

| | |
|--|---|
| <p>Романюк Н. Н. Белорусский государственный аграрный технический университет</p> <p>Нукешев С. О. Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина</p> <p>Тойгамбаев С. К. Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина</p> <p>Теловов Н. К. Московский государственный университет природообустройства E-mail: romanyuk-nik@tut.by</p> | <p>К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ</p> |
|--|---|

УДК 631.53.02:633.15 УДК 502/504 631.311.5

В статье рассматриваются вопросы разуплотнения плодородного слоя почвы и плужной подошвы без оборота пласта и повреждения стерни. Разработана оригинальная конструкция и обоснованы основные параметры рабочего органа двухступенчатого двухрядного глубокорыхлителя, использование которого позволит повысить качество рыхления, разрушить подпахотный уплотненный слой и снизить энергоемкость процесса обработки почвы. Проведенные полевые испытания позволили определить количество рабочих органов глубокорыхлителя для тракторов различного тягового класса.

Ключевые слова: глубокорыхлитель, плодородный слой, переуплотнение, оригинальная конструкция, подпахотный слой, разуплотнение.

Введение.

Обработка почвы является важным звеном в системе агротехнических мероприятий в производстве продуктов растениеводства. Механическое воздействие рабочих органов машин и орудий на почву приводит к мобилизации органического вещества, улучшению физических свойств почвы. Изменение строения пахотного слоя, вызванное механической обработкой, обеспечивает наиболее благоприятные условия для протекания биологических, физико-химических, физических процессов почве, а содержание в ней кислорода и влаги положительно влияет на реакцию почвенного раствора, усиливая активность микрофлоры [1].

Серьезной проблемой является уплотнение почвы, которое характеризуется разрушением структуры, изменением пористости, воздухопроницаемости, влажности и т.д. Переуплотнение приводит к потере плодородия почвы и, в конечном итоге, к нарушению экологии агроэкосистем [1, 2, 3].

У почв обычно разделяют три слоя: пахотный горизонт, плужная подошва и подпахотный горизонт (слой ниже плужной подошвы).

Плужная подошва, которая образуется в результате давления опорных плоскостей плужных корпусов при систематической вспашке на одну и ту же глубину, и переуплотненный подпахотный слой препятствуют развитию корневой системы, ведут к нарушению водно-воздушного режима питания растений, что в конечном итоге способствует потере гумуса, а ухудшение физических свойств почвы приводит к эрозии.

Для разуплотнения плодородного слоя и плужной подошвы без оборота пласта и повреждения стерни используются глубокорыхлители.

Целью наших исследований явилась разработка конструкции и обоснование основных параметров рабочего органа глубокорыхлителя.

Основная часть.

Проведенный патентный поиск показал, что известны рабочие органы для глубокой обработки почвы, включающие ножевые стойки с закрепленным на них лемехом [4].

Однако они имеют незначительную ширину захвата, а увеличение ширины захвата за счет увеличения количества рабочих органов увеличивает массу и энергоемкость.

Известен рабочий орган для обработки почвы, включающий наклоненные относительно друг друга симметричные ножевые стойки и соединяющий их в нижней части лемех [5].

Недостатком этого рабочего органа является значительная энергоемкость и низкое качество работы при рыхлении на большую глубину, так как происходит прессование почвы из-за того, что действие сил резания не доходит до свободной поверхности почвы.

Известен рабочий орган для обработки почвы, имеющий ступенчатые стойки, площадки которых имеют в продольном сечении клинообразную форму с переменным углом заострения, а стойки каждой последующей ступени выполнены с переменным углом наклона [6].

Недостатком этого рабочего органа является низкое качество рыхления из-за непроработки почвы в верхней ступени, особенно в ее центральной части.

В Московском государственном университете природообустройства разработан оригинальный глубокорыхлитель [7], предназначенный для рыхления почвы на глубину до 0,6м, использование которого позволит повысить качество рыхления почвы, разрушить подпахотный уплотненный слой и снизить энергоемкость процесса обработки.

При безотвальной технологии взамен зяблевой и весенней вспашек, глубокое рыхление почвы на склонах и паровых полях применяют для послеуборочного рыхления и предпосевной обработки стерневых и мульчированных агрофонов, заплывших почв, а также для обработки залежных земель и кормовых угодий, виноградников и садов. Предлагается применять глубокорыхлитель с лемехами (рисунок 1) с периодичностью обработки почвы один раз в 3-4 года.

