

ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ ЮГА РОССИИ

PRINCIPLES OF DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF TILLAGE IN ARID CONDITIONS OF THE SOUTH OF RUSSIA

Г.Г. ПАРХОМЕНКО, к.т.н.

Северо-Кавказский научно-исследовательский институт
механизации и электрификации сельского хозяйства
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
г. Зерноград, Россия, parkhomenko.galya@yandex.ru

G.G. PARHOMENKO, PhD in Engineering

State Scientific Establishment «Agricultural research center
«Donskoy», Zernograd, Russia, parkhomenko.galya@yandex.ru

В засушливых условиях южных регионов России возделываемые сельскохозяйственные культуры испытывают недостаток влаги. Важное значение при этом приобретает агротехнически целесообразная обработка почвы. В трещиноватом пористом массиве обработанной почвы наблюдается потеря влаги из глубины пласта при физическом испарении. Физическое испарение влаги в засушливых условиях приводит к иссушительной деградации почвы. При рыхлении только поверхностных слоев может возникнуть псевдослитизация нижней части обрабатываемого слоя, приводящая к гидролизной деградации черноземной почвы. Цель исследования: определить основные требования к агротехнически целесообразному технологическому процессу обработки почвы в засушливых условиях и к рабочим органам для его осуществления. Разработка технологического процесса обработки почвы в засушливых условиях юга России должна основываться на принципах накопления влаги внутри пласта за счет использования термодиффузионных процессов. При разнице температуры слоев почвы внутри пласта перемещается поток тепла, способствующий возникновению процесса термодиффузии влаги. Для этого обработку почвы необходимо производить дифференцированно с различной степенью уплотнения по слоям. При послойной обработке почвы внутри пласта формируется влагонакопительный слой за счет комбинации обоих типов теплообмена: инсоляции и излучения. На глубине 10–15 см пересекаются потоки влаги, доступной для корневой системы сельскохозяйственных культур. Данный процесс осуществляется унифицированной конструкцией, разработанной по методу базового агрегата с общей и сменными частями (подсистемами). Комбинация подсистем реализуется конструктивно на единой несущей системе по определенному принципу размещения с учетом длительности релаксации внутренних напряжений пласта, которая составляет 0,09–0,11 с для черноземной почвы в засушливых условиях. Расстояние в продольном направлении между блоками подсистем должно составлять не менее 0,2 м. При этом конструкции рабочих органов разрабатываются на основе взаимосвязи параметров и режимов работы с физико-механическими свойствами почвы.

Ключевые слова: почва, рабочий орган, послойная обработка, термодиффузия влаги, стойка типа paraplow.

In the arid conditions of the southern regions of Russia the cultivated crops experience a lack of moisture. At the same time, the agrotechnical cultivation of the soil becomes important. In a fractured porous massif of the treated soil, there is a loss of moisture from the depth of the reservoir during physical evaporation. Physical evaporation of moisture in dry conditions leads to a drying soil degradation. When loosening only the surface layers, pseudo-scaling of the lower part of the treated layer may occur, leading to hydrolysis degradation of the chernozem soil. Objective: to determine the basic requirements for agrotechnically appropriate technological process of tillage in dry conditions and working bodies for its implementation. The development of the technological process of tillage in dry conditions of the south of Russia should be based on the principles of moisture accumulation inside the reservoir due to the use of thermal diffusion processes. The temperature difference between the layers of the soil inside the reservoir moves the heat flow, contributing to the emergence of the process of thermal diffusion of moisture. To do this, tillage must be done differentially with varying degrees of compaction in layers. During the layer-by-layer processing of the soil inside the reservoir, a moisture accumulating layer is formed due to the combination of both types of heat exchange: insolation and radiation. At a depth of 10–15 cm the flow of moisture available to the root system of crops intersect. This process is carried out by a unified design, developed by the method of the basic unit with common and replaceable parts (subsystems). The combination of subsystems is implemented constructively on a single carrier system according to a certain allocation principle, taking into account the duration of relaxation of the internal stresses of the reservoir, which is 0,09–0,11 s for the black-earth soil in arid conditions. The distance in the longitudinal direction between the subsystem blocks should be at least 0,2 m. In this case, the structures of the working bodies are developed on the basis of the interrelation of the parameters and modes of operation with the physical and mechanical properties of the soil.

Keywords: soil, working body, layer-by-layer processing, thermal diffusion of moisture, paraplow type stand.

