

Технические средства внутрипочвенного рыхления с малым тяговым сопротивлением***В. П. Калиниченко, В. К. Шаршак, Е. П. Ладан, В. В. Илларионов, Е. Д. Генов**

Рассмотрена биогеосистемотехника, выполнена верификация биологической, рекреационной, производственно-экономической содержательности почвенно-мелиоративной агротехники на базе внутрипочвенного роторного фрезерного рыхления. Приведены данные испытаний технического средства внутрипочвенного роторного фрезерного рыхления первого поколения, разработано принципиально новое техническое решение. Выполнен синтез структуры вариантов нового технического средства внутрипочвенного роторного фрезерного рыхления во втором и третьем приближениях. Обеспечена минимизация тягового сопротивления нового технического средства при его функционировании. Выработан критерий оптимизации результатов синтеза технического решения, выполнен параметрический синтез устройства, даны сравнительные энергетические характеристики нового устройства и прототипа. Роторный щелерез-редуктор передаёт без пассивного тягового сопротивления крутящий момент к почвообрабатывающему инструменту, а также к внутрипочвенному, работающему с полным погружением, расположенному горизонтально и перемещаемому поступательно на заданной глубине 20–48 см. Обоснована возможность надёжного функционирования в почве системы взаимосвязей нового технического решения. Приведены показатели назначения и надёжности устройств внутрипочвенного роторного фрезерного рыхления. Рассмотрены физика функционирования и физика отказов, обоснована надёжность нового технического решения. Предложены принципиально новые основы разработки инновационных проектов и реализации планов мелиорации почв России.

Ключевые слова: дисперсная система, биогеосистемотехника, роторное фрезерное внутрипочвенное рыхление, синтез механизма, передача крутящего момента, тяговый и энергетический баланс, надёжность.

Введение. Предложено новое научное направление — биогеосистемотехника [1–3]. Методы биогеосистемотехники обеспечивают параллельное решение двух фундаментальных научных задач. Первая — создание условий рекреационного развития окружающей среды без ограничений обитания. Вторая — синтез стартовых условий долговременной устойчивости сопряжённой рекреационно-содержательной продуктивной производственной системы. В свете современных планов мелиорации почв России необходимо создание технических средств, работающих с полным погружением в слой 20...30–45...60 см, обеспечивающих минимальное тяговое сопротивление при функционировании. Это позволит устранить недостатки ранее выполненных разработок. При этом следует учитывать многолетние фундаментальные научные исследования долгосрочной динамики агроэкосистем, длительного изменения почвы после мелиорации и основывать изыскания на этих данных. В настоящее время разработана и апробирована циклическая природоохранная ресурсосберегающая почвенно-мелиоративная агротехника почв и созданы новые технические средства её реализации [3–7].

Объект исследований. Почвы с природной и антропогенной элювиально-иллювиальной вертикальной дифференциацией профиля, а также технические средства почвенно-мелиоративной обработки, обеспечивающие синтез почвы. В этом случае после рыхления почва получает новую эволюцию и долговременную возможность реализации новых технологических процессов в виде прибавки урожайности секвенции возделываемых на объекте обработки культур.

Предмет исследований. Разработка принципиально нового устройства для роторного рыхления и перемешивания иллювиального и подстилающего слоёв почвы, которое позволяет передавать крутящий момент к внутрипочвенному обрабатывающему инструменту, работающему с горизонтальным перемещением и полным погружением, без пассивного тягового сопротивления.

* Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

Методология синтеза структуры вариантов нового устройства, выработка критерия оптимизации результатов синтеза с целью получения улучшенных энергетических характеристик и обеспечения надёжности новых устройств.

Задачи исследований.

- Создание методологии и синтез структуры нового технического средства, обеспечивающего минимизацию тягового сопротивления при его функционировании.
- Разработка и рассмотрение вариантов нового технического решения.
- Определение критерия оптимизации результатов синтеза технического решения.
- Параметрический синтез устройства, сравнительные энергетические характеристики нового устройства и прототипа.
- Обоснование возможностей надёжного функционирования в почве системы взаимосвязей нового технического решения.
- Выявление количественных показателей назначения устройств.
- Выявление показателей надёжности нового устройства.

Методы исследований. Применено интегрированное проектирование технологических процессов:

- устройства для рыхления почвы;
- самой почвы, которая после рыхления получает новую эволюцию и возможность реализации новых технологических процессов.

Подход обеспечивает создание качественной конкурентоспособной продукции, технологии её применения и результирующей продуктивной устойчивой биологической системы. Поэтому большая часть работы выполнена на базе экспертной системы поддержки принятия проектных решений [8–12]. Использованы эвристические, экспериментальные, формализованные и расчётные методы.

Результаты и обсуждение. Прототип ПМС-70 (первое приближение) был создан на основе роторного рыхления обрабатываемой почвы снизу вверх вертикально расположенными фрезами, установленными на горизонтальном валу. Это обеспечило принципиально новые благоприятные агрофизические и физико-химические условия для дальнейшей реализации целевой эволюции обработанной почвы и её высокой продуктивности [1].

Параметры ПМС-70: глубина обработки — 45 см; диаметр фрезы — 250 мм; частота вращения фрезерователя — 400 мин⁻¹; ширина захвата — 0,65 м.