Выбор времени для глубокой обработки уплотнённых почв определяется ротацией культур. Вместе с тем лучше, чтобы глубокая обработка проводилась осенью после уборки урожая и до наступления сезона дождей для аккумуляции влаги.

При обработке почвы можно использовать один, два или три рабочих органа. К основным параметрам предлагаемого двухступенчатого двухрядного глубокорыхлителя можно отнести: углы резания лемехов нижней β_1 и верхней β_2 ступеней; β_3 - углы резания лемеха второго ряда стойки; δ_1 – углы резания нижних боковых стоек; δ_2 - углы резания верхних боковых стоек; δ_3 - углы резания нижних боковых стоек второго ряда стойки.

Влияние перечисленных параметров на тяговое сопротивление и процесс рыхления почвы практически не изучено. Это влияние изучалось нами с помощью физического [8] и математического [9] моделирования.

В качестве факторов были приняты глубина рыхления, влажность, твердость почвогрунта (характеризует его плотность) и углы установки рабочего органа. Были изготовлены три модели глубокорыхлителя в масштабе 1:3.

В качестве параметра оптимизации было принято тяговое сопротивление движению рабочего органа рыхлителя F_C .

При этом приняты углы резания наклонных стоек δ относительно оси продольного движения:

- для нижней ступени: 1) $\delta_1 = 10^0$; 2) $\delta_1 = 25^0$; и 3) $\delta_1 = 20^0$;
- для верхней ступени: 1) $\delta_2 = 10^0$; 2) $\delta_2 = 20^0$ и 3) $\delta_2 = 15^0$.
- $\delta_3 = 10^0$ для всех моделей.

Угли резания лемехов:

- для нижней ступени: 1) $\beta_1=30^0$; 2) $\beta_1=40^0$; 3) $\beta_1=45^0$;
- для верхней ступени: 1) $\beta_2=25^0$; 2) $\beta_2=30^0$; 3) $\beta_2=35^0$;
- $\beta_3 = 30^0$ для всех моделей.

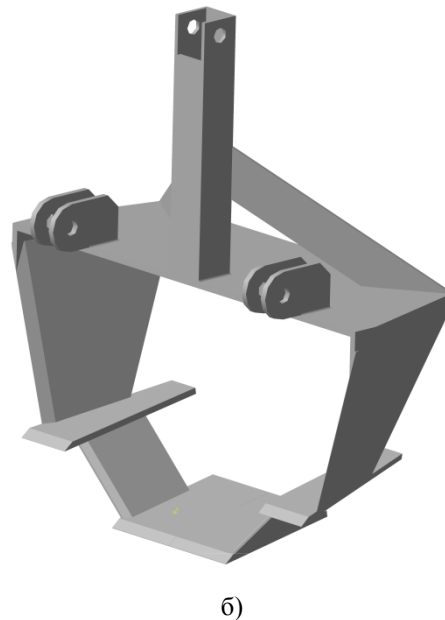
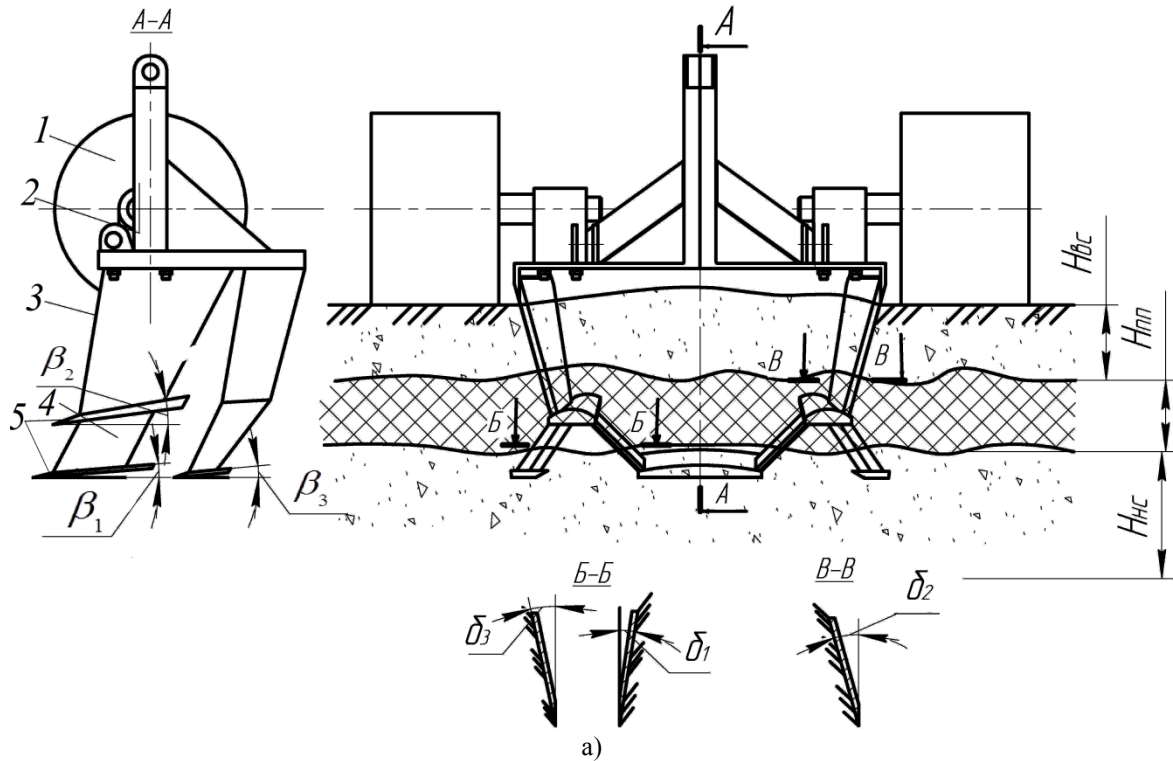


