

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.51

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-13-18>

Интенсивность воздействия газоструйного излучателя на поверхностный слой суглинистой почвы: результаты исследований

С.И. Старовойтов^{1✉}, Н.П. Старовойтова²^{1,2}Брянский государственный аграрный университет; г. Брянск, Россия¹Starovoitov.si@mail.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0003-4429-7929>²Starovoitova.np@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-8416-3493>

Аннотация. Разработка технологии поверхностного рыхления почвы сжатым воздухом за счет ультразвукового воздействия является актуальной задачей, поскольку это позволяет проводить объемное рыхление поверхностного слоя почвы без механического воздействия. Исследования проведены с целью определения степени интенсивности воздействия струи сжатого воздуха в режиме ультразвуковых колебаний на поверхностный слой суглинистой почвы. Для экспериментальных исследований изготовлен газоструйный излучатель, ось выходного отверстия которого перпендикулярна оси набегающего и отраженного потока. Газоструйный излучатель имеет следующие геометрические характеристики: диаметр входного отверстия сопла – 5,7 мм; диаметр критического отверстия сопла – 2,9 мм; расстояние между сечением входного и критического отверстия сопла – 5,9 мм; диаметр выходного отверстия сопла – 3,42 мм; расстояние между сечением критического и выходного отверстия – 2,4 мм; расстояние между соплом и резонатором – 3,75 мм; диаметр и глубина колодца резонатора – 3 мм; внутренний диаметр рабочей камеры – 12 мм; диаметр выпускного отверстия – 5 мм. Реакция среды на сброс давления ресивера в интервале 0,2...0,5 МПа оценивалась глубиной проникновения воздушной струи, возможностью выкрашивания поверхности, разрушения образца, наличия широких трещин. Исследовались почвенные образцы диаметром 0,1 и высотой 0,05 м. В результате исследований установлено, что при величине абсолютной влажности суглинистой почвы 17% и твердости 4,16 МПа глубина проникновения струи воздушного потока составила 3...5 см. Полное разрушение почвенного образца соответствовало давлению сброса ресивера 0,45 и 0,5 МПа. Выкрашивание поверхности образцов характерно для сброса давления ресивера в диапазоне 0,2...0,4 МПа. Сделан вывод о том, что для газоструйного излучателя с заявленными геометрическими характеристиками расстояние между соплом и резонатором должно составлять 3,75 мм, а давление сброса ресивера – 0,4 МПа.

Ключевые слова: газоструйный излучатель, интенсивность воздействия газоструйного излучателя, поверхностный слой суглинистой почвы, ультразвук, влажность почвы, выкрашивание поверхности

Для цитирования: Старовойтов С.И., Старовойтова Н.П. Интенсивность воздействия газоструйного излучателя на поверхностный слой суглинистой почвы: результаты исследований // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 4. С. 13-18. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-13-18>

ORIGINAL ARTICLE

Intensity of the impact made by a gas-jet emitter on the surface layer of the loamy soil: research results

S.I. Starovoitov^{1✉}, N.P. Starovoitova²^{1,2}Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia¹Starovoitov.si@mail.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0003-4429-7929>²Starovoitova.np@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-8416-3493>

Abstract. It is an urgent task to develop the technology of surface soil loosening by compressed air based on an ultrasonic impact, because it provides volumetric loosening of the surface soil layer without a mechanical impact. The research was carried out to determine the degree of intensity of the compressed air jet impact in the ultrasonic oscillation mode on the surface layer of the loamy soil. For experimental studies, the authors made a gas-jet emitter with the axis of the outlet hole perpendicular to the axis of the impinging and reflected flow. The gas-jet emitter has the following geometrical characteristics: nozzle inlet diameter – 5.7 mm; nozzle critical orifice