Технические характеристики роторных фрезерных почвообрабатывающих устройств первого поколения, особенно их высокое тяговое сопротивление (табл. 1) ввиду наличия погружённых внутрь обрабатываемой среды пассивных рыхлителей, не были безупречными.

Таблица 1

Тяговый баланс ПМС-70

Составляющая тягового баланса	%
Сопротивление плужного корпуса	18
Сопротивление фрезерователя	10
Сопротивление опорных и режущих стоек	72
Итого	100

Рабочая гипотеза, обосновывающая необходимость синтеза нового устройства, состоит в следующем. Отсутствие глубоко погружённых в почву пассивных вертикальных режущих элементов, оказывающих высокое тяговое сопротивление при перемещении устройства, требует качественно новых технических решений.

Необходимо обеспечить работоспособность устройства для обработки почвы (в том числе в особо тяжёлых условиях эксплуатации при обработке особо плотного слоя 20...30–45...60 см тяжёлосуглинистой и глинистой почвы), а также его высокую надёжность и наработку до отказа, по крайней мере $T_o \approx 200$ час.

Анализ недостатков прототипа ПМС-70 (первое приближение) с точки зрения физики функционирования и физической природы отказов. Относительно низкая работоспособность фрезерователя первого поколения обусловлена следующими обстоятельствами.

Подшипники вала ПМС-70 проектировались для расчётного случая опоры вала фрезерователя, испытывающего сопротивление вращению фрез от передней части забоя. Однако постоянная времени обратной связи в механической системе «навесная система трактора — ходовая часть трактора — фрезерователь» превышает время динамического нарастания сопротивления вращению фрезерователя в системе «фрезерователь — передняя стенка забоя». Момент инерции массы трактора относительно локальных центров вращения вдоль трассы перемещения агрегата приводит к динамическому изменению продольного усилия в навеске. Усилие от трактора передаётся не только на подшипники его ходовой части, но и на подшипники фрезерователя (в виде кратковременных интенсивных импульсов высокой скважности). Это — обстоятельства дополнительной нагрузки подшипника фрезерователя.

Подшипники качения, на которых выполнены опоры вала, в процессе нагрузки допускают лишь небольшой относительный перекося осей обойм. Жёсткость рамы устройства относительно невелика, что приводит в процессе работы к избыточным перекосям оси вала фрезерователя и, соответственно, к перегрузке подшипников.

Стойки ПМС-70 — это пассивные рыхлители. Обрабатываемый ими грунт из слоя 20–45 см не в полном объёме перемещается вверх. Грунт испытывает вязкопластичную упругую деформацию сжатия в зоне боковой поверхности щелерезов, между боковой поверхностью стойки-редуктора и расположенной рядом с ней фрезой. Давление на уплотнение редуктора приводит к повреждениям. Формируется паразитный момент сопротивления вращению вала фрезерователя, повышается тяговое сопротивление, требуется большая мощность для его привода.

Перегрузка устройства за счёт вибрации обусловлена чередованием фаз статического и динамического трения корпуса стойки о почву в процессе функционирования. Дополнительно неблагоприятно влияет связанный с различием толщины стоек перекося усилия сопротивления от обрабатываемой среды.

Имеет место выход из строя цепных передач.

Наблюдается относительная неоднородность агропочвы по следу прохода фрезы и в промежутке между фрезами [13].

Методология синтеза структуры новых устройств для внутрисочвенной обработки выработана на основании физики функционирования и физической природы отказов прототипа [8–12].

Выработка принципа действия устройства основана на эвристическом поиске технического решения в рамках функционально-физической схемы:

- принцип действия на обрабатываемую почву посредством горизонтального вала с фрезами;
- исключение или минимизация пассивного тягового сопротивления элементов устройства в процессе его функционирования.

Структурный синтез и варианты схемы устройства. Второе приближение. Были приняты целевые ориентиры технического решения во втором приближении:

- повысить конструктивный запас прочности подшипника вала;
- уменьшить тяговое сопротивление устройства, исключив из конструкции стойку-редуктор как пассивный рыхлитель;

- исключить динамическую перегрузку вала фрезерователя со стороны привода;
- исключить деформацию сжатия грунта в зоне пассивных рыхлителей и прилежащих фрез.

Техническое решение предусматривало передачу крутящего момента внутрь почвы цепью открытого редуктора (рис. 1) [13].

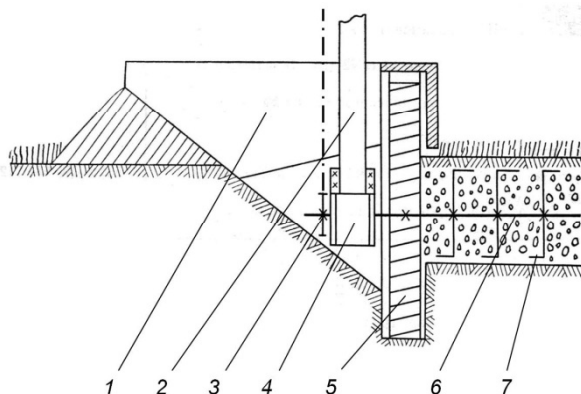


Рис. 1. Устройство для обработки почвы с открытым редуктором: 1 — отвальный элемент; 2 — стойка; 3 — цепная передача; 4 — опора вала; 5 — роторный щелерез; 6 — вал фрезерователя; 7 — фреза

Обеспечен конструктивный запас прочности подшипника вала фрезерователя за счёт дополнительного пространства для его размещения.