Введение

В.В. Докучаев, П.А. Костычев, А.А. Измайловский, Н.М. Тулайков в своих работах отмечали, что в засушливых условиях южных регионов страны, где возделываемые сельскохозяйственные культуры испытывают недостаток влаги, а грунтовые воды залегают глубоко, важное значение приобретает обработка почвы. Механической обработкой образуется трещиноватый пористый массив почвы, внутри которого формируются преференциальные потоки влаги, направленные как вглубь пласта (при выпадении атмосферных осадков), так и к поверхности поля, приводящие к ее потере при физическом испарении. Для предотвращения физического испарения влаги из пахотного слоя, которое приводит к иссушительной деградации почвы при смыкании с атмосферной засухой, рекомендуют реже проводить глубокое рыхление и вовсе заменить его поверхностными обработками. Однако при постоянных поверхностных обработках без глубокого рыхления пласта может возникнуть так называемая (по классификации кафедры «Геохимия ландшафтов и география почв» МГУ им. М.В. Ломоносова [1]) псевдослитизация нижней части пахотного слоя, приводящая, вследствие его дегумификации, к гидролизной деградации почвы, особенно черноземной.

Цель исследования

Определить основные требования к агротехнически целесообразному технологическому процессу обработки почвы в засушливых условиях и к рабочим органам для его осуществления.

Методы исследования

В засушливых условиях возделывания сельскохозяйственных культур особое внимание следует уделять процессу термодиффузии влаги внутри пласта почвы, в основе которого заложен метод «воздушной ирригации», открытый агрономом И.Е. Овсинским еще в 19 веке. Метод основан на использовании процесса рособразования, который можно применять для накопления влаги при дифференцированной обработке слоев почвы. За счет разницы температур между горячим воздухом над почвой и прохладным внутри пласта происходит процесс рособразования. Ночью более теплый и влажный воздух из почвы конденсируется в виде влаги на поверхности. Объем такого само-

увлажнения соизмерим с требуемым для роста и развития сельскохозяйственных культур.

При разнице температур возникает термоградиент внутри пласта $\nabla t^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{C}/\text{см}$)

$$\nabla t^{\circ}\text{C} = \frac{t_{n+1}^{\circ}\text{C} - t_n^{\circ}\text{C}}{z_{n+1} - z_n}, \quad (1)$$

где $t_{n+1}^{\circ}\text{C}$, $t_n^{\circ}\text{C}$ – температура каждого слоя почвы, $^{\circ}\text{C}$; z_{n+1} , z_n – глубина расположения слоя, см.

При этом перемещается поток тепла, способствующий возникновению процесса термодиффузии влаги. При повышении температуры внутри пласта снижаются силы адгезии и аттракции твердой и жидкой фаз почвы, уменьшаются поверхностное натяжение влаги (при ее наличии) и гидравлический потенциал, в результате чего происходит перемещение потока в более холодном направлении за счет разницы капиллярных давлений. Процесс длится до равновесного состояния, достижению которого препятствует солнечная радиация, приводящая к нагреву почвы и являющаяся причиной десукции и испарения, вследствие чего возникают капиллярно-сорбционные силы, обеспечивающие перемещение влаги через точки соприкосновения структурных агрегатов почвы со скоростью потока, обратно пропорциональной их размерам.

В засушливых условиях внутри пласта передвижение влаги практически прекращается в связи с почти полным ее отсутствием в свободном жидком состоянии. Тогда движение влаги внутри пласта осуществляется только в виде пара за счет наличия в почве постоянно меняющихся термоградиентов посредством диффузии в сторону ее понижения (меньшей упругости насыщения пара).

Из физики земледелия известно, что процесс диффузии зависит от степени упругости насыщения пара и толщины водной пленки на структурных агрегатах почвы [2]. Процесс диффузии в почве может осложняться явлениями микроконвекции за счет термоградиентов, а также многократностью осаждения и новой дистилляции пара. Изменение плотности пара обусловлено различием гидравлических потенциалов или температуры слоев почвы.

Термоградиент влияет на объем теплового потока Q (Дж/см):

$$Q = \lambda \cdot \nabla t^{\circ}\text{C}, \quad (2)$$

где λ – теплопроводность почвы, Дж/ $^{\circ}\text{C}$.

Наиболее значимое влияние на изменение температурного режима из всех техногенных воздействий оказывает механическая обработка почвы. Из анализа формулы (1) следует, что увеличение термоградиента в почве между обрабатываемыми слоями возможно при их малой толщине и при условии существенного различия их температуры. То есть для получения существенного различия температуры слоев обработанного пласта необходимо проведение послойной обработки почвы, а именно дифференцированное рыхление с различной степенью уплотнения по слоям.

