

## Исследование пружинного механизма подвеса сошника дернинной сеялки

© 2023. В. А. Сысуев, С. Л. Дёмшин<sup>✉</sup>, С. В. Гайдидей, Д. А. Зырянов  
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Одной из перспективных технологий восстановления деградированных кормовых угодий, соответствующих требованиям органического земледелия, является прямой полосной посев семян трав в дернину с механической обработкой полос почвы, ширина которых обеспечивает успешное развитие всходов без использования гербицидов. Для повышения качества высева дернинных сеялок предложена модернизированная конструкция сошниковой группы с креплением сошника килевидного типа на параллелограммном механизме подвеса в виде пружин кручения, отличающаяся их вертикальным размещением на раме сеялки (патент РФ №2772128). Для изучения влияния конструктивных и технологических параметров сошниковой группы на базе пружинного механизма подвеса на время возвращения механической системы в состояние динамического равновесия разработана лабораторная установка, включающая комплект измерительно-регистрирующей аппаратуры на базе многофункционального датчика WitMotion WT901WIFI MPU9250. В процессе исследований реализован план эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка для трёх факторов, который позволил определить зависимость времени затухания колебаний механизма подвеса сошниковой группы от следующих параметров системы: глубины бороздообразования, длины поводков механизма подвеса и массы сошника килевидного типа. Для выбранных геометрических параметров экспериментального образца сошниковой группы и установленной эквивалентной жёсткости пружин кручения, равной 240 Н·м/рад, диапазон минимальных значений времени переходного периода находится в пределах 0,212...0,218 с и соответствует глубине бороздообразования 41,3...50,0 мм, длине поводков 0,13 м, массе сошника 1,7...1,8 кг. Траектория сошника в ходе переходного процесса в большинстве опытов соответствует затухающему колебательному движению, в ряде случаев представляет предельно аperiodическое движение.

**Ключевые слова:** прямой посев в дернину, фрезерный бороздовскрыватель, сошниковая группа, пружина кручения, сошник килевидный

**Благодарности:** работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0002).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Сысуев В. А., Дёмшин С. Л., Гайдидей С. В., Зырянов Д. А. Исследование пружинного механизма подвеса сошника дернинной сеялки. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(5):877-886.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.877-886>

Поступила: 20.06.2023

Принята к публикации: 11.10.2023

Опубликована онлайн: 30.10.2023

## Study of the spring suspension mechanism of the coulter of the sod seeder

© 2023. Vasiliy A. Sysuev, Sergey L. Demshin<sup>✉</sup>, Sergey V. Gaididei, Dmitry A. Zyryanov

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky,  
Kirov, Russian Federation

One of the promising technologies for restoring degraded forage lands that meets the requirements of organic farming is direct strip sowing of grass seeds into the sod with mechanical cultivation of strips of soil, the width of which ensures the successful development of seedlings without the use of herbicides. To improve the quality of seeding of sod seeders, a modernized design of the coulter group has been proposed with a shoe opener mounted on a parallelogram suspension mechanism in the form of torsion springs, characterized by their vertical placement on the seeder frame (RF patent No. 2772128). To study the influence of the design and technological parameters of the coulter group based on the spring suspension mechanism on the time the mechanical system returns to the condition of dynamic balance, a laboratory installation was developed. It includes a set of measuring and recording equipment based on the multifunctional sensor WitMotion WT901WIFI MPU9250. In the process of the research, a second-order Box-Benkin experiment plan for three factors was implemented, which made it possible to determine the dependence of the damping time of oscillations of the suspension mechanism of the coulter group on the following system parameters: depth of furrow formation, length of the leashes of the suspension mechanism and mass of the shoe opener. For the selected geometrical parameters of the experimental sample of the coulter group and the established equivalent stiffness of the torsion springs, equal to 240 N·m/rad, the range of minimum values of the transition period time is within 0.212...0.218 s and corresponds to the furrow formation depth 41.3...50.0 mm, the length of the leashes 0.13 m, the weight of the coulter 1.7...1.8 kg. The trajectory of the shoe opener during the transition process in most experiments corresponds to a damped oscillatory motion, in some cases represents an extremely aperiodic motion.

**Keywords:** direct sowing in the sod, disc milling cutter, coulter group, torsion spring, shoe opener

**Acknowledgements:** The research was carried out within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0002).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

**Conflict of interests:** the authors stated that there was no conflict of interests.

**For citation:** Sysuev V. A., Demshin S. L., Gaididei S. V., Zyryanov D. A. Study of the spring suspension mechanism of the coulter of the sod seeder. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(5):877-886. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.877-886>

Received: 20.06.2023

Accepted for publication: 11.10.2023

Published online: 30.10.2023

Для развития органического земледелия на Евро-Северо-Востоке России в секторе производства продукции животноводства необходимо решить проблему обеспечения экологически чистыми кормами полноценного рациона животных<sup>1, 2</sup> [1]. Регион обладает обширными площадями залежных земель и неиспользуемых естественных лугов и пастбищ, которые могут быть введены в производственный оборот, но на практике отсутствуют эффективные технологии восстановления деградированных кормовых угодий, удовлетворяющие экологическим требованиям. Наиболее перспективной из них является агротехника, базирующаяся на прямом полосном посеве семян трав в дернину с механическим разрушением полосы дернины шириной не менее, чем необходимо для успешного прорастания семян и развития всходов без использования гербицидов для подавления ценотических связей и снижения конкуренции за факторы среды в ценозе [2, 3, 4]. При правильном применении прямой полосной посев обладает высокой эффективностью при минимальных капитальных вложениях, значительно снижает затраты энергии, посевного материала, рабочего времени, а также экологически безопасен [5, 6]. Для осуществления технологии разработано семейство дернинных сеялок с дисковыми фрезами в качестве бороздовскрывателей сошниковых групп<sup>3</sup> [7, 8]. В то же время данный метод восстановления продуктивности кормовых угодий разработан для лугов и пастбищ, поддерживаемых в продуктивном состоянии, поэтому его агротехнические требования должны быть адаптированы к условиям деградированных кормовых угодий, как и конструкция дернинных сеялок. Одним из направлений модернизации сеялок должно стать повышение надежности технологического процесса высева

и заделки семян в почву посредством разработки компактной сошниковой группы, позволяющей отказаться от высева семян и туков под кожух фрезерного бороздовскрывателя.