diameter – 2.9 mm; distance between the cross-section of the nozzle inlet and critical orifice – 5.9 mm; nozzle outlet diameter – 3.42 mm; distance between the cross-section of the critical and outlet orifices – 2.4 mm; distance between the nozzle and the resonator – 3.75 mm; diameter and depth of the resonator well – 3 mm; inner diameter of the working chamber – 12 mm; diameter of the outlet orifice – 5 mm. The reaction of the medium to the receiver pressure release in the range of 0.2 to 0.5 MPa was estimated by the depth of air jet penetration, a possibility of surface pitting, sample destruction, and the emergence of wide cracks. The authors studied soil samples with a diameter of 0.1 and a height of 0.05 m. As a result of the study, they established that at an absolute moisture value of the loamy soil of 17% and a hardness of 4.16 MPa, the depth of penetration of an air stream jet was 3 to 5 cm. The complete destruction of the soil sample corresponded to a receiver discharge pressure of 0.45 and 0.5 MPa. Surface pitting of the samples is characteristic for a receiver pressure drop in the range of 0.2 to 0.4 MPa. The articles concludes that for a gas-jet emitter with the claimed geometrical characteristics the distance between the nozzle and the resonator should be 3.75 mm, and the receiver discharge pressure should equal 0.4 MPa.

Keywords: gas-jet emitter, surface layer, loamy soil, compressed air, ultrasound, soil moisture, surface painting

For citation: Starovoitov S.I., Starovoitova N.P. Intensity of the impact made by a gas-jet emitter on the surface layer of the loamy soil: research results. Application of digital marking of spare parts. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(4):13-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-13-18>

Введение

Обработка почвы является одной из важнейших и энергоемких технологических операций при производстве сельскохозяйственной продукции [1-3]. С целью создания оптимального водного, воздушного, теплового режимов и снижения энергоемкости взаимодействия деформатора и среды учеными исследуются перспективные виды воздействия на почву^{1,2} [4]. Одним из них является рыхление почвы импульсами сжатого воздуха в режиме ультразвуковых колебаний, способных вызвать акустический кавитационный процесс. При прохождении звуковой волны через среду происходит образование и схлопывание воздушных полостей. Использование пульсирующей воздушной струи газоструйного излучателя, размещенного внутри рабочего органа, позволит осуществлять объемное рыхление поверхностного слоя почвы без механического воздействия, что является особенно актуальным при реализации полосовой обработки.

При ультразвуковом воздействии сжатого воздуха на поверхностный слой почвы важно знать реакцию среды при ее различной степени влажности. Интенсивность воздействия сжатого воздуха в режиме ультразвуковых колебаний предлагается оценивать с помощью глубины проникновения воздушной струи, возможностью выкрашивания поверхности, разрушения образца, наличия широких трещин.

Если исключить режим ультразвуковых колебаний и предположить наличие только выброса сжатого воздуха, то с увеличением давления до определенного предела увеличивается скорость движения и, соответственно, глубина проникновения воздушного потока. Область, подвергаясь воздействию струи воздушного потока, приобретает цилиндрическую (колоннообразную) форму с постоянной по глубине обработки шириной сечения.

При подаче сжатого воздуха в почву в режиме ультразвуковых колебаний агрессивность потока будет проявляться уже в момент входа воздушного потока в поверхностный слой. Форма тела разрушения будет соответствовать усеченному конусу, повернутому большим основанием к дневной поверхности. Можно предположить, что для данного режима работы в большей мере будет проявляться показатель выкрашивания поверхности. Наиболее эффективным будет режим с давлением ресивера, при котором будет наблюдаться максимальная глубина проникновения струи и выкрашивание поверхности.

Цель исследований: оценить интенсивность воздействия газоструйного облучателя в режиме ультразвуковых колебаний на поверхностный слой суглинистой почвы с абсолютной влажностью, сопоставимой с нижним пределом физической спелости среды.

Материалы и методы

Для оценки интенсивности воздействия сжатого воздуха в режиме ультразвуковых колебаний на поверхностный слой суглинистой почвы ранее авторами изготовлен газоструйный излучатель (рис. 1), способный создавать частоту звуковой волны 20000 Гц,

¹ Бурченко П.Н. Механико-технологические основы почвообрабатывающих машин нового поколения: Монография. М.: ВИМ, 2002. 212 с.

² Ториков В.Е., Мельникова О.В. Научные основы агрономии: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2020. 348 с.

и экспериментально доказана возможность рыхления поверхностного слоя почвы [5, 6]. У излучателя продольная ось выходного отверстия рабочей камеры перпендикулярна оси набегающего и отраженного воздушного потока, что позволяет фокусировать энергию воздушного потока рабочей камеры. К важнейшим регулировочным параметрам газоструйного излучателя относятся расстояние между соплом 2 и резонатором 3, давление сброса ресивера. Сверхзвуковое истечение сжатого воздуха из сопла камеры достигается применением сопла Лаваля. Газоструйный излучатель соединен с компрессором Wert (рис. 2).