Из физики земледелия известно, что скорость перемещения влаги зависит от диаметра структурных агрегатов, поскольку величиной последнего определяется сечение почвенных капилляров. Получение структурных агрегатов требуемого размера путем рыхления с уплотнением подповерхностного слоя почвы внутри пласта приводит к расширению диаметра почвенных капилляров, по которым перемещается влага из глубины к испаряющей поверхности. Термодиффузионный поток влаги, появление которого обусловлено наличием термоградиентов, не преодолевает поверхность раздела между широкой и узкой частями капилляров, происходит так называемое явление их пресечения, в результате чего образующийся пар не достигает поверхности поля, а медленно диффундирует внутри пласта и конденсируется в слое, который будет являться влагонакопительным.

Исследования [3] показали, что при послойной обработке почвы внутри пласта формируется влагонакопительный слой за счет комбинации обоих типов теплообмена (инсоляции и излучения), поскольку термоградиенты имеют противоположное направление, меняя знак на глубине 10–15 см, где пересекаются потоки. Влага на данной глубине является доступной для корневой системы сельскохозяйственных культур.

Известны способы послойной обработки почвы.

Согласно способу обработки почвы по а.с. № 126311 [4], внутри обрабатываемого пласта образуют уплотненную прослойку, а наружный тонкий слой сухой почвы оставляют разрыхленным, что способствует сохранению влаги от испарения в атмосферу.

Аналогично способ по патенту № 294273 [5] предусматривает рыхление пласта с последующим подповерхностным созданием уплотненных зон. Под верхним слоем создают рав-

номерно в шахматном порядке уплотненные зоны, которым придают конусообразно расширяющийся книзу вид.

Способ по а.с. № 622429 [6] включает создание слоев почвы с различной плотностью при большем ее значении для среднего слоя.

Наряду с вышеизложенным, установлена возможность снижения усилий на отрыв пласта, а следовательно, и тягового сопротивления рабочих органов за счет послойной обработки почвы.

Авторами патента № 2158068 [7] предложен способ послойной обработки почвы при снижении энергозатрат за счет воздействия на пласт разнонаправленными деформациями и разрушения пласта по линиям наименьших связей. Послойное рыхление пласта производят по линиям наименьших связей за счет автоматического отклонения рыхлящих элементов рабочего органа в стороны наименьшего сопротивления деформациям.

По а.с. № 1604186 [8] крошение пласта осуществляется по линиям наименьших связей путем автоматического отклонения крошащих элементов в стороны наименьших сопротивлений деформациям за счет придания им дополнительно трех степеней свободы: вращательного и поступательных (вертикального и горизонтального) движений.

Особое внимание следует уделить разработкам ВНИПТИМЭСХ (ныне АНЦ «Донской», подразделение «СКНИИМЭСХ») по послойной обработке почвы.

Еще в середине прошлого века сотрудниками нашего института был запатентован (а.с. № 125422 [9]) способ обработки почвы, согласно которому получение разных по структуре и плотности слоев пласта достигается путем рыхления с одновременным уплотнением, выравниванием и созданием мульчирующего слоя на поверхности поля.

По патенту № 2147163 [10], послойное рыхление осуществляется формированием вертикальных, горизонтальных и наклонных щелей внутри пласта. При этом внутри пласта образуют кротовины на стыках пересечения наклонных щелей, а на поверхности почвы горизонтальные соединяют перемычками в поперечном направлении относительно вертикальных.

Способ по патенту № 2217890 [11] включает послойную обработку почвы с формированием верхнего рыхлого, среднего уплотненного и нижнего более уплотненного слоев внутри обработанного пласта.

Для осуществления способов послойной обработки почвы нами запатентованы рабочие органы [12, 13].

Теоретико-методические принципы разработки нового технологического процесса основаны на систематизации рабочих органов. На основании анализа данного процесса и примеров технических решений систему «Рабочие органы для послойной обработки почвы» можно представить в виде четырех подсистем (см. табл.):

- I – для поверхностного рыхления;
- II – для мелкой обработки;
- III – для глубокой обработки;
- IV – для уплотнения и выравнивания.

При этом мелкая обработка почвы лапами II осуществляется после завершения релаксации и процесса снятия внутренних напряжений пласта [9], подрезанного дисками I. Далее по истечении релаксации пласта, обработанного лапами II, осуществляется глубокое рыхление почвы долотом с рыхлителями III, а затем уплотнение и выравнивание поверхности поля катками IV.

Если комбинация произведена без учета длительности релаксации пласта или нарушения последовательности функционирования подсистем, то не обеспечивается получение требуемых агротехнических показателей в связи с распылением и сгуживанием почвы перед рабочим органом, возникновением призмы волочения и технологический процесс характеризуется повышенной энергоемкостью, особенно в засушливых условиях.

