

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.31

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-2-30-37>

Переход к технологическим процессам и техническим системам обработки почвы, интегрированным в природный ресурсооборот

В.Ф. Федоренко

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия

f@maro.pro; <https://orcid.org/0000-0001-6398-4463>

Аннотация. Неудовлетворительное состояние большинства почвенных ресурсов страны обусловлено применением агротехнических приемов и технических средств механического воздействия на почвенные горизонты. При энергозатратной отвальной вспашке плугом с оборотом пласта происходит вертикальное перемешивание разнородных слоев почвы и воздействие фотохимической лучистой энергии солнца. В результате погибают аэробные и анаэробные бактерии, микроорганизмы и мезофауна, приспособленные к жизни в почве на определенной глубине, нарушаются естественные природные процессы формирования и накопления гумуса и плодородия почв, переуплотняются и разрушаются почвенные горизонты. При такой технологии непроизводительные потери органического углерода достигают 50%. С целью разработки технологических процессов и технических систем обработки почвы, обеспечивающих интегрированный переход в природный ресурсооборот сельскохозяйственных угодий, автором проведен анализ тенденций развития приемов обработки почвы, закономерностей физиологии, жизнедеятельности растений и почвенных биоценозов. В результате исследований установлено, что внутрпочвенная обработка импульсами сжатого воздуха посредством погружения в почву пневмогидробуров обеспечивает оптимальное рыхление, аэрацию и последующую рациональную подачу растворов агрохимикатов в корнеобитаемые слои. При этом прекращаются процессы деградации и эрозии сельскохозяйственных земель, увеличивается содержание гумуса в корнеобитаемых слоях почвы. Разработанный способ (Патент № 2830861 РФ) и инновационная конструкция пневмогидробура создают условие в режиме онлайн за 10-15 с сканировать почвенный горизонт и осуществлять экспресс-анализ характеристик почвы, на его основе подавать в почву необходимую дозу соответствующих реагентов. Переход к инновационному принципу обработки почвы позволяет значительно сократить совокупные удельные энергозатраты.

Ключевые слова: земледелие, почвенные горизонты, биоценоз, гумус, природный ресурсооборот, обработка почвы импульсами сжатого воздуха, пневмогидробур

Для цитирования: Федоренко В.Ф. Переход к технологическим процессам и техническим системам обработки почвы, интегрированным в природный ресурсооборот // Агроинженерия. 2025. Т. 27. № 2. С. 30-37. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-2-30-37>

ORIGINAL ARTICLE

Transition to technological processes and technical systems of soil tillage integrated into natural resource management

V.F. Fedorenko

Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia

f@maro.pro; <https://orcid.org/0000-0001-6398-4463>

Abstract. The unsatisfactory condition of the majority of soil resources of the country is due to the use of agrotechnical methods and technical means of mechanical impact on soil horizons. Energy-consuming moldboard plowing with a soil layer turnover results in a vertical mixing of heterogeneous soil layers and their exposure to photochemical radiant energy of the sun. As a result, aerobic and anaerobic bacteria, microorganisms and mesofauna adapted to live in the soil at a certain depth die; natural processes of humus formation and accumulation are disturbed, soil fertility decreases, soil horizons are overconsolidated and destroyed. This technology results in unproductive losses of organic carbon up to 50%. In order to develop technological processes and technical systems of soil tillage, providing an integrated transition to the natural resource management of agricultural lands, the author analyzed trends in the development of soil tillage techniques, regularities of plant physiology, plant life and soil biocenoses. The studies have established that in-soil treatment with pulses

of compressed air by means of pneumatic hydrodrills immersed in the soil provides optimal loosening, aeration and subsequent rational supply of agrochemical solutions into root-inhabited layers. At the same time, this operation stops the processes of degradation and erosion of agricultural lands and increases the humus content in root-inhabited soil layers. The developed method (Patent No. 2830861 of the Russian Federation) and the innovative design of a pneumatic hydrodrill provide conditions for the online scanning of a soil horizon for 10-15 s and express analysis of soil characteristics. Based on the results obtained, we can supply the necessary dose of appropriate reagents to the soil. Transition to the innovative principle of soil treatment reduces significantly the total specific energy inputs.