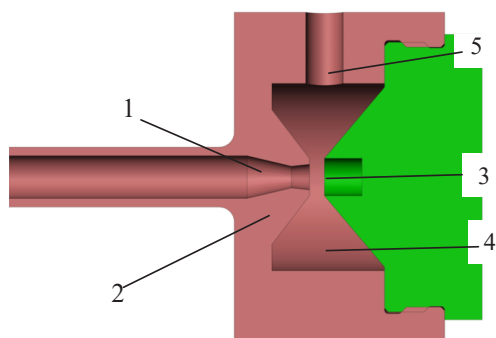


Рис. 1. Разработанный газоструйный излучатель:

- 1 – корпус газоструйного излучателя;
2 – сопло; 3 – резонатор; 4 – рабочая камера;
5 – выходное отверстие рабочей камеры

Fig. 1. Gas-jet emitter:

- 1 – gas-jet emitter body, 2 – nozzle, 3 – resonator,
4 – working chamber, 5 – working chamber outlet

Установлено, что работе указанного газоструйного излучателя при расстоянии между соплом и резонатором 3,75 мм, давлении сброса ресивера 0,4 МПа соответствует узкополосный спектр, указывающий на возможность работы устройства в режиме ультразвуковых колебаний (рис. 3).

Газоструйный излучатель имеет следующие геометрические характеристики:

- диаметр входного отверстия сопла $d_{\text{вх}} = 5,7$ мм;
- диаметр критического отверстия сопла $d_{\text{крит}} = 2,9$ мм;
- расстояние между сечением входного и критического отверстия сопла $l_{\text{вх}} = 5,9$ мм;