**Цель исследования** – определение основных конструктивно-технологических параметров сошниковой группы дернинной сеялки с механизмом подвеса на базе пружин кручения.

**Новизна работы** – получена модель регрессии функционирования сошниковой группы дернинной сеялки с креплением сошника килевидного типа на параллелограммном механизме подвеса в виде пружин кручения, отличающаяся их вертикальным размещением на раме сеялки (патент РФ №2772128) [9], позволяющая на стадии проектирования определить основные конструкторско-технологические параметры её пружинного механизма подвеса.

**Материал и методы.** Сравнительные исследования разных способов высева семян трав и минеральных удобрений при осуществлении прямого посева семян трав в дернину сеялкой с фрезерными бороздовскрывателями, выполненные в 2016-2022 годах лабораторией механизации ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», подтвердили перспективность выноса семя- и тукозаделывающих рабочих органов из-под защитного кожуха дисковых фрез. В ходе ранее проведенных исследований достаточно высокую эффективность функционирования показала сошниковая группа с механизмом подвеса сошника килевидного типа на поводках пружины кручения [9, 10, 11].

Первый вариант конструкции пружинного механизма подвеса сошниковой группы включал верхнее звено, функцию которого выполнял брус крепления прикатывающего катка, и нижнее звено, на котором установлены

<sup>1</sup>Кант Г. Биологическое растениеводство: возможности биологических агросистем. Пер. с нем. С. О. Эбель. М.: Агропромиздат, 1988. 207 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001430017>

<sup>2</sup>Прогноз научно-технологического развития отрасли растениеводства, включая семеноводство и органическое земледелие России, в период до 2030 года. Папцов А. Г., Алтухов А. И., Кашеваров Н. И., Першукевич П. М., Денисов А. С., Рудой Е. В. [и др.]. Новосибирск: изд-во НГАУ «Золотой колос», 2019. 100 с. URL: <https://nsau.edu.ru/file/757891?get=a70a565f4138c62b15cedaa38529cfac2>

<sup>3</sup>Рекомендации по улучшению лугов и пастбищ в Северо-Восточном регионе Европейской части России. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. 116 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003383003>

сошники килевидного типа для туков и семян, а также вертикальные звенья, выполненные в виде прицепов пружин кручения. Размещение сошниковой группы дернинной сеялки между кожухом фрезерного бороздовскрывателя и прикатывающим катком предъявляет повышенные требования к компактности её конструкции, что послужило поводом модернизации её схемы, заключающейся в креплении тукосеменного сошника килевидного типа на механизме подвеса с вертикальным расположением пружин кручения (патент РФ №2772128) [12]. Механизм крепления сошников выполнен в виде подвеса параллелограммного типа, включаю-

щей два параллельных звена в виде прицепов пружин кручения (рис. 1). Половина шарниров механизма подвеса замещена пружинами кручения, вторая часть шарниров этих звеньев закреплена на прицепах пружин кручения. Звено, соединяющее шарниры, одновременно является кронштейном крепления сошника килевидного типа. Предварительное усилие заглубления сошника задается посредством поджатия пружин кручения подвеса, величина сжатия которых определяется положением ограничительного бруса, имеющего возможность перемещения в поперечно-вертикальной плоскости.

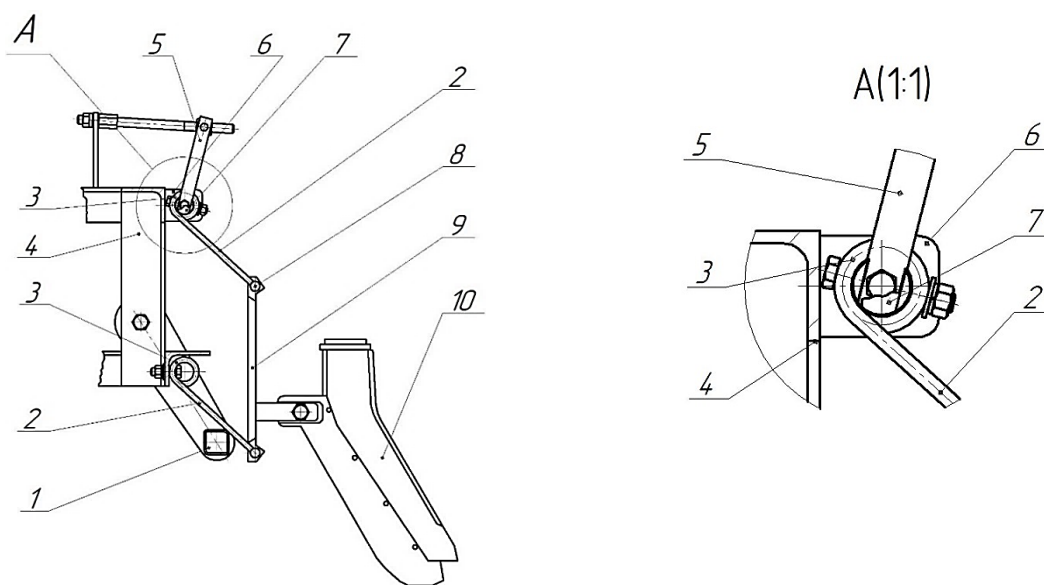


Рис. 1. Общий вид пружинного механизма подвеса килевидного сошника дернинной сеялки (вид сбоку): 1 – брус ограничительный; 2 – прицеп пружины; 3 – пружина кручения; 4 – рама сеялки; 5 – механизм регулирования угла поворота оси; 6 – опора; 7 – ось крепления; 8 – шарнир; 9 – звено механизма подвеса; 10 – сошник килевидный /

Fig. 1. General view of the spring mechanism for suspension of the shoe opener of the sod seeder (side view): 1 - restrictive beam; 2 - spring trailer; 3 - torsion spring; 4 - seeder frame; 5 - mechanism for adjusting the angle of rotation of the axis; 6 - bearing support; 7 - fastening axis; 8 - hinge; 9 - link of the suspension mechanism; 10 - shoe opener

Грубая регулировка глубины хода сошника выполняется путем изменения положения опорных колес сеялки, для того чтобы суммарное усилие пружин кручения соответствовало силе сопротивления почвы в процессе движения сошника при заданной глубине посева. Точная настройка усилия заглубления механизма подвеса сошниковой группы обеспечивается за счёт установки части пружин кручения на оси, имеющей возможность вращения и фиксации выбранного угла положения пружин кручения.