Keywords: farming, soil horizons, biocenosis, humus, natural resource management, soil treatment with pulses of compressed air, pneumatic hydrodrill

For citation: Fedorenko V.F. Transition to technological processes and technical systems of soil tillage integrated into natural resource management. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(2):30-37 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-2-30-37>

Введение

Технологические процессы и технические системы обработки почвы совершенствовались в зависимости от потребностей людей, меняющихся почвенно-климатических условий, особенностей вегетации возделываемых культур¹ (рис. 1). Однако эти условия и особенности недостаточно хорошо были изучены и проверены, не ставились задачи гармоничного взаимодействия между техническими системами обработки почвы, возделываемыми культурами, особенно процессами жизнедеятельности почвенных бактерий, микроорганизмов, мезофауны, симбиоза их с растениями, не обосновывались пути оптимального их взаимодействия².

В земледелии продолжает превалировать утверждение В.П. Горячкина³: «Главнейшая задача современной агротехники – крошение пласта различной толщины в различных условиях посредством клинчев всевозможной формы».

ГОСТ 16265-83 рекомендует более 60 видов воздействий на почву. Большинство из них оказывает значительное негативное воздействие на плодородие почв, формируя условия развития процессов деградации, эрозии и дефляции сельскохозяйственных земель⁴. Отвальная вспашка плугом – чрезвычайно энергозатратный процесс, требующий 10...15 МДж

энергии на 1 га, базирующийся на физических принципах резания, крошения и обороте пластов земли, состоящих из разнородных слоев почвы, каждый из которых населен огромным количеством различных микроорганизмов, грибов, бактерий и пр. Агроценозы в своей жизнедеятельности обеспечивают формирование и накопление в почве гумуса⁵. При обороте пласта аэробные агроценозы, адаптированные к жизни в верхних горизонтах почвы, оказываются в глубине и в большинстве своем погибают, а анаэробные из нижних горизонтов, попадая в верхние, также погибают [1, 2].

Периодическое интенсивное рыхление почвенных горизонтов нарушает равновесие экологической системы «Почва – растение – атмосфера», активизирует процессы разрушения структуры гумуса, при формировании урожая до 50% увеличиваются непродуцируемые потери плодородия и органического углерода⁶. Негативно сказывается фотохимическое воздействие световой энергии солнца на агрохимические показатели почвы⁷ [1].

Вследствие роста площадей земель сельскохозяйственного назначения, подверженных эрозии, дефляции и опустыниванию⁸, в настоящее время в земледелии особенно остро стоит проблема поиска и разработки новых, эффективных технологических принципов и технических систем природопользования. Современные принципы трансформации приемов обработки почвы обусловлены развитием нетрадицион-

¹ Агропромышленный комплекс России в 2022 году: Сборник. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. 562 с.; Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2022 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 372 с.

² Бобровский М.В., Гин А. Земледелие в Европе. Хронология с картинками. ТРИЗ-профи: Эффективные решения в сельском хозяйстве. М.: Кушнир, 2006. 220 с.; Агропромышленный комплекс России в 2022 году: Сборник. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. 562 с.

³ Ерохин М.Н., Зайцев Н.Л., Алдошин Н.В. Василий Прохорович Горячкин: страницы жизни. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 280 с.

⁴ Андрианов Б.В. Земледелие наших предков. М.: Наука, 1978. 167 с.

⁵ Менделеев Д.И. С думою о благе российском: Избранные экономические произведения. Новосибирск: Наука, 1991. 231 с.

⁶ Технологии XXI века в агропромышленном комплексе России: Каталог. 4-е изд., доп. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 536 с.

⁷ Богатырев Л.Г. Основные концепции, законы и принципы современного почвоведения: Монография. М.: МАКСПресс, 2015. 196 с.

⁸ Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2022 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 372 с.



Рис. 1. Этапы развития технологических процессов и технических систем обработки почвы

Fig. 1. Stages of developing the technological processes and technical systems of soil tillage

ных природоохранных, природоподобных, «зеленых» технологий земледелия, переходом от стратегии обработки почвы, базирующейся на принципе максимума производства энтропии (Г. Циглер)⁹, к стратегии ее минимального производства (И. Пригожин)¹⁰ с рациональным использованием доступных природных ресурсов¹¹. Такое земледелие основано на частичном или полном уходе от отвальной вспашки и вертикальном перемещении пахотных горизонтов, сохранении корнеобитаемых слоев почвы и почвенной влаги, уменьшении эрозии¹² [2].