Рисунок 1 – Схема расположения слоев почвы в разрезе: а) вид спереди и сбоку в разрезе двухступенчатого двух рядного объемного глубокорыхлителя: $H_{обс}$ – обрабатываемый слой почвы, $H_{плп}$ - высота уплотненного слоя почвы «плужная подошва», $H_{ис}$ – подпахотный горизонт; 1- опорное колесо, 2 - рама, 3 - боковая стойка, 4- нижняя боковая стойка, 5- лемеха б) общий вид двухступенчатого объемного рыхлителя

В общем виде математическое описание процесса представляется зависимостью [9]:

$$Y = f(\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \dots, \tilde{X}_k), \quad (1)$$

где Y – зависимая переменная (функция) отклика;

$\tilde{X}_i, i = 1, \dots, k$ – управляемые независимые переменные (факторы).

В нашем случае в качестве факторов для каждой модели приняты: \tilde{X}_1 – глубина рыхления (мм); \tilde{X}_2 – влажность грунта (%); \tilde{X}_3 – твердость грунта.

Для нахождения твердости грунта использовался ударник ДорНИИ. Твердость определялась количеством ударов C_{y0} , необходимых для погружения в грунт на глубину 0,1 м плоского цилиндрического наконечника.

Примем следующие обозначения $\tilde{X}_i^-, \tilde{X}_i^+, \tilde{X}_i^0$ – соответственно нижний, верхний и базовый уровни; $\Delta\tilde{X}_i$ – интервал варьирования. Исследования для каждой модели проводились по схеме полного факторного эксперимента (ПФЭ), в нашем случае при $k = 3$ – по схеме ПФЭ 23 [9]. При планировании эксперимента размерные факторы \tilde{X}_i преобразовываются в безразмерные нормированные факторы X_i :

$$X_i = (\tilde{X}_i - \tilde{X}_i^0) / \Delta\tilde{X}_i, \quad i = 1, 2, 3. \quad (2)$$

В этом случае в относительных единицах $X_i^+ = +1, X_i^- = -1$.

Функцию отклика (1) искали в виде

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i X_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^3 b_{ij} X_i X_j, \quad (3)$$

где b_0, b_i, b_{ij} – соответствующие коэффициенты регрессии.

Так как изменения выходной величины (отклика) носят случайный характер, то в каждой точке целесообразно проводить n параллельных опытов и по результатам наблюдений $Y_{mr}, (m = 1, \dots, 8, r = 1, \dots, n)$ находить среднее значение \bar{Y}_m , (обычно $n \geq 3$). Матрица планирования полного трехфакторного эксперимента при $k = 3, n = 3$ представлена в таблице 1.