Комбинация подсистем может быть реализована конструктивно на единой несущей системе почвообрабатывающего агрегата, в качестве которой выступает стойка рабочего органа или рама почвообрабатывающего агрегата. В случае совмещения, например, подсистем II и III на единой стойке рыхлитель для мелкой обработки почвы подготавливает пласт для прохода долота последующего рабочего органа.

Результатом является унифицированная конструкция по методу базового агрегата с общей и сменными частями (подсистемами).

По заданной скорости агрегата V (м/с) с учетом длительности релаксации осуществляется расстановка блоков подсистем рабочих органов в продольном направлении L (м):

$$L = V \cdot \frac{\mu}{E}, \quad (3)$$

где μ – коэффициент вязкости почвы, Па·с; E – модуль упругости почвы, Па.

Для засушливых условий в результате исследований определена длительность релаксации черноземной почвы [14], которая составляет 0,09–0,11 с. Таким образом, расстояние в продольном направлении между блоками подсистем в среднем должно составлять не менее 0,2 м.

Итак, послойная обработка почвы – это результат совершенствования дифференцированной по слоям безотвальной обработки почвы. Тенденции послойной обработки почвы возникают с внедрением стойки типа paraplow с наклоном вперед по ходу движения и в сторону, используемой в качестве рыхлящего элемента рабочего органа. Стойка типа paraplow, формируя наклонные щели, способствует улучшению качества рыхления всего обрабатываемого слоя почвы, особенно в слое между подсистемами II и III, где пласт крошится под влиянием распространяемых опережающих трещин от долота, не взаимодействуя непосредственно с режущими кромками рабочего органа.

Таким образом, режущие кромки рабочего органа в слое между подсистемами II и III не создают поверхности раздела, и крошение происходит по пути наименьшего сопротивления почвы (по М.Х. Пигулевскому) по линиям скольжения, которые имеют криволинейную форму (по В.В. Соколовскому).

Форма стойки типа paraplow [15] обычно выполняется с наклоном по ходу движения и в сторону обычно в виде прямолинейных участков ломаной линии, при неограниченном возрастании числа звеньев которой образуется кривая.

Оптимизация формы кривой также обусловлена требованием снижения металлоемкости конструкции, масса которой несколько

Таблица

Система «Рабочие органы для послойной обработки почвы»

№	Подсистема (рабочий орган)	Глубина обработки, см
I	Для поверхностного рыхления (диск)	8–10 см
II	Для мелкой обработки (лапа)	до 16 см
III	Для глубокой обработки (долото с рыхлителями)	свыше 25 см
IV	Для уплотнения и выравнивания (каток)	8–10 см

завышена в связи с размещением нескольких подсистем рабочего органа на единой стойке. Уменьшение длины кривой приводит к задаче поиска наименьшего времени перемещения (спуска) некоторой точки, расположенной на стойке типа *ragarlow*. Скорость перемещения точки A_0 в точку A_{n+1} изменяется дискретно [16] с бесконечно малым шагом (рис. 1).

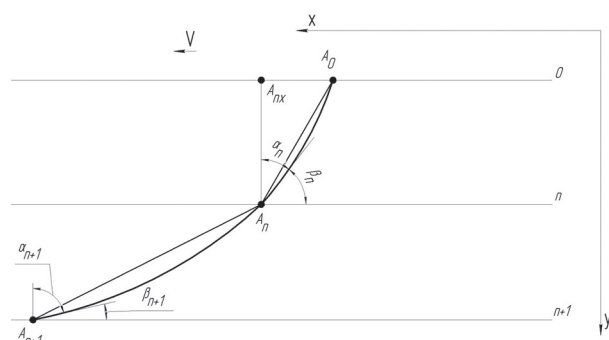


Рис. 1. Схема к определению формы криволинейной стойки типа *ragarlow* для послойной обработки почвы

Поскольку скорость зависит от плотности слоев почвы, которые дифференцированы, время перемещения точки по кратчайшей траектории не является наименьшим.

На границе раздела двух слоев наблюдается нарушение прямолинейности перемещения точки, физически заключающееся в том, что углы падения и преломления отличаются друг от друга, в результате чего траектория приобретает характер ломаной линии.

Физическая интерпретация механической задачи позволяет установить преломление прямолинейной траектории перемещения точки при различии скоростей, обусловленном дифференцированием слоев почвы при послойной обработке.