Цель исследований: разработка технологического процесса и технической системы обработки корнеобитаемых слоев почвы импульсами сжатого воздуха в соответствии с величиной пенетрации с последующим внесением растворов агрохимикатов для оптимизации условий симбиоза растений и почвенных микроорганизмов; обеспечение интегрированного перехода сельскохозяйственных угодий в природный ресурсооборот.

⁹ Циглер Г. Экстремальные принципы термодинамики необратимых процессов и механика сплошной среды. М.: Мир, 1966. 136 с.

¹⁰ Глендорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации. М.: Мир, 1973. 280 с.

¹¹ Гумилев Л. Этногенез и биосфера Земли. М.: Танаис-Дик, 1994. 640 с.

¹² Овсинский И.Е. Новая система земледелия. Перепечатка публикации 1909 г. М.: АГРО-СИБИРЬ, 2004. 47 с.

Материалы и методы

Патентный поиск, а также анализ проведенных лабораторных и полевых исследований позволили выявить недостатки известных приемов обработки почвы с применением пневмогидробуров: невозможность регулировки в режиме реального времени глубины их погружения в почву, установки частоты и давления импульсов сжатого воздуха, а также изменения давления подачи раствора в зависимости от величины пенетрации почвы. Без учета состояния и типа почвы не обеспечиваются качество и энергоэффективность обработки, не исключается возможность избыточной подачи и неэффективного распределения воды и растворов удобрений непосредственно к корневой системе растений.

Разработка эффективного пневмогидробура осуществлялась с учетом ГОСТ 34276-2017¹³.

Результаты и их обсуждение

Базовые представления о процессах формирования почв, компонентного их состава (рис. 2) являются основой адекватного обоснования физических принципов и оптимальных агротехнических требований, на которые необходимо ориентироваться при разработке процессов и технических систем

¹³ ГОСТ 34276-2017. Грунты. Методы лабораторного определения удельного сопротивления пенетрации. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.

обработки почвы, интегрированных в природный ресурсооборот.

В природной экосистеме корни предшествующих растений и представители мезофауны (почвенные животные и насекомые, дождевые черви и др.) образуют микропустоты и полости, способствующие формированию и сохранению компонентного состава естественной структуры, плотности, пористости почв, развитию процессов инфильтрации и способности аккумулировать и удерживать внутрипочвенную воду. При этом создаются условия образования гумусового компонента, значительно снижаются и даже предотвращаются процессы развития эрозии и дефляции сельскохозяйственных угодий.

Многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых свидетельствуют о том, что сохранение корнеобитаемых слоев почвы и мульчирование ее поверхности соломой в объеме 4...6 т на 1 га снижает эрозию в 8...10 раз, смыв почвы в период таяния снега – более чем в 2 раза, а ливневых стоков – в 1,5 раза. Формирование мульчирующего слоя из пожнивных остатков в течение нескольких лет способствует восстановлению биоценоза почвы и воспроизводству ее плодородия естественным путем за счет кругооборота питательных элементов и активизации жизнедеятельности почвенных биоценозов. Мульчирование приводит к увеличению содержания почвенного углерода, снижению применения минеральных удобрений и предотвращению почвенной эрозии [3-5].

На основании анализа информации, моделирования природных процессов жизнедеятельности

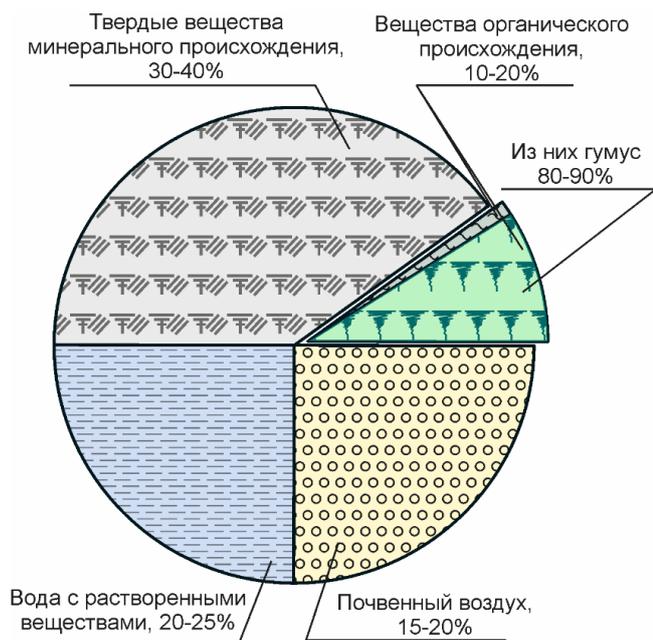


Рис. 2. Компонентный состав почв
Fig. 2. Component composition of soils

почвенной мезофауны и с учетом результатов экспериментальных исследований разработан процесс внутрипочвенной раздельной и последовательной подачи импульсами сжатого воздуха, затем – воды или аэрозоля [6]. Разработан и изготовлен инновационный пневмогидробур (рис. 3) [7].

