

ANALYSIS OF DESIGNS AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF CHISEL PLOWS AND SUBSOILERS

¹Malyukov S. V., ²Shavkov M. V., ¹Petkov A. F.,
¹Cherenkov D. S., ¹Popov M. A., ¹Bolgov A. V.

¹Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forest Engineering University
named after G. F. Morozov»

²Limited Liability Company «Rushydrocom»
Voronezh, Russian Federation

Corresponding author E-mail: malyukovsergey@yandex.ru

Received 19.03.2024

Submitted 15.05.2024

*The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation № 22-79-10010,
<https://rscf.ru/project/22-79-10010>*

Abstract

Introduction. Improvement of soil tillage processes is the key to quality cultivation of various crops in agriculture and forestry. It is necessary to introduce minimum tillage with minimum energy and labor inputs, providing optimal soil wellness. Deepening of arable layer brings positive results. Creating more favorable conditions for the development of the root system and root nutrition of plants. **Object.** The object of research is the design of chisel plows and subsoilers, and their working parts. **Materials and methods.** Data was collected in the Yandex search system, as well as in other electronic libraries and information and analytical portals (eLIBRARY, Base, Google Scholar, Springer Link, CyberLeninka). The information was systematized using cluster analysis. Using the computer software package Microsoft Excel and STATISTICA, horizontal dendrograms of similarities and differences in the parameters of the studied aggregates were constructed. The distances between objects were specified as the Chebychev distance metric, and the Unweighted pair-group centroid method was used as a measure of cluster connection. The search for publications was carried out by year from 2014 to 2024. **Results and conclusion.** A brief review of loosening working bodies shows that the existing tools have both individual advantages and disadvantages. The analysis of modern working bodies of chisel plows and deep loosening plows has allowed to find ways of further improvement of designs of produced serial implements, which will allow to reduce costs for soil tillage and will be deprived of their disadvantages. The optimum scheme of arrangement of working bodies in the machine – in two rows in staggered order – has been chosen.

Keywords: chisel plows, subsoilers, tillage, loosening elements, arrangement of working parts.

Citation. Malyukov S. V., Shavkov M. V., Petkov A. F., Cherenkov D. S., Popov M. A., Bolgov A. V. Analysis of designs and technological parameters of chisel plows and subsoilers. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 412-422 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-47.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.316.22

**АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ЧИЗЕЛЬНЫХ ПЛУГОВ И ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЕЙ**

¹Малюков С. В., кандидат технических наук, доцент

²Шавков М. В., кандидат технических наук

¹Петков А. Ф., инженер

¹Черенков Д. С., преподаватель СПО

¹Попов М. А., аспирант

¹Болгов А. В., студент

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова»

²ООО «Русгидроком (РГК)»

г. Воронеж, Российская Федерация

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10010,
<https://rscf.ru/project/22-79-10010/>*

Актуальность. Совершенствование процессов обработки почвы является залогом качественного выращивания различных культур в сельском и лесном хозяйстве. Необходимо внедрять минимальную обработку почвы с минимальными энерго- и трудозатратами, обеспечивая оптимальную скважность почвы. Углубление пахотного слоя приносит положительные результаты. Создавая более благоприятные

условия для развития корневой системы и корневого питания растений. **Объект.** Объектом исследования являются конструкции чизельных плугов и глубоких рыхлителей и их рабочие органы. **Материалы и методы.** В поисковой системе «Яндекс», а также в иных электронных библиотеках и в информационно-аналитических порталах (eLIBRARY, Base, Академия Google, Springer Link, КиберЛенинка) проводился сбор данных. Сведения систематизировались при помощи кластерного анализа. При помощи компьютерного пакета программ Microsoft Excel и STATISTICA построили горизонтальные дендрограммы сходства и различия параметров исследуемых агрегатов. Расстояния между объектами задавались как расстояние Чебышева (Chebychev distance metric), а в качестве меры связи кластеров был применен невзвешенный центроидный метод (Unweighted pair-group centroid). Поиск публикаций проводился по годам с 2014 по 2024 гг. **Результаты и выводы.** Краткий обзор рыхлительных рабочих органов показывает, что имеющиеся орудия обладают как отдельными достоинствами, так и недостатками. Проведенный анализ современных рабочих органов чизельных плугов и глубоких рыхлителей позволил найти пути дальнейшего совершенствования конструкций выпускаемых серийных орудий, которые позволят снизить затраты на обработку почвы и будут лишены их недостатков. Выбрана оптимальная схема расположения рабочих органов в агрегате – в два ряда в шахматном порядке.

Ключевые слова: чизельные плуги, глубоких рыхлители, обработка почвы, рыхлительные элементы, схемы расстановки рабочих органов.

Цитирование. Малюков С. В., Шавков М. В., Петков А. Ф., Черенков Д. С., Попов М. А., Болгов А. В. Анализ конструкций и технологических параметров чизельных плугов и глубоких рыхлителей. *Известия НВ АУК*. 2024. 3(75). 412-422. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-47.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Спрос на энергосберегающие технологии обработки почвы при минимальном воздействии на нее [4, 18, 24, 28] в последнее время стал наиболее востребованной тенденцией в лесном [2] и сельском хозяйстве. Высокозатратную отвальную вспашку стараются заменить безотвальной рыхлительной. Методы глубокого рыхления [5, 9, 15, 25, 30], позволяющие разуплотнить (один раз в 3-5 лет) почву, активно внедряются в традиционные технологии обработки почвы, использующие отвальную вспашку. Эти изменения вызваны стремлением уменьшить плотность почвы, сохранить в ней влагу, снизить расходы горючих материалов, сэкономить силы и время рабочих [3, 11, 18, 26, 29].

