

Украинский научно-исследовательский институт  
механизации и электрификации сельского хозяйства  
(УНИИМЭСХ)

На правах рукописи

РЯБЦЕВ Александр Григорьевич

ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
УПРУГОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ

Специальность 05.20.01 -  
"Механизация сельскохозяйственного производства"

*A. Ryabtsev*

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Глеваха 1992

Работа выполнена в Украинском научно-исследовательском институте механизации и электрификации сельского хозяйства.

Научный руководитель - доктор технических наук,  
член-корреспондент УААН,  
НАГОРНЫЙ Н.Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор,  
КУШАРЕВ А.С.  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
РОМАНЕНКО М.Ф.

Ведущая организация - Головное специализированное  
конструкторско-технологическое бюро  
ЛННБ України ім.В.Стефаника производственного объединения



00816481 (S)

Цесский завод сельскохозяйственного  
иностроения им. Октябрьской рево-  
ции"

Защита состоится " 29 " октябре 1992 г. в 14 часов  
на заседании специализированного совета Д 020.30.01 по присуждению  
ученой степени доктора технических наук в Украинском научно-иссле-  
довательском институте механизации и электрификации сельского  
хозяйства по адресу: 255133, Киевская область, Васильковский  
район, пгт. Глеваха-І, ул. 40-летия Победы, ІІ, УНИИМЭСХ, комна-  
та 613.

Автореферат разослан " 28 " сентябре 1992 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета

 ГРИДАШИН М.И.

ЛННБ ім. В. Стефаника  
АН УРСР

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Одним из факторов, сдерживающих рост урожайности сельскохозяйственных культур, является избыточное уплотнение почвы. Негативное следствие этого процесса - снижение влагоаккумулирующей способности почвы, увеличение ее водной и механической эрозии, дефляции.

Применяемые в настоящее время почвообрабатывающие машины, направленные на устранение избыточного уплотнения почвы характеризуются большими тяговыми усилиями и соответственно высоким расходом топлива. В этой связи особую актуальность приобрел вопрос создания и внедрения новых рабочих органов, обеспечивающих снижение тягового сопротивления при глубоком безотвальном рыхлении почвы.

Снижение энергоемкости глубокого рыхления почвы при требуемом качестве ее обработки возможно достичь путем применения глубокорыхлителей с упругими рабочими органами, амплитудно-частотные параметры которых соответствуют оптимальным. Это и определило актуальность исследования процесса глубокого рыхления почвы на основе вибрационного воздействия упругих рабочих органов глубокорыхлителя на обрабатываемую среду.

Объект исследования. Упругий рабочий орган для глубокого безотвального рыхления почвы.

Цель работы. Снижение энергоемкости глубокого безотвального рыхления почвы при обеспечении требуемого качества ее обработки.

Методы исследования и аппаратура. Методика теоретических исследований базировалась на основных положениях земледельческой механики, в частности, математического моделирования процесса взаимодействия упругого рабочего органа глубокорыхлителя с почвой. Экспериментальные исследования выполнены в лабораторно-полевых

условиях с помощью разработанных экспериментальных установок и опытных образцов упругих рабочих органов глубокорыхлителей. Используются методы планирования полнофакторных экспериментов, тензометрирования. Полученные данные обрабатывались методами дисперсионного и регрессионного анализа с помощью ЭВМ.

Теоретические результаты и новизна. Установлено, что энергетические показатели работы глубокорыхлителя на почвах с недостаточной влажностью и повышенной твердостью, могут быть существенно улучшены путем применения упругих рабочих органов с оптимальными амплитудно-частотными параметрами. Получены аналитические зависимости, позволяющие определять:

- собственную частоту колебаний упругого рабочего органа, глубину и скорость обработки почвы, при которых возможна эффективная работа глубокорыхлителя (снижение тягового сопротивления);
- оптимальные жесткостные параметры рабочего органа, при которых величина тягового сопротивления снижается на 12...22 %;
- удельные энергозатраты при глубоком безотвальном рыхлении почвы, с учетом качества выполнения технологического процесса.

Практические результаты и новизна. Определено влияние упругих рабочих органов на энергетические показатели и показатели качества глубокого безотвального рыхления почвы.

Установлены оптимальные амплитудно-частотные параметры упругого рабочего органа глубокорыхлителя и предложена методика инженерного расчета их значений. Разработан базовый упругий рабочий орган к глубокорыхлителю ЩРПВ-3-70. Новые технические решения конструкции упругих рабочих органов защищены авторскими свидетельствами: № I308214, № I535389, № I667653.

На защиту выносятся: механико-технологическое обоснование возможности снижения энергозатрат при глубоком рыхлении почвы,

за счет установки на глубокорыхлитель упругих рабочих органов и выбора их рациональных параметров, зависимости, определяющие условия эффективной работы глубокорыхлителя при автоколебательном взаимодействии его рабочих органов с почвой и оптимальные жесткостные характеристики этих рабочих органов; результаты экспериментальных исследований по определению влияния жесткости упругого рабочего органа, его собственной частоты колебаний и скорости поступательного движения почвообрабатывающего агрегата на энергоемкость процесса глубокого рыхления почвы; конструктивно-технологические параметры упругого рабочего органа глубокорыхлителя.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы доложены и одобрены на республиканской научно-технической конференции в 1988 г. (п.Глеваха, Киевской обл.). Материалы диссертации опубликованы в трех работах и трех авторских свидетельствах.

