

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.816.34:626.844:004.896

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-1-11-17>

## Перспективы роботизации процессов внутрипочвенного полива и подкормки растений

*В.Ф. Федоренко<sup>1</sup>, М.П. Харитонов<sup>2✉</sup>, И.Г. Смирнов<sup>3</sup>, Э.Г. Аристов<sup>4</sup>*

<sup>1,2,3,4</sup> Федеральний научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия

<sup>1</sup> [vim@vim.ru](mailto:vim@vim.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6398-4463>

<sup>2</sup> [kharitonov.maksim@bk.ru](mailto:kharitonov.maksim@bk.ru); <https://orcid.org/0009-0008-6286-2374>

<sup>3</sup> [rashn-smirnov@yandex.ru](mailto:rashn-smirnov@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9992-1261>

<sup>4</sup> [mgp1947@mail.ru](mailto:mgp1947@mail.ru)

**Аннотация.** При внутрипочвенном поливе и внесении удобрений ручные и механизированные гидробуры характеризуются большими трудозатратами и невысоким качеством выполнения технологических операций. Оптимизация и совершенствование процессов внутрипочвенного полива и подкормки растений с использованием роботизированных технологий позволят обеспечить более эффективное и точное воздействие на корневую систему растений. С целью поиска перспектив и возможностей роботизации процессов внутрипочвенного полива и подкормки растений авторами проведён анализ текущих тенденций и предпосылок роботизации процесса внутрипочвенного полива. На основании научных статей, патентов и технических отчётов исследованы технические аспекты и предложена принципиальная схема автоматизированного модуля роботизированной платформы для внутрипочвенного полива и подкормки растений. Установленный на роботизированной платформе гидробур оборудован средствами технического зрения для картографирования и автономного ориентирования в саду, а также пневмоцилиндром, что позволяет использовать его на тяжёлых почвах, осуществлять заглабление с помощью воздуха. Роботизированное устройство может в течение продолжительного времени по заданному алгоритму точно и аккуратно вносить воду и удобрения. Его применение позволяет снизить трудозатраты и повысить качество внутрипочвенного полива и подкормки. Применение роботизированных гидробуров расширяет возможности подпочвенного очагового воздействия на корневую систему растений, способствует улучшению климата почвы, формированию архитектуры корневой системы.

**Ключевые слова:** внутрипочвенный полив и подкормка растений, гидробур, роботизация внутрипочвенного полива и подкормки растений, роботизированный гидробур, автоматизированный модуль, качество внутрипочвенного полива и подкормки

**Для цитирования:** Федоренко В.Ф., Харитонов М.П., Смирнов И.Г., Аристов Э.Г. Перспективы роботизации процессов внутрипочвенного полива и подкормки растений // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 1. С. 11-17. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-1-11-17>

ORIGINAL PAPER

## Robotization prospects for subsurface irrigation and fertilization of plants

*V.F. Fedorenko<sup>1</sup>, M.P. Kharitonov<sup>2</sup>, I.G. Smirnov<sup>3</sup>, E.G. Aristov<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3,4</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia

<sup>1</sup> [vim@vim.ru](mailto:vim@vim.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6398-4463>

<sup>2</sup> [kharitonov.maksim@bk.ru](mailto:kharitonov.maksim@bk.ru); <https://orcid.org/0009-0008-6286-2374>

<sup>3</sup> [rashn-smirnov@yandex.ru](mailto:rashn-smirnov@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9992-1261>

<sup>4</sup> [mgp1947@mail.ru](mailto:mgp1947@mail.ru)

**Abstract.** In subsurface irrigation and fertilization, manual and mechanized hydraulic drills have the disadvantages of high labor costs and low quality of technological operations. The optimization and improvement of subsurface irrigation and fertilization using robotic technologies will provide more effective and precise impact on the root system of plants. To search for prospects and possibilities for robotizing the processes of subsurface irrigation and fertilization, the authors analyzed current trends and prerequisites for robotizing the process of subsurface irrigation. Based on scientific articles, patents, and technical reports, the authors investigated technical aspects and proposed a schematic

diagram of an automated module of a robotic platform for subsurface irrigation and fertilization. Mounted on a robotic platform, the hydraulic drill is equipped with technical vision equipment for mapping and autonomous navigation in the garden, as well as a pneumatic cylinder to use the drill on heavy soils and deepen it with the use of air when necessary. The robotic device can strictly perform the given algorithm for a long time, applying water and fertilizers in a precise and accurate way. Its use can reduce labor costs and improve the quality of subsurface irrigation and fertilization. The use of robotic hydraulic drills expands the possibilities of subsurface local influence on the root system of plants, improves the soil climate, forms the architecture of the root system.