Применение пружинного механизма подвеса сошниковой группы позволяет сеялке устойчиво поддерживать заданную глубину посева за счет достаточно точного копирования микрорельефа поверхности. Тяговое сопротив-

ление сошника напрямую зависит от глубины его погружения в почву при бороздообразовании и любое изменение величины заглубления обуславливает противоположную реакцию пружин кручения, направленную на компенсацию колебаний тягового усилия посредством поддержания заданной глубины бороздообразования.

Совместное использование в механизме подвеса пружин кручения, жёстко закрепленных на раме, и пружин кручения, жёстко установленных на подвижной оси, усилие которых можно регулировать относительно равновесного положения в диапазоне от отрицательных до положительных значений за счёт изменения угла поворота оси, позволяет точно настраивать величину усилия заглубления сошника, необходимую



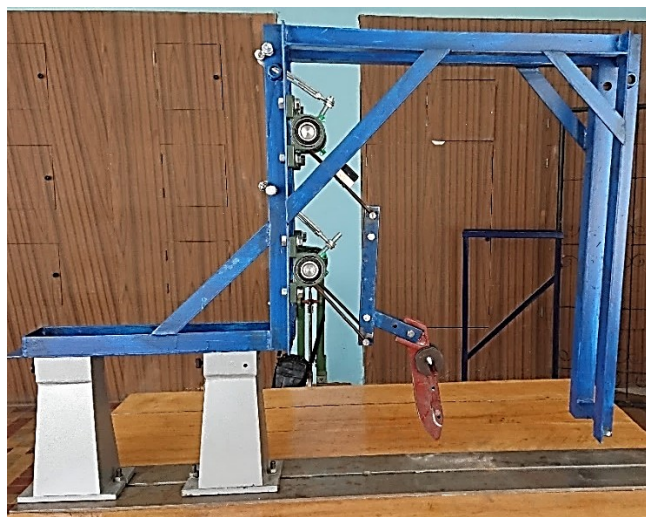
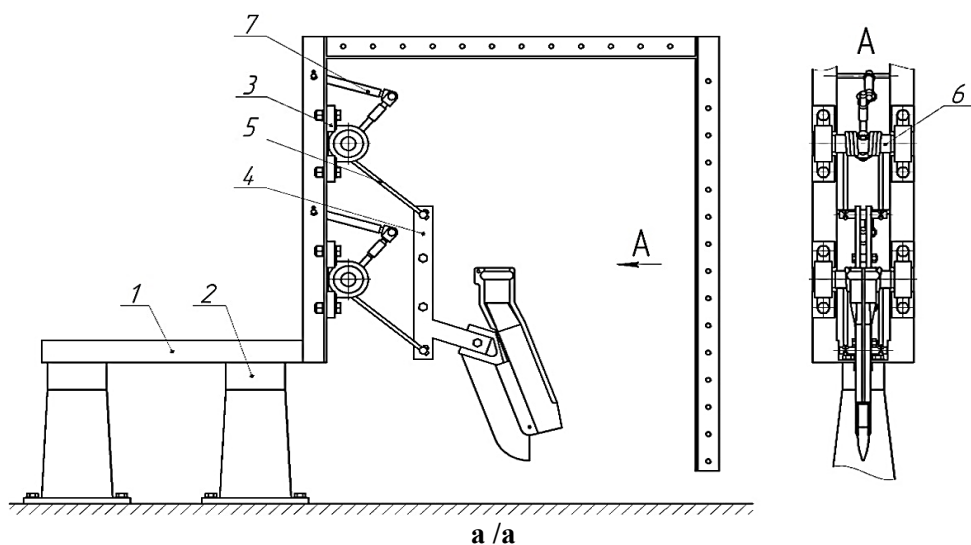
для преодоления сопротивления почвы, соответствующего заданной глубине хода сошника.

Предложенная конструкция пружинного подвеса сошниковой группы повысит равномерность глубины бороздообразования и посева, снизит трудоёмкость настройки высевальных органов сеялок при сохранении компактности его конструкции.

Для определения рациональных параметров сошниковой группы на базе параллелограммного механизма подвеса с поводками в виде пружин кручения проведены экспериментальные исследования, в процессе которых изучалось влияние длины поводков  $l$  пружины кручения, глубины погружения  $h$  наральника

сошника в почву (бороздообразования) и массы  $m$  сошника на время  $t$  затухания колебаний механизма подвеса.

Для проведения опытов разработана лабораторная установка (рис. 2, а, б), представляющая собой раму, на которой установлены подшипниковые узлы с осями крепления пружин кручения. Звено механизма подвеса с кронштейном крепления сошника шарнирно закреплено на поводках пружин кручения. Механизм регулировки позволяет изменять угол наклона поводков пружин кручения, а также полностью «отключать» одну из пружин кручения, т. е. пружина свободно вращается вместе с осью в подшипниковых опорах, при этом витки пружины не работают на сжатие или растяжение.



б / б



в / с

Рис. 2. Лабораторная установка для исследования экспериментального образца сошниковой группы: а, б – общий вид; в – регистрирующий датчик WitMotion WT901WIFI MPU9250: 1 – рама; 2 – стойка рамы; 3 – опора подшипниковая; 4 – звено механизма подвеса с кронштейном крепления; 5 – прицеп пружины кручения; 6 – ось; 7 – механизм регулировки угла поворота оси /

Fig. 2. Laboratory installation for the study of an experimental sample of the coulter group: а, б – general view; в – recording sensor WitMotion WT901WIFI MPU9250: 1 – frame; 2 – frame rack; 3 – bearing support; 4 – a link of the suspension mechanism with a mounting bracket; 5 – torsion spring leash; 6 – axis; 7 – mechanism for adjusting the angle of rotation of the axis

Снятие данных функционирования экспериментального образца сошниковой группы осуществлялось комплектом измерительно-регистрающей аппаратуры на базе многофункционального датчика WitMotion WT901WIFI MPU9250 (рис. 2, в). Датчик WitMotion WT901 объединяет в себе функции высокоточного гироскопа, акселерометра и датчика геомагнитного поля, позволяет проводить замеры с частотой до 200 измерений в секунду и точностью до  $0,05^\circ$ , в режиме реального времени положения датчика в 3-осевой системе координат, угловую скорость и ускорение. В разработанной установке назначением датчика является регистрация показателей угловой скорости и угла поворота поводков механизма подвеса сошника относительно оси  $x$  с получением массива данных в формате Excel на персональном компьютере<sup>4</sup>.