Предмет и степень внедрения. Результаты исследований процесса глубокого рыхления почвы упругими рабочими органами переданы и используются ГСКТБ ПО "Одесский завод сельскохозяйственного машиностроения" при разработке технической документации на рыхлящие рабочие органы к чизелям.

Эффективность внедрения. Применение глубокорыхлителя ЩРПВ-3-70 с упругими рабочими органами в сравнении с серийным - ЩП-3-70 позволяет снизить энергоемкость на 11 %, повысить производительность на 10 % и получить годовой экономический эффект 0,52 рубля на гектар.

Область применения. Результаты исследований могут быть использованы при разработке новых рыхлящих рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и предложений, списка исполь-

экономической литературы, включающего 102 наименования, в том числе 20 на иностранных языках. Общий объем диссертации с приложениями составляет 181 стр. Основная часть диссертации содержит 108 страниц машинописного текста, 57 рисунков, 16 таблиц.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе "Состояние вопроса и задачи исследований" рассмотрено влияние глубокого рыхления на свойства почв и урожайность сельскохозяйственных культур. Проведен анализ исследований, направленных на разработку энергосберегающих технологий обработки почвы, на основе создания почвообрабатывающих машин с принудительно вибрирующими или упруго закрепленными рабочими органами. Аналитический обзор работ В.А. Желиговского, П.М. Василенко, А.А. Дубровского, А.С. Кушнарёва, Г.Н. Синеокова, И.М. Панова, П.П. Карпуши и др., направленных на детальное изучение процесса взаимодействия рыхлящих рабочих органов с почвой позволил уточнить направление и методы исследований по обоснованию параметров упругих рабочих органов, предназначенных для глубокого безотвального рыхления почвы.

По результатам проведенного анализа отечественных и зарубежных работ выдвинута научная гипотеза, заключающаяся в том, что как естественное глубокое рыхление почвы при минимальных энергозатратах, возможно получить путем применения упругих рабочих органов с оптимизированными амплитудно-частотными параметрами. Для подтверждения достоверности данной гипотезы необходимо решить следующие задачи:

- установить аналитические зависимости, определяющие условия и режимы эффективной работы (по тяговому сопротивлению) глубокорыхлителя с упругими рабочими органами;
- теоретическим путем определить оптимальные амплитудно-час-

точные параметры упругого рабочего органа глубокорыхлителя, которые позволили бы снизить энергоемкость процесса глубокого рыхления почвы;

- разработать метод энергооценки работы глубокорыхлителей, учитывающий не только затраты энергии направленные на обработку единицы объема почвы, но и качество этой обработки (коэффициент разрыхления почвы);

- подтвердить достоверность результатов теоретических исследований экспериментально;

- спроектировать и изготовить базовый упругий рабочий орган глубокорыхлителя, провести его сравнительные исследования с существующими аналогами и дать технико-экономическую оценку целесообразности применения данного рабочего органа.

Во второй главе рассмотрены механико-технологические предпосылки к созданию упругих рабочих органов к глубокорыхлителям, проанализировано влияние основных конструктивно-технологических параметров этих рабочих органов и физико-механических свойств почвы на энергоемкость ее рыхления.

По нашему мнению одной из причин протекания колебательного процесса упругого рабочего органа является периодическое скалывание почвы, оказывающее существенное влияние на характер всего процесса. Скалывание почвы, согласно исследованиям Г.Н.Синекова, происходит аналогично процессу образования стружки отрыва у хрупких металлов. Основными временными величинами характеризующими процесс обработки почвы упругим рабочим органом (при наличии волн скалывания) являются:  $T = [0; T]$  - период изменения силы тягового сопротивления и  $t = [0; t_1]$  - период скалывания, равный:

$$t_1 = \frac{h}{V_0} \quad (I)$$

где  $h$  - глубина обработки почвы;

$V_0$  - скорость движения рабочего органа в почве.

Из вышеизложенного следует, что период изменения силы сопротивления  $T = [0; T]$  мы разбиваем на два временных интервала  $[0; t_1]$  и  $]t_1; T]$ . Первый временной интервал, где  $t \in [0; t_1]$  характеризуется тем, что на всем его протяжении происходит увеличение силы сопротивления до значения  $P_{max}$ , и справедливо неравенство  $\frac{dP}{dt} > 0$ . Вторым временным интервалом ( $t \in ]t_1; T]$ ) характеризуется резким падением сопротивления ( $\frac{dP}{dt} < 0$ ), действующего на рабочий орган. Падение сопротивления продолжается до значения  $P_{min}$ , которому соответствует момент времени  $T$ .