**Key words:** subsurface irrigation and fertilization of plants, hydraulic drill, robotization of subsurface irrigation and fertilization of plants, robotic hydraulic drill, automated module, quality of subsurface irrigation and fertilization

**For citation:** 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. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-1-11-17>

## Введение

Внутрипочвенный полив и подкормка растений обеспечивают оптимальные условия для роста и развития культурных растений. Однако существующие методы внутрипочвенного воздействия, основанные на ручных и механизированных гидробурах, характеризуются высокими физическими нагрузками на операторов, ограниченной точностью позиционирования рабочих органов и трудностями в формировании подходов индивидуального ухода за растениями.

Поиск путей оптимизации и совершенствования процессов внутрипочвенного полива и подкормки растений с использованием роботизированных технологий позволит обеспечить более эффективное и точное воздействие на корневую систему растений.

**Цель исследований:** анализ перспектив и возможностей роботизации процессов внутрипочвенного полива и подкормки растений.

## Материалы и методы

Материалами исследования послужили данные научных статей, патентов и технических отчетов, касающихся устройств для внутрипочвенного полива и внесения удобрений. Выявлялись текущие тенденции и предпосылки для роботизации внутрипочвенных процессов в сельском хозяйстве.

## Результаты и их обсуждение

Анализ существующих технологий внутрипочвенного полива и подкормки растений является комплексной задачей, обширность типов устройств обусловлена многообразием задач для разных отраслей. В данных исследованиях авторы сосредоточились на технологиях, использующих устройства с механическим заглублением типа гидробур, расширяющих спектр технологических операций воздействия на корневую систему растений.

Известна технология внутрипочвенного внесения сжатого воздуха в почву одновременно с водой [1],

которая активизирует процесс аэрации, улучшает структуру почвы, способствует открытию имеющихся и созданию в почве новых каналов поступления влаги и кислорода [2].

Для малых фермерских хозяйств или дачных участков, не требующих большого объема удобрений и полива, эффективным является ручной гидробур [3], выполненный в виде сварной трубчатой конструкции [4], подсоединенный через шланги к насосной станции [5], работающей от вала отбора мощности трактора [6]. Он отличается низкой стоимостью, простотой исполнения, гибкостью и меньшим риском повреждения корней растений [7].

Ещё одним представителем данной технологии является автономное переносное устройство, предназначенное для внутрипочвенного внесения удобрений, воды и пестицидов, имеющее характерную конструктивную особенность – бак с рабочей жидкостью ранцевого типа. Подача рабочей жидкости может выполняться ручным поршневым насосом [8] или с помощью погружного насоса, работающего от аккумуляторной батареи<sup>1</sup>. Процесс заглубления осуществляется путём применения мускульной силы – надавливания на рукоятки или на ножные упоры. Данное устройство представляет собой ресурсосберегающую и компактную систему, позволяющую операторам вносить удобрение, воду и пестициды в корнеобитаемый слой почвы на глубину 250...400 мм и расходовать до 300 мл на один прокол. Главным недостатком такого устройства является необходимость ношения бака массой более 20 кг, что значительно ухудшает условия труда, а также сокращает подвижность оператора и ограничивает глубину прокола.

<sup>1</sup> ARBORJET | ECOLOGEL ACCUFLO SOIL INJECTOR ISD. [Электронный ресурс]. URL: <https://sportsfieldmanagementonline.com/2021/04/20/arborjet-ecologel-accuflo-soil-injector-isd/12602/> (дата обращения: 02.09.2023).

Общими недостатками ручных гидробуров и аналогичных устройств являются большие трудозатраты, утомляемость, которую испытывает при этом работник, а следовательно, некачественное выполнение операций: непогружение гидробура на требуемую глубину, недостаточное внесение жидкости или удобрений, повреждение корней растений и т.д.

Наиболее компактным решением проблемы утомляемости, которую приходится испытывать человеку, являются самоходные [9] и ручные тележки [10] с механизированным заглублением рабочих органов в почву. Данный класс устройств конструктивно отличается наличием, как правило, трехколёсного шасси с задним управляемым колесом, в центральной части располагаются основные силовые агрегаты и баки с рабочей жидкостью, фронтальная часть состоит из линейно расположенных буров, которые одновременно или поочередно заглубляются в почву, в задней части располагается оператор.