Тяговое сопротивление уменьшено, поскольку из конструкции исключена стойка-редуктор как агент тягового сопротивления (она размещена в пространстве борозды).

Тяговое сопротивление и динамическая перегрузка стоек исключены применением роторного щелереза.

Устранена деформация сжатия грунта в зоне боковой стенки стойки редуктора.

Выводы по структурному синтезу во втором приближении:

- относительно высокое тяговое сопротивление ввиду необходимости применения отвального бороздочистителя;
- вероятна ненадёжность привода фрезерователя цепью (если не принять меры по ограничению поступления в передачу грунта из борозды и роторного щелереза).

Третье приближение. Принципиально новое устройство в третьем приближении структурного синтеза представлено на рис. 2 [14]. В устройстве сохранено прежнее техническое решение — роторный принцип рыхления снизу вверх и перемешивание иллювиального и подстилающего горизонтов почвы. Дополнительно решена задача теоретической механики: крутящий момент передаётся к инструменту, находящемуся внутри поступательно обрабатываемой им твёрдой среды, без статического сопротивления механическому приводу инструмента.

Устройство для ротационного внутрипочвенного рыхления выполнено симметрично по направлению движения устройства. Вал фрезерователя выполнен с консолями. Устройство имеет вал привода 1 (см. рис. 2). С левой и с правой стороны рамы устройства на кронштейне 2 посредством элементов крепления 3 установлен ротационный щелерез 4, который содержит диск щелереза 5 с гнездами опор подшипников 6. Узел ротационного щелереза 4 соединён валом привода с шестернями привода: ведущей 7, ведомой 8, опорной 9, центрирующей 10. Ведомая, опорная, центрирующая шестерни снабжены крышками 11. Шестерни привода выполнены с комплементарными зубьями. Опоры подшипников ведущей и ведомой шестерён установлены в диске щелереза в гибких элементах 12 [15]. Ротационный щелерез содержит кольцевой щелерез 13 с зубьями зацепления, режущими органами 14, ёмкостями для приёма грунта 15. Внутрипочвенный фрезерователь 16 содержит вал фрезерователя 17 и почвенные фрезы 18. Вал фрезерователя 17 выполнен с консолями 19 и установлен в ведомых шестернях 8 ротационных щелерезов 4.

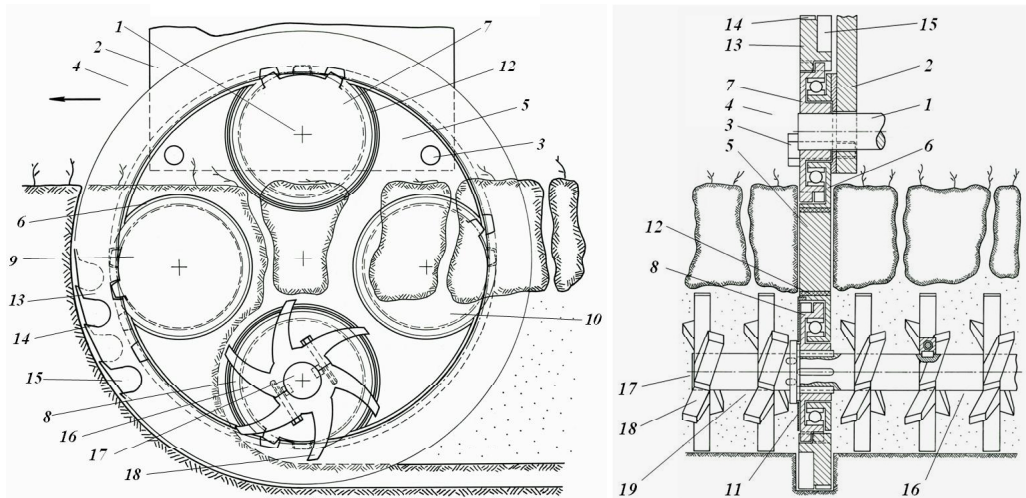


Рис. 2. Почвенно-мелиоративное роторное фрезерное устройство с активной редукторной стойкой привода

При функционировании устройства крутящий момент через вал привода 1 последовательно передаётся на ведущую шестерню привода 7, на внутреннюю цилиндрическую поверхность кольцевого щелереза 13, затем через ведомую шестерню привода 8 к валу 17 фрезерователя 16 и почвенным фрезам 18. Режущими органами 15 кольцевого щелереза 13 выполняются водопоглощающие щели, фрезерователем 16 производится внутрипочвенное ротационное рыхление.

Выводы по структурному синтезу в третьем приближении. Целевые ориентиры синтеза структуры нового устройства выполнены.