В борьбе с водной и ветровой эрозией почвы наиболее эффективными способами являются методы минимальной обработки почвы. При этом должны быть соблюдены определенные условия: минимальная величина поверхностной обработки почвы; структура нижнего горизонта почвы должна быть улучшена. Чизельный плуг позволяет выполнить только последнее условие, а глубокий рыхлитель – все представленные условия.

Цель работы: произвести обзор конструкций чизельных плугов и глубоких рыхлителей, определить взаимосвязи схемы расстановки рабочих органов рыхлителей и процессов деформации почвы.

Материалы и методы. Объект исследования – конструкции чизельных плугов и глубоких рыхлителей и их рабочие органы. Предметом исследования является взаимодействие рабочих органов агрегатов с почвенной средой. Для анализа конструкций чизельных плугов и глубоких рыхлителей были использованы различные открытые источники информации. Были изучены серийные образцы агрегатов как отечественных, так и зарубежных фирм. В поисковой системе «Яндекс», а также в иных электронных библиотеках и в информационно-аналитических порталах (eLIBRARY, Base, Академия Google, Springer Link, КиберЛенинка) с запросами: (чизельные плуги) ИЛИ (глубокие рыхлители) ИЛИ (плуги-рыхлители) ИЛИ (Subsoilers) И (Deep Cultivators) проводился поиск информации. Поиск публикаций проводился по годам с 2014 по 2024 гг.

Из большого разнообразия почвообрабатывающих агрегатов были отобраны несколько образцов чизельных плугов и глубоких рыхлителей и проведен их кластерный анализ по нескольким параметрам: ширина захвата, глубина обработки почвы, количество рабочих органов, рабочая скорость, масса, требуемая мощность трактора. При помощи компьютерного пакета программ Microsoft Excel и STATISTICA построили горизонтальные дендрограммы сходства и различия параметров исследуемых агрегатов. В данной программе расстояния между объектами были заданы как расстояние Чебышева, а в качестве меры связи кластеров был применен невзвешенный центроидный метод.

Результаты и обсуждение. При помощи чизельных рыхлителей производится безотвальная обработка почвы. В зависимости от форм и конструктивных особенностей рабочих органов их можно разделить на чизельные плуги и глубокорыхлители [12, 14, 16-18, 27, 28].

Назначение чизельных плугов [3, 4, 19] и глубокорыхлителей сводится к основной обработке почвы и углублению ее пахотного слоя. Они могут применяться взамен весенней вспашки. При работе глубокорыхлитель нарушает верхний плодородный слой почвы в меньшей мере, поэтому он может быть также использован для улучшения пастбищ и лугов. Глубокорыхлители способны обрабатывать почву свыше 45 см, в этом качестве чизельные плуги им уступают. Их интервал глубин находится в пределах 20-45 см. В состав рабочих органов данных орудий обычно входит стойка. Она размещается в продольно-вертикальной плоскости. В нижней части стойки крепятся различные рыхлительные элементы самых разнообразных размеров и форм – лапы, крылья, зубы, долота. С целью изменения характера взаимодействия почвенного пласта с рабочим органом конструктивно стойка может быть изогнута в поперечной плоскости, а также иметь наклон в продольной плоскости.

В настоящее время различными производителями почвообрабатывающего оборудования выпускается огромное количество рыхлительных плугов. Все они имеют оригинальную конструкцию, защищенную авторскими свидетельствами и патентами. Они отличаются между собой конструктивным исполнением и схемами расстановки рабочих органов [7, 8, 10, 13, 20-23]. Выделяются три такие схемы: клиновидная, многорядная, однорядная. Клинovidная схема может быть интерпретирована как многорядная, только в ней каждый последующий рабочий орган смещен в продольном направлении.

В зависимости от требуемого качества реализации технологического процесса, металлоемкости, простоты, надежности конструкции, а также от энергозатрат на обработку почвы производится выбор схемы расстановки рабочих органов.

В тех конструкциях плугов, где нет необходимости перекрывать зоны рыхления рабочих органов, обычно применяется однорядная или двухрядная расстановка рабочих органов, с незначительным их смещением. Примером однорядной расстановки рабочих органов может служить глубокорыхлитель НК 200/3 (рисунок 1), выпускаемый фирмой SMS CZ s.r.o. (Чехия) [1].



Рисунок 1 – Глубокорыхлитель НК 200/3
Figure 1 – Subsoiler NK 200/3

Недостатком однорядной расстановки является то, что при работе может формироваться сплошной почвенный вал, вызванный пересечением зон обработки почвы рабочих органов, вследствие сужения междуследия до некоторого значения. В данном случае не будет обеспечена требуемая надежность технологического процесса. Энергозатраты на рыхление почвы увеличиваются, поскольку между идущими рядом рабочими органами происходит защемление почвы.

Конструктивная простота орудия является преимуществом данной схемы. Рабочие органы, устанавливаемые при помощи кронштейнов на единственном фронтальном брусе рамы, имеют возможность поперечного смещения. В некоторых случаях, рабочие органы могут быть размещены по обе стороны от бруса рамы. Это может быть достигнуто за счет особенной конструкции кронштейнов. При таком исполнении однорядная расстановка превращается в двухрядную, благодаря продольному смещению рабочих органов.