Известно, что коэффициент преломления определяется отношением скоростей излучения (электромагнитного, светового и др.) в средах с различием плотности слоев обрабатываемой среды. Из аналогии процессов перемещения точки внутри пласта почвы и электромагнитного излучения следует зависимости (4), (5) для определения скорости:

$$V = \frac{V_n}{\sin \alpha_n}. \quad (4)$$

С точки зрения физики процесса, гребень волны, двигаясь в направлении своего распространения, преодолевает расстояние A_0A_{nx} , при

этом точка пересечения его с границей слоя 0– n перемещается на A_0A_n .

$$\sin \alpha_n = \frac{A_0A_{nx}}{A_0A_n} = \frac{V_n}{V}. \quad (5)$$

Аналогично получим выражение для слоя $n - (n+1)$:

$$V = \frac{V_{n+1}}{\sin \alpha_{n+1}}, \quad (6)$$

где V_n , V_{n+1} – скорость перемещения в слое 0– n , $n - (n+1)$, соответственно.

В результате приравнивания скорости вдоль границы раздела слоев для падающей и прошедшей волн получим выражение, эквивалентное закону Снеллиуса:

$$\frac{V_n}{\sin \alpha_n} = \frac{V_{n+1}}{\sin \alpha_{n+1}}. \quad (7)$$

Согласно закону Снеллиуса, данное отношение является постоянным:

$$\frac{\sin \alpha}{V} = \text{const}. \quad (8)$$

Из анализа рис. 1 следует:

$$\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}, \quad (9)$$

где β – угол отклонения касательной к криволинейной траектории перемещения точки от линии уровня горизонта, град.

Выполнив некоторые преобразования, получим:

$$\text{tg } \beta = \frac{dy}{dx} = y', \quad (10)$$

$$\sin \alpha = \cos \beta = \frac{1}{\sqrt{1 + y'^2}}. \quad (11)$$

В результате сопоставления выражений, выведенных на основании положений механики движения материальной точки, физики электромагнитного и светового излучения, получим уравнение искомой кривой, представляющее собой дифференциальное уравнение брахистохроны первого порядка:

$$y(1 + y'^2) = \text{const}. \quad (12)$$

Длина дуги брахистохроны (периметр стойки) можно определить по формуле:

$$s = D \cdot \left| \sin \frac{t}{2} \right|, \quad (13)$$

где D – диаметр производящего круга брахистохроны, представляющий проекцию длины стойки

на горизонтальную поперечную плоскость, м;
 t – параметр, определяемый взаимосвязь с физико-механическими свойствами почвы.

Результаты и их обсуждение

Пример зависимости [17] параметров и режимов работы комбинированных машин (тягового сопротивления P_t , глубины рыхления a , скорости V , ширины захвата B от физико-механических свойств почвы (твердость H) в виде взаимосвязи критериев энергетического ($P_t/H \cdot a^2$), геометрического (B/a) и механического подобия ($g \cdot a/V^2$) подсистем «рабочие органы для послойной обработки почвы», размещенных на единой несущей системе, представлен на рис. 2.

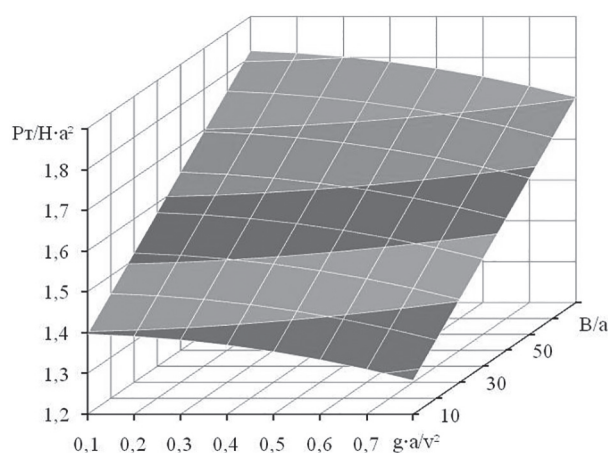


Рис. 2. Взаимосвязь критериев энергетического, геометрического и механического подобия комбинированных машин

Из анализа зависимости (рис. 2) следует, что критерий подобия ($P_t/H \cdot a^2$) уменьшается с увеличением ($g \cdot a/V^2$) при $(B/a) = \text{const}$, а с ростом (B/a) при $(g \cdot a/V^2) = \text{const}$ возрастает, причем интенсивнее. Таким образом, энергетический критерий уменьшается интенсивнее и больше зависит от геометрии рабочих органов (B/a), чем от механического подобия.

Внедрение инновационных конструкций рабочих органов является перспективным направлением повышения эксплуатационной надежности и энергоэффективности почвообрабатывающих машин [18, 19], предупреждает возникновение преждевременного износа их механизмов и систем [20].