- Тяговое сопротивление устройства уменьшено, вследствие исключения из конструкции стойки-редуктора и бороздователя [14].
- Исключена динамическая перегрузка вала фрезерователя [14, 15].
- Исключена цепная передача.
- Повышен конструктивный запас прочности подшипников вала фрезерователя.
- Исключено повышенное тяговое сопротивление устройства, обусловленное позиционированием фрез на валу посредством пассивных дистанционных втулок, устанавливаемых на вал коаксиально снаружи [16].
- Улучшено перемешивание почвы вдоль направления вала фрезерователя [16].
- За счёт применения механотронной принудительной системы управления глубиной обработки укорочена база устройства с целью уменьшения динамических нагрузок на его кинематические элементы [17].
- Увеличена ширина захвата устройства.

Критерий оптимизации результатов синтеза технического решения. Векторный критерий оптимизации результатов синтеза целевой функции системы выбран с учётом триады качества результата согласно теории управления проектированием «возможности устройства — время создания — затраты» [18]:

- то же, что у прототипа, качество обработки почвы (некоторое улучшение перемешивания почвы в направлении, перпендикулярном оси вала фрезерователя);
- меньшие удельные энергетические затраты на проведение обработки почвы;
- повышенная надёжность;
- стоимость не больше 150 % прототипа.

Параметрический синтез. Новое устройство спроектировано согласно описанным выше принципам синтеза структуры нового устройства.

Параметры конструкции: глубина обработки — 48 см; диаметр фрезы — 280 мм; частота вращения фрезерователя — 600 мин^{-1} ; ширина захвата согласно расчётной схеме — две симметричные секции, в каждой фрезерователь с опорой на два кольцевых щелереза; общая ширина захвата — 2,8 м. Привод обоих фрезерователей нового устройства выполняют от вала отбора мощности через редуктор перемены направления вращения на 90° и промежуточные передачи кольцевых щелерезов.

Сравнительные энергетические характеристики прототипа (результаты модельных и натурных испытаний) и нового устройства (расчёт) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Баланс мощности орудия для роторной обработки почвы

Показатель	ПМС-70, 1972 г. (эксперимент)		Новое техническое решение, 2012 г. (расчёт)	
	кВт	%	кВт	%
Мощность				
Общая	96	100	260,2	100
Тяговая	46	47,9	31,4	12,1
Фрезерователя	38	39,6	210,8	81,0
Передвижение	6	6,3	2,0	0,8
Трансмиссия	6	6,3	10,0	3,8
Манипулирование навесной системой	0	0,0	6,0	2,3
Удельные энергетические затраты на проведение обработки почвы, кВт/м	147,7		92,9	
В том числе полезная мощность на фрезерование щели в составе тяговой мощности			11,4	4,4
Баланс мощности на фрезерование по сравнению с прототипом		1,0		2,0
Баланс мощности на фрезерование по сравнению с прототипом (с учётом рыхления щели)		1,0		2,2

Применение механотронной системы управления глубиной обработки [17] определяет мощность, необходимую для передвижения и манипулирования навесной системой трактора. В первом случае (для передвижения) требуется существенно меньшая мощность.

Мощность резания на кольцевом щелерезе нового устройства — составляющая тяговой мощности, но она является также и самостоятельной величиной. С одной стороны, она — составляющая паразитного сопротивления, но, с другой стороны, в процессе резания щели рыхлится грунт в щели, что соответствует цели синтеза устройства.

В расчёт введены коэффициенты, которые учитывают:

- различие ширины захвата прототипа и нового устройства;
- взаимосвязь диаметра роторов и фрез и оказываемого им сопротивления обрабатываемой средой;
- повышение степени перемешивания грунта в забое;
- уменьшение сопротивления фрезерованию за счёт отказа от промежуточных втулок на валу фрезерователя и позиционирования фрез непосредственно на валу [16] (система детально будет рассмотрена в следующих сообщениях).

Новое устройство обеспечивает значительно лучшие тяговые и энергетические показатели по сравнению с прототипом.

Функционирование в почве открытой системы взаимосвязей щелереза и привода фрез с точки зрения вероятности забивания кинематических элементов грунтом. В новом техническом решении система механических взаимосвязей щелереза и привода фрез в процессе функционирования устройства защищена то паразитного забивания обрабатываемым грунтом.

Режущие рабочие органы кольцевого щелереза в процессе работы зачищают стенки щели от осыпания. Крупные агрегаты грунта извлекаются в процессе обработки щели.

Кольцевой щелерез перемещается в щели с окружной скоростью 6–8 м/сек, а зона гравитационного разгона частиц почвы, остающихся в щели, в направлении плоскости кольцевого щелереза составляет всего несколько миллиметров. Поэтому попадание рассматриваемых частиц почвы (грунта) под действием гравитации в элементы зацепления открытого привода устройства менее вероятно, чем перемещение этих частиц рабочими органами щелереза (а также наружными частями элементов привода ведомой шестерни фрезерователя, расположенными на его внутренней цилиндрической поверхности) из щели вверх к дневной поверхности.

Небольшое количество пыли, поступающей в открытые элементы зацепления устройства, благотворно влияет на его работу. Лёссовидные тяжёлые суглинки и глины голоцена и плейстоцена, которые представлены в регионе исследований как почвообразующие породы и входят в состав почв, имеют достаточно большое количество органического вещества и биокосных веществ. Структурные элементы этого вещества имеют округлую форму, создают прослойку в зацеплении.