Двухрядная расстановка рабочих органов в шахматном порядке в последнее время нашла достаточно широкое применение. Она позволяет сохранить высокие требования к надежности технологического процесса рыхления почвы. При проектировании отечественных чизельных плугов ПЧ-2,5 (рисунок 2) и ПЧ-4,5 (рисунок 3), а также в некоторых иностранных, например, глубокорыхлитель Delta-new 3,0 (Австралия) (рисунок 4) [1], бралась за основу именно такая схема. Они агрегируются с тракторами К-701, К-744, МТЗ 3022ДВ и др.

Шахматная расстановка позволяет сделать шире расстояние между соседними рабочими органами, что способствует лучшему прохождению растительных остатков и почвы между ними. Достоинством такой схемы расположения рабочих органов является уменьшение металлоемкости и увеличение прочности и жесткости рамы в целом. Недостатком может служить усложнение конструкции агрегата.



Рисунок 2 – Плуг чизельный ПЧ-2,5
Figure 2 – Chisel plow PCH-2.5



Рисунок 3 – Плуг чизельный ПЧ-4,5
Figure 3 – Chisel plow PCH-4.5



Рисунок 4 – Глубокорыхлитель Delta-new 3,0
Figure 4 – Subsoiler Delta-new 3,0

Рабочие органы агрегата при клиновидной их расстановке попадают в такие условия, при которых возникает смежная борозда. Рабочие органы при этом стремятся занять наиболее выгодное для себя положение, т.е. стараются пройти по уже разрыхленной борозде. Смещение почвы происходит в том же направлении. Этот эффект носит двойственный результат. Положительным моментом здесь является то, что идущий следом рабочий орган засыпает щель, которая образуется впереди идущим рабочим органом. Отрицательной стороной является то, что при некоторых условиях на стыках смежных проходов агрегата, а также по оси борозды происходит формирование вала почвы. Имеет место рост тягового сопротивления орудия, вызванного защемлением почвы рабочими органами, при малом их продольном смещении относительно друг друга.

Конструктивная простота рамы, а также возможность свободного размещения предохранительных устройств рабочих органов в продольном направлении является достоинством клиновидной схемы. При этом не всегда удается уменьшить металлоемкость конструкции.

Результаты сравнительного анализа параметров конструкций чизельных плугов и глубокорыхлителей представлены в таблицах 1 и 2, а также на рисунках 5 и 6.

Таблица 1 – Сравнительный анализ параметров конструкций чизельных плугов [1]

Table 1 – Comparative analysis of design parameters of chisel plows [1]

Машина / Machine	Ширина захвата, м / Working width, m	Глубина обработки почвы, см / Depth of tillage, cm	Количество ра- бочих органов, шт. / Number of working tools, pcs.	Рабочая скорость, км/ч / Operating speed, km/h	Масса, кг / Weight, kg	Требуемая мощность трак- тора, л.с. / Required tractor power, hp
ПЧ-4,5 / PCh-4.5	4,5	20-45	11	10	2800	300
ПЧ-2,5 / PCh-2.5	2-2,5	30-45	5	10	1270	155-200
Гефест РН- 2,5 / Hephaest RN-2.5	2,5	20-45	7	12	1080	120-140
ЧИП-2В / CHIP-2V	2	20-45	4	8-10	1290	120-140
РЧН-4,5 / RFN-4.5	4,6	30-35	10	10	2250	230
ГРН-3 / GRN-3	2,4	45	4	2,5-7	1192	90-120
ПРБ-3 / PRB-3	2,8	28-45	6	7-10	1540	130-150
ПЧН-2,7К / PCHN-2.7K	2,7	45	6	10	1390	150
ГР-1,8 / GR- 1.8	1,8	25-45	7	8-12	480	150
НК 200/3 / NK 200/3	2	45	3	6-8	810	203,9-244,7
Франк-2,5 / Frank-2.5	2,5	20-45	5	8-12	1420	160-220
Гульден / Guilder	4	30-45	7	6-10	2680	300

Проанализировав диаграмму (рисунок 5), можно увидеть, что она разделена на девять кластеров. В первый кластер вошли агрегаты (ПЧ-4,5, Гульден), у которых все параметры – высокие. Во втором кластере размещен агрегат (РЧН-4,5), который имеет один низкий параметр (глубина обработки почвы), остальные – высокие. Плуг чизельный ПЧ-2,5, входящий в третий кластер, имеет два высоких параметра (глубина обработки почвы, рабочая скорость), два средних параметра (масса, требуемая мощность трактора), два низких параметра (ширина захвата, количество рабочих органов). В четвертом – агрегаты (ПРБ-3, ПЧН-2,7К), имеющие один высокий параметр (глубина обработки почвы), четыре средних параметра (ширина захвата, количество рабочих органов, рабочая скорость, масса) и один низкий (требуемая мощность

трактора). В пятом находится плуг чизельный (ЧИП-2В), у него один высокий параметр (глубина обработки почвы), два средних (рабочая скорость, масса), остальные показатели – низкие (ширина захвата, количество рабочих органов, требуемая мощность трактора). В шестом кластере находится глубокорыхлитель (НК 200/3), который имеет один высокий параметр (глубина обработки почвы), один средний параметр (требуемая мощность трактора), остальные низкие. В седьмом кластере – глубокорыхлитель (ГРН-3), который имеет один высокий параметр (глубина обработки почвы), остальные показатели – низкие. В восьмом кластере собраны агрегаты (Гефест РН-2,5 Франк-2,5), которые имеют два высоких параметра (глубина обработки почвы, рабочая скорость), один низкий (ширина захвата), остальные – средние. В девятом кластере находится глубокорыхлитель (ГР-1,8), имеющий два высоких параметра (глубина обработки почвы, рабочая скорость), два средних параметра (количество рабочих органов, требуемая мощность трактора), два низких параметра (ширина захвата, масса).