Пневмогидробур работает следующим образом. Ствол 1 с перфорированным наконечником 2 вручную погружали вертикально в почву, при этом подвижный упор 11 с измерительным стержнем 14 поднимался вверх и перемещался вдоль линейки 17 с герконами 18. Под действием магнитного поля

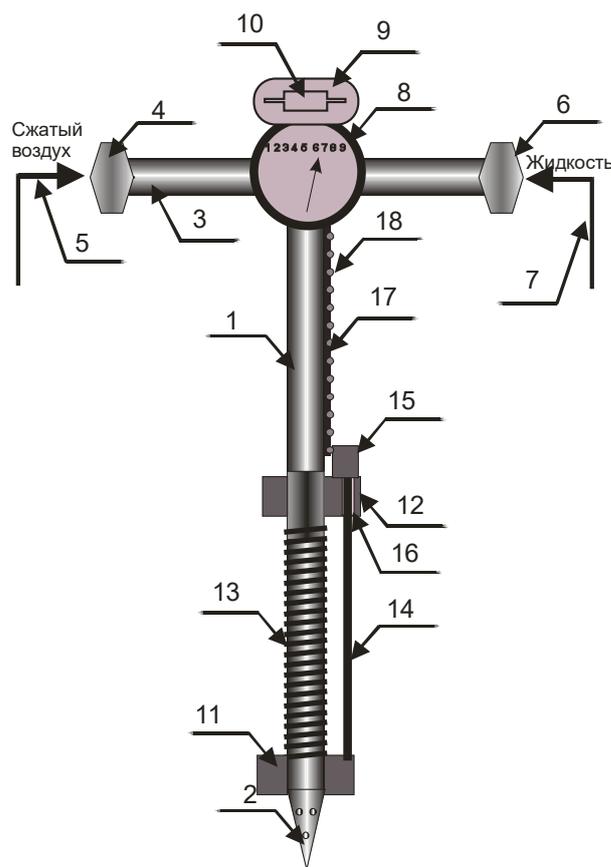


Рис. 3. Пневмогидробур:

- 1 – ствол; 2 – перфорированный наконечник;
- 3 – полая рукоять; 4 – воздушный электропневмоклапан;
- 5 – шланг сжатого воздуха; 6 – электропневмоклапан;
- 7 – шланг для жидкости; 8 – блок управления;
- 9 – пенетрометр; 10 – тензометрический датчик силы;
- 11 – подвижный упор; 12 – неподвижный упор;
- 13 – возвратная пружина; 14 – измерительный стержень;
- 15 – магнит; 16 – отверстие неподвижного упора;
- 17 – линейка; 18 – герконы

Fig. 3. Pneumatic hydrodrill:

- 1 – barrel; 2 – perforated tip; 3 – hollow handle;
- 4 – air electro-pneumatic valve; 5 – compressed air hose;
- 6 – electro-pneumatic valve; 7 – liquid hose; 8 – control unit;
- 9 – penetrometer; 10 – strain gauge force sensor;
- 11 – movable stop; 12 – fixed stop; 13 – return spring;
- 14 – measuring rod; 15 – magnet; 16 – fixed stop hole;
- 17 – ruler; 18 – reed switches

магнита 15 срабатывал геркон 18, находящийся в сфере действия магнита. Контакты геркона 18 замыкались, и электрический сигнал поступал в блок управления 8, который при достижении заданной глубины перфорированным наконечником 2 подал сигнал, и погружение прекращали. Одновременно перфорированный наконечник 2 при погружении в почву преодолевал силы пенетрации корнеобитаемых слоев почвы, деформировав упругий элемент тензометрического датчика силы 10, создающего электрический сигнал, величиной, прямо пропорциональной величине силы пенетрации почвы. В зависимости от величины электрического сигнала блок управления 8 устанавливал посредством воздушного электропневмоклапана 4 частоту и величину давления импульсов сжатого воздуха, которые по шлангу 5, стволу 1 и перфорированному наконечнику 2 поступали в почву. Затем блок управления 8 посредством электропневмоклапана жидкости 6 устанавливал величину давления растворов и по шлангу 7, стволу 1, и через перфорированный наконечник 2 осуществлялась подача растворов агрохимикатов непосредственно к корневой системе растений. По окончании обработки пневмогидробур извлекали из почвы, возвратная пружина 13 опускала подвижный упор 11 и измерительный стержень 14 в исходное положение.