Надёжность. «Надёжность есть результат хорошего инженерного решения и хорошего менеджмента, и никогда не результат хорошей статистики» [19].

Проектирование роторного внутрипочвенного рыхлителя ПМС-70 было выполнено впервые в мире. ПМС-70 оказался работоспособным устройством уже в первом образце. Получены самые важные с точки зрения теории надёжности уникальные натурные экспериментальные данные о ресурсе устройства и его узлов. Учтён обширный научный мировой опыт системного мышления и анализа, теории надёжности, исследования операций, стандарты [10, 11, 18–23].

Для обоснования институционального характера нового технического решения применены стандартные показатели надёжности. При расчёте ожидаемой интенсивности отказов нового технического решения исходили из реальных параметров прототипа, параметров новых элементов конструкции и экспертных оценок функционирования (табл. 3).

Наработка на отказ отдельных узлов и деталей машины ПМС-70 в процессе натурных испытаний оценивается временем T_i (час).

Интенсивность отказов рассчитана по соотношению $i_n = 1/T_i$.

Интенсивность отказов машины — сумма интенсивностей отказов отдельных узлов и деталей

$$I = \sum_{n=1}^n i_n.$$

Вероятность безотказной работы машины $P(t) = \exp(-I)$.

Средняя наработка машины до отказа $T_0 = 10 \cdot 1/I$.

Расчётный поток отказов при использовании нового технического решения уменьшается, возрастает средняя наработка до отказа.

Патент РФ на новое устройство [14] прошёл апробацию на отечественном уровне (Северо-Кавказская машинно-испытательная станция — СевКавМИС [24]) и на международном (по процедуре Patent Cooperation Treaty, PCT [25]). Устройство (рис. 3) признано отвечающим критериям новизны, изобретательского уровня и индустриальной применимости. Его использование позволит преодолеть проблемы низкого биосферного качества современной мелиорации [26] и получить высокие экономические результаты [27].

Таблица 3

Надёжность прототипа и нового устройства

Элемент конструкции (узел, деталь)	Наработка на отказ, ч	Интенсивность отказов за 10 ч работы, $\times 10^{-1}$, 1/ч		Продолжительность восстановления, ч	Обоснование ожидаемой надёжности элемента
		ПМС-70	Новое техническое решение (ожидаемая)		
Привод от вала отбора мощности	Без отказа	0,000	0,000	—	Без изменений
Промежуточная открытая цепная передача 1	75	0,133	0,000	0,5	Отказ от применения
Промежуточная открытая цепная передача 2	90	0,111	0,000	0,5	Отказ от применения
Редуктор перемены направления крутящего момента на 90°	700	0,014	0,007	—	Без изменений, усилен
Стойка-редуктор (закрытый, передача цепью)	80	0,125	0,012	2,5	Принципиальное изменение привода
Подшипник вала фрезерователя	100	0,100	0,010	2,0	Изменение способа установки, увеличение типоразмера и несущей способности
Уплотнение вала фрезерователя в редукторе (набивка из войлока)	60	0,167	0,020	1,5	Исключение сжатия грунта, комбинированное уплотнение
Вал фрезерователя	Без отказа	0,000	0,000	—	Без изменений
Фреза	500	0,020	0,005	1,0	Увеличение срока службы за счёт применения современных материалов
Интенсивность отказов	I	0,670	0,054	—	—
Вероятность безотказной работы	$P(10 \text{ час})$	0,51	0,95	—	—
Вероятность безотказной работы	$P(50 \text{ час})$	0,04	0,76	—	—
Средняя наработка до отказа, ч	T_o	14,9	185,2	—	—



Рис. 3. Роторно-фрезерный почвенно-мелиоративный плуг с активной редукторной стойкой привода, 2008 г.

Заключение. Рассмотрена задача обработки почвы как объекта оптимизации природы, эволюции и достижения целевой функции повышения продуктивности. В этой связи решена задача механики обработки сплошных сред. Она заключается в передаче крутящего момента к инструменту, находящемуся внутри поступательно обрабатываемой им твёрдой среды, без тягового сопротивления обрабатываемого слоя продольному перемещению механического привода инструмента. Предложены технические решения рыхления почвы снизу вверх. При максимальной турбации между собой внутренних иллювиального и подстилающего горизонтов (20...30–45...60 см) верхний горизонт (0–20...30 см) сохраняется в исходной позиции. Выполнен синтез структуры нового устройства, выработан критерий оптимизации результатов синтеза, приведены параметры устройств, даны их сравнительные энергетические характеристики.

Применение нового технического решения позволяет достичь длительного эффекта (почвенного, ландшафтного, рекреационного). Можно рассчитывать также на определённый экономический и социальный эффект. Кроме того, выполняется антропоцентрический императив управления плодородием почв России в свете новых планов мелиорации.