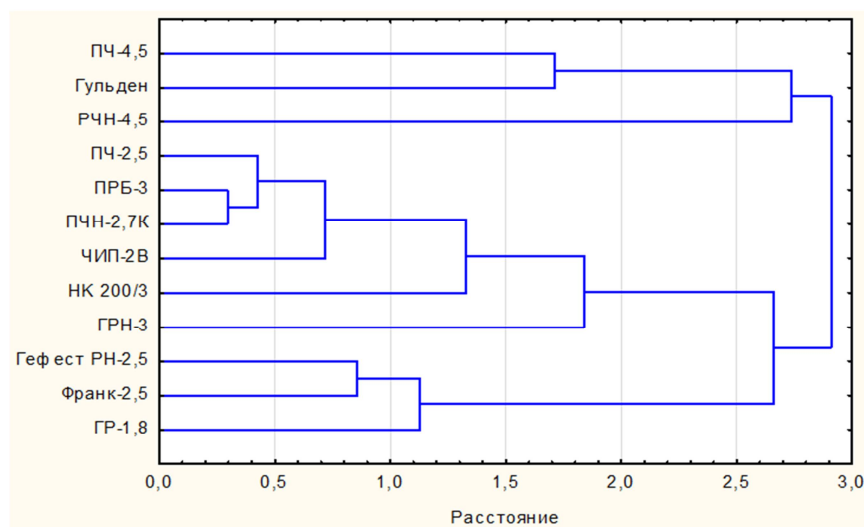


Рисунок 5 – Дендрограмма сходства и различия параметров конструкций чизельных плугов
Figure 5 – Dendrogram of similarities and differences between chisel plow design parameters

Таблица 2 – Сравнительный анализ параметров конструкций глубокорыхлителей [1]
Table 2 – Comparative analysis of subsoiler design parameters [1]

Машина / Machine	Ширина захвата, м / Working width, m	Глубина обработки почвы, см / Depth of tillage, cm	Количество рабочих органов, шт. / Number of working tools, pcs.	Рабочая скорость, км/ч / Operating speed, km/h	Масса, кг / Weight, kg	Требуемая мощность трактора, л.с. / Required tractor power, hp
SPA-2/3	2	10-50	7	4-8	1056	80-120
ГРН-3.2 / UAH-3.2	3,2	50	8	8-12	960	230
Delta-new 3,0	3	65	4	7	2150	150
Attila 250	2,5	55	5	6-10	800	110-180
Paragrubber ECO 3000	3	50	6	4-6	780	110
ГРН-2,4 / UAH-2.4	2,4	25-50	6	8-12	850	150
ГЧН-4,5 / PPN-4.5	4,5	50	7	10	2280	300
ГЩ-4М Евро / GSh-4M Euro	3,9	40-50	5	2,5-7	1715	300
Тектоник / Tectonic	4	65	9	10-12	3140	300-350
ПЧГ-3 / PChG-3	3	20-60	5	8-10	860	150

Из приведенной диаграммы (рисунок 6) видим, что она поделена на семь отдельных кластеров. В первом собраны агрегаты (SPA-2/3, Paragrubber ECO 3000), у которых один высокий параметр (глубина обработки почвы), один средний (количество рабочих органов), четыре показателя – низкие (ширина захвата, рабочая скорость, масса, требуемая мощность трактора). Во втором кластере стоит глубокорыхлитель (ГРН-3.2), который имеет один низкий параметр (масса), один средний параметр (ширина захвата), остальные – высокие. В третий кластер вошли глубокорыхлители (Attila 250, ГРН-2,4), которые имеют один высокий параметр (рабочая скорость), остальные – низкие. В четвертом находится агрегат (ПЧГ-3), имеющий три средних параметра (ширина захвата, глубина обработки почвы, рабочая скорость) и три низких (количество рабочих органов, масса, требуемая мощность трактора). В пятом находятся глубокорыхлители (ГЧН-4,5, ГЩ-4М Евро), у них два высоких параметра (ширина захвата, требуемая мощность трактора), три средних (глубина обработки почвы, рабочая скорость, масса), один низкий (количество рабочих органов). В шестом кластере находится глубокорыхлитель (Delta-new 3,0), который имеет один высокий параметр (глубина обработки почвы), два средних параметра (ширина захвата, масса), три низких (количество рабочих органов, рабочая скорость, требуемая мощность трактора). В седьмом кластере – глубокорыхлитель (Тектоник), который имеет все высокие параметры.

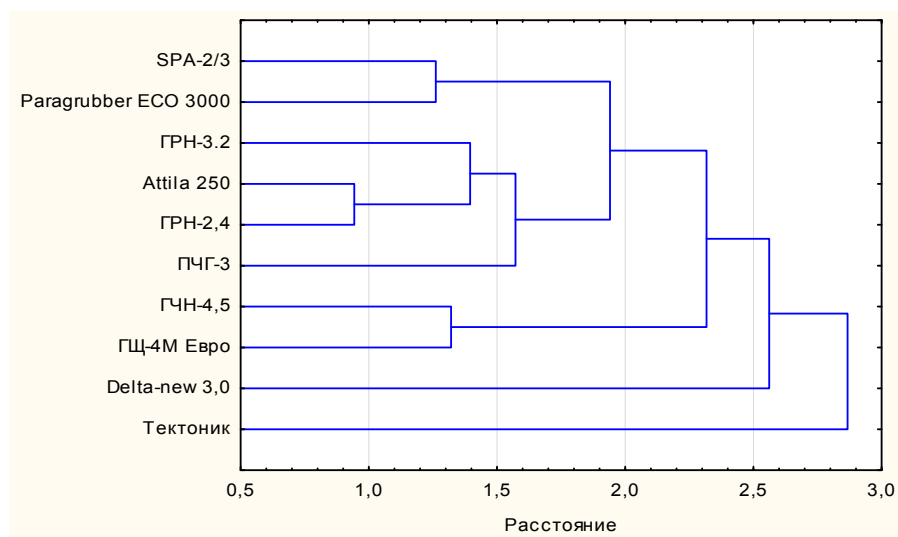


Рисунок 6 – Дендрограмма сходства и различия параметров конструкций глубокорыхлителей
Figure 6 – Dendrogram of similarities and differences between subsoiler design parameters