Недостатками таких устройств являются низкая проходимость ввиду малого агропросвета, ограниченный объём баков с рабочей жидкостью, а для ручных тележек – необходимость перемещения устройства по обрабатываемому участку, что может являться физически трудоёмким процессом. Данные недостатки являются серьёзным ограничением для применения таких устройств в крупных хозяйствах.

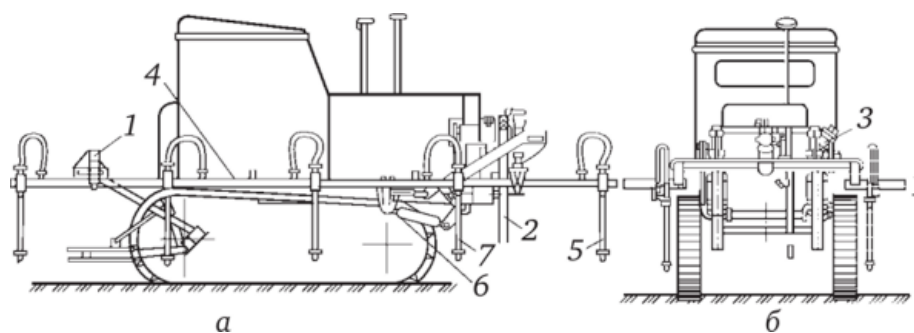
Для крупных ферм полностью механизированные или автоматизированные системы внутрипочвенного внесения удобрений и полива более эффективны и экономически выгодны. С целью механизации процессов очагового внутрипочвенного внесения удобрений разрабатывались устройства, устанавливаемые

на тракторы [11] и на грузовые автомобили [12], представляющие собой рамочную конструкцию [13], на продольных штангах которой располагались гидробуры [14]. Принцип их работы рассмотрим на примере механизированного агрегата АПВ-10-2 (рис. 1), предназначенного для образования лунок при посадке виноградных саженцев или черенков на участках с подготовленным плантажом<sup>2</sup>. Агрегат монтируют на тракторах ДТ-5Ц, ДТ-75 и Т-38.

Технологическая операция включает в себя последовательность таких этапов:

1. Установка машины вдоль первого междурядья на размеченном участке.
2. Совмещение буров с отметками мест посадки (кольшками).
3. Включение гидрораспределителя трактора, опускание переднего и заднего поперечных брусьев, открытие трехходового крана и подача воды к гидробурам в момент касания наконечников почвы.
4. Опускание гидробуров в почву и бурение лунок на определённую глубину с помощью размыва – гидробурения.
5. Подъём переднего и заднего брусьев с помощью гидроцилиндров, автоматическое перекрытие подачи воды трехходовым краном и переезд агрегата по междурядью на следующую позицию.

Преимуществом использования агрегата АПВ-10-2 является исключение тяжёлого труда бурильщика, повышение производительности и точности при посадке саженцев винограда. Однако использование агрегата АПВ-10-2 требует определённых навыков и квалификации тракториста, а также тщательной подготовки почвы для посадки саженцев.



**Рис. 1. Схема гидробурового агрегата АПВ-10-2:**

а – вид сбоку; б – вид с торца

- (1 – передние и задние брусья; 2 – направляющие; 3 – насос; 4 – водораспределительные трубы; 5 – гидробур; 6 – механизм подъёма и погружения гидробура; 7 – выносной гидроцилиндр)

**Fig. 1. Diagram of the APV-10-2 hydraulic drilling unit:**

a – side view; b – end view

- (1 – front and rear bars; 2 – guides; 3 – pump; 4 – water distribution pipes; 5 – hydraulic drill; 6 – mechanism for lifting and immersing the hydraulic drill; 7 – remote hydraulic cylinder)

<sup>2</sup> Зармаев А.А. Виноградарство с основами технологии первичной переработки винограда: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2020. 683 с. URL: <https://urait.ru/bcode/446685> (дата обращения: 02.09.2023).

Главный его недостаток – позиционность работы. На площади каждого гектара приходится делать 250...300 остановок, что утомляет тракториста и ускоряет износ механизмов управления трактором. Кроме того, по причине неровностей рельефа заглабление буров в почву является неравномерным, что отрицательно сказывается на приживаемости саженцев.