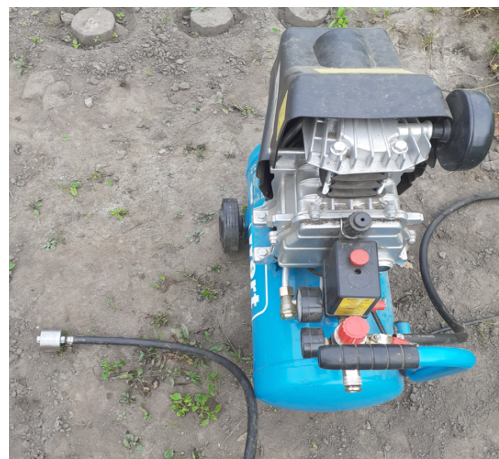


Рис. 2. Газоструйный излучатель, соединенный с компрессором Wert

Fig. 2. Gas-jet emitter

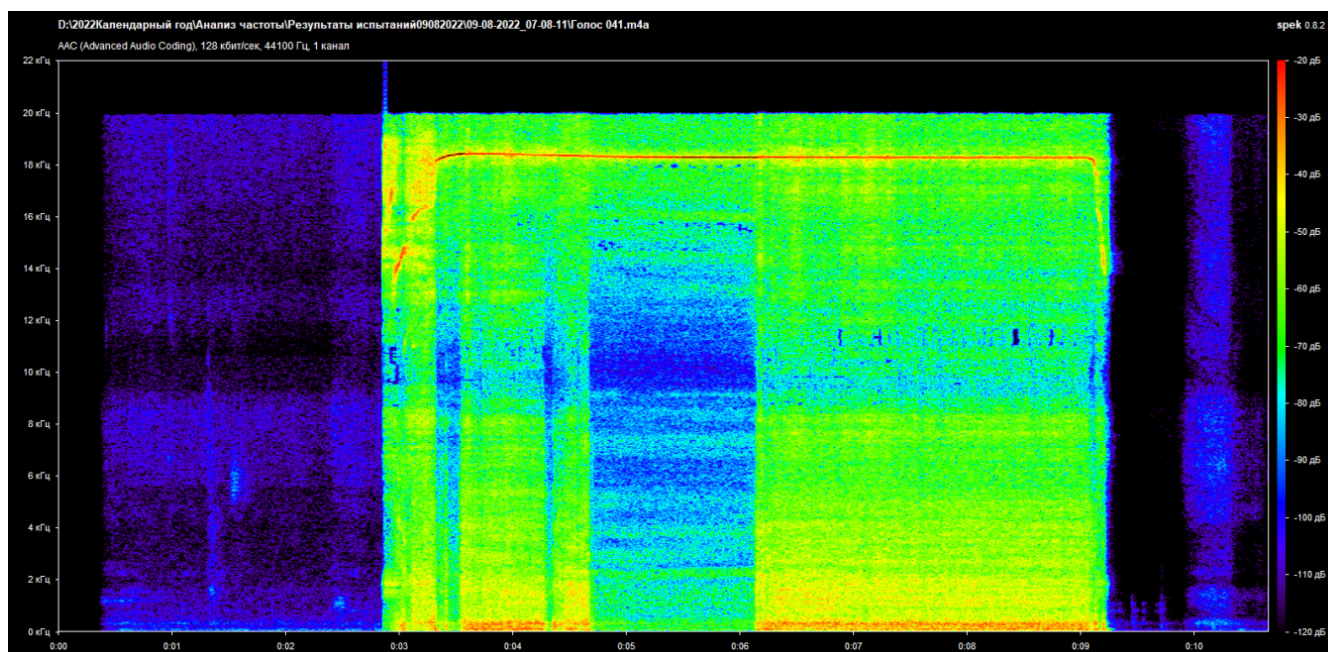


Рис. 3. Спектрограмма при расстоянии между соплом и резонатором газоструйного излучателя 3,75 мм и давлении сброса ресивера 4 МПа

Fig. 3. Spectrogram at a distance between the nozzle and the resonator of the gas-jet emitter of 3.75 mm and the discharge pressure of the receiver of 4 MPa

- диаметр выходного отверстия сопла $d_c = 3,42$ мм;
- расстояние между сечением критического и выходного отверстия $l_{кв} = 2,4$ мм;
- расстояние между соплом и резонатором $t_{cp} = 3,75$ мм;
- диаметр колодца резонатора $d_p = 3$ мм;
- глубина колодца резонатора $h_p = 3$ мм;
- внутренний диаметр рабочей камеры $d_{врк} = 12$ мм;
- диаметр выпускного отверстия рабочей камеры $d_{вп} = 5$ мм.

В интервале сброса давления ресивера 0,2...0,5 МПа с шагом 0,05 МПа объемный расход, м³/с, принимал значения: 0,0075; 0,00828; 0,00858; 0,00876; 0,00888; 0,00896; 0,00903. Расстояние между соплом и резонатором устанавливалось за счет вращения резонатора.

Были подготовлены почвенные образцы диаметром 0,1 м и высотой 0,05 м (рис. 4). После воздействия струи сжатого воздуха глубина проникновения струи (ГО) определялась с помощью измерительной рулетки. Выкрашивание поверхности (ВП), наличие широких трещин (ШТ) и возможность полного разрушения (ПР) оценивались визуально.

Абсолютная влажность почвы определялась с помощью термостатно-весового метода в сушильном шкафу СЭШ-3М и весов Pocket Scale МН-200 с ценой деления 0,01 г. Твердость почвы определялась с помощью твердомера Wile soil.



Рис. 4. Серия почвенных образцов
Fig. 4. Soil sample series

Результаты и их обсуждение

При проведении экспериментальных исследований абсолютная влажность суглинистой почвы составила 17%, твердость – 4,16 МПа. Деформация почвенных образцов отражена на рисунке 5. Анализ результатов интенсивности воздействия воздушного потока: глубина проникновения струи на 3 и 5 см (ГОЗ, ГО5),

0,2 МПа



0,25 МПа



0,3 МПа



0,35 МПа



0,4 МПа



0,45 МПа



0,5 МПа



Рис. 5. Деформация почвенных образцов при сбросе давления ресивера
Fig. 5. Deformation of soil samples when the receiver pressure is released

выкрашивание поверхности (ВП), наличие широких трещин (ШТ) и возможность полного разрушения (ПР) – представлен в таблице 1.

При работе газоструйного излучателя в интервале сброса давления ресивера 0,2...0,3 МПа глубина обработки составила 0,03 м. Наблюдалось выкрашивание поверхности. Широкие трещины отсутствовали. Полное разрушение почвенных образцов не наблюдалось.