Рабочие органы плугов позволяют перемешивать и рыхлить нижние слои почвы. Они разрушают плотные пласты земли за счёт особой формы рабочей поверхности. В соответствии с этим рабочий орган чизельного плуга состоит из стойки 1, долота 2, зуба 3 (либо устанавливается обтекатель), крыла 4 (рисунок 7).



Рисунок 7 – Состав рабочего органа чизельного рыхлителя
Figure 7 – Composition of the working body of the chisel ripper

По форме стойки можно разделить на прямые (рисунок 8, а), дугообразные (дельтаплау) (рисунок 8, б), плоские изогнутой формы (параплау) (рисунок 8, в), нижняя часть которой расположена под некоторым углом к продольно-вертикальной плоскости [6]. Основное назначение стойки – нести рыхлительные элементы – долото или боковые крылья. В некоторых случаях боковые крылья выполнены в виде долота с уширителем. Боковые крылья, в свою очередь, служат для подрезания корней растений и увеличения зоны обработки почвы.

Долото может иметь самые разнообразные формы и размеры. Традиционно его рабочая поверхность имеет прямую, плоскую форму. Также встречаются образцы, имеющие небольшие зубья. Боковые крылья имеют плоскую клиновидную форму рабочей поверхности.

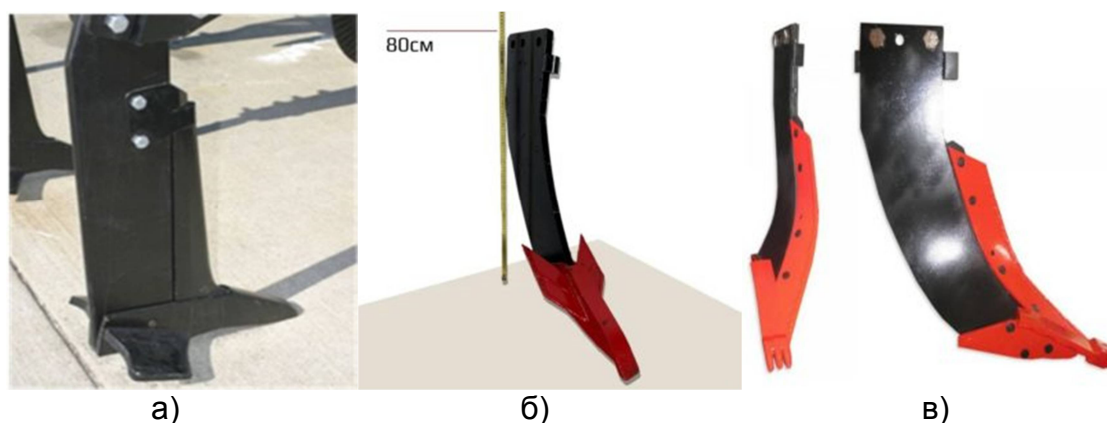


Рисунок 8 – Рабочие органы чизельных рыхлителей
Figure 8 – Working bodies of chisel rippers

Долото и боковые крылья при работе испытывают большие динамические нагрузки, при длительной эксплуатации они сильно изнашиваются, поэтому их делают съемными. В случае износа долото просто переворачивается.

С целью защиты стойки рабочего органа от износа, на ней иногда устанавливается обтекатель, который частично принимает участие в обработке почвы. Его обычно делают той же формы что и стойку. Незначительная вовлеченность обтекателя в технологический процесс позволяет ему иметь достаточно большой срок службы. Он в разы больше, чем срок службы боковых крыльев и долота. Производители чизельных плугов и глубокорыхлителей, при проектировании формы обтекателя и стойки, стараются сделать их самоочищающимися. Однако это не всегда получается, поэтому некоторые рабочие органы имеют увеличенное тяговое сопротивление вследствие забивания растительными остатками, что ведет к большим материальным затратам и нарушению технологического процесса.

Закключение. Краткий обзор рыхлительных рабочих органов показывает, что имеющиеся орудия обладают как отдельными достоинствами, так и недостатками. Проведенный анализ современных рабочих органов чизельных плугов и глубокорыхлителей позволил найти пути дальнейшего совершенствования конструкций выпускаемых серийных орудий, которые позволят снизить затраты на обработку почвы и будут лишены их недостатков.

После проведенного анализа, мы пришли к выводу, что расстановка рабочих органов в шахматном порядке в два ряда наиболее полно удовлетворяет всем агротехническим требованиям. При такой схеме имеется возможность продольного смещения рабочих органов, а также изменения междуследия. Конструкция агрегата при этом является достаточно работоспособной и относительно простой.

Conclusions. A brief review of ripping working tools shows that the available tools have both separate advantages and disadvantages. The analysis of modern working bodies of chisel ploughs and deep loosening ploughs allowed us to find ways to further improve the designs of manufactured serial implements, which will reduce the costs of tillage and will be deprived of their disadvantages.

