОРУДИЯ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**

### **Введение**

Одним из важнейших условий повышения урожайности сельскохозяйственных культур является качественная обработка почвы. По степени влияния на урожайность, энергетические и трудовые затраты она занимает ведущее место в растениеводстве. От всего объема полевых работ по возделыванию и уборке сельскохозяйственных культур на обработку почвы приходится 40% энергетических и 25% трудовых затрат. Вместе с тем, рост энерговооруженности сельского хозяйства обусловил возможности интенсификации обработок почвы. В результате увеличилось количество проходов агрегатов по полю, что привело к разрушению почвенной структу-

ры, снижению плодородия почвы и возрастанию удельных энергозатрат.

В настоящее время осуществляется переход на ресурсосберегающие технологии возделывания культур с помощью комбинированных почвообрабатывающих машин и агрегатов. Кроме того, целесообразно создавать сельскохозяйственную технику таким образом, чтобы отдельные ее составляющие могли использоваться самостоятельно, как однооперационные.

### Основная часть

Преимуществом машин и агрегатов с активными рабочими органами является качественное рыхление почвы, полное уничтожение и заделка растительных остатков, а также равномерное перемешивание с почвой минеральных и органических удобрений по всей глубине обработки. В то же время они отличаются значительной энерго- и металлоемкостью, применяемый в их конструкциях механический привод барабанов имеет сложную конструкцию, что сдерживает создание широкозахватных агрегатов и ограниченный диапазон регулировки частоты вращения барабанов, который в значительной степени зависит от физико-механических свойств почвы (типа, влажности, твердости, задерненности и т.п.).

Кинематика рабочего органа, размещенного на барабане в плоскости круга, достаточно изучена. Однако такое расположение рабочих органов не всегда обеспечивает получение показателей, соответствующих агротехническим требованиям при минимальных затратах. При расположении рабочих органов под углом к продольной и поперечной плоскостям (рисунок 1) улучшается крошение почвы, заделка растительных остатков, минеральных и органических удобрений, так как в этом случае происходит сдвиг почвы в направлении, перпендикулярном направлению движения.

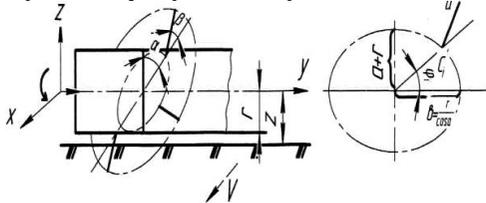


Рис.2 Схема к определению движения рабочего органа почвообрабатывающей машины

Координаты движения конца рабочего органа точки  $C_i$  можно описать следующими уравнениями:

$$\begin{cases} x = (r + l_i \cos\beta) \sin\varphi_i \cos\omega t + (r + l_i \cos\alpha \cos\beta) \cos\varphi_i \cos\alpha \cos\omega t + vt; \\ y = (r + l_i \cos\alpha \cos\beta) \cos\varphi_i \sin\alpha; \\ z = -(r + l_i \cos\beta) \sin\varphi_i \sin\omega t + (r + l_i \cos\alpha \cos\beta) \cos\varphi_i \cos\alpha \cos\omega t \end{cases}$$

где  $l_i$  – длина  $i$ -го рабочего органа.

Используя данные уравнения, можно определить абсолютную скорость точки  $C_i$ , т.е. скорость резания:

$$v_0 = \omega \left[ (r + l_i \cos\beta)^2 + (r + l_i \cos\alpha \cos\beta)^2 \cos^2\varphi_i \cos^2\alpha + \left(\frac{v}{\omega}\right)^2 - \frac{2v}{\omega} \left( (r + l_i \cos\beta) \sin\varphi_i \sin\omega t - (r + l_i \cos\alpha \cos\beta) \cos\varphi_i \cos\alpha \cos\omega t \right) \right]^{\frac{1}{2}}.$$

На основе кинематического анализа сделаны выводы, что все точки рабочего органа движутся по циклоиде и процесс крошения почвы изменяется в зависимости от углов установки ножа.