Таблица 1

Матрица планирования полного трехфакторного эксперимента

| № опыта, m | X_1 , глубина | X_2 , влажность | X_3 , твердость | $Y_{mr}, r = 1, 2, 3$ | \bar{Y}_m | S_m^2 |
|--------------|--------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|-------------|---------|
| 1 | - | - | - | $Y_{11}; Y_{12}; Y_{13}$ | \bar{Y}_1 | S_1^2 |
| 2 | + | - | - | $Y_{21}; Y_{22}; Y_{23}$ | \bar{Y}_2 | S_2^2 |
| 3 | - | + | - | $Y_{31}; Y_{32}; Y_{33}$ | \bar{Y}_3 | S_3^2 |
| 4 | + | + | - | $Y_{41}; Y_{42}; Y_{43}$ | \bar{Y}_4 | S_4^2 |
| 5 | - | - | + | $Y_{51}; Y_{52}; Y_{53}$ | \bar{Y}_5 | S_5^2 |
| 6 | + | - | + | $Y_{61}; Y_{62}; Y_{63}$ | \bar{Y}_6 | S_6^2 |
| 7 | - | + | + | $Y_{71}; Y_{72}; Y_{73}$ | \bar{Y}_7 | S_7^2 |
| 8 | + | + | + | $Y_{81}; Y_{82}; Y_{83}$ | \bar{Y}_8 | S_8^2 |

С целью исключения систематических ошибок опыты рандомизировались во времени (вводилась случайность последовательности их выполнения). Оценка дисперсии выполнялась по формуле [9]:

$$S_m^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{r=1}^n (Y_{mr} - \bar{Y}_m)^2, \quad m = 1, \dots, 8. \quad (4)$$

После выполнения опытов и заполнения таблицы 1 осуществлялась проверка воспроизводимости опытов (проверка гипотезы об однородности дисперсии параллельных опытов).

Для проверки гипотезы об однородности дисперсий обычно используется критерий Кохрена [9]:

$$G = \frac{S_{m,\max}^2}{\sum_{m=1}^8 S_m^2} < G_{n-1,8,0,05}, \quad (5)$$

где α - уровень значимости критерия (можно принять $\alpha = 0,05$).

Если соотношение (5) выполняется, то гипотеза принимается, в противном случае – отвергается [9].

Интервалы и уровни варьирования факторов представлены в таблице 2, а результаты опытов – в таблице 3.

Таблица 2

Интервалы и уровни варьирования факторов

| Факторы | X_1 , глубина, (мм) | X_2 , влажность, (%), | X_3 , C_{yo} |
|---------|-----------------------|-------------------------|------------------|
| Базовый | 60 | 16 | 7 |
| Верхний | 80 | 20 | 10 |
| Нижний | 40 | 12 | 4 |

Таблица 3

Результаты опытов двухступенчатого двухрядного глубокорыхлителя

| № опытов, m | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 – я модель | | | | | | | | |
| \bar{Y}_m, H | 90 | 108 | 106 | 143 | 104 | 118 | 104 | 175 |
| S_m^2, H^2 | 51 | 55 | 53 | 71 | 50 | 69 | 51 | 52 |
| 2 – я модель | | | | | | | | |
| \bar{Y}_m, H | 95 | 104 | 106 | 133 | 104 | 120 | 104 | 168 |
| S_m^2, H^2 | 52 | 55 | 52 | 70 | 55 | 68 | 55 | 46 |
| 3 – я модель | | | | | | | | |
| \bar{Y}_m, H | 99 | 108 | 110 | 138 | 105 | 122 | 107 | 170 |
| S_m^2, H^2 | 54 | 57 | 59 | 72 | 56 | 69 | 56 | 48 |

Оценку однородности дисперсий рассчитаем по зависимости (5):

$$G = 0.16 < G_{n-1,8,0,05} = 0.516$$

Следовательно, можно принять гипотезу об однородности дисперсий. Это позволяет перейти к вычислению дисперсии воспроизводимости S_v^2 . с числом степеней свободы $f_v = 8 \cdot (n-1) = 16$.

$$S_v^2 = \frac{1}{8} \sum_{m=1}^8 S_m^2. \quad (6)$$

1) $S_{v1}^2 = 56,5$; 2) $S_{v2}^2 = 56,6$; 3) $S_{v3}^2 = 58,9$.