After the analysis, we came to the conclusion that the arrangement of working bodies in staggered order in two rows most fully satisfies all agrotechnical requirements. With this scheme there is a possibility of longitudinal displacement of working tools, as well as change of intercropping. The design of the machine is quite workable and relatively simple.

Библиографический список

1. АгроБаза. https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_6a214443-02e9-43a8-bb2f-c27ca92cf679?ysclid=ltbj5wamsr87904426.
2. Бартенев И. М. Комбинированная почвообрабатывающая машина для защитного лесоразведения. Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 4. С. 31-36.
3. Бойков В. М., Старцев С. В., Павлов А. В., Нестеров Е. С., Башмаков И. А. Разработка схемы почвообрабатывающего орудия с рациональной расстановкой чизельных рабочих органов. Аграрный научный журнал. 2018. № 12. С. 56-58.
4. Гапич Д. С., Швабауэр Ю. А., Субботин С. И., Губайдулин Д. С. Снижение тягового сопротивления чизельных орудий. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4 (72). С. 398-409.
5. Карпов С. Н., Кожухов А. А., Герасимов Е. В., Хаустов П. А. Технологии почвозащитной обработки: пути развития. Вестник АПК Ставрополя. 2019. № 1 (33). С. 8-13.
6. Классификация чизельных плугов и культиваторов глубокихрыхлителей для трактора. <https://vseomt.ru/spravochnik-traktorista/chizelnii-plug?ysclid=ltbo2scwhi94505898>
7. Комаров С. А., Савельев Ю. А., Ишкин П. А. Анализ средств механизации для глубокой обработки почвы. Актуальные проблемы аграрной науки и пути их решения: сборник научных трудов. Кинель, 2016. С. 338-344.
8. Лабух В. М., Шмидов Д. В. Оптимизация геометрических параметров глубокихрыхлителя. Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2016. № 1 (15). С. 58-65.
9. Маслов Г. Г., Шишкин М. А. Совершенствование технологии глубокого рыхления почвы. Известия Велюкопукской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 4. С. 44-48.
10. Машков С. В., Авдеев Д. А. Анализ конструкций рабочих органов для глубокой обработки почвы. Самара АгроВектор. 2021. Т. 1. № 1. С. 40-44.
11. Михайлин А. А., Максимов В. П. Оценка эффективности обработки богарных склоновых земель в южных районах ростовской области инновационным глубокихрыхлителем ГНЧ-0,6М. Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. № 4 (52). С. 123-129.
12. Михайлин А. А. Натурные испытания инновационного глубокихрыхлителя в режиме "обработка склонов". Вестник НГИЭИ. 2021. № 1. С. 5-16.
13. Михальченков А. М., Феськов С. А., Жуков А. Б., Осадчий Р. В. Анализ функциональных особенностей орудий для глубокого рыхления. Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2019. № 1 (18). С. 51-56.
14. Нагайка М. А., Щукин С. Г., Головатюк В. А. Исследование рабочего процесса вибрационного глубокихрыхлителя. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 6 (128). С. 110-115.
15. Посметьев В. И., Малюкова М. А., Никонов В. О. Расчет устойчивости рыхлителя на этапе заглубления с учетом мгновенного центра вращения звеньев его оборудования. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2015. № 1. С. 303-308.
16. Романюк Н. Н., Нукешев С. О., Тойгамбаев С. К., Теловов Н. К. Оригинальный глубокихрыхлитель для улучшения свойств плодородного слоя почвы. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 2. С. 76-78.
17. Тойгамбаев С. К., Омаров Т. С., Абенов А. Т., Теловов Н. К. Назначение и область применения комбинированного орудия-глубокихрыхлителя. Агропродовольственная экономика. 2023. № 4. С. 23-29.
18. Щилов В. Н., Пархоменко Г. Г. Оценка энергетических и агротехнологических показателей глубокихрыхлителя с использованием обобщенного показателя эффективности. Вестник аграрной науки Дона. 2014. № 1 (25). С. 4-10.
19. Щилов В. В., Хижняк В. И., Несмиян А. Ю., Хлыстов Е. И., Бобряшов А. П. Усовершенствование конструкции чизельного плуга. Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 4. С. 7-10.
20. Balabanov V., Lee A., Norov B., Khudaev I., Egorov V. Investigation of various options for processing gray forest soil in a field crop rotation. E3S Web of Conferences. Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering "CONMECHYDRO 2021". 2021. 04025.
21. Blednykh V. V., Svehnikov P. G., Troyanovskaya I. P., Grishin A. N. Working elements with repetitive cutting angles for subsurface ploughs. Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University. 2017. No 2 (93). Pp. 134-140.
22. Cortez L. A., Marques junior J., Peluco R. G., Siqueira D. S., Siansi F. L., Barbosa R. S., Furlani C. E. A., Camargo L. A., Silva L. S., Gomes R. P. Subsoiling of an oxisol at fixed and varying depth in areas under sugarcane. Precision Agriculture. 2020. Vol. 21. No 6. Pp. 1351-1365.
23. Chuyanov D., Shodmonov G., Ergashov G., Choriyeu I. Combination machine for soil preparation and sowing of gourds. E3S Web of Conferences. International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, CONMECHYDRO 2021". 2021.
24. Dzhabborov N. I., Dobrinov A. V., Eviev V. A. Evaluation of the energy parameters and agrotechnical indicators of aggregate for deep subsurface tillage. Journal of Physics: Conference Series. 2019. 012036.
25. Juraev F. U., Artikova M. M., Isayeva L. B., Turaev S. S. Substantiation of technology and equipment for improving the reclamation state of saline soils in irrigated agriculture. The Way of Science. 2019. No 11 (69). Pp. 52-55.
26. Kalinin A. B., Teplinsky I. Z., Ustroeu A. A., Kudryavtsev P. P. Selection and substantiation of cultivator adjustment parameters for differential soil treatment on potato based on the rheology state of soil horizons. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. 012025.
27. Kalinin A. B., Novikov M. A., Ruzhev V. A., Teplinsky I. Z. Improving the efficiency of the soil uncompaction by the cultivator-subsoiler through the use of digital systems for working depth control. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. No 723. 032061.