Проблему позиционной работы можно решить с помощью устройства с ротационным типом рабочего органа [15]. При движении трактора колесо, присоединённое к напорной системе подачи воды, вращаясь, последовательно погружает в почву удерживаемые в вертикальном положении гидробуры (рис. 2). При этом их клапаны открываются, и жидкость поступает в почву [16]. Но такое устройство является неспособным быстро и без трудозатрат обеспечить универсальность машины к различным типам посадок, так как шаг между лунками зависит от диаметра колеса, на котором установлены гидробуры. Широкого применения такие машины не нашли, поэтому предлагается исключить человека из данной технологической операции, применив роботизированные технологии.

Роботизированный гидробур можно настроить на внутрипочвенный полив и подкормку определённых культурных растений на больших площадях и в любое время суток. Без применения трудовых ресурсов он может точно и аккуратно внести воду и удобрения, снизить воздействие на почву и корни растений, при этом сократив время выполнения операции и увеличив производительность.

Применение в сельском хозяйстве роботизированных гидробуров и методов внутрипочвенного полива и подкормки может привести к снижению трудозатрат, повышению качества урожая и экологической устойчивости.

Общая технология гидробурения скважин для посадки или подкормки и полива остается такой же: размыв поверхности почвы и заглабление остроконечной трубки. Однако процесс заглабления может выполняться с помощью пневмоцилиндра с автоматизированным управлением.

Роботизированный гидробур, оснащённый пневмоцилиндром, способен развивать большее усилие, чем человек, что открывает возможность использования гидробура не только на тяжёлых почвах, но и при осуществлении заглабления без использования жидкости с экономией при этом важного ресурса, повышая тем самым экономическую эффективность технологии. Роботизированное устройство строго выполняет заданный алгоритм и обеспечивает качественное выполнение технологической операции в течение всего рабочего времени.

Для перемещения между поливаемыми растениями гидробур предлагается устанавливать на роботизированной платформе, оборудованной средствами технического зрения для картографирования и автономного ориентирования в саду (рис. 3).

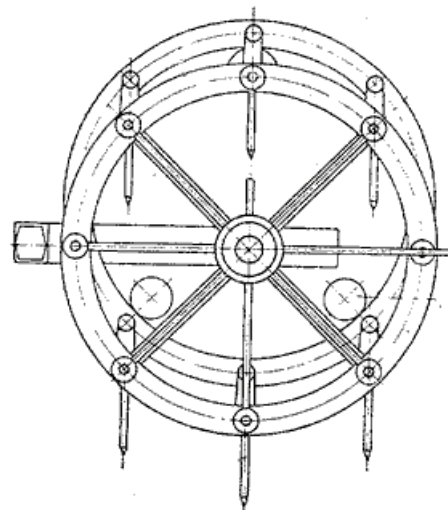


Рис. 2. Рабочий орган машины для инъекционного подпочвенного орошения

Fig. 2. Working tool of the machine for injection-type subsurface irrigation

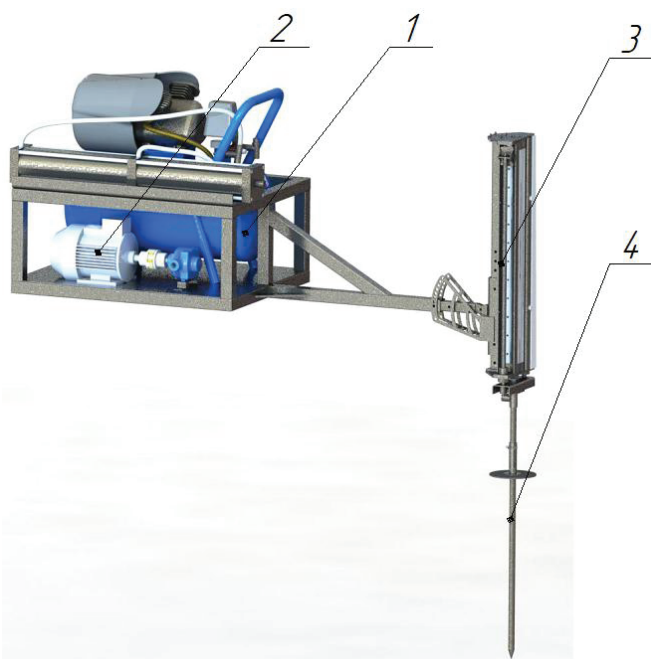


Рис. 3. Общий вид роботизированного модуля – пневмогидробур:

- 1 – компрессор; 2 – электродвигатель и насос;
- 3 – стрела с пневмоцилиндром и линейными направляющими;
- 4 – остроконечная трубка

Fig. 3. General view of the robotic module – pneumatic hydraulic drill:

- 1 – compressor; 2 – electric motor and pump;
- 3 – boom with pneumatic cylinder and linear guides;
- 4 – pointed tube

*Принцип действия устройства.* При включении компрессора 1 воздух под давлением из ресивера, посредством пневматических рукавов поступает в одну из рабочих полостей пневмоцилиндра 3, что приводит к заглублению остроконечной трубы гидробура. После заглубления включается гидравлический насос 2 пневмогидробура, посредством рукавов высокого давления рабочая жидкость поступает в остроконечную трубу 4, и далее – в почву. Происходит процесс прикорневого полива или подкормки. После окончания полива (подкормки) электродвигатель 2 прекращает работу, включается компрессор 1, воздух под давлением поступает

в другую область пневмоцилиндра 3, при этом происходит извлечение остроконечной трубы 4 из почвы. Управление включения и отключения компрессора, а также включения и отключения электродвигателя насоса осуществляется электронным блоком управления посредством датчиков, установленных в разрыве гидравлических и пневматических рукавов.

Для оценки эффективности роботизации процесса внутрпочвенного полива и подкормки сравним технические характеристики ручных гидробуров, механизированных агрегатов и автоматизированного модуля (табл.).

## Сравнение гидробуров

Таблица

## Comparison of hydraulic drills

Table

Техническая характеристика <i>Technical characteristics</i>	Гидробур / Hydraulic drill		
	Ручной ГБ-35-28 <i>Manual GB-35-28</i>	Механический АПВ-10-2 <i>Mechanical APB-10-2</i>	Роботизированный <i>Robotic</i>
Производительность за 1 ч чистой работы, га <i>Productivity for 1 hour of net operation, ha</i>	0,40	0,46	0,25
Радиус поворота агрегата, м <i>Turning radius of the unit, m</i>	3,5...4,5	5,5	5,0
Количество рядков при посадке <i>Number of rows in planting</i>	2...6	2	1
Ширина междурядий, м <i>Row spacing width, m</i>	1,75...2,50	1,80...2,50	2,25...3,00
Гидробуров в агрегате <i>Number of hydraulic drills in the unit</i>	2...6	6...10	1
Тип / Type	С запорным клапаном <i>With a shut-off valve</i>	С упорной шайбой <i>With a stop washer</i>	Электромагнитный клапан с автоматизированным управлением <i>Solenoid valve with automated control</i>
Глубина лунки, см / Depth of the hole, cm	40...60	40...60	30...60
Диаметр лунки, см / Well diameter, cm	3,7...4,0	3,7...4,0	3,7...4,0
Давление воды в системе, кг/см <sup>2</sup> <i>Water pressure in the system, kg/cm<sup>2</sup></i>	3,5	3,0...4,0	4,1
Расход воды в одну лунку, л <i>Water flow rate per hole, litre</i>	2,5...3,0	2,5...4,0	2...3
Способ заглубления <i>Method of digging</i>	Мускульная сила <i>Muscular force</i>	Гидроцилиндром <i>Hydraulic cylinder</i>	Пневмоцилиндром <i>Pneumatic cylinder</i>
Количество операторов <i>Number of operators</i>	3...7	1	0...1
Выполняемые операции <i>Operations performed</i>	Полив, подкормка, бурение посадочных лунок <i>Irrigation, fertilization, planting hole drilling</i>	Полив, подкормка, бурение посадочных лунок <i>Irrigation, fertilization, planting hole drilling</i>	Полив, подкормка, бурение посадочных лунок, внесение воздуха <i>Irrigation, fertilization, planting hole drilling, air application</i>

Поскольку разрабатываемый модуль способен выполнять различные операции, в том числе создание посадочных лунок, то сравним значения производительности модуля с ручным гидробуром ГБ 35-28 и агрегатом АПВ-10-2 по операции бурения посадочных лунок.