Эффективность подачи импульсов сжатого воздуха и качество внутрпочвенного рыхления, формирование в почве системы каналов и пустот, обеспечивающих благоприятную для корневой системы растений водно-воздушную среду для последующей подачи растворов агрохимикатов, создающих рациональные условия питания и жизнедеятельности

агоценозов, грибов и пр., обеспечивают наконечники пневмогидробуров [3, 7].

Особенно значимо влияние на эффективность технологических процессов конструктивных параметров отверстий в наконечниках: диаметра, формы, расположения и пр. Поэтому в зависимости от видов почв, необходимого расхода и давления, целей применения пневмогидробуров используются различные конструкции наконечников (рис. 4), которые позволяют осуществить отдельную или одновременную подачу воды, воздуха, растворов агрохимикатов в требуемых пропорциях. Выбор этих параметров основан на результатах исследований (рис. 5) [9] и обусловлен требованиями ГОСТ 34276-2017¹⁴.

Применение разработанного инновационного пневмогидробура (рис. 3) является эффективным в личных и фермерских хозяйствах с небольшими объемами обработки. Более целесообразное и производительное решение размещения комплекта оборудования – в кузове мини-автомобиля.

Более рациональное и эффективное решение – роботизированный гидропневматический модуль (рис. 6), осуществляющий внутрпочвенную подкормку многолетних культур по электронной карте задания с автоматической регулировкой режимов внесения питательных веществ на глубину корнеобитаемого слоя до 60 см без непосредственного участия человека, снижающий воздействие на почву и корни растений, значительно сокращающий время обработки [8]. Элементы и технические характеристики разработанного модуля представлены в таблице.

Рациональный переход к технологическим процессам и техническим системам обработки почвы, интегрированным в природный ресурсооборот,

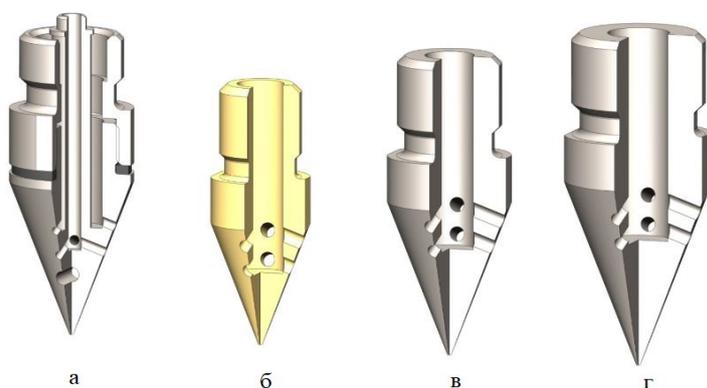


Рис. 4. Конструкции наконечников пневмогидробуров:

а – комбинированный для различных видов почв; б – для глинистых, суглинистых;
в – для песчаных, известковых; г – для болотистых

Fig. 4. Designs of pneumatic hydrodrill tips:

a – combined for different types of soils; b – for clay, loamy soils; c – for sandy, calcareous soils; d – for swampy soils

¹⁴ГОСТ 34276-2017. Грунты. Методы лабораторного определения удельного сопротивления пенетрации. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.