Библиографический список

1. Изменение почв солонцового комплекса за 30-летний период после отвальной, трёхъярусной и нового приёма роторно-фрезерной обработки / В. П. Калиниченко [и др.] // Почвоведение. — 2011. — № 8. — С. 1010–1022.
2. The dynamics of solonchic soils associations properties after 30 years of reclamation. Effect of soil phosphogypsum reclamation on the lead and cadmium forms in chernozem / V. P. Kalinitchenko [et al.] // Eurosoil 2012 : proc. of the 4th Internat. Congress 2–6 July 2012. — Bari, 2012. — P. 2623.
3. Soil ecosystem management in birdlime utilization / V. P. Kalinitchenko [et al.] // Европейский исследователь. — 2012. — Т. 25, № 7. — С. 1042–1049.
4. Минкин, М. Б. Подпокровно-фрезерная мелиоративная обработка солонцовых почв / М. Б. Минкин, Е. П. Ладан, Т. Н. Бондаренко // Междунар. с.-х. журн. — 1978. — № 5. — С. 92–93.
5. Шаршак, В. К. Оценка машин и орудий для основной обработки солонцовых почв / В. К. Шаршак // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 1987. — № 3. — С. 17–19.
6. Протокол ведомственных испытаний фрезы солонцовой ФС-1,3 / Министерство сельского хозяйства РСФСР, Всесоюзный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, Донской зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Донской сельскохозяйственный институт. — Зерноград, 1977. — 14 с.
7. Акт № 24-39В...42В-89 (9069110...9069114) государственных сравнительных испытаний солонцовых орудий ПЯС-1,4; ПЯС-4-35; МСП-2; ПС-3-40 / Государственный агропромышленный комитет СССР, Северо-Кавказская государственная машиноиспытательная станция. — Зерноград, 1989. — 21 с.

8. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. — Москва : Наука, 1988. — 640 с.
9. Латыпов, Н. Н. Инженерная эвристика / Н. Н. Латыпов, С. В. Ёлкин, Д. А. Гаврилов ; под. ред. А. А. Вассермана. — Москва : Астрель, 2012. — 320 с.
10. Checkland, P. Systems Thinking, Systems Practice / P. Checkland. — Chichester : J. Wiley, 1999. — 330 p.
11. Taha, H. A. Operations Research: An Introduction / Hamdy A. Taha. — 9th edition. — Arkansas : Prentice Hall, 2011. — 832 p.
12. Rausand, M. System reliability theory: models, statistical methods and applications / M. Rausand, A. Hoyland. — New York : John Wiley & Sons, 2004. — 636 p.
13. Рабочий орган для обработки почв, подверженных водной эрозии : патент RU 442759 : МПК A01B49/02 / В. К. Шаршак [и др.]. — № 1855059/30-15 ; опубл. 21.05.74, Бюл. № 34. — 2 с.
14. Устройство для ротационного внутрипочвенного рыхления : патент RU 2376737 C1 : МПК A01B 33/02 (2006.01) A01B 33/02 (2006.01) / В. П. Калиниченко. — № 2008118583/12(021536) ; заявл. 08.05.08 ; опубл. 27.12.09, Бюл. № 36. — 7 с.
15. Полимер-Тех [Электронный ресурс] / Полимер-Тех. — Режим доступа: <http://www.polimer-tech.ru/history.html> (дата обращения: 26.03.2013).
16. Устройство для ротационного внутрипочвенного рыхления : патент RU 2407255 C1 : МПК Кл. A01B 13/16 (2006.01) / В. П. Калиниченко. — № 2009127403/21(038119) ; заявл. 16.07.09 ; опубл. 27.12.10, Бюл. № 36. — 8 с.
17. Устройство для дифференцированного управления глубиной обработки почвы при фронтальном ротационном внутрипочвенном рыхлении в агрегате с трактором с шаговым электрическим управлением гидравлическим распределителем навесной системы : патент RU 2407256 C1 : МПК Кл. A01B 13/16 (2006.01) / В. П. Калиниченко. — № 2009127405/21(038121) ; заявл. 20.07.09 ; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 36. — 10 с.
18. Kousholt, B. Project Management. Theory and practice. — Copenhagen : Nyt Teknisk Forlag, 2007. — P. 59.
19. Barnard, R.-W.-A. What is wrong with Reliability Engineering? / R.-W.-A. Barnard ; Lambda Consulting. — Pretoria : INCOSE, 2008. — 9 p.
20. ГОСТ Р 53480-2009. Надёжность в технике. Термины и определения / Федер. агентство по техн. регулированию и метрологии. — Москва : Стандартинформ, 2010. — 33 с.
21. Леликов, О. П. Основы расчёта и проектирования деталей и узлов машин / О. П. Леликов. — Москва : Машиностроение, 2002. — 440 с.
22. DEF STAN 00-40 Reliability and Maintainability (UK standards) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://segoldmine.ppi-int.com/content/standard-def-stan-00-40-reliability-and-maintainability-rm> (дата обращения: 12.04.2013).
23. Laplante, P. Requirements Engineering for Software and Systems / P. Laplante. — 2nd ed. — Boca Raton : CRC Press, 2010. — 302 p.
24. Акт проверки соответствия механического привода рабочего органа ротационного рыхлителя подгумусового слоя почвы патенту на изобретение 2273120 от 10 апреля 2006 года / ФГУ Северо-Кавказская машинно-испытательная станция. — 2006. — 1 с.
25. Rotating cultivator for under-humus soil layer. Patent Switzerland cooperation treaty WO 2005/099427 A1 : Classification of subject matter : A01B 13/08, 13/16, 49/02. International application : PCT RU/2005/000195 / Institut Plodorodiya Pochv Uga Rossii (IPPYUR) ; The international Bureau of WIPO. — Priority date: 16.04.2004 RU. — 29 p.
26. Судницын, И. И. Может ли «улучшение» почв привести к их «ухудшению»? / И. И. Судницын // Почвоведение. — 2008. — № 9. — С. 1132–1133.