Сравнение технических характеристик роботизированного гидробура с ручным и агрегатом АПВ-10-2 позволило выявить меньшую производительность роботизированного гидробура (0,25 га/ч) в сравнении с механизированным (0,46 га/ч) и ручным устройствами (0,4 га/ч). Но следует учитывать, что модуль представляет собой опытный образец с одним рабочим органом. В рамках производственного решения возможно увеличение числа буров до двух или четырёх, что увеличит производительность и сделает этот модуль конкурентоспособным по данному показателю.

В отличие от ручных и механических гидробуров роботизированный гидробур оснащён компрессором для управления пневмоцилиндром. Сжатый воздух можно также использовать для впрыскивания в почву и создания системы каналов, способствующих более эффективному распространению рабочей жидкости. Пневмоцилиндр обеспечивает высокую скорость выдвигания штока и необходимое для заглубления усилие. Это позволяет быстрее заглубляться

при небольшом объёме рабочей жидкости, требуемой на размыв. Для роботизированного гидробура достаточно одного оператора для наблюдения и дистанционного управления, однако он может управляться и автономно. Это существенно снижает трудозатраты по сравнению с ручным и механическим гидробурами и улучшает условия труда.

### Выводы

1. Гидробуры расширяют возможность подпочвенного очагового воздействия на корневую систему растений, улучшения климата почвы, формирования архитектуры корневой системы и т.д.

2. Ручной гидробур требует значительных физических усилий, что негативно сказывается на условиях труда, качестве выполнения операций и производительности. Механизированные устройства внутрипочвенного инъецирования менее универсальны ввиду сложности конструкции и неблагоприятных условий труда.

3. Разработанный роботизированный гидробур, оснащённый компрессором для впрыскивания сжатого воздуха в почву, способен качественно выполнять полив и подкормку растений. Дооборудование автоматизированного модуля рабочими органами повысит общую производительность.

### Список литературы

1. Селиванов В.Г., Аристов Э.Г., Краховецкий Н.Н. Технология и технические средства для реализации инновационного метода посадки и полива виноградников и плодово-ягодных культур // Материалы XI Международной научно-практической интернет-конференции «Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК» (п. Правдинский, 5-7 июня 2019 г.). Правдинский: Росинформагротех, 2019. С. 199-206. EDN: WMCKGT
2. Федоренко В.Ф., Селиванов В.Г., Аристов Э.Г., Краховецкий Н.Н. Исследование инновационной технологии подпочвенного орошения при возделывании плодово-ягодных культур и виноградников // Техника и оборудование для села. 2019. № 12 (270). С. 17-22. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-12-17-22>
3. Пневмогидробур: Патент RU2740805 C2, МПК А01С23/02, А01С23/00, А01G 29/00 / В.Ф. Федоренко, Э.Г. Аристов, Н.Н. Краховецкий, В.Г. Селиванов; заявл. 04.04.2019; опубл. 21.01.2021. EDN: NJRREB
4. Пневмогидробур с защитным устройством: Патент RU2802309 C1, МПК А01С23/02, А01С5/04, А01G 29/00 / Э.Г. Аристов, Р.А. Филиппов, В.Ф. Федоренко, И.Г. Смирнов, Д.О. Хорт, М.П. Харитонов; заявл. 15.02.2023; опубл. 24.08.2023. EDN: SKUCLL
5. Ручное орудие для посадки черенков винограда: а.с. SU357903 А1, МПК А01С5/02, А01С11/04 / Б.И. Корсунский; заявл. 22.04.1971; опубл. 03.11.1972. EDN: KDALXV
6. Гидробур: а.с. SU1540696 А1, МПК А01С23/02 / В.А. Гужун; заявл. 23.11.1987; опубл. 07.02.1990. EDN: OVEIPS
7. Гидробур: а.с. SU1407430 А1, МПК А01С23/02 / В.Ф. Косенко, С.К. Чобану; заявл. 14.07.1986; опубл. 23.05.1988. EDN: NHVZBE