Использование программного комплекса «МВТУ», разработанного на кафедре «Ядерные реакторы и ядерные энергетические установки» МГТУ им. Н.Э. Баумана, позволяет анализировать процессы в динамических си-

стемах с помощью визуальных средств структурного моделирования [21–23].

Заключение

Таким образом, разработка технологического процесса обработки почвы в засушливых условиях юга России должна основываться на следующих принципах:

- накопление влаги внутри пласта необходимо осуществлять за счет использования термодиффузионных процессов;
- обработку почвы производить дифференцированно с различной степенью уплотнения по слоям;
- процесс осуществляется унифицированной конструкцией, разработанной по методу базового агрегата с общей и сменными частями (подсистемами);
- комбинация подсистем реализуется конструктивно на единой несущей системе по определенному принципу размещения с учетом длительности релаксации внутренних напряжений почвы;
- для повышения эксплуатационной надежности и энергоэффективности почвообрабатывающих машин используются инновационные конструкции, основанные на взаимосвязи параметров и режимов работы с физико-механическими свойствами почвы.

Литература

1. Методы оценки степени деградации сельскохозяйственных земель: научн. издание / ФГБНУ ВНИИ «Радуга». Коломна: ИП Воробьев О.М., 2015. 32 с.
2. Gurr, C.G. Movement of Water in Soil in Response to Temperature Gradients / C.G. Gurr, T.J. Marshal, J.T. Hutton // Soil Science. 1952. 74. P. 335–345.
3. Пархоменко Г.Г., Громаков А.В., Божко И.В. Влияние послойной обработки почвы на процесс термодиффузии влаги внутри пласта // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. М.: ФГБНУ ВИМ, 2014. С. 217–221.
4. А.с. СССР № 126311. Способ направленного использования парообразной воды атмосферы / Минаев В.С. МПК МПК 45а, 39, № 624050/30, заявл. 03.04.1959, опубл. 1960.
5. Патент РФ № 2453091. Способ обработки почвы / Конищев А.А. МПК А01 В79/02 (2006.01), № 2010150936/13, заявл. 13.12.2010, опубл. 20.06.2012.

6. А.с. СССР № 2185713 Способ обработки почвы / Шаталин В.Н., Ельцов Е.И. МПК А01 В79/00, № 2482174/30-15, заявл. 29.04.1977, опубл. 31.08.1978.
7. Патент РФ № 2158068. Способ безотвальной обработки почвы / Медведев В.И., Мазяров В.П. МПК А01В79/00, № 99105151/13, заявл. 15.03.1999, опубл. 27.10.2000.
8. А.с. СССР № 1604186 Способ обработки почвы / Смирнов В.Т., Галкин В.Д. МПК А 01 В 79/00, № 4466184, заявл. 26.07.1988, опубл. 07.11.1990.
9. А.с. СССР № 125422. Комбинированный способ основной обработки почвы и устройство для его осуществления / Цымбал А.Г., Лаврухин В.А., Зинчук П.О. МПК 45а, 39, № 609934/30, заявл. 18.10.1958, опубл. 1960.
10. Патент РФ № 2147163. Способ послойного щелевого рыхления / Таранин В.И., Щириков В.Н., Рыков В.Б., Липкович Э.И. МПК А01В79, № 99100685/13, заявл. 10.01.1999, опубл. 10.04.2000.
11. Патент РФ № 2217890. Способ образования и укладки фракций почвы и устройство для его осуществления / Богомягих В.А., Таранин В.И., Жидков Г.А. МПК А01В79, № 2001119895/13, заявл. 17.07.2001, опубл. 10.12.2003.
12. Патент на полезную модель 139415 РФ А01 В35/20, А01 В35/26. Рабочий орган для послойной безотвальной обработки почвы / Пархоменко Г.Г., Божко И.В., Громаков А.В., Камбулов С.И., Рыков В.Б., № 2013148673/13, заявл. 31.10.2013, опубл. 20.04.2014.
13. Патент на полезную модель 156896 РФ А01 В35/02. Комбинированный рабочий орган для послойной безотвальной обработки почвы / Божко И.В., Пархоменко Г.Г., Пахомов В.И., Пантюхов И.В., Камбулов С.И., Рыков В.Б., Ридный С.Д., Громаков А.В., № 2015131076/13, заявл. 16.07.2015, опубл. 20.11.2015.
14. Пархоменко, Г.Г. Обоснование параметров почвообрабатывающих машин на основании реологии / Г.Г. Пархоменко, Г.Д. Костадинов, С.А. Твердохлебов // Почвоведение агрохимия и экология. 2016. 50. № 3–4. С. 111–119.
15. Dorado, J. The effect of tillage system and use of a paraplow on weed flora in a semiarid soil from central Spain / J. Dorado, C. Lopez-Fando // Weed research. 2006. 46. P. 424–431.
16. Пархоменко, Г.Г. Обоснование параметров рабочего органа типа para-plow / Г.Г. Пархоменко, С.А. Твердохлебов // Вестник АПК Ставрополя. 2017. № 1 (25). С. 44–48.
17. Щириков, В.Н. Применение теории размерностей и подобия при определении параметров и режимов работы машин для обработки почвы / В.Н. Щириков, Г.Г. Пархоменко // Электронный научный журнал КубГАУ. – № 110 (06). – 2015 – 15 с. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/06/pdf/39.pdf> (дата обращения 14.02.2018).
18. Пархоменко, С.Г. Повышение энергоэффективности мобильных почвообрабатывающих агрегатов / С.Г. Пархоменко, Г.Г. Пархоменко // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 3 (18). С. 40–47.
19. Пархоменко, Г.Г. Повышение эксплуатационной надежности САР почвообрабатывающих машин / Г.Г. Пархоменко, С.Г. Пархоменко // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 122. С. 87–91.
20. Пархоменко, Г.Г. Оптимизация показателей технологических процессов сельскохозяйственного производства в растениеводстве / Г.Г. Пархоменко, С.Г. Пархоменко // Хранение и переработка зерна. 2017. № 1 (209). С. 55–60.
21. Пархоменко, С.Г. Метод структурного моделирования систем автоматического регулирования эксплуатационных режимов работы почвообрабатывающих агрегатов / С.Г. Пархоменко, Г.Г. Пархоменко // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 126. С. 55–61.
22. Пархоменко, С.Г. Моделирование следящих систем почвообрабатывающих агрегатов / С.Г. Пархоменко, Г.Г. Пархоменко // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 1. С. 22–31.
23. Пархоменко, Г.С. Моделирование в программном комплексе «МВТУ» динамики мобильных сельскохозяйственных машин и нелинейных следящих систем / Г.С. Пархоменко, С.Г. Пархоменко, Г.Г. Пархоменко // Совершенствование технологий и средств механизации полеводства: межвузовский сборник трудов к 75-летию академии (г. Зерноград, АЧГАА). Зерноград. 2005. С. 86–92.