В интервале сброса давления ресивера 0,35...0,4 МПа глубина проникновения струи находилась в пределах 0,03...0,05 м, наблюдалось также выкрашивание поверхности. Увеличение глубины проникновения струи можно объяснить двояко: во-первых, большая глубина проникновения связана с возросшей кинетической энергией струи; во-вторых, большая глубина проникновения связана с реализацией генератором Гартмана узкополосного спектра (рис. 2) с частотой звуковой волны 18000 Гц. Разграничить эти гипотезы можно лишь косвенно.

При сбросе давления ресивера 0,45...0,5 МПа глубина проникновения составила также 3...5 см с преобладанием величины 5 см. Наблюдалось также выкрашивание поверхности, полное разрушение образца, наличие широкой трещины.

При воздействии сжатого воздуха в режиме ультразвуковых колебаний на почву с абсолютной влажностью, близкой к нижнему пределу физической спелости почвы, процесс сопровождался ее пылевидным выбросом. Воздействие на почву с абсолютной влажностью, близкой к верхнему пределу физической спелости, сопровождалось фрагментацией почвенных агрегатов при исключении пылевидного выброса.

В результате исследований установлено, что при абсолютной влажности суглинистой почвы 17% и твердости 4,16 МПа глубина проникновения струи воздушного потока составила 3...5 см. Полное разрушение почвенного образца соответствовало давлению сброса ресивера 0,45 и 0,5 МПа. Выкрашивание поверхности характерно для сброса давления ресивера в диапазоне 0,2...0,4 МПа.

Результаты анализа интенсивности воздействия воздушного потока

Таблица 1

Results of the air flow intensity analysis

Table 1

Давление сброса ресивера, МПа <i>Receiver release pressure, MPa</i>	1 повтор <i>Retry 1</i>	2 повтор <i>Retry 2</i>	3 повтор <i>Retry 3</i>
0,20	ГОЗ	ГОЗ, ВП	ГОЗ, ВП
0,25	ГОЗ	ГОЗ	ГОЗ, ВП
0,30	ГОЗ	ГОЗ, ВП	ГОЗ, ВП
0,35	ГОЗ	ГОЗ	ГОЗ
0,40	ГО5, ВП	ГО5	ГО5
0,45	ГО5, ПР	ГОЗ	ГО5
0,50	ГО5, ПР	ГО5	ГО5, ШТ

Выводы

1. Интенсивность воздействия сжатого воздуха в режиме ультразвуковых колебаний предлагается оценивать глубиной проникновения воздушной струи, возможностью выкрашивания поверхности, наличия широких трещин и разрушения образца.

2. Для почвы с абсолютной влажностью, близкой к нижнему пределу физической спелости, возможность выкрашивания поверхности является априорным показателем, указывающим на оптимальное давление выброса сжатого воздуха.

3. Для газоструйного излучателя, у которого ось выходного отверстия перпендикулярна оси набегающего и отраженного потока, расстояние между соплом и резонатором должно составлять 3,75 мм, рекомендуемое давление сброса ресивера должно быть равным 4 МПа. При этом глубина проникновения струи воздушного потока составляет 3...5 см.

4. При разработке методики оценки степени разрушения необходимо предусмотреть возможность исключения потерь частиц почвы при возможном пылевидном выбросе.

Список источников

1. Лобачевский Я.П., Сизов О.А., Ахалая Б.Х. Ресурсосберегающий и экологически эффективный способ сохранения плодородия почвы в ротации севооборота // Научно-инновационная деятельность в агропромышленном комплексе: Сборник научных статей 6-й Международной научно-практической конференции, Минск, 11-12 июня 2014 г. Минск: БГАТУ, 2014. С. 174-179. URL: <http://rep.bsatu.by/handle/doc/4170?ysclid=lrvi27pqbf441035337> (дата обращения: 27.01.2024).
2. Мазитов Н.К., Рахимов Р.С., Лобачевский Я.П., Сахапов Р.Л., Галаяутдинов Н.Х., Шарафиев Л.З. Влаго- и энергосберегающая технология обработки и посева в острозасушливых условиях // Техника и оборудование для села. 2013. № 3. С. 2-6. EDN: PWVYJN
3. Мазитов Н.К., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С. Сельскохозяйственная техника: решения и перспективы // Вестник ВИАЭСХ. 2018. № 3 (32). С. 94-100. EDN: YLWHAL
4. Старовойтов С.И., Гринь А.М., Ахалая Б.Х., Старовойтова Н.П., Беляева Н.И. Об интенсивности воздействия сжатого воздуха на поверхностный слой суглинистой почвы // Современные тенденции развития аграрной науки: Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, г. Брянск, 2023 г. Брянск, 2023. С. 14-20. EDN: VKHOKT
5. Старовойтов С.И., Ахалая Б.Х. Об ультразвуковом рыхлении поверхностного слоя почвы // Агрофизический институт: 90 лет на службе земледелия и растениеводства: Материалы Международной научной конференции, г. Санкт-Петербург, 2022 г. СПб., 2022. С. 608-615. EDN: THUPIV
6. Старовойтов С.И., Ахалая Б.Х., Коротченя В.М., Беляева Н.И. К определению частоты звуковой волны газоструйного излучателя // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: Сборник научных статей Международной научно-практической конференции. Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет, 2022. С. 408-411. EDN: JSLGOH