### References

1. Selivanov V.G., Aristov E.G., Krakhovetsy N.N. Technology and technical means for implementing an innovative method of planting and irrigating vineyards and fruit-berry crops. Scientific and Information Support for Innovative Development of the Agricultural Complex: *Proceedings of the XI International Scientific and Practical Internet Conference, Pravdinsky*, June 05-07, 2019. Pravdinsky: Russian Scientific Research Institute for Information and Techno-Economic Research in Engineering and Technical Support for the Agro-Industrial Sector, 2019:199-206. (In Rus.)
2. Fedorenko V.F., Selivanov V.G., Aristov E.G., Krakhovetsy N.N. Research of innovative technology of subsoil irrigation in the cultivation of fruit crops and vineyards. *Equipment and Machinery for Rural Area*. 2019;12:17-22. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-12-17-22> (In Rus.)
3. Fedorenko V.F., Aristov E.G., Krakhovetsy N.N., Selivanov V.G. Pneumatic Hydrodrill: Patent No. 2740805 C2 Russian Federation, IPC A01C23/02(2006.01), A01C23/00(2006.01), A01G 29/00(2006.01). 2021. (In Rus.)
4. Aristov E.G., Filippov R.A., Fedorenko V.F., Smirnov I.G., Khort D.O., Kharitonov M.P. Pneumatic Hydrodrill with Protective Device: Patent No. 2802309 C1 Russian Federation, IPC A01C23/02(2006.01), A01C5/04 (2006.01), A01G 29/00(2006.01). 2023. (In Rus.)
5. Korsunskiy B.I. Hand Tool for Planting Grape Cuttings: Patent № 357903 A1 Soviet Union, IPC A01C5/02(1995.01), A01C11/04(1995.01). 1972. (In Rus.)
6. Guzun V.A. Hydrodrill: Patent No 1540696 A1 Soviet Union, IPC A01C23/02 (2006.01). 1990. (In Rus.)
7. Kosenko V.F., Chobanu S.K. Hydrodrill: Patent No.1407430 A1 Soviet Union, IPC A01C23/02 (1985.01). 1988. (In Rus.)
8. Mussett H.L., Hanggi G.J. Soil injection apparatus: Patent № US3148643A United States of America,

8. Mussett H.L., Hanggi G.J. Soil injection apparatus: Patent № US3148643A United States of America, IPC A01C23/026 (1961.11). 1964. URL: <https://patents.google.com/patent/US3148643A/en?q=US3148643A+>
9. De Lany T., Andros M.J., Stapp G.J., Klippenstein T. Soil injection system and method: Patent № US10098276B2 United States of America, US15/425 (2017.02). 2018. <https://patents.google.com/patent/US10098276B2/en?q=US10098276B2+>
10. Collins W.C. Injector for soil treating liquids: Patent № US4034686A United States of America, US05/634 (1975.11). 1977. URL: <https://patents.google.com/patent/US4034686A/en?q=US4034686A+>
11. Устройство для внесения жидких веществ в почву: а.с. SU360021 A1, МПК А01С23/02 / С.А. Доброхотов, А.Я. Каинсон, В.Н. Пигур, Н.Е. Сорокин, А.А. Сосинов; заявл. 29.12.1969; опубл. 28.11.1972. EDN: MYQGTO
12. Barton J.R. Apparatus for injecting materials into the earth: Patent № US2789522A United States of America, AO1C23/02 (1952.11). 1957. URL: <https://patents.google.com/patent/US2789522A/en?q=US2789522A+>
13. Агрегат для внесения жидкостей в почву: а.с. SU927164 A1, МПК А01С23/02 / А.Я. Каинсон, Н.Е. Сорокин, В.П. Курстарев, Ю.С. Разыграев; заявл. 21.10.1977; опубл. 15.05.1982. EDN: JCJNUX
14. Устройство для внесения жидких удобрений в почву: а.с. SU982569 A1, МПК А01С23/02 / В.А. Бондарев, М.П. Ефименко; заявл. 21.08.1981; опубл. 23.12.1982. EDN: ЕКСРКІ
15. Peterson M.L. Chemical applicator: Patent № US3602166A United States of America, AO1C23/02 (1969.06). 1971. URL: <https://patents.google.com/patent/US3602166A/en?q=US10098276B2+>
16. Рабочий орган машины для инъекционного подпочвенного орошения: а.с. SU198819 A1, A01G 29/00 / Т.Я. Гуделас; заявл. 17.01.1966; опубл. 28.06.1967. EDN: RPEFIE
- IPC A01C23/026 (1961.11). 1964. <https://patents.google.com/patent/US3148643A/en?q=US3148643A+>
9. De Lany T., Andros M.J., Stapp G.J., Klippenstein T. Soil injection system and method: Patent № US10098276B2 United States of America, US15/425 (2017.02). 2018. <https://patents.google.com/patent/US10098276B2/en?q=US10098276B2+>
10. Collins W.C. Injector for soil treating liquids: Patent № US4034686A United States of America, US05/634 (1975.11). 1977. <https://patents.google.com/patent/US4034686A/en?q=US4034686A+>
11. Dobrokhotov S.A., Kainson A.Ya., Pigur V.N., Sorokin N.E., Sosinov A.A. Device for Introducing Liquids into the Soil: Patent No.360021 A1 Soviet Union, IPC A01C23/02 (1985.01). 1972. (In Rus.)
12. Barton J.R. Apparatus for injecting materials into the earth: Patent № US2789522A United States of America, AO1C23/02 (1952.11). 1957. <https://patents.google.com/patent/US2789522A/en?q=US2789522A+>
13. Kainson A.Ya. Implement for introducing liquids into the soil: Patent No. 927164 A1 Soviet Union, IPC A01C23/02 (2006.01). 1982. (In Rus.)
14. Bondarev V.A. Device for introducing liquid fertilizers into the soil: Patent No.982569 A1 Soviet Union, IPC A01C23/02 (2006.01). 1982. (In Rus.)
15. Peterson M.L. Chemical applicator: Patent № US3602166A United States of America, AO1C23/02 (1969.06). 1971. <https://patents.google.com/patent/US3602166A/en?q=US10098276B2+>
16. Gudelas T.Ya. Working tool of a subsurface irrigation machine: Patent No.198819 A1 Soviet Union, A01G 29/00(1995.01). 1967. (In Rus.)

