

Теоретическое обоснование основных параметров сошниковой группы дернинной сеялки полосного посева

© 2020. В. А. Сысуев, С. Л. Дёмшин[✉], Д. А. Черемисинов, М. С. Доронин
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Повышение эффективности прямого полосного посева семян трав сеялками с активными бороздовскрывателями возможно при выносе семя- и тукозаделывающих рабочих органов из зоны работы дисковых фрез. Предложена конструктивно-технологическая схема сошниковой группы дернинной сеялки полосного посева, которая состоит из фрезерного бороздовскрывателя, тукового и семенного сошников, установленных на поводках крепления в виде прицепов пружин кручения, и прикатывающего катка. Для обеспечения высокого качества разноразмерного высева семян трав и гранул минеральных удобрений необходимо на стадии проектирования определить длину щёк тукового сошника, которые сдерживают преждевременное осыпание почвы со стенок борозды до момента, когда гранулы минеральных удобрений попадут на дно борозды, и минимально допустимое расстояние между туковым и семенным сошниками, позволяющее добиться полного укрытия гранул минеральных удобрений почвой при сохранении компактности конструкции сошниковой группы. В ходе теоретических исследований получены математические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы разработанной сошниковой группы, которые позволяют обеспечить минимальный разброс гранул минеральных удобрений по глубине заделки и высокую стабильность толщины прослойки почвы между гранулами удобрений и семенами трав. Для диапазона рабочих скоростей дернинной сеялки полосного посева определены рациональные параметры сошниковой группы предложенной конструкции: угол при вершине наральника тукового сошника в горизонтальной плоскости 15-20°, длина щеки тукового сошника 0,040-0,045 м, ширина раструба тукового сошника 0,02 м, минимально допустимое расстояние между туковым и семенным сошниками 0,14-0,16 м.

Ключевые слова: прямой посев в дернину, минеральные удобрения, дисковая фреза, туковый сошник, семенной сошник, каток прикатывающий, механизм подвеса сошников, пружина кручения

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0094).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Сысуев В. А., Демшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Теоретическое обоснование основных параметров сошниковой группы дернинной сеялки полосного посева. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(3):321-331. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.321-331>

Поступила: 26.02.2020

Принята к публикации: 28.05.2020

Опубликована онлайн: 23.06.2020

Theoretical justification of the main parameters of the coulter group of the sod seeder for strip sowing

© 2020. Vasily A. Sysuev, Sergey L. Demshin[✉], Dmitriy A. Cheremisinov, Maxim S. Doronin

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

Increasing the efficiency of direct strip sowing of grass seeds by means of seeders with active furrow openers is possible when seed and fertilizer working bodies are removed from the zone of operation of disk milling cutters. A structural and technological scheme of the coulter group of the sod seeder for strip sowing is proposed, which consists of a milling furrow opener, fertilizer and seed coulters mounted on leashes in the form of torsion spring trailers, and a rolling roller. To ensure high quality multilevel sowing of grass seeds and granules of mineral fertilizers, it is necessary at the design stage to determine the length of the fertilizer coulter sides, which prevent premature shedding of soil from the furrow walls until the mineral fertilizer granules reach the bottom of the furrow, and the minimum allowable distance between the fertilizer and seed coulters, which allows to cover the granules of mineral fertilizers with soil completely while maintaining the compact design of the coulter group. In the course of theoretical research, mathematical dependences were obtained to determine the rational parameters and operating modes of the coulter group of the proposed design, which will ensure a minimum spread of mineral fertilizer granules over the depth of incorporation and a high stability of the soil layer thickness between mineral fertilizer granules and grass seeds. Rational parameters of the coulter group of the proposed design are determined for the range of operating speeds of the sod seeder for strip sowing: angle at the apex of the shank fertilizer coulter in the horizontal plane is 15-20°, the length of the fertilizer coulter sides is 0.040-0.045 m, the width of the fertilizer coulter bell is 0.02 m, minimum permissible distance between the fertilizer and seed coulters is 0.14-0.16 m.