27. Эколого-экономическая эффективность инновационной технологии обработки почв / В. Е. Зинченко [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Общие науки. — 2010. — № 4. — С. 93–99.

Материал поступил в редакцию 20.06.2012.

References

1. Kalinichenko, V. P., et al. *Izmeneniye pochv solontsovogo kompleksa za 30-letniy period posle otvalnoy, trekhyarusnoy i novogo priyema rotorno-frezernoy obrabotki.* [Solonetzic complex soils modification for 30-year period after moldboard, three-level, and a new practice rototilling.] *Pochvovedeniye*, 2011, no. 8, pp. 1010–1022 (in Russian).
2. Kalinichenko, V. P., et al. The dynamics of solonetzic soils associations properties after 30 years of reclamation. Effect of soil phosphogypsum reclamation on the lead and cadmium forms in chemozem. *Eurosoil 2012 : Proc. of the 4th Internat. Congress 2–6 July 2012. Bari, 2012*, 2623 p.
3. Kalinichenko, V. P., et al. Soil ecosystem management in birdlime utilization. *Yevropeyskiy issledovatel*, 2012, vol. 25, no. 7, pp. 1042–1049.
4. Minkin, M. B., Ladan, E. P., Bondarenko, T. N. *Podpokrovno-frezernaya meliorativnaya obrabotka solontsovykh pochv.* [Undercover reclamation rototilling of solonetzic soils.] *Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal*, 1978, no. 5, pp. 92–93 (in Russian).
5. Sharshak, V. K. *Otsenka mashin i orudiy dlya osnovnoy obrabotki solontsovykh pochv.* [Evaluation of machines and tools for primary processing of solonetzic soils.] *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva*, 1987, no. 3, pp. 17–19 (in Russian).
6. *Protokol vedomstvennykh ispytaniy frezy solontsovoy FS-1,3.* Ministerstvo selskogo khozyaystva RSFSR, Vsesoyuznyy nauchno-issledovatel'skiy institut mekhanizatsii i elektrifikatsii selskogo khozyaystva, Donskoy zonalnyy nauchno-issledovatel'skiy institut selskogo khozyaystva, Donskoy selskokhozyaystvennyy institut. [Protocol of departmental testing of solonetz tiller FS-1,3. Ministry of Agriculture of RSFSR, All-Union scientific-research institute for farm mechanization and electrification, Don zonal agricultural research institute, Don agricultural institute.] *Zernograd*, 1977, 14 p. (in Russian).
7. *Akt № 24-39V...42V-89 (9069110...9069114) gosudarstvennykh sravnitelnykh ispytaniy solontsovykh orudiy PYaS-1,4; PYaS-4-35; MSP-2; PS-3-40* / Gosudarstvennyy agropromyshlennyy komitet SSSR, Severo-Kavkazskaya gosudarstvennaya mashinoispytatelnaya stantsiya. [Governmental comparative test certificate no. 24-39B...42B-89 (9069110...9069114) on solonetz tools PYaS-1,4; PYaS-4-35; MSP-2; PS-3-40. State Agriculture Committee of the USSR, North Caucasian state machine-test station.] *Zernograd*, 1989, 21 p. (in Russian).
8. Artobolevskiy, I. I. *Teoriya mekhanizmov i mashin.* [Theory of machines and mechanisms.] Moscow : Nauka, 1988. — 640 p. (in Russian).
9. Latypov, N. N., Yelkin, S. V., Gavrilov, D. A.; Wassermann, A. A., ed. *Inzhenernaya evristika.* [Engineering heuristics.] Moscow: Astrel, 2012, 320 p. (in Russian).
10. Checkland, P. *Systems Thinking, Systems Practice.* Chichester: J. Wiley, 1999, 330 p.
11. Hamdy A. Taha. *Operations Research: An Introduction.* 9th edition. Arkansas: Prentice Hall, 2011, 832 p.
12. Rausand, M., Hoyland, A. *System reliability theory: models, statistical methods and applications.* New York: John Wiley & Sons, 2004, 636 p.
13. Sharshak, V. K., et al. *Rabochiy organ dlya obrabotki pochv, podverzhennykh vodnoy erozii :* patent RU 442759 : MPK A01B49/02. [Tilling tool for water erosion-prone lands: RU 442759: MPK A01B49/02.] Russian patent no. 1855059/30-15, 1974, 2 p. (in Russian).

14. Kalinichenko, V. P. Ustroystvo dlya rotatsionnogo vnutripochvennogo rykhleniya : patent RU 2376737 S1 : MPK A01V 33/02 (2006.01) A01V 33/02 (2006.01). [Internal soil rototiller: RU patent 2376737 C1: MPK A01V 33/02 (2006.01) A01V 33/02 (2006.01).] Patent RF no. 2008118583/12(021536), 2009, 7 p. (in Russian).