обеспечивает разработанное инновационное техническое решение [10], которое значительно эффективнее ранее созданных изобретений [11, 12]. В новом способе обработка, рыхление, аэрация осуществляются внутрпочвенными импульсами сжатого воздуха, посредством пневмогидробуров, вертикально погружаемых в почву на глубину, соответствующую толщине корнеобитаемого слоя. Каждый

пневмоцилиндр оснащен пенетрометром для определения силы пенетрации почвы, на основе которой автоматически устанавливаются частота и величина давления импульсов сжатого воздуха. После рыхления и аэрации в образованные почвенные поры, полости и микропустоты под давлением, устанавливаемым в зависимости от величины электрического сигнала пенетрометра, подаются растворы гидрогеля

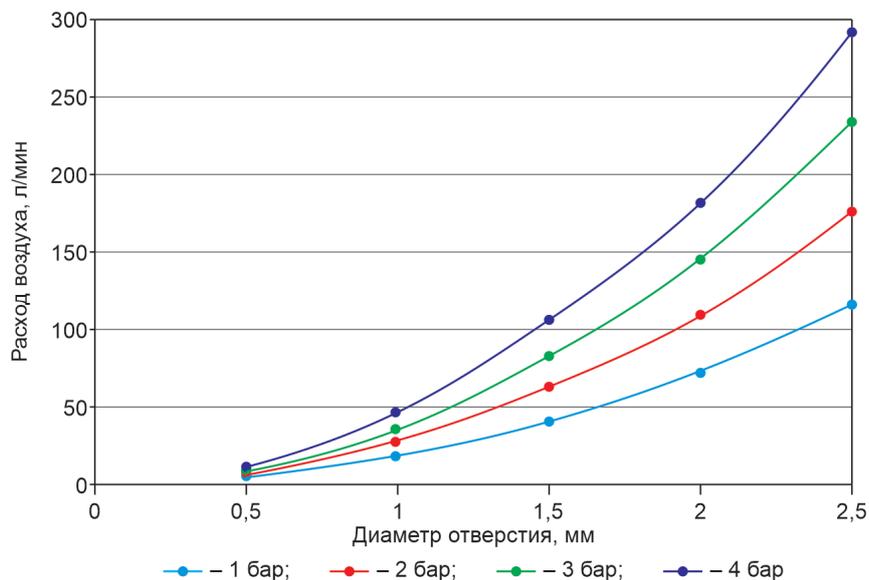


Рис. 5. Расход воздуха в зависимости от диаметра отверстий в наконечниках пневмогидробура и давления воздуха в системе¹⁵

Fig. 5. Air flow rate depending on the diameter of holes in pneumatic hydrodrill tips and air pressure in the system



Рис. 6. Общий вид роботизированного гидропневматического модуля:

1 – рама; 2 – стрела; 3 – ствол пневмогидробура; 4 – пневмоцилиндр; 5 – направляющая пневмоцилиндра; 6 – гидронасос; 7 – компрессор с ресивером; 8 – рукава для сжатого воздуха и жидкостей; 9 – баки для жидкостей

Fig. 6. General view of the robotized hydropneumatic module:

1 – frame; 2 – boom; 3 – pneumatic hydrodrill barrel; 4 – pneumatic cylinder; 5 – pneumatic cylinder guide; 6 – hydraulic pump; 7 – compressor with a receiver; 8 – hoses for compressed air and liquids; 9 – tanks for liquids

¹⁵Мишуров Н.П. и др. Инновационные технологии и технические средства для подпочвенного полива многолетних насаждений: Отчет о НИР. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 156 с.

Таблица

Основные технические параметры

Table

Main technical parameters

Показатели / Indicators	Значение / Value
Габаритные размеры (Д×Ш×В), м / Overall dimensions (L×W×H), m	2,89×2,55×2,23
Глубина погружения, мм / Immersion depth, mm	до 600
Давление рабочей жидкости при погружении, бар / Pressure of working liquid when deepening the tools, bar	до 7
Давление при внесении минеральных удобрений и раствора гидрогеля, бар Pressure when introducing mineral fertilizers and hydrogel solution, bar	4...5
Давление воздуха в системе, бар / Air pressure in the system, bar	до 10
Угол введения гидробура почву, град. / Approach angle of the pneumatic hydrodrill into the soil, deg.	От 0 до 30° с шагом 5°
Объем бака для рабочих жидкостей, л / Tank volume for working liquids, l	120
Объем бака для воды при погружении лунок, л / Volume of a water tank for immersing the holes, liters	120
Способ заглабления пневмогидробура / Method of deepening the pneumatic hydrodrill by means of a pneumatic cylinder	Посредством пневмоцилиндра

или удобрений непосредственно к корневой системе растений.