Ввиду того, что учесть все факторы, оказывающие влияние на колебательный процесс взаимодействия упругого рабочего органа с почвой чрезвычайно сложно, представляется целесообразным создать такую модель, которая бы с достаточной точностью отражала протекание реального процесса, и в тоже время не была бы чрезвычайно громоздкой для инженерной практики. С этой целью, видимо, следует отвлекаться от учета некоторых явлений, например, нелинейные зависимости позиционных сил, которые могут незначительно изменить количественные характеристики, практически не влияя на качественную сторону процесса.

Исходя из этого, при составлении математической модели процесса взаимодействия упругого рабочего органа с почвой нами сделаны следующие допущения:

- почва представляет собой упруго-вязко-пластичную среду;
- колеблющаяся масса и жесткость упругого рабочего органа в процессе работы не изменяются;
- параметры рабочего органа в процессе обработки почвы остаются неизменными;
- деформация упругого рабочего органа пропорциональна величине реакции почвы.

Математическая модель взаимодействия упругого рабочего органа с почвой представлена следующей зависимостью:

$$m(\ddot{S} + \ddot{X}) + cX = P(\dot{S}, S, \dot{X}, X), \quad (2)$$

где  $m$  - приведенная масса упругого рабочего органа;

$S$  - перемещение почвообрабатывающего орудия;

$X$  - перемещение носка упругого рабочего органа относительно почвообрабатывающего орудия;

$c$  - приведенная жесткость упругого рабочего органа;

$P(\dot{S}, S, \dot{X}, X)$  - сила реакции почвы, зависящая от величины перемещения и скорости движения орудия, а также от перемещения и виброскорости упругого рабочего органа.

На первом временном интервале  $t \in [0; t_1]$ , когда почва находится в неразрушенном "упругом" состоянии ей присущи свойства упругого тела. Поэтому процесс взаимодействия упругого рабочего органа с почвой при  $0 \leq t \leq t_1$ , в условиях установившегося движения почвообрабатывающего агрегата ( $V_0 = \text{const}$ ), можно описать следующей зависимостью:

$$m\ddot{X} + cX = c_0[S - X \text{Sign}(\dot{X})], \quad (3)$$

где  $c_0$  - коэффициент упругости почвы.

Общее решение неоднородного д.у. (3), при начальных условиях  $X(t_0) = 0$ ;  $\dot{X}(t_0) = 0$ , имеет вид:

$$X = \frac{V_0 \omega_n^2}{\omega_g^2} \left( t + \frac{1}{\omega_g} \cdot \text{Sin} \omega_g t \right), \quad (4)$$

где  $\omega_n = \sqrt{\frac{c_0}{m}}$  - частота колебаний почвы;

$\omega_g = \sqrt{\frac{c+c_0}{m}}$  - действительная частота колебаний рабочего органа.

Используя уравнение (4), нами получено выражение (5), позволяющее определять максимальное отклонение носка упругого рабочего органа  $X_1$  от нулевого положения за время  $t = [0; t_1]$  - период

скалывания почвы, в зависимости от скорости и глубины обработки почвы, частоты ее колебаний и параметров упругого рабочего органа при работе почвообрабатывающего агрегата в установившемся режиме:

$$\chi_1 = \frac{V_0 \omega_n^2}{\omega_g^2} \left[ \frac{h}{V_0} + \frac{1}{\omega_g} \sin(\omega_g \frac{h}{V_0}) \right] \quad (5)$$

На втором временном интервале  $t \in ]t_1; T]$ , когда почва находится в "разрушенном" состоянии ей присущи свойства вязко-пластичной среды. Поэтому процесс взаимодействия упругого рабочего органа с почвой при  $t_1 < t < T$  описывается следующей зависимостью:

$$m \ddot{\chi} + c \dot{\chi} = -\beta_0 (V_0 + \dot{\chi}) - [F_0 - K(\dot{\chi} + V_0)] \quad (6)$$

где  $\beta_0$  - коэффициент вязких диссипативных потерь;

$F_0$  - сила трения рабочего органа о почву;

$K$  - коэффициент изменения силы трения покоя в зависимости от абсолютной скорости движения.

Общее решение уравнения (6) будет иметь вид:

$$\chi = |\chi_1 + \frac{D}{\omega_c^2}| e^{-\beta_1 t} \cdot \cos \omega_g' t - \frac{D}{\omega_c^2} \quad (7)$$

где  $D = \frac{\beta_0 V_0 + F_0 - K V_0}{m}$  - свободный член;

$\omega_c = \sqrt{\frac{c}{m}}$  - частота собственных колебаний упругого рабочего органа;

$\beta_1 = \frac{\beta_0 - K}{m}$  - коэффициент вязкости;

$\omega_g' = \sqrt{\omega_c^2 - \beta_1^2}$  - действительная частота колебаний упругого рабочего органа при  $t_1 < t < T$ .