Конструкция лабораторной установки позволяет изменять длину поводков  $l$  посредством перемещения шарнира крепления кронштейна сошника по прицепу пружины. Регу-

лировка жёсткости  $c$  пружин кручения проводится путем установки дополнительной пружины растяжения. Необходимое значение массы  $m$  сошника достигалось путем установки дополнительных грузов. Настройка по глубине  $h$  бороздообразования выполнялась изменением положения ящика с почвой в вертикальной плоскости.

Исходя из результатов теоретических исследований и предварительных экспериментов, определены значимые факторы и диапазоны их варьирования. В ходе исследований реализован трехуровневый план Бокса-Бенкина для трёх факторов. Эксперимент позволил изучить зависимость времени  $t$  затухания колебаний механизма подвеса сошниковой группы от следующих факторов: глубины  $h$  бороздообразования, мм; длины  $l$  поводков механизма подвеса, м; массы  $m$  сошника килевидного типа, кг. Обозначение факторов, уровни и интервалы их варьирования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Обозначение факторов, уровни и интервалы их варьирования /

Table 1 – Designation of factors, levels and intervals of their variation

| Фактор / Factor                                                            | Код фактора / Code factor | Уровни варьирования фактора / Levels of factor variation |                     |                    | Интервал / Interval |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
|                                                                            |                           | нижний / lower (-1)                                      | основной / main (0) | верхний / top (+1) |                     |
| Глубина бороздообразования, $h$ , мм / Depth of furrow formation, $h$ , mm | $x_1$                     | 10                                                       | 30                  | 50                 | 20                  |
| Длина поводков, $l$ , м / Length of leashes, $l$ , m                       | $x_2$                     | 0,08                                                     | 0,13                | 0,18               | 0,05                |
| Масса сошника, $m$ , кг / Coulter mass, $m$ , kg                           | $x_3$                     | 1,4                                                      | 1,8                 | 2,2                | 0,4                 |

Первоначальное отклонение поводков сошниковой группы от положения статического равновесия в опыте устанавливали, равным  $5^\circ$ . Эквивалентная жёсткость пружин кручения механизма подвеса в течение эксперимента не изменялась и составляла  $c = 240 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$ . Опыты проводили в трехкратной повторности, использовали сошник килевидного типа сеялки СО-4,2. Почвенный ящик заполняли просеянным песком, фракция до 3,0 мм. Скорость перемещения ящика составляла 1,0 м/с, что соответствует рабочей скорости дернинных сеялок.

**Результаты и их обсуждение.** После реализации плана эксперимента полученные результаты обработаны с помощью программ

Microsoft Excel и Statgrafics Plus 5.1, часть из них, в том числе показатели среднего значения времени  $t$ , с, ( $Y$ ) затухания колебаний сошника, а также его дисперсии  $D$ , среднеквадратичного отклонения  $\sigma$ , коэффициента вариации  $v$ , абсолютной  $\Delta t$  и относительной ошибки  $\varepsilon$  приведены в таблице 2.

После обработки данных получена модель регрессии, проверенная на адекватность по  $F$ -критерию Фишера (вероятность  $p = 0,95$ ):

$$Y = 0,2976 - 0,0947 \cdot x_1 + 0,0665 \cdot x_2 + 0,0528 \cdot x_3 - 0,0308 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,0313 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,0664 \cdot x_1^2 + 0,0419 \cdot x_2^2. \quad (1)$$

<sup>4</sup>WT901 Attitude Angle Sensor. Specification. [Электронный ресурс]. URL: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/B11fVGszLsS.pdf> (дата обращения: 15.05.2023).

Таблица 2 – Время  $t$  (У) уравнивания сошника и его статистические характеристики /  
Table 2 – Time  $t$  of the coulter balancing and its statistical characteristics

| № опыта /<br>No. of<br>experiment | Время, $t$ , с / Time, $t$ , s |       |       |          | $D \cdot 10^{-4}$ ,<br>$c^2 / s^2$ | $\sigma \cdot 10^{-2}$ ,<br>$c / s$ | $v$ , % | $\Delta t$ ,<br>$c / s$ | $\varepsilon$ , % |
|-----------------------------------|--------------------------------|-------|-------|----------|------------------------------------|-------------------------------------|---------|-------------------------|-------------------|
|                                   | $y_1$                          | $y_2$ | $y_3$ | $y_{cp}$ |                                    |                                     |         |                         |                   |
| 1                                 | 0,375                          | 0,345 | 0,330 | 0,350    | 5,25                               | 2,291                               | 6,547   | 0,0568                  | 16,235            |
| 2                                 | 0,219                          | 0,218 | 0,218 | 0,218    | 0,33                               | 0,057                               | 0,264   | 0,0014                  | 0,656             |
| 3                                 | 0,581                          | 0,525 | 0,555 | 0,554    | 7,85                               | 2,802                               | 5,061   | 0,0695                  | 12,553            |
| 4                                 | 0,298                          | 0,301 | 0,299 | 0,299    | 0,23                               | 0,152                               | 0,510   | 0,0038                  | 1,266             |
| 5                                 | 0,295                          | 0,301 | 0,301 | 0,299    | 0,12                               | 0,346                               | 1,159   | 0,0086                  | 2,873             |
| 6                                 | 0,358                          | 0,365 | 0,329 | 0,351    | 3,64                               | 1,908                               | 5,443   | 0,0473                  | 13,499            |
| 7                                 | 0,241                          | 0,226 | 0,260 | 0,242    | 2,90                               | 1,703                               | 7,031   | 0,0423                  | 17,438            |
| 8                                 | 0,578                          | 0,588 | 0,567 | 0,578    | 1,10                               | 1,050                               | 1,818   | 0,0260                  | 4,509             |
| 9                                 | 0,498                          | 0,472 | 0,493 | 0,488    | 1,90                               | 1,379                               | 2,829   | 0,0342                  | 7,016             |
| 10                                | 0,323                          | 0,304 | 0,296 | 0,308    | 1,92                               | 1,387                               | 4,508   | 0,0344                  | 11,179            |
| 11                                | 0,442                          | 0,439 | 0,481 | 0,454    | 5,49                               | 2,343                               | 5,161   | 0,0581                  | 12,799            |
| 12                                | 0,275                          | 0,287 | 0,278 | 0,280    | 0,39                               | 0,625                               | 2,230   | 0,0155                  | 5,531             |
| 13                                | 0,314                          | 0,330 | 0,314 | 0,319    | 0,85                               | 0,924                               | 2,893   | 0,0229                  | 7,174             |
| 14                                | 0,245                          | 0,284 | 0,281 | 0,270    | 4,71                               | 2,170                               | 8,038   | 0,0538                  | 19,934            |
| 15                                | 0,334                          | 0,332 | 0,298 | 0,321    | 4,09                               | 2,023                               | 6,296   | 0,0502                  | 15,615            |