References

1. Metody ocenki stepeni degradacii sel'skohozyajstvennyh zemel' [Methods of assessment of agricultural land degradation]: nauchn. izdanie. FGBNU VNII «Raduga». Kolomna: IP Vorob'yov O.M. Publ., 2015. 32 p.
2. Gurr, C.G. Movement of Water in Soil in Response to Temperature Gradients / C.G. Gurr, T.J. Marshal, J.T. Hutton // Soil Science. 1952. 74. P. 335–345.
3. Parhomenko G.G., Gromakov A.V., Bozhko I.V. The effect of layer-by-layer tillage on the process of thermal diffusion of moisture inside the reservoir. Innovacionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nyh mashinnyh tekhnologij: Sbornik nauchnyh dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii [Innovative development of the agro-industrial complex of Russia on the basis of intellectual machine technologies: Collection of scientific

- reports of the International Scientific and Technical Conference]. Moscow: FGBNU VIM Publ., 2014, pp. 217–221 (in Russ.).
4. A.s. SSSR No 126311. Sposob napravlennoy ispol'zovaniya paroobraznoy vody atmosfery [Way directional use of water vapor of the atmosphere]. Minaev V.S. MPK MPK 45a, 39, No 624050/30, zayavl. 3.04.1959, opubl. 1960.
 5. Patent RF No 2453091. Sposob obrabotki pochvy [Method of soil treatment]. Konishchyov A.A. MPK A01 B79/02 (2006.01), No 2010150936/13, zayavl. 13.12.2010, opubl. 20.06.2012.
 6. A.s. SSSR No 2185713 Sposob obrabotki pochvy [Method of soil treatment]. SHatalin V.H., El'cov E.I. MPK A01 B79/00, No 2482174/30-15, zayavl. 29.04.1977, opubl. 31.08.1978.
 7. Patent RF No 2158068. Sposob bezotval'noj obrabotki pochvy [Method of tilling]. Medvedev V.I., Mazyarov V.P. MPK A01B79/00, No 99105151/13, zayavl. 15.03.1999, opubl. 27.10.2000.
 8. A.s. SSSR No 1604186 Sposob obrabotki pochvy [Method of soil treatment]. Smirnov V.T., Galkin V.D. MPK A 01 V 79/00, No 4466184, zayavl. 26.07.1988, opubl. 07.11.1990.
 9. A.s. SSSR No 125422. Kombinirovannyj sposob osnovnoj obrabotki pochvy i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya [The combined method of the main tillage and the device for its implementation]. Cymbal A.G., Lavruhin V.A., Zinchuk P.O. MPK 45a, 39, No 609934/30, zayavl. 18.10.1958, opubl. 1960.
 10. Patent RF No 2147163. Sposob poslojnego shchelevogo ryhleniya [Method of layer-by-layer slot loosening]. Taranin V.I., SHCHirov V.N., Rykov V.B., Lipkovich E.H.I. MPK A01B79, No 99100685/13, zayavl. 10.01.1999, opubl. 10.04.2000.
 11. Patent RF No 2217890. Sposob obrazovaniya i ukladki frakcij pochvy i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya [Method of formation and laying of soil fractions and device for its implementation]. Bogomyagkih V.A., Taranin V.I., ZHidkov G.A. MPK A01B79, No 2001119895/13, zayavl. 17.07.2001, opubl. 10.12.2003.