Путь  $\chi_2$ , который проходит упругий рабочий орган, перемещаясь в "разрушенной" почве определяется уравнением:

$$\chi_2 = \int_{t_1}^T \sqrt{1 + [(-\beta_1 \cos \omega_g' t - \omega_g' \sin \omega_g' t) \cdot |\chi_1 + \frac{D}{\omega_c^2}| e^{-\beta_1 t}]^2} dt \quad (8)$$

Для упрощения вычисления значений  $\chi_2$  предложена зависимость

(9)

$$\chi_2 = |\chi_1 + \frac{D}{W_c}| \cdot S(n) \quad (9)$$

где  $S(n)$  - функциональная зависимость представленная в таблице.

$n$	$S(n)$
$0 < n < 0,5$	$S(n) = 2n$
$0,5 < n < 1$	$S(n) = 1 + \psi^{-0,5}$
$1 < n < 1,5$	$S(n) = 1 + \psi^{-0,5} + \psi^{-0,5}(2n-2)$
...	...

где  $n = \frac{2h(f-1)W_c}{\sqrt{4\pi^2 + q^2} \cdot V_0}$  - число полупериодов, совершаемых упругим рабочим органом за время

$$t = ]t_1; T]$$

$q = P_n \psi$  - логарифмический декремент колебаний;

$\psi$  - коэффициент затухания колебаний;

$f = \frac{T}{T_1}$  - безразмерный коэффициент.

Функциональные зависимости (5) и (9) необходимы для определения величины снижения тягового сопротивления  $\delta$ , действующего на упругий рабочий орган, в сравнении с жестким:

$$\delta = \frac{P_1 - P_2}{P_1} = \frac{\chi_2 - \chi_1 \pm 2V_0 T}{\chi_2 - \chi_1 + V_0 T}$$

где  $P_1$  - среднее значение силы сопротивления жесткому рабочему органу за период времени  $T$ ;

$P_2$  - среднее значение силы сопротивления упругому рабочему органу за период  $T$ .

Выполненные исследования позволили получить неравенство

$$\frac{2h(f-1)W_c}{\sqrt{4\pi^2 + q^2} \cdot V_0} > 0,5 \quad (10)$$

определяющее условия эффективной работы глубокорыхлителя с упругими рабочими органами ( $\delta > 0$ ), а также уравнение (II):

$$\delta = \frac{V_0 C_0 \left[ \frac{h}{V_0} + \sqrt{\frac{m}{C+C_0}} \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{C+C_0}{m}} \cdot \frac{h}{V_0}\right) \right] \cdot [S(n)-1]}{f h + \frac{V_0 C_0}{C+C_0} \left[ \frac{h}{V_0} + \sqrt{\frac{m}{C+C_0}} \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{C+C_0}{m}} \cdot \frac{h}{V_0}\right) \right] [S(n)-1]} \quad (II),$$

позволяющее определять величину снижения тягового сопротивления  $\delta$  в зависимости от технологических показателей работы почвообрабатывающего агрегата:  $h$ ,  $V_0$ ; состояния почвы:  $C_0$ ,  $\varphi$  и параметров упругого рабочего органа:  $C$ ,  $m$ .

Как следует из графических зависимостей представленных на рис. 1 и 2, диапазон изменения оптимальных значений приведенной

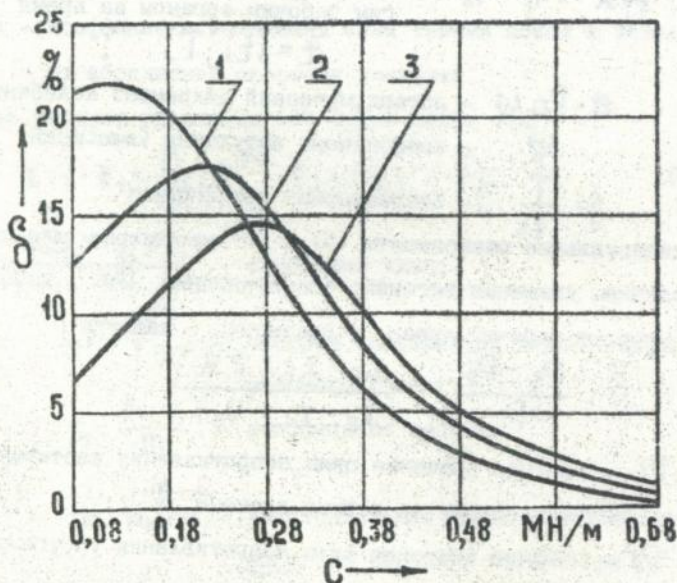


Рис. 1. Зависимость величины  $\delta$  - снижения тягового сопротивления от жесткости упругого рабочего органа  $C$  (при  $h = 0,3$  м):

1 -  $V = 1$  м/с; 2 -  $V = 1,5$  м/с; 3 -  $V = 2$  м/с

жесткости  $C$  упругого рабочего органа, при которых возможно снижение энергоемкости процесса глубокого рыхления почвы на 12-22 % (для  $h = 0,3-0,5$  м;  $V = 1-2$  м/с), находится в пределах:

$$C_{opt \min} = 0,1 \text{ МН/м}; \quad C_{opt \max} = 0,4 \text{ МН/м}.$$

Теоретические исследования позволили также обосновать необходимость применения, разработанного нами обобщенного показателя удельных энергозатрат  $q'$ :

$$q' = 0,065 \frac{P}{h^2 \operatorname{ctg} \psi}, \quad (12)$$

где  $P$  - среднее значение тягового сопротивления, действующего на глубокорыхлитель;

$\psi$  - угол скалывания почвы.