Коэффициенты уравнения регрессии для каждой модели рассчитываются по формулам [9]:

$$\left\{ \begin{array}{l} b_0 = \frac{1}{8} \sum_{m=1}^8 \bar{Y}_m; \\ b_i = \frac{1}{8} \sum_{m=1}^8 X_{im} \bar{Y}_m; \quad (i = 1, \dots, 3); \\ b_{ij} = \frac{1}{8} \sum_{m=1}^8 X_{im} X_{jm} \bar{Y}_m; \quad (i = 1, 2; \quad j = 2, 3; \quad i < j) \end{array} \right. \quad (7)$$

Если окажется, что зависимость (3) неадекватно описывает процесс, то к зависимости можно добавить слагаемое $b_{123} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$, в котором коэффициент регрессии b_{123} вычисляется по формуле

$$b_{123} = \frac{1}{8} \sum_{m=1}^8 X_{1m} X_{2m} X_{3m} \bar{Y}_m; \quad (8)$$

Подставляя эти коэффициенты в уравнение регрессии (3), получим:

- 1) $Y = 118,5 + 17,5X_1 + 13,5X_2 + 6,8X_3 + 9,5X_1X_2 + 0,75X_2X_3 + 3,8X_1X_3 + 4,8X_1X_2X_3$,
- 2) $Y = 116,8 + 14,5X_1 + 11,0X_2 + 7,3X_3 + 8,3X_1X_2 + 1,0X_2X_3 + 5,5X_1X_3 + 3,8X_1X_2X_3$,
- 3) $Y = 119,9 + 14,6X_1 + 11,4X_2 + 6,1X_3 + 8,1X_1X_2 + 1,1X_2X_3 + 5,4X_1X_3 + 3,4X_1X_2X_3$.

Оценка значимости коэффициентов регрессии проводится с помощью критерия Стьюдента [9]:

$$|b_i|, |b_{ij}| > t_{\alpha, f_v} S\{b_i, b_{ij}\}, \quad (10)$$

где $S^2\{b_i, b_{ij}\} = \frac{1}{8 \cdot n} S_v^2$ - дисперсия оценки коэффициентов b_i, b_{ij} ,

t_{α, f_v} - квантиль распределения Стьюдента,

$f_v = 8 \cdot (n - 1)$ - число степеней свободы

Если соотношение (10) выполняется, то коэффициенты b_i, b_{ij} признаются значимыми, в противном случае - незначимыми. Переходя к оценке значимости коэффициентов, получаем

- 1) $t_{\alpha, f_v} S\{b_i, b_{ij}\} = 3,25$; 2) $t_{\alpha, f_v} S\{b_i, b_{ij}\} = 3,26$; 3) $t_{\alpha, f_v} S\{b_i, b_{ij}\} = 3,32$.

Следовательно, все коэффициенты, кроме коэффициента b_{23} признаются значимыми. Уравнения регрессии примут вид:

- 1) $Y = 118,5 + 17,5X_1 + 13,5X_2 + 6,8X_3 + 9,5X_1X_2 + 3,8X_1X_3$,
- 2) $Y = 116,8 + 14,5X_1 + 11,0X_2 + 7,3X_3 + 8,3X_1X_2 + 5,5X_1X_3$,
- 3) $Y = 119,9 + 14,6X_1 + 11,4X_2 + 6,1X_3 + 8,1X_1X_2 + 5,4X_1X_3$.

Проверка гипотезы об адекватности уравнения регрессии результатам эксперимента осуществляется по F- критерию Фишера в следующем порядке:

рассчитываем выход \hat{Y}_i для каждого варианта опыта по уравнению регрессии и вычисляем дисперсию адекватности [9]:

$$S_{ad}^2 = \frac{n}{8-d} \sum_{i=1}^8 (\bar{Y}_i - \hat{Y}_i)^2, \quad (12)$$

где d - число членов аппроксимирующего полинома.

Затем рассчитываем критерий Фишера по формуле [9]:

$$F = \frac{S_{адек}^2}{S_v^2} < F_{8-d, 8(n-1), \alpha} \quad (13)$$

Если соотношение (13) выполняется, то полученное уравнение регрессии считается адекватным, в противном случае – неадекватным.