Для анализа уравнения регрессии (1) построены трёхмерные графики влияния глубины бороздообразования  $h$ , длины поводков  $l$ , массы  $m$  сошника на время  $t$  затухания колебаний подвеса сошника (рис. 3).

Реализация эксперимента в целом подтвердила результаты теоретических исследований [13]. Стабильность движения сошника зависит от конструктивных параметров сошниковой группы: длины  $l$  поводков и, в меньшей мере, массы  $m$  сошника, но наиболее значимо на нее влияет технологический параметр – глубина  $h$  бороздообразования, которая прямо определяет величину сопротивления почвы перемещению сошника.

Увеличение глубины  $h$  бороздообразования с 10 до 50 мм снижает время переходного процесса при фиксированном значении массы сошника  $m = 1,8$  кг и длине поводка  $l = 0,08$  м на 37,8 %, при  $l = 0,18$  м – на 45,5 % (рис. 3, в); при фиксированном значении длины поводка  $l = 0,13$  м и массы сошника  $m = 1,4$  кг – на 37,8 %, при  $m = 2,2$  кг – на 35,7 % (рис. 3, б).

Возрастание длины  $l$  поводков механизма подвеса с 0,08 до 0,18 м приводит к

увеличению времени затухания колебаний сошника при нулевом уровне фактора  $x_1$  ( $h = 30$  мм) и  $m = 1,4$  кг на 16,7 %, при  $m = 2,2$  кг – на 34,7 % (рис. 3, а); при  $x_3 = 0$  ( $m = 1,8$  кг) и  $h = 10$  мм – на 34,5 %, при  $h = 50$  мм – на 22,5 % (рис. 3, а).

Увеличение же массы  $m$  сошника с 1,4 до 2,2 кг обуславливает рост времени необходимого системе для достижения динамического равновесия при постоянном значении  $h = 30$  мм в диапазоне изменения длины  $l$  поводков от 13,8 до 34,6 % (рис. 3, а); при постоянном значении  $l = 0,13$  м в диапазоне изменения глубины  $h$  хода сошника – от 16,4 до 27,7 % (рис. 3, б).

Для выбранных геометрических параметров экспериментального образца сошниковой группы и установленной эквивалентной жёсткости пружин кручения, равной  $c = 240$  Н·м/рад, диапазон минимальных значений времени переходного периода находится в пределах 0,212...0,218 с и соответствует глубине бороздообразования  $h = 41,3...50,0$  мм, длине поводков  $l = 0,13$  м, массе сошника  $m = 1,7...1,8$  кг.

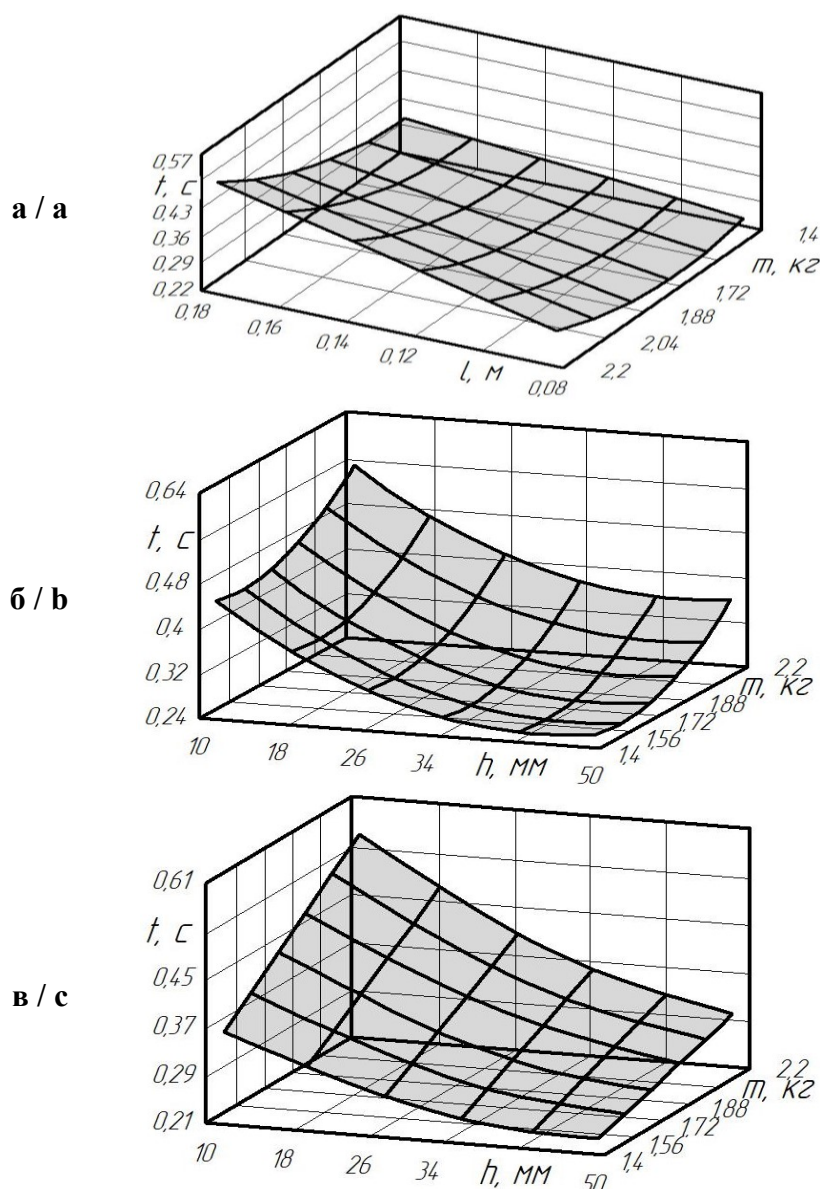


Рис. 3. Влияние глубины  $h$  бороздообразования, мм ( $x_1$ ), длины  $l$  поводков, м ( $x_2$ ), массы  $m$  сошника, кг ( $x_3$ ) на время,  $t$ , с ( $Y$ ) затухания колебаний механизма подвеса сошниковой группы при: а –  $h = 30$  мм ( $x_1 = 0$ ); б –  $l = 0,13$  м ( $x_2 = 0$ ); в –  $m = 1,8$  кг ( $x_3 = 0$ ) /