Keywords: direct sowing in the sod, mineral fertilizer, disc milling cutter, fertilizer coulter, seed coulter, packing roller, suspension mechanism of coulter, torsion spring

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme № 0528-2019-0094).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citation: Sysuev V. A., Demshin S. L., Cheremisinov D.A., Doronin M. S. Theoretical justification of the main parameters of the coulter group of the sod seeder for strip sowing. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(3):321-331. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.321-331>

Received: 26.02.2020

Accepted for publication: 28.05.2020

Published online: 23.06.2020

Большинство технологий улучшения природных кормовых угодий основано на совокупности химического подавления растений существующей экосистемы гербицидами с последующим механическим нарезанием узких бороздок в дернине и посевом в них семян трав специальными сеялками или комбинированными агрегатами [1, 2, 3]. Развитие экологического земледелия обусловило более широкое распространение технологий повышения продуктивности естественных кормовых угодий, заключающихся в полосном посеве трав с механической обработкой в дернине полос, размеры которых обеспечивают успешное развитие всходов без применения химических препаратов [4, 5, 6, 7]. Особое место в создании стартовых условий для прорастания и дальнейшей вегетации растений, наряду с качественной обработкой почвы, занимает повышение равномерности заделки семян и удобрений в почву, что обеспечивает равный доступ высеванных семян к основным факторам роста [8]. Вследствие чего совершенствование семя- и тукозаделывающих рабочих органов комбинированных агрегатов и сеялок прямого посева является актуальной задачей.

Качество заделки семян в почву во многом определяет работа сошниковой группы почвообрабатывающе-посевных агрегатов, разработка которых в навесном варианте предъявляет также особые требования к её компактности и металлоёмкости. Многочисленные исследования почвообрабатывающих и семязаделывающих рабочих органов показали преимущество их установки на упругих стойках или применение для этого подпружиненных механизмов подвеса [9, 10, 11, 12]. Предложена конструкция универсальной сошниковой группы для почвообрабатывающе-посевных агрегатов, почвообрабатывающая часть которых обеспечивает высокое качество предпосевной обработки почвы [13, 14].

В этом случае сформированная в процессе обработки почвы выровненная, мелкокомковатая поверхность поля позволила применить в качестве поводков сошников прицепы пружин кручения. Совмещение функций крепления, защиты и копирования рельефа в одном конструктивном элементе – пружине кручения при однорядной установке килевидных сошников обеспечивает компактность и низкую металлоёмкость сошниковой группы. В перспективе данная сошниковая группа может использоваться как в условиях полосного посева семян трав в стерню или дернину сеялками семейства СДК, так и при рядовом посеве почвообрабатывающе-посевными агрегатами.

Цель исследования – теоретическое определение оптимальных параметров сошниковой группы сеялки для полосного посева в дернину семян трав с внесением стартовой дозы минеральных удобрений.

Материал и методы. Теоретические исследования по определению основных параметров сошниковой группы сеялки для прямого посева семян трав в дернину выполнены на основе известных положений теории деформации почвы клином¹ и бороздообразования².

Результаты и их обсуждение. Анализ ранее проведенных исследований выявил, что повышение до определенного уровня массы сошника, установленного на пружинном подвесе, положительно влияет на устойчивость его хода по глубине. Учитывая, что для благоприятного развития всходов рекомендуется разноуровневый высев семян и гранул минеральных удобрений, предложена конструкция сошниковой группы на базе килевидного сошника. Для повышения эффективности процесса прямого полосного посева в дернину семян трав сеялками СДК предложено вынести из зоны работы дисковых фрез семя- и тукозаделывающие рабочие органы и объединить туковый и семенной сошники в единую группу.

¹Синекоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчёт почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. 328 с.

²Бузенков Г. М., Ма С. А. Машины для посева сельскохозяйственных культур. М.: Машиностроение, 1976. 284 с.