Посредством установки в пневмогидробуры соответствующих электронных датчиков можно осуществлять экспресс-анализ основных физико-механических показателей (твердость, пористость, влажность, температура и пр.) и агрохимического состава (содержание азота, фосфора, калия и пр.). За время экспозиции пневмогидробуров в почве (порядка 10-15 с) в режиме онлайн на бортовой компьютер подается сигнал, который регулирует подачу через пневмогидробуры соответствующей дозы воды, раствора агрохимикатов, а также формирует электронную карту поля с приведенной к координатам оценкой почвы.

При обработке почвы импульсами сжатого воздуха корнеобитаемые слои почвы не подвергаются механическому воздействию и не разрушаются. Создается эффективный тип устойчивого земледелия, обеспечивающий гармоничное соотношение между антропогенной нагрузкой и природным потенциалом почвы, формирование полноценного продукционного и экологического земледелия.

Библиографический список

- Новоселов С.И. Влияние фотохимического воздействия света на подвижность гумусовых веществ и свойств почвы // Агрохимия. 2021. № 12. С. 37-41. <https://doi.org/10.31857/S0002188121120097>
- Пыхтин И.Г., Гостев А.В., Нитченко Л.Б. Теоретические основы систематизации обработки почвы в агротехнологиях нового поколения // Земледелие. 2015. № 5. С. 13-15. EDN: UGTHRF
- Черногаев В.Г., Свирина В.А. Сравнительный анализ эффективности применения различных способов обработки почвы в системе ресурсосберегающих технологий земледелия // Аграрная наука. 2020. № 11-12. С. 105-107. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-343-11-105-107>

Выводы

1. Внутрипочвенная обработка импульсами сжатого воздуха посредством вертикального погружения пневмогидробуров и последующей подачи в корнеобитаемые слои почвы различных агрохимикатов способствует формированию оптимальных условий обмена веществ и энергии, водно-воздушно-тепловых режимов, бездефицитного баланса биофильных элементов, основных почвообразовательных и продукционных процессов, симбиоза растений с почвенными биотой, микроорганизмами и мезофауной и снижению процессов деградации и эрозии сельскохозяйственных угодий, что в полной мере обеспечивает комплексные, оптимально эффективные, адаптивно-интегрированные условия естественно-природного ресурсооборота.

2. Разработанный способ (Патент № 2830861 РФ) позволяет в режиме онлайн посредством пневмогидробуров за 10-15 с сканировать почвенный горизонт и осуществлять экспресс-анализ характеристик почвы, на его основе подавать в почву необходимую дозу соответствующих реагентов.

References

- Novoselov S.I. Effect of photochemical exposure light on the mobility of humus substances and soil properties. *Agrohimia*. 2021;12:37-41. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0002188121120097>
- Pykhtin I.G., Gostev A.V., Nitchenko L.B. The theoretical fundamentals for the systematization of soil cultivations in agricultural technologies of a new generation. *Zemledelie*. 2015;5:13-15. (In Russ.)
- Chernogaev V.G., Svirina V.A. Comparative analysis of the efficiency of application of different methods of tillage in the system of resource-saving agriculture technologies. *Agrarian Science*. 2020;(11-12):105-107. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-343-11-105-107>

4. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Биогеохимическая характеристика корнеобитаемого слоя травянистых растений на рекультивированных участках техногенных отходов // Вестник Пермского университета. Серия «Биология». 2022. № 2. С. 155-163. <https://doi.org/10.17072/1994-9952-2022-2-155-163>
5. Денисов К.Е., Полетаев И.С., Гераскина А.А. Влияние различных схем питания на урожайность яровой твердой пшеницы при разных способах основной обработки почвы // Аграрный научный журнал. 2022. № 5. С. 10-12. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp10-12>
6. Ялалетдинов Д.А., Рахимов И.Р., Куликова А.П. и др. Моделирование процессов рыхления почвы сжатым воздухом // Челябинский физико-математический журнал. 2024. Т. 9, № 1. С. 160-168. EDN: LVCIVQ
7. Федоренко В.Ф., Киреев И.М., Марченко В.О. Исследование методов и технических средств для измерения глубины обработки почвы при испытаниях почвообрабатывающих машин // Техника и оборудование для села. 2019. № 5. С. 12-17. EDN: QXUZCE
8. Федоренко В.Ф., Харитонов М.П., Смирнов И.Г., Аристов Э.Г. Перспективы роботизации процессов внутривиточного полива и подкормки растений // Агроинженерия. 2024. № 26 (1). С. 11-17. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-1-11-17>
9. Мишуров Н.П., Федоренко В.Ф., Аристов Э.Г. и др. Результаты исследований подпочвенного орошения многолетних эфиромасличных культур с использованием гидрогеля // Техника и оборудование для села. 2022. № 11. С. 11-15. EDN: AFYPAD
10. Способ внутривиточных обработки, рыхления, аэрации, орошения, удобрения корнеобитаемых слоев почвы: Патент RU2830861 C1; A01B79/02, A01C21/00 / В.Ф. Федоренко, А.В. Федоренко, И.В. Федоренко; № 2024102931, заявл. 06.02.2024; опубл. 26.11.2024, Бюл. № 33. EDN: ICUTRG
11. Устройство для внутривиточных обработки, аэрации, орошения, удобрения корнеобитаемых слоев почвы и способ внутривиточных обработки, аэрации, орошения, удобрения корнеобитаемых слоев почвы таким устройством: Патент RU2807342 C1 / В.Ф. Федоренко, А.В. Федоренко, И.В. Федоренко; № 2023113383; заявл. 24.05.2023; опубл. 14.11.2023. EDN: QOTGVP
12. Устройство для обработки корнеобитаемых горизонтов почв и способ обработки корнеобитаемых горизонтов почв таким устройством: Патент RU2807736 C1, МПК A01B79/02 / В.Ф. Федоренко, А.В. Федоренко, И.В. Федоренко; № 2023110458; заявл. 24.04.2023; опубл. 21.11.2023. EDN: HTNOTE
4. Artamonova V.S., Bortnikova S.B. Biogeochemical characteristics of the root layer of herbaceous plants in recultivated areas of man-made. *Bulletin of Perm University. Biology*. 2022;2:155-163. (In Russ.) <https://doi.org/10.17072/1994-9952-2022-2-155-163>
5. Denisov K.E., Poletaev I.S., Geraskina A.A. The influence of different nutrition schemes on the yield of spring durum wheat with different methods of basic tillage. *The Agrarian Scientific Journal*. 2022;5:10-12. (In Russ.)
6. Yalaletdinov D.A., Rahimov I.R., Kulikova A.P. Simulation of soil loosening processes with compressed air. *CheLyabinsk Physical and Mathematical Journal*. 2024;9(1):160-168. (In Russ.)
7. Fedorenko V.F., Kireev I.M., Marchenko V.O. Research of methods and technical means for measuring the tillage depth when testing tillage machines. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2019;5:12-17. (In Russ.)
8. Fedorenko V.F., Kharitonov M.P., Smirnov I.G., Aristov E.G. Robotization prospects for subsurface irrigation and fertilization of plants. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(1):11-17. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-1-11-17>
9. Mishurov N.P., Fedorenko V.F., Aristov E.G. et al. Results of studies of subsoil irrigation of perennial essential oil crops using hydrogel. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2022;11:11-15. (In Russ.)
10. Fedorenko V.F., Fedorenko A.V., Fedorenko I.V. Method of intrasoil treatment, tillage, aeration, irrigation, fertilization of root layers of soil: patent RU2830861 C1; A01B79/02, A01C21/00, 2024. (In Russ.)
11. Fedorenko V.F., Fedorenko A.V., Fedorenko I.V. Device for subsoil cultivation, aeration, irrigation, fertilization of root-inhabited soil layers and method for subsoil cultivation, aeration, irrigation, fertilization of root-inhabited soil layers using device: patent RU2807342 C1, 2023. (In Russ.)
12. Fedorenko V.F., Fedorenko A.V., Fedorenko I.V. Device for treating root-inhabited soil horizons and method for treating root-inhabited soil horizons with such device: patent RU2807736 C1, IPC A01B79/02, 2023. (In Russ.)

Информация об авторе

Федоренко Вячеслав Филиппович, д-р техн. наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; SPIN-код: 5363-1873, AuthorID: 672972; fedorenko@rosinformagrotech.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6398-4463>

Статья поступила 15.08.2024, после рецензирования и доработки 09.12.2024; принята к публикации 17.12.2024

Author Information

Vyacheslav F. Fedorenko, DSc (Eng), Professor, Full Member of the Russian Academy of Sciences; Chief Research Engineer, Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 1st Institutsky Proezd Str., 5, Moscow, 109428; Russia, fedorenko@rosinformagrotech.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6398-4463>

Received 15.08.2024; Revised 09.12.2024; Accepted 17.12.2024