Fig. 3. Influence of depth  $h$ , mm ( $x_1$ ) furrowing, length  $l$ , m ( $x_2$ ) of leashes, mass  $m$ , kg, of opener ( $x_3$ ) on time  $t$ , s, ( $Y$ ) damping of oscillations of the suspension mechanism of the coulter group at: а –  $h = 30$  mm ( $x_1 = 0$ ); б –  $l = 0.13$  m ( $x_2 = 0$ ); с –  $m = 1.8$  kg ( $x_3 = 0$ )

В составе лабораторной установки для регистрации данных использован датчик Wit-Motion WT901, что позволило достаточно точно определить траектории движения сошника в продольно-вертикальной плоскости при достижении им динамического равновесия. Часть из них, наиболее информативно иллюстрирующих влияние изучаемых факторов на характер колебаний, представлена на рисунке 4. Траекторию сошника определяют угол  $\alpha$ , град., наклона поводков к горизонтали при достижении сошниковой группы динамического равновесия, который равен  $\alpha = \alpha_0 \pm \varphi_0$ , где  $\alpha_0$  – первоначальный угол установки поводков подвеса,

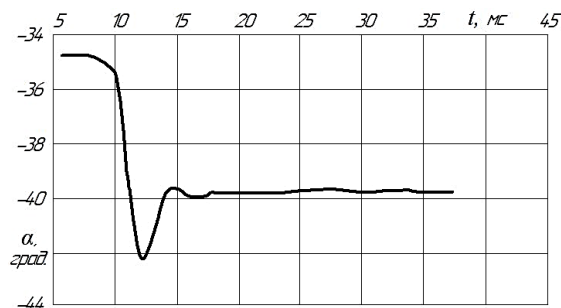
град.,  $\varphi_0$  – угол отклонения поводка от первоначального угла установки при достижении сошниковой группы динамического равновесия, град., и время  $t$ , мс.

Начальное положение поводков механизма подвеса сошника, определяемое углом наклона  $\alpha$ , град., поводков к горизонтали, соответствует их первоначальному отклонению от положения статического равновесия в начале опыта и составляет  $5^\circ$ . При начале движения сошник сходит с опорной поверхности ящика с почвой и погружается в почву, что имитирует начальный момент вхождения

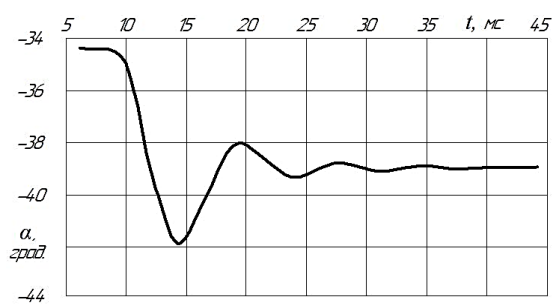


сошника в почву при начале работы сеялки или его наезд на твердый предмет в процессе посева. Далее рабочий орган совершает одно или несколько затухающих колебаний и достигает положения динамического равновесия,

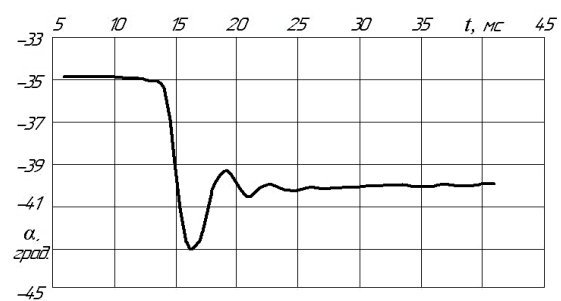
соответствующего точке баланса между сопротивлением почвы передвижению сошника и усилием пружин кручения, направленных на заглубление сошника.



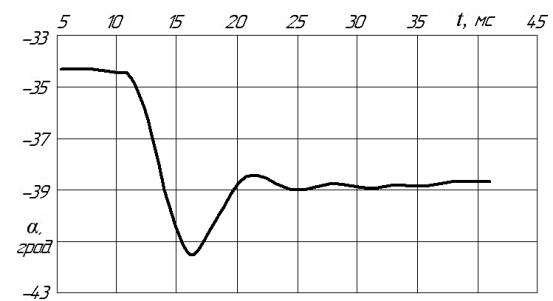
а / а



б / б



в / с



г / г

Рис. 4. Траектории движения сошника в продольно-вертикальной плоскости в процессе достижения им динамического равновесия при: а –  $h = 50$  мм ( $x_1 = 1$ ),  $l = 0,08$  м ( $x_2 = -1$ ),  $m = 1,8$  кг ( $x_3 = 0$ ); б –  $h = 10$  мм ( $x_1 = -1$ ),  $l = 0,18$  м ( $x_2 = 1$ ),  $m = 1,8$  кг ( $x_3 = 0$ ); в –  $h = 30$  мм ( $x_1 = 0$ ),  $l = 0,08$  м ( $x_2 = -1$ ),  $m = 1,4$  кг ( $x_3 = -1$ ); г –  $h = 30$  мм ( $x_1 = 0$ ),  $l = 0,18$  м ( $x_2 = 1$ ),  $m = 2,2$  кг ( $x_3 = 1$ ) /