28. Ovchinnikov A. S., Mezheva A. S., Fomin S. D., Pleskachev Y. N., Borisenko I. B., Vorontsova E. S., Zvolinsky V. P., Tyutyuma N. V., Novikov A. E. Energy and agrotechnical indicators in the testing of machine-tractor units with subsoiler. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. Vol. 12. No 24. Pp. 7150-7160.
29. Starovoytov S. I., Akhalaya B. H., Sidorov S. A., Mironova A. V. The trend of tillage equipment development. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020. Vol. 51. No 3. Pp. 77-81.
30. Telovov N. K. Achieve high crop yields using a combined instrument for deep loosening. *Scientific Discoveries. Proceedings of articles the international scientific conference*. 2016. Pp. 27-30.

References

1. AgroBase. https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_6a214443-02e9-43a8-bb2f-c27ca92cf679?ysclid=ltbj5wamsr87904426.
2. Bartenev I. M. Combined tillage machine for protective afforestation. *Tractors and agricultural machines*. 2018. No 4. Pp. 31-36.
3. Boykov V. M., Startsev S. V., Pavlov A. V., Nesterov E. S., Bashmakov I. A. Development of a soil cultivation scheme with a reasonable arrangement of chisel working bodies. *Agricultural scientific journal*. 2018. No 12. Pp. 56-58.
4. Gapich D. S., Shvabauer Yu. A., Subbotin S. I., Gubaidulin D. S. Reducing the traction resistance of chisel guns. *News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and higher professional education*. 2023. No 4 (72). Pp. 398-409.
5. Karpov S. N., Kozhukhov A. A., Gerasimov E. V., Khaustov P. A. Soil protection technologies: ways of development. *Bulletin of the agrarian and industrial complex of Stavropol region*. 2019. No 1 (33). Pp. 8-13.
6. Classification of chisel plows and subsoiler cultivators for tractors. <https://vseomtz.ru/spravochnik-traktorista/chizelnii-plug?ysclid=ltbo2scwhi94505898>
7. Komarov S. A., Savelyev Yu. A., Ishkin P. A. Analysis of mechanization means for deep tillage. Current problems of agricultural science and ways to solve them. *Collection of scientific papers*. Kinel, 2016. Pp. 338-344.
8. Labukh V. M., Shmidov D. V. Optimization of geometric parameters of the subsoiler. *Design, use and reliability of agricultural machinery*. 2016. No 1 (15). Pp. 58-65.
9. Maslov G. G., Shishkin M. A. Improving the technology of deep soil loosening. *News of Velikoluksk State Agricultural Academy*. 2016. No 4. Pp. 44-48.
10. Mashkov S. V., Avdeev D. A. Analysis of the designs of working bodies for deep tillage. *Samara AgroVector*. 2021. Vol. 1. No 1. Pp. 40-44.
11. Mikhailin A. A., Maksimov V. P. Assessment of the efficiency of processing rainfed slope lands in the southern regions of the Rostov region with the innovative subsoiler GNCh-0.6M. *Bulletin of the Bashkir State Agrarian University*. 2019. No 4 (52). Pp. 123-129.
12. Mikhailin A. A. Full-scale testing of an innovative subsoiler in the "slope treatment" mode. *Bulletin of NGIEI*. 2021. No 1. Pp. 5-16.
13. Mikhalechenkov A. M., Feskov S. A., Zhukov A. B., Osadchiy R. V. Analysis of the functional features of deep loosening tools. *Design, use and reliability of agricultural machinery*. 2019. No 1 (18). Pp. 51-56.
14. Nagaika M. A., Shchukin S. G., Golovatyuk V. A. Study of the working process of a vibratory subsoiler. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2015. No 6 (128). Pp. 110-115.
15. Posmeteyev V. I., Malyukova M. A., Nikonov V. O. Calculation of the stability of the ripper at the deepening stage, taking into account the instantaneous center of rotation of the links of its equipment. *Scientific bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: High technologies. Ecology*. 2015. No 1. Pp. 303-308.
16. Romanyuk N. N., Nukeshev S. O., Toigambaev S. K., Telovov N. K. An original subsoiler for improving the properties of the fertile soil layer. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2014. No 2. Pp. 76-78.
17. Toygambaev S. K., Omarov T. S., Abenov A. T., Telovov N. K. Purpose and scope of application of the combined subsoiler implement. *Agri-food economics*. 2023. No 4. Pp. 23-29.
18. Shchirov V. N., Parkhomenko G. G. Assessment of the energy and agrotechnological indicators of the subsoiler using a generalized efficiency indicator. *Bulletin of agrarian science of the Don*. 2014. No 1 (25). Pp. 4-10.
19. Shchirov V. V., Khizhnyak V. I., Nesmiyan A. Yu., Khlystov E. I., Bobryashov A. P. Improvement of the chisel plow design. *Tractors and agricultural machines*. 2016. No 4. Pp. 7-10.
20. Balabanov V., Lee A., Norov B., Khudayev I., Egorov V. Investigation of various options for processing gray forest soil in a field crop rotation. *E3S Web of Conferences. Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering "CONMECHYDRO 2021"*. 2021. 04025.
21. Blednykh V. V., Svechnikov P. G., Troyanovskaya I. P., Grishin A. N. Working elements with repetitive cutting angles for subsurface ploughs. *Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University*. 2017. No 2 (93). Pp. 134-140.
22. Cortez L. A., Marques Júnior J., Peluco R. G., Siqueira D. S., Siansi F. L., Barbosa R. S., Furlani C. E. A., Camargo L. A., Silva L. S., Gomes R. P. Subsoiling of an oxisol at fixed and varying depth in areas under sugarcane. *Precision Agriculture*. 2020. Vol. 21. No 6. Pp. 1351-1365.
23. Chuyanov D., Shodmonov G., Ergashov G., Choriyeu I. Combination machine for soil preparation and sowing of gourds. *E3S Web of Conferences. International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, CONMECHYDRO 2021"*. 2021.
24. Dzhabborov N. I., Dobrinov A. V., Eviev V. A. Evaluation of the energy parameters and agrotechnical indicators of aggregate for deep subsurface tillage. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. 012036.
25. Juraev F. U., Artikova M. M., Isayeva L. B., Turaev S. S. Substantiation of technology and equipment for improving the reclamation state of saline soils in irrigated agriculture. *The Way of Science*. 2019. No 11 (69). Pp. 52-55.
26. Kalinin A. B., Teplinsky I. Z., Ustroev A. A., Kudryavtsev P. P. Selection and substantiation of cultivator adjustment parameters for differential soil treatment on potato based on the rheology state of soil horizons. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 012025.