Вывод сошниковой группы из-под защитного кожуха фрезерного бороздовскрывателя сеялки (рис. 1, б) позволит уменьшить залипание подкожухового пространства почвой, что особенно актуально в условиях повышенной влажности, и исключит влияние на сошники колебаний кожуха от ударов комков почвы, снижающее равномерность глубины высева гранул минеральных удобрений и семян. С учётом предложенной конструкции сошниковой группы разработан способ полосного посева, который включает предпосевную полосную обработку дернины дисковыми фрезами, выравнивание почвы, внесение минеральных удобрений и посев семян на уплотнённое посевное ложе по оси обработанной полосы на 1-2 см выше глубины внесения

удобрений (рис. 1, а). В этом случае на поводках крепления сошниковой группы в виде прицепов пружин кручения устанавливается сдвоенный сошник для туков и семян трав. При движении в профрезерованной полосе почвы туковый сошник создает бороздку, в которую высеваются минеральные удобрения, после его прохода стенки борозды осыпаются и закрывают удобрения, обеспечивая тем самым оптимальную прослойку почвы между минеральными удобрениями и семенами. В дальнейшем по этой же строчке посева идет семенной сошник, наральник которого осуществляет уплотнение слоя почвы над гранулами минеральных удобрений. В образовавшуюся борозду высеваются семена трав. Уплотнение почвы осуществляется прикатывающим катком.