Fig. 4. The trajectories of the coulter in the longitudinal-vertical plane in the process of achieving dynamic equilibrium with: а –  $h = 50$  mm ( $x_1 = 1$ ),  $l = 0.08$  m ( $x_2 = -1$ ),  $m = 1.8$  kg ( $x_3 = 0$ ); б –  $h = 10$  mm ( $x_1 = -1$ ),  $l = 0.18$  m ( $x_2 = 1$ ),  $m = 1.8$  kg ( $x_3 = 0$ ); в –  $h = 30$  mm ( $x_1 = 0$ ),  $l = 0.08$  m ( $x_2 = -1$ ),  $m = 1.4$  kg ( $x_3 = -1$ ); г –  $h = 30$  mm ( $x_1 = 0$ ),  $l = 0.18$  m ( $x_2 = 1$ ),  $m = 2.2$  kg ( $x_3 = 1$ )

Минимальное время перехода сошниковой группы в состояние динамического равновесия составляет  $t = 0,218$  с и получено при среднем значении массы сошника  $m = 1,8$  кг, максимальной глубине бороздообразования  $h = 50$  мм и минимальной длине поводков  $l = 0,08$  м (рис. 4, а), максимальное –  $t = 0,554$  с и соответствует минимуму глубины хода сошника  $h = 10$  мм и максимуму длины поводков  $l = 0,18$  м (рис. 4, б). При нулевом уровне глубины погружения сошника в почву  $h = 30$  мм наименьшее время затухания колебаний сошника получено при нижних уровнях длины поводков  $l$  и массы сошника  $m$ , максимальное – при верхних уровнях данных факторов (рис. 4, в, г). При этом характер траекторий сошника в ходе переходного процесса, частично представленных на рисунке 4, в большинстве опытов соответствует затухающему колебательному движению рабочих органов

и только в ряде случаев представляет предельно аperiodическое движение. Согласно исследованиям ряда авторов [14], наиболее приемлемым по времени возвращения рабочего органа в поле допуска рабочего процесса является предельно аperiodическое движение, либо движение на стыке затухающего колебательного и предельно аperiodического движения.

Наибольшее влияние на время затухания  $t$  колебаний сошника оказывает сопротивление почвы его перемещению, определяемое в эксперименте глубиной бороздообразования  $h$ , в особенности её вертикальная составляющая. Посев мелкосемянных культур, к которым относится большинство трав, проводится на глубину 10...20 мм, что примерно соответствует глубине бороздообразования 30...40 мм. В связи с этим, можно предположить, что одним из вариантов снижения времени затухания  $t$  колебаний может быть увеличение площади



опорной поверхности килевидного сошника, повышающее величину вертикальной составляющей сопротивления почвы.

Зависимость времени  $t$  переходного процесса от значений длины  $l$  поводков и массы  $m$  сошника менее значимо, при этом окончательный выбор значений этих параметров во многом определяется конструктивно-технологическими требованиями, предъявляемыми к сошниковой группе. В частности, если уменьшение массы  $m$  сошника до минимальных значений фактора конструктивно оправдано, то чрезмерное снижение длины  $l$  поводков негативно повлияет на возможности сошниковой группы по копированию микрорельефа поверхности.

**Закключение.** Получена модель регрессии функционирования сошниковой группы дернинной сеялки с креплением сошника килевидного типа на параллелограммном механизме подвеса в виде пружин кручения, отличаю-

щаяся их вертикальным размещением на раме сеялки (патент РФ №2772128), позволяющая на стадии проектирования определить основные параметры её пружинного механизма подвеса. Реализован план эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка для трёх факторов, который позволил определить зависимость времени  $t$  затухания колебаний механизма подвеса сошниковой группы от следующих факторов: глубины  $h$  бороздообразования мм, длины  $l$  поводков механизма подвеса,  $m$  и массы  $m$  сошника килевидного типа, кг. Для выбранных геометрических параметров экспериментального образца сошниковой группы и установленной эквивалентной жёсткости пружин кручения, равной  $c = 240 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$ , диапазон минимальных значений времени переходного периода находится в пределах  $t = 0,212 \dots 0,218 \text{ с}$  и соответствует глубине бороздообразования  $h = 41,3 \dots 50,0 \text{ мм}$ , длине поводков  $l = 0,13 \text{ м}$ , массе сошника  $m = 1,7 \dots 1,8 \text{ кг}$ .

#### *Список литературы*

1. Хухта Х., Минин В. Б. Основные принципы органического сельского хозяйства. Санкт-Петербург: АСПИРСТ; Миккелли, 2014. 40 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007979139>
2. Зотов А. А., Косолапов В. М., Кобзин А. Г., Трофимов И. А., Уланов А. Н., Шевцов А. В., Шельменкина Х. Х., Шукин Н. Н. Сенокосы и пастбища на осушаемых землях Нечерноземья. Кокшетау: ИП "Изотова К. У.", 2012. 1198 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18823927&EDN:PVYALX>
3. Baker C. J., Saxton K. E., Ritchie W. R., Chamen W. C. T., Reicosky D. C., Ribeiro M. F. S., Justice S. E., Hobbs P. R. No-tillage seeding in conservation agriculture. 2nd ed. FAO and CAB International, 2007. 326 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-al298e.pdf>
4. Welty L. E., Hensleigh P. F., Stewart V. R. Methods for Sod-Seeding of Small-Seeded Legumes and Grasses. Montana State University is an Equal Opportunity. 15 p. URL: <https://animalrangeextension.montana.edu/forage/documents/methods%20for%20sod-seeding%20of%20small-seeded%20legumes%20and%20grasses.pdf>
5. Соколов А. В., Замана С. П., Патлай В. В., Федоровский Т. Г., Киндсфатер В. Я. Совершенствование технологического процесса и технических средств для прямого подсева трав в дернину природных кормовых угодий. Кормопроизводство. 2012;(4):44-46. Режим доступа: <http://kormoproizvodstvo.ru/files/arhiv/4.12.pdf>
6. Ревенко В. Ю., Белоусов М. М. Результаты испытаний машины для полосного подсева трав в дернину. Международная агроинженерия. 2014;(4 (12)):53-61. Режим доступа: <http://www.spsae.kz/uploads/images/2014%204.pdf>
7. Полищук Ю. В., Лаптев Н. В., Комаров А. П. Комбинированные орудия для полосного подсева в технологии поверхностного улучшения старовозрастных многолетних трав. Научное обеспечение животноводства Сибири: мат-лы V Международ. научн.-практ. конф. Красноярск, 2021. С. 52-56.
8. Курбанов Р. Ф., Созонтов А. В. Эффективность технологии многокомпонентного полосного посева многолетних трав в дернину. Пермский аграрный вестник. 2017;(3 (19)):40-44. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30009673&EDN:ZGSGBX>
9. Демшин С. Л., Исупов А. Ю., Гайдидей С. В., Зырянов Д. А., Демшин К. С. Механизм подвески сошника. Пат. № 2772128 Российская Федерация. № заявки: 2021111764; заявл. 23.04.2021; опубл. 18.05.2022. Бюл. №14. 9 с. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2772128C1/ru>
10. Сысуйев В. А., Демшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Способ полосного посева семян трав в дернину и сеялка для его осуществления: пат. №2641073 Российская Федерация. №2016108377; заявл. 09.03.2016, опубл. 15.01.2018, Бюл. №2. 11 с. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2641073C2/ru>
11. Sysuev V. A., Kurbanov R. F., Demshin S. L., Saitov V. E., Doronin M. S. Parameters and operating modes of the coulter group of the sod seeder. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;723(2):022050. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022050>
12. Сысуйев В. А., Демшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Повышение качества полосного посева семян трав в дернину. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(5):63-68. Режим доступа: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/163/163>
13. Гайдидей С. В., Демшин С. Л., Исупов А. Ю. Исследование динамики сошниковой группы сеялки полосного посева. Таврический вестник аграрной науки. 2022;(4 (32)):34-46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49982561&EDN:MTRGVE>
14. Кормициков А. Д. Техника и технологии для склоновых земель. Теория, технологический расчет, развитие. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2002. 297 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002460263>