Информация об авторах

Сергей Иванович Старовойтов¹, д-р техн. наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве; starovoitov.si@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4429-7929>; SPIN: 3535-6905.

Наталья Петровна Старовойтова², канд. биол. наук, доцент кафедры агрохимии, почвоведения и экологии; starovoitova.np@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-8416-3493>; SPIN: 3535-6905

^{1,2}Брянский государственный аграрный университет; 243365, Российская Федерация, Брянская область, Выгоничский р-он, с. Кокино, ул. Советская, 2а.

Вклад авторов

С.И. Старовойтов – концептуализация, экспертная оценка, создание окончательной версии рукописи;
Н.П. Старовойтова – концептуализация, визуализация, создание черновика рукописи.

Статья поступила 17.02.2024, после рецензирования и доработки – 16.05.2024; принята к публикации 17.05.2024

References

1. Lobachevsky Y.P., Sizov O.A., Akhalaya B.Kh. Resource-saving and environmentally effective way to preserve soil fertility in a crop rotation cycle. *Scientific and innovative activity in the agro-industrial sector. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference*: June 11-12, 2014; Minsk. URL: <http://rep.bsatu.by/handle/doc/4170?ysclid=lrvi27pqbf441035337>. (In Belarusian)
2. Mazitov N.K., Rakhimov R.S., Lobachevsky Ya.P., Sakhapov R.L., Galyautdinov N.Kh., Sharafiev L.Z. Moisture and energy-saving technology of soil cultivation and sowing in strongly arid conditions. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2013;3:2-6. (In Russ.)
3. Mazitov N.K., Shogenov Yu.Kh., Tsench Yu.S. Agricultural machinery: solutions and prospects. *Vestnik VIESKh*. 2018;3:94-100. (In Russ.)
4. Starovoitov S.I., Grin AM, Akhalaya B.H., Starovoitova N.P., Belyaeva N.I. On the intensity of the compressed air influence on the surface layer of loamy soil. *Modern Trends in the Development of Agrarian Science. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference*. Bryansk. 2023;14-20. (In Russ.)
5. Starovoitov S.I., Akhalaya B.H. On ultrasonic loosening of the soil surface layer. *Agrophysical Institute: 90 Years' Service for Agriculture and Plant Growing. Proceedings of the International Scientific Conference*. St. Petersburg. 2022:608-615. (In Russ.)
6. Starovoitov S.I., Akhalaya B.Kh., Korotchenya V.M., Belyaeva N.I. On determining the frequency of the sound wave of the gas jet emitter. *Technical support of innovative technologies in the Agricultural Sector. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Belarusian State Agrarian Technical University. 2022;408-411. (In Russ.)

Author Information

Sergei I. Starovoitov¹, DSc (Eng), Associate Professor, the Department of Technical Systems in Agribusiness, Environmental Management and Road Construction"; starovoitov.si@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4429-7929>; SPIN: 3535-6905.

Natalia P. Starovoitova², CSc (Bio), Associate Professor, the Department of Agrochemistry, Soil Science, and Ecology; starovoitova.np@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-8416-3493>; SPIN: 3535-6905

^{1,2}Bryansk State Agrarian University, 243365 Russian Federation, Bryansk Region, Vygonichi district, Kokino, Sovetskaya Str., 2a.

Author Contribution

S.I. Starovoitov – conceptualization, expert assessment, finalizing (revising and editing) of the manuscript;
N.P. Starovoitova – conceptualization, visualization, writing – original draft preparation

Received 17.02.2024; Revised 16.05.2024; Accepted 17.05.2024