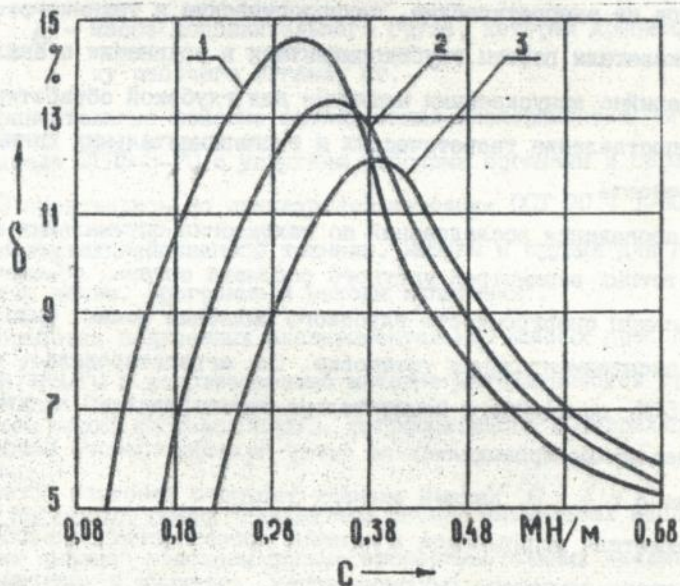


Рис. 2. Зависимость величины  $\delta$  - снижения тягового сопротивления от жесткости упругого рабочего органа  $C$  (при  $h = 0,5$  м):  
1 -  $V = 1$  м/с; 2 -  $V = 1,5$  м/с; 3 -  $V = 2$  м/с

В третьей главе "Программа и методика экспериментальных исследований" приведены программные вопросы, описаны экспериментальные установки, приборы и оборудование, изложены методики, реализованные в процессе экспериментов.

Программой предусматривалось: определение влияния конструктивных параметров упругого рабочего органа глубокорыхлителя на величину снижения тягового сопротивления, действующего на упругий рабочий орган, в сравнении с жестким; определение оптимальных значений этих параметров для различных условий и режимов работы почвообрабатывающего агрегата; создание базового упругого рабочего органа амплитудно-частотные параметры которого соответствуют оптимальным значениям; определение влияния базовых упругих рабочих органов на энергетические, технологические и технико-экономические показатели работы глубокорыхлителя в сравнении с аналогичными серийно выпускаемыми машинами для глубокой обработки почвы; сопоставление теоретических и экспериментальных данных на их адекватность.

Для проведения исследований по нахождению оптимальных амплитудно-частотных параметров упругого рабочего органа, обеспечивающих наименьшую энергоемкость глубокого рыхления почвы, была разработана экспериментальная установка. Она агрегатировалась с трактором Т-150М, оснащенного измерительно-регистрирующей аппаратурой.

Исследования проводились по плану полнофакторного эксперимента вида  $3 \times 4 \times 3$ . Каждый вариант упругого рабочего органа глубокорыхлителя испытывался в четырех повторностях. Энергоемкость процесса глубокого рыхления почвы, жесткими и упругими рабочими органами, оценивалась по абсолютному значению силы тягового сопротивления, действующего на глубокорыхлитель с различными рабочими органами.

Согласно стандартной методике были выполнены экспериментальные исследования по определению амплитудно-частотных характеристик различных упругих рабочих органов.

Для определения колеблющейся массы базового упругого рабочего органа глубокорыхлителя была применена методика разработанная А.С.Кущнаревым и И.А.Шевченко, позволяющая экспериментальным путем определять значение колеблющейся массы  $m$  рабочего органа:

$$m = \frac{\omega_2^2 \cdot \Delta}{\omega_1^2 - \omega_2^2}, \quad (13)$$

где  $\omega_1$  – собственная частота колебаний упругого рабочего органа, колеблющаяся масса которого равна  $m$ , Гц;

$\omega_2$  – собственная частота колебаний этого же рабочего органа к которому дополнительно прикреплен груз, Гц;

$\Delta$  – масса дополнительного груза, который крепится к носку рабочего органа, кг.

Сравнительные полевые исследования экспериментального глубокорыхлителя ШРПВ-3-70 с упругими рабочими органами и серийного ШП-3-70 проводились по стандартной методике ОСТ 70.4.1-80 "Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для глубокой обработки почвы. Программа и методы испытаний".

Обработка полученных экспериментальных данных проводилась на ПЭВМ IBM/PC с использованием методов математической статистики, в том числе дисперсионного, регрессионного и корреляционного анализа.