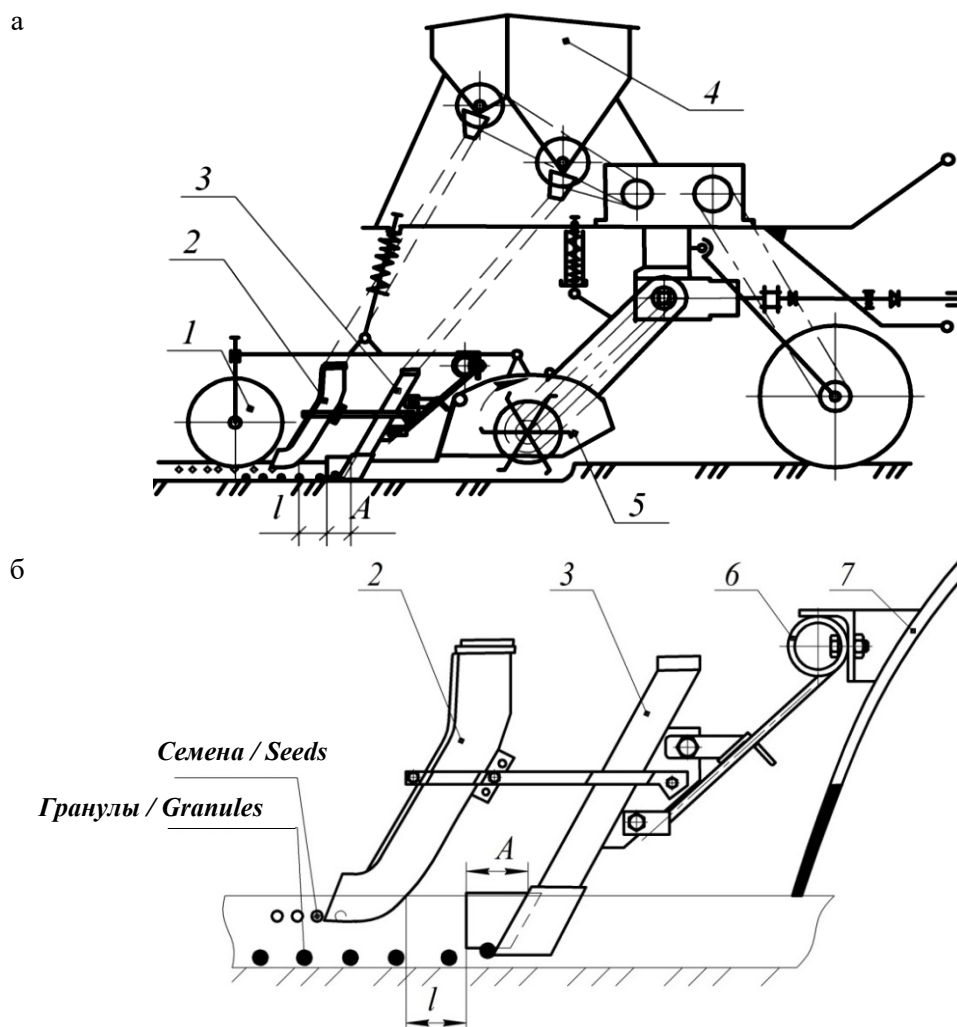


Рис. 1. Технологическая схема дернинной сеялки полосного посева (а) и её сошниковой группы (б): 1 – прикатывающий каток; 2 – семенной сошник; 3 – туковый сошник; 4 – зернотуковый ящик; 5 – фрезерный бороздовскрыватель; 6 – механизм подвеса сошниковой группы; 7 – защитный кожух /
Fig. 1. The technological scheme of the sod seeder of strip sowing (а) and its coulter group (б): 1 – packing roller; 2 – seed coulters; 3 – fertilizer coulters; 4 – hopper for seeds and fertilizers; 5 – disc milling cutter; 6 – suspension mechanism of coulter group; 7 – protective casing

Одним из основных показателей качества посева является стабильность глубины заделки минеральных удобрений и семян, а также величины прослойки почвы между ними [15, 16]. Для минимального разброса гранул минеральных удобрений по глубине заделки необходимо, чтобы при их падении из тукового сошника в образовавшуюся борозду они успели переместиться на дно борозды [17, 18]. В связи с этим необходимо определить оптимальную длину щёк A , м, тукового сошника, задерживающих осыпание почвы со стенок борозды, которой первоначально заделываются высеянные гранулы. Для обеспечения оптимальной величины прослойки почвы между гранулами минеральных удобрений и семенами необходимо найти минимально допустимое расстояние l , м, между туковым и семенным сошниками, которое позволяет достичь полного укрытия гранул почвой, осыпающейся со стенок борозды.

При определении вышеперечисленных параметров сошниковой группы выполнены теоретические исследования на основе известных положений теории бороздообразования с учётом следующих допущений:

- сошник перемещается равномерно и прямолинейно, т. е. $V_c = const$;
- почва после прохода дисковой фрезы имеет однородную мелкокомковатую структуру, что позволяет рассматривать её как сыпучую среду.

Для определения длины щёк A тукового сошника изучено движение гранул удобрений по стенкам борозды. Так как профиль борозды образован двумя наклонными плоскостями, то рассмотрим «граничный случай» падения частицы удобрений в верхнюю точку стенки борозды. Для получения минимального разброса по глубине заделки длина A боковых стенок должна быть такой, чтобы гранулы, упавшие в борозду, успели скатиться на дно до того момента, пока их не закрыло осыпавшейся со стенок борозды землей. Рассмотрим движение гранулы удобрений по стенке борозды и определим время, за которое она достигнет дна борозды (рис. 2). Гранула при попадании на стенку борозды имеет скорость V_{Π} падения. При этом на неё воздействуют силы тяжести mg , трения $mg \cdot tg\varphi$ и реакции N почвы. Составим уравнение движения гранулы по стенке борозды в осях координат $\tau - N$:

$$m \frac{d^2 \tau}{dt^2} = mg \cdot \cos \gamma - mg \cdot \sin \gamma \cdot tg \varphi. \quad (1)$$

Решение дифференциального уравнения (1) имеет вид:

$$V_T = g(\cos\gamma - \sin\gamma \cdot \operatorname{tg}\varphi) \cdot t + C_1, \quad (2)$$

где γ – угол при вершине наральника тукового сошника, град, C_1 – постоянная интегрирования, t – время скольжения гранулы по стенке борозды, с, φ – угол трения частиц почвы о боковую грань сошника, град.