### References

1. Khukhta Kh., Minin V. B. Basic principles of organic agriculture. Saint-Petersburg: *ASPIRST; Mikkeli*, 2014. 40 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007979139>
2. Zotov A. A., Kosolapov V. M., Kobzin A. G., Trofimov I. A., Ulanov A. N., Shevtsov A. V., Shelmenkina Kh. Kh., Shchukin N. N. Hayfields and pastures on drained lands of the Non-Black Earth Region. Kokshetau: *IP "Izotova K. U."*, 2012. 1198 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18823927&>
3. Baker C. J., Saxton K. E., Ritchie W. R., Chamen W. C. T., Reicosky D. C., Ribeiro M. F. S., Justice S. E., Hobbs P. R. No-tillage seeding in conservation agriculture. 2nd ed. FAO and CAB International, 2007. 326 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-al298e.pdf>
4. Welty L. E., Hensleigh P. F., Stewart V. R. Methods for Sod-Seeding of Small-Seeded Legumes and Grasses. Montana State University is an Equal Opportunity. 15 p. URL: <https://animalrangeextension.montana.edu/forage/documents/methods%20for%20sod-seeding%20of%20small-seeded%20legumes%20and%20grasses.pdf>
5. Sokolov A. V., Zamana S. P., Patlay V. V., Fedorovskiy T. G., Kindsfater V. Ya. Improving the technological process and means for direct grasses undersowing into grassland sod of natural fodder lands. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2012;(4):44-46. (In Russ.). URL: <http://kormoproizvodstvo.ru/files/arhiv/4.12.pdf>
6. Revenko V. Yu., Belousov M. M. Results of tests of the car for band podsev of herbs in dernina. *Mezhdunarodnaya agroinzheneriya* = International Agro-engineering. 2014;(4 (12)):53-61. (In Kazakhstan). URL: <http://www.spcac.kz/uploads/images/2014%204.pdf>
7. Polishchuk Yu. V., Laptev N. V., Komarov A. P. Combined implements for strip seeding in the technology of surface improvement of old-growth perennial grasses. Scientific support for animal husbandry in Siberia: materials of the V International scientific-practical conf. Krasnoyarsk, 2021. pp. 52-56.
8. Kurbanov R. F., Sozontov A. V. An efficiency of a technology of multi-component strip sowing of perennial grasses in sod. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2017;(3 (19)):40-44. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30009673>
9. Demshin S. L., Isupov A. Yu., Gaydidey S. V., Zyryanov D. A., Demshin K. S. Opener suspension mechanism: Patent RF, no. 2772128, 2022. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2772128C1/ru>
10. Sysuev V. A., Demshin S. L., Cheremisinov D. A., Doronin M. S. A method for strip sowing grass seeds in turf and a seeder for its implementation: Patent RF, no. 2641073. 2018. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2641073C2/ru>
11. Sysuev V. A., Kurbanov R. F., Demshin S. L., Saitov V. E., Doronin M. S. Parameters and operating modes of the coulter group of the sod seeder. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;723(2):022050. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022050>
12. Sysuev V. A., Demshin S. L., Cheremisinov D. A., Doronin M. S. Improvement quality of strip sowing of grasses' seeds into a sod. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(5):63-67. (In Russ.). URL: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/163/163>
13. Gaydidey S. V., Demshin S. L., Isupov A. Yu. Analysis of the dynamics of the coulter group of the sod seeder for strip sowing. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2022;(4 (32)):34-46. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49982561>
14. Kormshchikov A. D. Equipment and technologies for sloping lands. Theory, technological calculation, development. Kirov: *NIISKh Severo-Vostoka*, 2002. 297 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002460263>

### Сведения об авторах

**Сысueв Василий Алексеевич**, академик РАН, научный руководитель, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1172-005X>

✉ **Дёмшин Сергей Леонидович**, доктор техн. наук, доцент, зав. лабораторией, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7562-7965>, e-mail: [sergdemshin@mail.ru](mailto:sergdemshin@mail.ru)

**Гайдидей Сергей Владимирович**, соискатель, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6112-5411>

**Зырянов Дмитрий Алексеевич**, кандидат техн. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru)

### Information about the authors

**Vasily A. Sysuev**, the academician of the RAS, academic advisor, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1172-005X>

✉ **Sergey L. Demshin**, DSc in Engineering, associate professor, head of the laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7562-7965>, e-mail: [sergdemshin@mail.ru](mailto:sergdemshin@mail.ru)

**Sergey V. Gaididei**, applicant, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6112-5411>

**Dmitry A. Zyryanov**, PhD in Engineering, researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru)

✉ – Для контактов / Corresponding author