 12. Patent na poleznuyu model' 139415 RF A01 V35/20, A01 V35/26. Rabochij organ dlya poslojnoj bezotval'noj obrabotki pochvy [Working body for layer-by-layer soilless tillage]. G.G. Parhomenko, I.V. Bozhko, A.V. Gromakov, S.I. Kambulov, V.B. Rykov. GNU SKNIIMEHSKH Rossel'hozokademii. Zayavl. 31.10.2013. Opubl. 20.04.2014. Byul. No 11.
 13. Patent na poleznuyu model' 156896 RF A01 V35/02. Kombinirovannyj rabochij organ dlya poslojnoj bezotval'noj obrabotki pochvy [Combined working body for layer-by-layer soilless tillage]. I.V. Bozhko, G.G. Parhomenko, V.I. Pahomov, I.V. Pantyuhov, S.I. Kambulov, V.B. Rykov, S.D. Ridnyj, A.V. Gromakov. FGBNU SKNIIMEHSKH. Zayavl. 16.07.2015. Opubl. 20.11.2015. Byul. No 32.
 14. Parhomenko G.G., Kostadinov G.D., Tverdohlebov S.A. Justification of the parameters of tillage machines on the basis of rheology. Pochvoznanie agrokimiya i ekhologiya. 2016. 50. No 3–4, pp. 111–119 (in Russ.).
 15. Dorado J. The effect of tillage system and use of a paraplow on weed flora in a semiarid soil from central Spain. J. Dorado, C. Lopez-Fando. Weed research. 2006. 46. P. 424–431.
 16. Parhomenko G.G., Tverdohlebov S.A. Justification of the parameters of the working body of para-plow type. Vestnik APK Stavropol'ya. 2017. No 1 (25), pp. 44–48 (in Russ.).
 17. SHCHirov V.N., Parhomenko G.G. Application of the theory of dimensions and similarity in determining the parameters and modes of operation of machines for tillage. EHlektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU. No 110(06). 2015. 15 p. (in Russ.) URL: <http://ej.kubagro.ru/2015/06/pdf/39.pdf> (data obrashcheniya 14.02.2018).
 18. Parhomenko S.G., Parhomenko G.G. Improving the energy efficiency of mobile tillage machines. Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2016. No 3 (18), pp. 40–47 (in Russ.).
 19. Parhomenko G.G., Parhomenko S.G. Improving the operational reliability of automatic control system of tillage machines. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 122, pp. 87–91 (in Russ.).
 20. Parhomenko G.G., Parhomenko S.G. Optimization of indicators of technological processes of agricultural production in crop production. Hranenie i pererabotka zerna. 2017. No 1(209), pp. 55–60 (in Russ.).
 21. Parhomenko S.G., Parhomenko G.G. The method of structural modeling of automatic control systems of operational modes of operation of soil-cultivating units. Trudy GOSNITI. 2017. Vol. 126, pp. 55–61 (in Russ.).
 22. Parhomenko S.G., Parhomenko G.G. Simulation of tracking systems of tillage units. Traktory i sel'hozmashiny. 2017. No 1, pp. 22–31 (in Russ.).
 23. Parhomenko G.S., Parhomenko S.G., Parhomenko G.G. Modeling of the dynamics of mobile agricultural machines and nonlinear tracking systems in the software complex "MVTU". Sovershenstvovanie tekhnologij i sredstv mekhanizacii polevodstva: mezhvuzovskij sbornik trudov k 75-letiyu akademii (g. Zernograd, ACHGAA) [Improvement of technologies and means of field mechanization: interuniversity collection of works for the 75th anniversary of the Academy]. Zernograd. 2005, pp. 86–92 (in Russ.).