Для изучения динамических свойств принимаем, что нож представляет собой параллелепипед, заземленный одним концом на барабане. В случае воздействия почвы он совершает изгибные и колебательные колебания описываемые уравнениями:

$$\begin{aligned} EI_z = \frac{\partial^4 z}{\partial x^4} &= Sp \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} - (2Sp\omega \cos\alpha \cos\beta + 2\gamma) \frac{\partial z}{\partial t} - F(x, t); \\ c \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - c_1 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} &= I_p \rho \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - 2\gamma_1 \frac{\partial \varphi}{\partial t} - M(x, t). \end{aligned}$$

где  $EI_z$  – жесткость ножа при изгибе;

$S$  – толщина ножа;

$c$ ,  $c_1$  – соответственно жесткость при свободном кручении и секториальная;

$I_p$  – полярный момент инерции площади поперечного сечения ножа относительно его центра тяжести;

$\rho$  – плотность материала ножа;

$2\gamma$  – коэффициент трения ножа и среды (усредненный по периметру);

$2\gamma_1$  – коэффициент пропорциональности, который учитывает влияние трения на крутильные движения ножа;

$F(x, t), M(x, t)$  – соответственно внешние силы и момент, воздействующие на нож.

Согласно анализу данных уравнений, толщина ножа влияет на амплитуду его крутильных и изгибных колебаний, что в свою очередь отражается на энергоёмкости процесса крошения и гребнистости дна борозды: с уменьшением толщины ножа, при других равных условиях, энергоёмкость уменьшается, а гребнистость увеличивается.

Для расчета усилий взаимодействия ножа с почвой определим угол  $\varphi_{\text{вх}}$ , при котором начинается вхождение ножа в почву:

$$x^4(\cos 2\beta - 1) + \frac{x^3}{4}\sqrt{1-x^2}\sin^2 2\beta + 2kx^3 + 2kx + k - x^2\cos^2 \beta = 0, \quad (2)$$

$$\text{где } x = \cos \varphi_{\text{вх}}; \quad k = \frac{r^2}{l_i \sin \alpha}.$$

Так как уравнение (2) высокого порядка и его решение вызывает трудности, рассмотрим частные случаи решения.

1. Тонкий барабан превращен в вал, т.е.  $k \ll 1$ :

$$\varphi_{\text{вх}} = \arccos \sqrt{\frac{32 \cos 2\beta \cos^2 \beta - \sin^4 2\beta \pm \sin^3 \beta \cos \beta \sqrt{72}}{2(32 \cos 2\beta \cos^2 \beta - \sin^4 2\beta)}}.$$

Тогда результирующий момент на барабане, где размещено  $m$  секций элементов с ножей  $z$  каждая, имеем:

$$M_0 = mz \left( 1 - \frac{1}{\pi} \arccos \sqrt{\frac{32 \cos 2\beta \cos^2 \beta - \sin^4 2\beta \pm \sin^3 \beta \cos \beta \sqrt{72}}{2(32 \cos 2\beta \cos^2 \beta - \sin^4 2\beta)}} \right) \times \\ \times \left[ ql_i \cos \alpha \left( r + \frac{l_i \sin \alpha}{2} \right) + \frac{Cd_n}{2} \left( r + \frac{l_i \sin \alpha}{2} \right) + \right. \\ \left. + fb_n \omega l_i \sin \alpha \left( r^2 + l_i r \sin \alpha + \frac{l_i^2 \sin^2 \alpha}{3} \right) \right].$$

где  $q$  – усилие резания почвы;

$C$  – упругость почвы, зависящая от ее физико-механических свойств;

$f$  – коэффициент трения;

$b_n, d_n$  – геометрические размеры ножа.