### Информация об авторах

**Вячеслав Филиппович Федоренко**<sup>1</sup>, академик РАН, д-р техн. наук, главный научный сотрудник; [vim@vim.ru](mailto:vim@vim.ru), [f@maro.pro](mailto:f@maro.pro); <https://orcid.org/0000-0001-6398-4463>

**Максим Петрович Харитонов**<sup>2</sup>, аспирант, специалист; [kharitonov.maksim@bk.ru](mailto:kharitonov.maksim@bk.ru); <https://orcid.org/0009-0008-6286-2374>

**Игорь Геннадьевич Смирнов**<sup>3</sup>, д-р техн. наук, заведующий отдела; [rashn-smirnov@yandex.ru](mailto:rashn-smirnov@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9992-1261>

**Эдуард Георгиевич Аристов**<sup>4</sup>, канд. физ. – мат. наук, научный сотрудник; [mgp1947@mail.ru](mailto:mgp1947@mail.ru)

<sup>1,2,3,4</sup> Федеральний научний агроінженерний центр ВІМ; 109428, Російська Федерація, г. Москва, 1-й Інститутський проєзд, 5

### Вклад авторов

В.Ф. Федоренко – концептуализация, методология  
 М.П. Харитонов – информационные ресурсы и аналитика, создание окончательной версии рукописи и ее редактирование  
 И.Г. Смирнов – информационные ресурсы и аналитика, визуализация  
 Э.Г. Аристов – актуальность проблемы, визуализация, создание черновика рукописи

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 09.10.2023, после рецензирования и доработки 11.01.2024; принята к публикации 11.01.2024

### Author Information

**Vyacheslav F. Fedorenko**<sup>1</sup>, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Chief Researcher; [vim@vim.ru](mailto:vim@vim.ru), [f@maro.pro](mailto:f@maro.pro); <https://orcid.org/0000-0001-6398-4463>

**Maksim P. Kharitonov**<sup>2</sup>, postgraduate student, specialist; [kharitonov.maksim@bk.ru](mailto:kharitonov.maksim@bk.ru); <https://orcid.org/0009-0008-6286-2374>

**Igor G. Smirnov**<sup>3</sup>, DSc (Eng), Head of Department; [rashn-smirnov@yandex.ru](mailto:rashn-smirnov@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9992-1261>

**Eduard G. Aristov**<sup>4</sup>, PhD (Phys-Math), Research Engineer; [mgp1947@mail.ru](mailto:mgp1947@mail.ru)

<sup>1,2,3,4</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 5<sup>1</sup>st Institutsky Proezd Str., Moscow, 109428, Russian Federation

### Author Contribution

V.F. Fedorenko – conceptualization, methodology  
 M.P. Kharitonov – information resources and analytics, creation of the final version of the manuscript and its editing;  
 I.G. Smirnov – information resources and analytics, visualization;  
 E.G. Aristov – relevance of the problem, visualization, original draft preparation

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 09.10.2023; revised 11.01.2024; accepted 11.01.2024