В четвертой главе "Результаты экспериментальных исследований и их анализ" изложены данные экспериментальных исследований, выполнен их анализ и сравнение с теоретическими предпосылками.

В результате реализации полнофакторного эксперимента получены регрессионные модели, характеризующие влияние амплитудно-частотных

параметров рабочего органа на величину снижения тягового сопротивления, при глубине обработки почвы 0,3–0,5 м и скорости движения почвообрабатывающего агрегата – 1–2 м/с. Приведенные уравнения 14, 15, 16 справедливы для соответствующих им глубин обработки:

$$h_1 = 0,3 \text{ м}; \quad h_2 = 0,4 \text{ м}; \quad h_3 = 0,5 \text{ м}.$$

$$y_1 = 34,5865 + 17,2084 X_2 - 18,5410 X_3 - 295,2174 X_2^2 + 59,6834 X_2 \cdot X_3 \quad (14)$$

$$y_2 = 22,3305 + 55,2656 X_2 - 18,5410 X_3 - 295,2174 X_2^2 + 59,6834 X_2 \cdot X_3 \quad (15)$$

$$y_3 = 10,0746 + 93,3228 X_2 - 18,5410 X_3 - 295,2174 X_2^2 + 59,6834 X_2 \cdot X_3 \quad (16)$$

где  $y$  – величина снижения тягового сопротивления, действующего на упругий рабочий орган в сравнении с сопротивлением, действующим на жесткий рабочий орган, %;

$X_2$  – приведенная жесткость упругого рабочего органа, МН/м;

$X_3$  – рабочая скорость движения почвообрабатывающего агрегата, м/с.

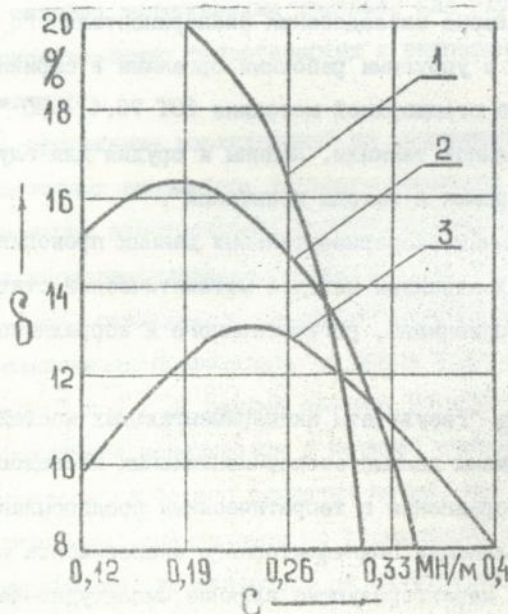


Рис. 3. Зависимость величины  $\delta$  – снижения тягового сопротивления от жесткости рабочего органа (при  $h = 0,3$  м):  
 1 –  $V = 1$  м/с;  
 2 –  $V = 1,5$  м/с;  
 3 –  $V = 2$  м/с

Используя данные регрессионные модели (I4, I5, I6), определены соответствующие функциональные зависимости  $\delta = f(C)$ , представленные на рис. 3, 4.

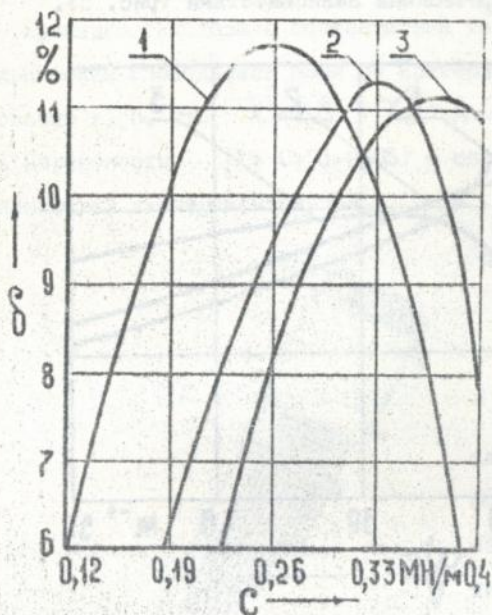


Рис. 4. Зависимость величины  $\delta$  — снижения тягового сопротивления от жесткости рабочего органа  $C$  (при  $h = 0,5$  м):  
 1 -  $V = 1$  м/с;  
 2 -  $V = 1,5$  м/с;  
 3 -  $V = 2$  м/с

Анализ графических зависимостей (рис. 3, 4) позволяет сделать вывод, что применение упругих рабочих органов с оптимальной жесткостью  $C = 0,19-0,37$  МН/м

снижает энергоемкость процесса глубокого рыхления почвы на II — 20 %, при глубине обработки почвы  $h = 0,3-0,5$  м и скорости —  $V = 1-2$  м/с.