27. Kalinin A. B., Novikov M. A., Ruzhev V. A., Teplinsky I. Z. Improving the efficiency of the soil uncompaction by the cultivator-subsoiler through the use of digital systems for working depth control. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. No 723. 032061.

28. Ovchinnikov A. S., Mezheva A. S., Fomin S. D., Pleskachev Y. N., Borisenko I. B., Vorontsova E. S., Zvolinsky V. P., Tyutyuma N. V., Novikov A. E. Energy and agrotechnical indicators in the testing of machine-tractor units with subsoiler. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12. No 24. Pp. 7150-7160.

29. Starovoytov S. I., Akhalaya B. H., Sidorov S. A., Mironova A. V. The trend of tillage equipment development. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 2020. Vol. 51. No 3. Pp. 77-81.

30. Telovov N. K. Achieve high crop yields using a combined instrument for deep loosening. Scientific Discoveries. Proceedings of articles the international scientific conference. 2016. Pp. 27-30.

Информация об авторах

Малюков Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8) ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2098-154X>, e-mail: malyukovsergey@yandex.ru

Шавков Михаил Викторович, кандидат технических наук, руководитель отдела логистики и снабжения ООО «Русгидроком (РГК)» (Российская Федерация, 394040, г. Воронеж, ул. Мазлумова, д. 25), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3700-7508>, e-mail: shavkovmv@mail.ru

Петков Александр Федорович, инженер кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1765-6781>, e-mail: alexanderpetkoff@mail.ru

Черенков Дмитрий Сергеевич, преподаватель СПО, ВГЛУ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8), e-mail: chierienkov1999@mail.ru

Попов Максим Александрович, аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8), e-mail: popovmaxim98@mail.ru

Болгов Андрей Вячеславович, студент группы ТМ2-201-ОБ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8), e-mail: bolgovtacher@gmail.com

Author's Information

Malyukov Sergey Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozova" (Russian Federation, 394087, Voronezh, Timiryazev St., 8), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2098-154X>, e-mail: malyukovsergey@yandex.ru

Shavkov Mikhail Viktorovich, Candidate of Engineering Sciences, Head of the logistics and supply department of Rushydrocom (RGK) LLC (Russian Federation, 394040, Voronezh, Mazlumova St., 25), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3700-7508>, e-mail: shavkovmv@mail.ru

Petkov Aleksander Fedorovich, Engineer of the department of forestry mechanization and machine design of the Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozova" (Russian Federation, 394087, Voronezh, Timiryazev St., 8), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1765-6781>, e-mail: alexanderpetkoff@mail.ru

Cherenkov Dmitriy Sergeevich, VET teacher, Voronezh State Forestry Engineering University named after G. F. Morozova", (Russian Federation, 394087, Voronezh, Timiryazev St., 8) e-mail: chierienkov1999@mail.ru

Popov Maksim Aleksandrovich, Post-graduate student of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozova" (Russian Federation, 394087, Voronezh, Timiryazev St., 8), e-mail: popovmaxim98@mail.ru

Bolgov Andrey Vyacheslavovich, Student, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozova" (Russian Federation, 394087, Voronezh, Timiryazev St., 8), e-mail: bolgovtacher@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-48

THE METHOD OF ARRANGEMENT OF WORKING BODIES BASED ON HYDRODYNAMIC ANALOGY ON THE CULTIVATOR FRAME

¹Parhomenko G. G., ^{1,2}Kambulov S. I., ^{1,3}Belousov S. V.

¹Agrarian Scientific Center "Donskoy" structural subdivision "SKNIIMESH"
Zernograd, Russian Federation

²Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russian Federation

³Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Krasnodar, Russian Federation

Corresponding author E-mail: sergey_belousov_87@mail.ru

Received 11.04.2024

Submitted 30.05.2024

Abstract

Introduction. The paper presents issues related to the justification of the placement of a new working body for surface tillage in the composition of the cultivator and their location on the frame. **Materials and methods.** When cultivating the soil, the relationship of the indicators of the technological process with the parameters and modes