15. Polimer-Tekh. Available at: <http://www.polimer-tech.ru/history.html> (accessed: 26.03.2013) (in Russian).

16. Kalinichenko, V. P. Ustroystvo dlya rotatsionnogo vnutripochvennogo rykhleniya : patent RU 2407255 S1 : MPK Kl. A01V 13/16 (2006.01). [Internal soil rototiller: RU patent 2407255 C1: MPK Kl. A01V 13/16 (2006.01).] Patent RF no. 2009127403/21(038119), 2010, 8 p. (in Russian).

17. Kalinichenko, V. P. Ustroystvo dlya differentsirovannogo upravleniya glubinoy obrabotki pochvy pri frontalnom rotatsionnom vnutripochvennom rykhlenii v agregate s traktorom s shagovym elektricheskim upravleniyem gidravlicheskim raspredelitelem navesnoy sistemy : patent RU 2407256 S1 : MPK Kl. A01V 13/16 (2006.01). [Tool for variable management of soil treatment depth under front rotary internal soil loosening in the unit with tractor with step electric control of hydraulic system-mounted dispenser: RU patent 2407256 C1: MPK Kl. A01V 13/16 (2006.01)] Patent RF no. 2009127405/21(038121), 2010, 10 p. (in Russian).

18. Kousholt, B. Project Management. Theory and practice. Copenhagen: Nyt Teknisk Forlag, 2007, p. 59.

19. Barnard, R.-W.-A. What is wrong with Reliability Engineering? Lambda Consulting. Pretoria: INCOSE, 2008, 9 p.

20. GOST R 53480-2009. Nadezhnost v tekhnike. Terminy i opredeleniya. [GOST R 53480-2009. Dependability in technics. Terms and definitions.] Federalnoye agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii. [Federal Agency for Technical Regulation and Metrology.] Moscow: Standartinform, 2010, 33 p. (in Russian).

21. Lelikov, O. P. Osnovy rascheta i proyektirovaniya detaley i uzlov mashin. [Basis of calculation and design of machine parts and units.] Moscow: Mashinostroyeniye, 2002, 440 p. (in Russian).

22. DEF STAN 00-40 Reliability and Maintainability (UK standards). Available at: <http://segoldmine.ppi-int.com/content/standard-def-stan-00-40-reliability-and-maintainability-rm> (accessed: 12.04.2013).

23. Laplante, P. Requirements Engineering for Software and Systems. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2010, 302 p.

24. Akt proverki sootvetstviya mekhanicheskogo privoda rabocheho organa rotatsionnogo rykhleniya podgumusovogo sloya pochvy patentu na izobreteniy 2273120 ot 10 aprelya 2006 goda. [Certificate of inspection to verify that the rototiller mechanical drive tool for underhumus soil layer conforms to the invention patent 2273120 of 10 April 2006.] FGU Severo-Kavkazskaya mashinno-ispytatelnaya stantsiya, 2006, 1 p. (in Russian).

25. Rotating cultivator for under-humus soil layer. Patent Switzerland cooperation treaty WO 2005/099427 A1: Classification of subject matter: A01B 13/08, 13/16, 49/02. International application: PCT RU/2005/000195. Institut Plodородiya Pochv Uga Rossii (IPPYUR); the international Bureau of WIPO. Priority date: 16.04.2004 RU, 29 p.

26. Sudnitsyn, I. I. Mozhet li «uluchsheniye» pochv privesti k ikh «ukhudsheniyu»? [Can soil "amelioration" lead to its "degradation"?] Pochvovedeniye, 2008, no. 9, pp. 1132–1133 (in Russian).

27. Zinchenko, V. E., et al. Ekologo-ekonomicheskaya effektivnost innovatsionnoy tekhnologii obrabotki pochv. [Eco-economic efficiency of innovative technologies of soil processing.] Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Obshchestvennyye nauki. 2010, no. 4, pp. 93–99 (in Russian).

LOW DRAUGHT SUBSOIL TILLAGE FACILITIES*

V. P. Kalinichenko, V. K. Sharshak, E. P. Ladan, V. V. Illarionov, E. D. Genev

The biogeosystem engineering is considered, and the verification of the biological, recreational, productive-economic resources of the soil-reclamation agrotechnics based on the rotary milling subsoiling is performed. The test data of the first-generation rotary milling subsoiling facility is provided. A fundamentally new engineering solution is developed. The structural synthesis of the new rotary milling subsoiling facility options in the second- and third-order approximations is performed. The draught minimization of the new facility under its operation is provided. The optimization criterion for the engineering solution synthesis results is developed; the facility parametric synthesis is performed; comparative energy characteristics of the new facility and prototype are given. The rotary milling chisel plough—gearbox transmits torque without passive draught to the tillage tool, and to the subsoiling one that operates full dip being horizontally located and moving progressively at the given depth of 20–48 cm. The possibility of the reliable operation in the soil of the new engineering solution interconnect system is proved. The assignment and reliability indices of the subsoiling rotary milling facilities are given. Performance physics and physics of failures are considered; the new engineering solution reliability is proved. The fundamentally new principles of the innovation project development and the implementation of the land development plans in Russia are proposed.

Keywords: dispersion system, biogeosystem engineering, rotary milling subsoiling, mechanism synthesis, torque transfer, traction and power balance, reliability.

* The research is done within the frame of the independent R&D.