Для нашего случая по формулам (12), (13) получаем

$$1) F = 4,91 > F_{8-6, 8(3-1), 0,05} = 3,63;$$

$$2) F = 3,19 < F_{8-6, 8(3-1), 0,05} = 3,63;$$

$$3) F = 2,58 < F_{8-6, 8(3-1), 0,05} = 3,63.$$

Таким образом, для 2-й и 3-й модели полученные уравнения адекватно описывают процесс. Для 1-й модели следует добавить слагаемое (8). Тогда уравнение регрессии и его оценка примут вид

$$Y = 118,5 + 17,5X_1 + 13,5X_2 + 6,8X_3 + 9,5X_1X_2 + 3,8X_1X_3 + 4,8X_1X_2X_3;$$

$$F = 0,239 < F_{8-6, 8(3-1), 0,05} = 3,63.$$

После оптимизации модели были определены значения углов крошения. Анализ двумерных сечений полученных усилий для рабочих органов с различными углами установки режущих элементов позволил определить рациональную форму и параметры рабочего органа, которые приведены в таблице 4.

Таблица 4

Основные параметры рабочего органа двухступенчатого двухрядного глубокорыхлителя

| Наименование параметра | Значения параметров | |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | для нижней ступени | для верхней ступени |
| Угол резания лемеха, град | $\beta_1 = 30 \dots 35$ | $\beta_2 = 20 \dots 25$ |
| Углы резания стоек, град | $\delta_1 = 10$ | $\delta_2 = 10$ |

По результатам, полученным в ходе экспериментальных исследований, можно определить полное сопротивление движения рабочего органа при рыхлении, используя рабочую методику приближенного физического моделирования процессов рыхления грунта без изменения его свойств [8], для рабочего органа в натуральную величину.

Используя максимальные тяговые сопротивления для физической модели, рассчитываем сопротивление рабочих органов натуральных образцов F_{CH} по формуле [8]:

$$F_{CH} = F_{CM} \cdot z \cdot i^p = 175 \times 3 \times 3^3 = 14175 \text{H}, \quad (14)$$

где F_{CM} – тяговое сопротивление одного модуля модели, полученное экспериментальным путем, $F_{CM} = 175 \text{H}$;

z - количество рабочих органов, $z = 3$;

i – торировочный коэффициент рабочего органа модели, $i = 3$;

p – масштабный коэффициент перехода от модели к натурному образцу,
 $p = 3$.

Полное сопротивление F_f движению базового трактора ДТ-75 при рыхлении глубокорыхлителем определяем по формуле:

$$F_f = mgf_T + F_{CH}, \quad (15)$$

где m – масса базовой машины с рабочим органом, ($m = 6500$ кг);

g – ускорение свободного падения, m/c^2 ,

f_T – коэффициент сопротивления движению (для суглинка $f_T = (0,10...0,12)$ [10]).

$$F_f = mgf_T + F_H = 6500 \cdot 9,81 \cdot 0,12 + 14175 = 21827H \approx 22кН.$$

Так как максимальное тяговое сопротивление ДТ-75 – 30кН, то пробуксовывания нет, и тяговые сопротивления преодолеваются базовым трактором с большим запасом.

Были проведены полевые испытания по использованию глубокорыхлителей с разным количеством модулей с тракторами тяговых классов 1,4...10.

Исследования показали:

1. по основным технико-эксплуатационным параметрам глубокорыхлители удовлетворительно агрегируются с основными отечественными пахотными тракторами:

- одномодульный глубокорыхлитель (типа ГР-0,5.1) - с тракторами тяговых классов 1,4 (МТЗ-82, Беларус-921, Т-70В и Т-70С);

- двухмодульный глубокорыхлитель (типа ГР-0,5.2) с тракторами тяговых классов 3-5, (гусеничные: ДТ-75 ДЭС-4, Т-150, Т-250, Беларус-2103; колесные: Беларус-2103, 2022, 2522, 2822, 3022, 3023);

- трехмодульный глубокорыхлитель (типа ГР-05.3) – с тракторами тягового класса 7-10, (К-702, К-745, Т-170).

2. В зависимости от тягового класса трактора навесное рабочее оборудование может включать один или три рабочих органа (модуля), расположенных в шахматном порядке (два спереди, один сзади).

Выводы.

1. Разработана оригинальная конструкция рабочего органа глубокорыхлителя, использование которого позволит повысить качество рыхления, разрушить подпахотный уплотненный слой и снизить энергоемкость процесса обработки почвы.