Диаметр барабана и длина ножа соизмеримы и  $k=1$ . В этом случае выражение (2) решается численным методом. Его корни сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Корни уравнения (2) для определения угла вхождения ножа в почву

$\beta$ , град	$X_1$	$X_2$
0	0,5	$\pm 1,0$
15	0,51025	-0,98730
30	0,53857	-0,95850
45	0,52080	-0,92920

Если обозначить положительный корень уравнения (2) через  $L$ , тогда суммарный момент на барабане будет равен:

$$M_0 = mz \left( 1 - \frac{1}{\pi} \arccos L \right) \times \left[ ql_i \cos \alpha \left( r + \frac{l_i \sin \alpha}{2} \right) + \frac{Cd}{2} \left( r + \frac{l_i \sin \alpha}{2} \right) + \right. \\ \left. + fb \omega l_i \sin \alpha \left( r^2 + l_i r \sin \alpha + \frac{l_i^2 \sin^2 \alpha}{3} \right) \right].$$

При выборе типа и марки гидромоторов, делителя потока и регулятора расхода жидкости, насосов и других элементов гидропривода исходными величинами являются мощность и угловая скорость вращения барабанов.

Момент на валу гидромотора определяется по формуле:

$$M = 0,159 q_0 \Delta p \eta_{\Gamma}, \quad \Delta p = p_{\text{н}} - p_{\text{с}},$$

где  $q_0$  – рабочий объем гидромотора;

$p_{\text{н}}$ ,  $p_{\text{с}}$  – соответственно давления нагнетания и слива;

$\eta_{\Gamma}$  – полный КПД гидромотора.

Теоретический расход рабочей жидкости равен:

$$Q = 0,159 \frac{q_0 \omega}{\eta_0},$$

где  $\eta_0$  – объемный КПД гидромотора.

Мощность, расходуемая на привод насосной станции:

$$N = \frac{P_{\text{н}} Q_{\text{ст}}}{\eta}.$$

где  $Q_{\text{ст}}$  – расход жидкости станции:

$$Q_{\text{ст}} = \frac{Q}{(1 - \Delta \eta_0)(1 - \Delta \eta_{\text{н}})},$$

где  $\Delta \eta_0$ ,  $\Delta \eta_{\text{н}}$  – изменение соответственно объемного КПД насосной станции и КПД гидромотора.

Подача рабочей жидкости на гидромоторы одним или несколькими насосами осуществляется при условии:  $Q_{\text{ст}} \geq \sum_{i=1}^n Q_i$

### **Заключение**

Приведенные формулы позволяют рассчитать основные эксплуатационные и конструктивные параметры почвообрабатывающей машины для поверхностной обработки почвы с активными рабочими органами.

### **Список использованной литературы**

1. Канарев Ф.М. Обработка почвы рисовых полей ротационными машинами и орудиями в зоне рисосеяния Краснодарского края. Автореф. Дис. доктор. техн. наук. Волгоград, 1947, 47 с.
2. Марченко О.С. Обоснование параметров рабочего органа фрезы для обработки переувлажненных почв/Марченко О.С., Воробьев В.И.// Научно-технический бюллетень. / ВИМ, 1982, вып.51, с.12-15.
3. Ротационные почвообрабатывающие машины. Конструкция, расчет и проектирование / Яцук Е.П., Панов И.М., Ефимов Д.Н., Марченко О.С., Черненко А.Д./ М., Машиностроение, 1971, 256 с.
4. Жук В.Ф. Влияние параметров фрезы на энергоемкость её рабочего процесса /Жук В.Ф.//Научн.тр./ Ленинградский СХИ, Т.249, С.14-17.
5. Чаткин М.Н. Повышение эффективности функционирования комбинированных почвообрабатывающих машин с ротационными активными рабочими органами: дис. доктор. техн. наук – Саранск, 2008. – 385с.

**УДК 631.623; 631.626.1**

**А.Н. Басаревский, к.т.н., доцент, К.А. Кравчинин, аспирант,**  
*Республиканское унитарное предприятие*  
*«НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*  
*г. Минск, Республика Беларусь*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КАНАЛООЧИСТИТЕЛЕЙ С РОТАЦИОННЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТИПА**

### **Введение**

В Республике Беларусь площади сельхозугодий составляют около 8,99 млн. га [1]. Из них около 2,9 млн. га – земли, подвергнутые