Результаты исследований, выполненных А.А.Дубровским и К.А.Александряном указывают на то, что решающую роль на количественные параметры колебательного процесса взаимодействия рабочего органа с почвой оказывает величина  $\frac{\omega}{V}$ , равная отношению частоты вынужденных колебаний к поступательной скорости движения почвообрабатывающего агрегата. Поэтому нами были выполнены экспериментальные исследования по определению влияния, оказываемого на параметры автоколебательного процесса взаимодействия упругого

рабочего органа с полой величины  $\frac{\omega_c}{V}$ , где  $\omega_c$  - собственная частота колебаний упругого рабочего органа. Результаты данных исследований представлены уравнениями регрессии (17, 18, 19) и соответствующими им графическими зависимостями (рис. 5).

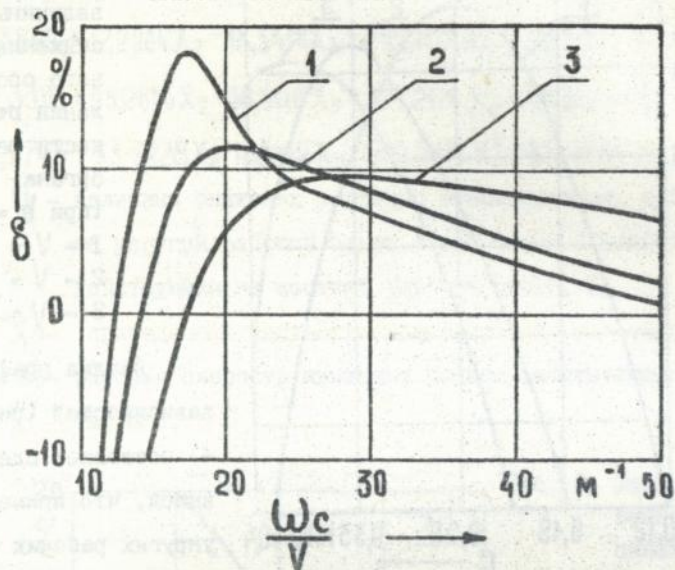


Рис. 5. Зависимость величины снижения тягового сопротивления

$\delta$  от отношения  $\omega_c \cdot V^{-1}$ :  
 1 -  $h = 0,3$  м; 2 -  $h = 0,4$  м; 3 -  $h = 0,5$  м

$$Y_1 = \frac{X}{0,2402 X - 3,0412}, \quad (17)$$

$$Y_2 = -17,03 + 1150,93 X^{-1} - 11291,90 X^{-2}, \quad (18)$$

$$Y_3 = -4,44 + 828,43 X^{-1} - 11775,39 X^{-2}, \quad (19)$$

где  $Y$  - величина снижения тягового сопротивления;

$X = \frac{\omega_c}{V}$  - отношение собственной частоты колебаний упругого рабочего органа к скорости обработки почвы.

В результате выполненных исследований нами установлены опти-

мальные амплитудно-частотные параметры упругого рабочего органа глубокорыхлителя ( $C = 0,2 \text{ МН/м} - 0,37 \text{ м}$  и  $\omega_c = 17 \text{ Гц} - 50 \text{ Гц}$ ) позволяющие при качественном выполнении процесса глубокого рыхления почвы, снизить его энергоемкость на 11-20 %.

Проверка гипотезы о соответствии теоретических зависимостей эмпирическим проводилась нами по критерию согласия Пирсона. На основании того, что  $\chi^2 = 2,9 < \chi^2_{\alpha} = 4,26$  сделан вывод (уровень вероятности  $P = 0,75-0,85$ ) о соответствии теоретических зависимостей экспериментальным.

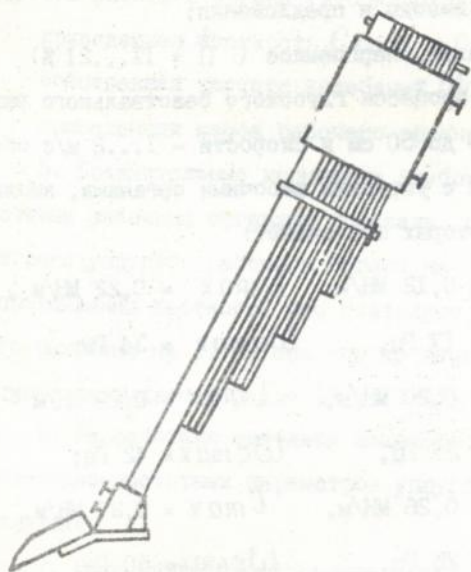


Рис. 6 Конструктивная схема базового упругого рабочего органа глубокорыхлителя

Анализ выполненных исследований позволил разработать базовый упругий рабочий орган глубокорыхлителя (рис. 6), амплитудно-частотные параметры которого соответствуют оптимальным

Результаты сравнительных исследований серийного глубокорыхлителя ЩП-3-70 и экспериментального -

ЩРПВ-3-70 с базовыми упругими рабочими органами показали, что применение последнего позволяет снизить энергоемкость глубокого рыхления почвы на 11-16,3 %.