2. Метод физического моделирования технологического процесса обработки почвы рабочими органами с различными углами установки режущих элементов позволил выявить рациональную форму и параметры двухступенчатого двухрядного глубокорыхлителя.

3. Проведенные полевые испытания позволили определить количество рабочих органов глубокорыхлителя для тракторов различного тягового класса.

Литература

1. Кушнарєв, А.С. Механіко-технологічні основи обробки ґрунту / А.С. Кушнарєв, В.І. Кочев. – Київ : Урожай, 1989. – 144 с.
2. Романюк, Н.Н. Снизження ущільнюючого впливу на ґрунт вертикальними вібродинамічними навантаженнями пневмоколісних двигунів : дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03, 05.20.01 / Н.Н. Романюк. – Мінськ: 2008. – 206 л.
3. Орда, А.Н. Екологічно-енергетичні основи формування машинно-тракторних агрегатів : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03 / А.Н. Орда. – Мінськ, 1997. – 269 л.
4. Авторське свідоцтво SU 376040, А 01 В 39/16, 05.04.73.
5. Авторське свідоцтво SU 704488, А 01 В 13/16, 25.12.79.
6. Авторське свідоцтво SU 810102, А 01 В 13/16, 07.03.81.
7. Глибокорихлильник: патент № 2150183 РФ, МКИ А01В13/08, А01В13/16/ Н.К. Теловов, Ю.Г. Рєвін, В.С. Казаков /; заяв. 30.04.1999; опубл. 10.06.2000.
8. Баловнев, В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В.И. Баловнев. – М. : Машиностроение, 1994. – 432 с.
9. Митков А.Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении / А. Л. Митков, С.В.Кардашевский. – М.: Машиностроение, 1978. – 320 с.
10. Эксплуатация машинно-тракторного парка: учеб. пособие для с.-х. вузов / А.П. Ляхов [и др.]; под ред. Ю.В. Будько. Минск: Ураджай, 1991. – 336с.

Ramaniuk Mikalai, Sayakhat Nukeshev, Serik Toigambaev, Normurod Telovov **To question the validity of some parameters subsoilers**

This article presents questions of the fertile layer and plough-pan softening without soil overturning and stubble field damage. It is worked out an original construction and proved basics parameters of the two-stage double-row chisel plow working body, the use of which will allow to improve tillage quality, to destroy subsurface compacted layer and reduce soil cultivation power capacity. Conducted field trials allowed to quantify working bodies of chisel plow for tractors of diverse drawbar category.

Keywords: subsoiler, topsoil, compaction, the original design, subsurface layer decompression.

References

1. Kushnarev , A.S. Mechanics and technological bases of processing soil / A.S. Kushnarev, V.I. Kohchev . - Kiev : Vintage , 1989 . – 144s.
2. Ramaniuk, M.M. Reduction of compaction influence on the soil by vibrodynamic loads of pneumatic wheeled propellers: dis Kand . tehn. Sciences: 05.20.03, 05.20.01 / M.M. Ramaniuk . – Minsk : 2008. - 206l.
3. Orda, A.N. Ecological and energy basis for the formation of tractor units : dis . Dr. ... tehn. Sciences: 05.20.03 / A.N. Orda . - Minsk, 1997. - 269 l.
4. Inventor's Certificate SU 376040 , A 01 B 39/16 , 04.05.73.
5. Inventor's Certificate SU 704 488 , A 01 B 13/16 , 25.12.79.
6. Inventor's Certificate SU 810102 , A 01 B 13/16 , 03.07.81.
7. Chisel: Patent number 2150183 RU A01B13/08, A01B13/16 / N.K. Telovov, J.G. Revin, V.S. Kazakov /; statement. 30.04.1999; publ. 10.06.2000.
8. Balovnev, V.I. Simulation of interaction with the environment of working bodies of road-building machinery / V.I. Balovnev. - M.: Mechanical Engineering, 1994. – 432s.
9. Mitkov, A.L. Statistical methods in agricultural / A. L. Mitkov, S.V. Kardashevsky. - M.: Mechanical Engineering, 1978. – 320s.
10. Operation of the machine and tractor / A.P/ Lyahov [etc.]; ed. Y. Budko. Minsk: Vintage, 1991. – 336s.