В пятой главе "Технико-экономическая эффективность применения упругих рабочих органов для глубокого безотвального рыхления почвы" определена технико-экономическая эффективность упругих рабочих

органов глубокорыхлителя ШРПВ-3-70. Применение экспериментального глубокорыхлителя с упругими рабочими органами, в сравнении с серийным орудием ШП-3-70 позволяет сократить трудозатраты и прямые эксплуатационные затраты на 8 %, снизить энергоемкость процесса глубокого рыхления почвы на II %.

Годовой экономический эффект от применения одного комплекта упругих рабочих органов составляет 0,52 рубля на гектар.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы и предложения:

1. Качественное и наименее энергоемкое ( $\delta = \text{II} \dots 2\text{I} \%$ ) выполнение технологического процесса глубокого безотвального рыхления почвы на глубину от 30 до 50 см и скорости - I...2 м/с обеспечивается глубокорыхлителем с упругими рабочими органами, амплитудно-частотные параметры которых составляют:

$h = 30 \text{ см}$	$C_{\text{min}} = 0,12 \text{ МН/м},$	$C_{\text{max}} = 0,22 \text{ МН/м},$
	$\omega_{\text{min}} = 17 \text{ Гц},$	$\omega_{\text{max}} = 34 \text{ Гц};$
$h = 40 \text{ см}$	$C_{\text{min}} = 0,20 \text{ МН/м},$	$C_{\text{max}} = 0,29 \text{ МН/м}$
	$\omega_{\text{min}} = 21 \text{ Гц},$	$\omega_{\text{max}} = 42 \text{ Гц};$
$h = 50 \text{ см}$	$C_{\text{min}} = 0,26 \text{ МН/м},$	$C_{\text{max}} = 0,37 \text{ МН/м},$
	$\omega_{\text{min}} = 25 \text{ Гц},$	$\omega_{\text{max}} = 50 \text{ Гц}.$

2. Получены аналитические зависимости позволяющие определять:

- собственную частоту колебаний упругого рабочего органа, глубину и скорость обработки почвы, при которых возможна эффективная работа глубокорыхлителя ( $\delta > 0$ );
- оптимальные жесткостные параметры рабочего органа, позволяющие уменьшить величину тягового сопротивления на 12...22%;

- удельные энергозатраты при глубоком безотвальном рыхлении почвы, с учетом качества выполнения технологического процесса.

3. Для снижения энергоемкости глубокого рыхления почвы предложен упругий рабочий орган, который в процессе обработки почвы совершает автоколебания. Новизна предложенного технического решения подтверждена а.с. № I535389, № I667653.

4. На основании лабораторно-полевых исследований определены и оптимизированы амплитудно-частотные характеристики базового упругого рабочего органа глубокорыхлителя. Оптимальными являются: приведенная жесткость  $C_{min} = 0,19$  МН/м,  $C_{max} = 0,40$  МН/м; собственная частота колебаний  $\omega_{min} = 35$  Гц,  $\omega_{max} = 48$  Гц; приведенная масса рабочего органа  $m \approx 4,5$  кг.

5. Сравнительные испытания глубокорыхлителей с упругими и жесткими рабочими органами показали, что тяговое сопротивление базового упругого рабочего органа на II...16 % ниже, чем тяговое сопротивление жесткого, что позволяет снизить энергоемкость глубокого рыхления на II %, при том же качестве обработки почвы (коэффициент разрыхления равен I3...I7 %).

6. Разработана методика инженерного расчета оптимальных амплитудно-частотных параметров упругого рабочего органа глубокорыхлителя.

7. Применение экспериментального глубокорыхлителя с упругими рабочими органами позволяет уменьшить затраты труда на 8 % и приведенные эксплуатационные затраты на 9 %.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

I. Рябцев А.Г. Рабочие органы почвообрабатывающих машин с горсионной подвеской: Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. /Пути развития механизации производства зерна в Украинской ССР. - Глеваха. - 1988. - с. 31.

2. Рябцев А.Г. Результаты изучения работы рыхлителя с торсионной подвеской рабочих органов / Респ. межвед. тематич. научно-техн. сб.: Механизация и электрификация с-х/- Киев: Урожай, вып. 70, 1989, с. 15-17.

3. Рябцев А.Г. К методике определения параметров пружинной стойки почвообрабатывающих машин / Респ. межвед. тематич. научно-техн. сб.: Механизация и электрификация с-х / - Киев: Урожай, вып. 71, 1990, с. 37-40.

4. А.с. № 1308214 (СССР) Рабочий орган почвообрабатывающего орудия с S - образной упругой стойкой / А.Г.Рябцев и др. - Оpubл. в Б.И., 1987, № 17. - с. 4.

5. А.с. № 1535389 (СССР) Почвообрабатывающее орудие. / А.Г.Рябцев и др. - Оpubл. в Б.И., 1990, № 2. - с. 4.

6. А.с. № 1667653 (СССР) Рабочий орган рыхлителя. / А.Г.Рябцев и др. - Оpubл. в Б.И., 1991, № 29. - с. 4.

462528

AB 25.894