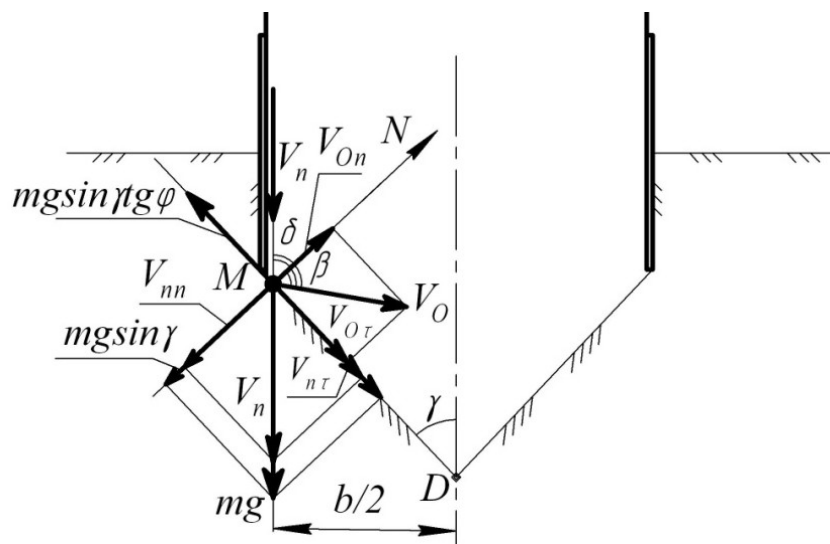


Рис. 2. Расчетная схема движения гранулы минеральных удобрений по стенке борозды /

Fig. 2. Calculation scheme of the movement of granules of mineral fertilizers along the furrow wall

При этом надо учитывать характер движения гранулы по стенке борозды, который во многом определяет форма поперечного профиля борозды, напрямую зависящая от

величины угла γ при вершине наральника сошника в вертикально-поперечной плоскости. Имеют место два вида движения гранул в борозде: с отражением от стенки борозды

и со скольжением по ней. При проектировании компактной сошниковой группы для прямого посева в профрезерованную полосу почвы наиболее приемлем второй вариант. В этом случае для полного устранения отскакивания необходимо, чтобы сила восстановления удара не превышала составляющей веса гранулы на нормаль N или её нормальное ускорение равнялось $a_{\Pi} \leq g \cdot \sin \gamma$. Тогда, в момент падения гранулы удобрений на стенку борозды при $t = 0$ её начальная скорость равняется $V_t = V_{\Pi} \cdot \sin \delta$, и уравнение скорости движения гранулы по стенке борозды с учетом начальных условий можно выразить следующим выражением:

$$V_t = g(\cos \gamma - \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot t + V_{\Pi} \cdot \sin \delta, \quad (3)$$

где δ – угол падения гранулы, град.

Анализ уравнения (3) показывает, что скорость движения гранулы по стенке борозды зависит от первоначальной скорости V_{Π} падения, коэффициента $\operatorname{tg} \varphi$ трения гранулы минеральных удобрений о почву, а также от значений угла γ при вершине сошника в вертикально-поперечной плоскости, который определяет формирование поперечного профиля борозды, и угла падения δ гранулы.

Проинтегрировав уравнение (3) относительно времени t , найдем уравнение движения частицы по наклонной поверхности стенки борозды:

$$\tau = \frac{g(\cos \gamma - \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{2} \cdot t^2 + V_{\Pi} \cdot \sin \delta \cdot t + C_2. \quad (4)$$

Начальные условия для C_2 имеют вид: при $t = 0$ с, $\tau_{t=0} = 0$ м.

Окончательное уравнение движения гранулы по наклонной стенке борозды с учетом начальных условий выразится:

$$\tau = g(\cos \gamma - \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi) \frac{t^2}{2} + V_{\Pi} \cdot \sin \delta \cdot t. \quad (5)$$

В то же время расстояние, пройденное гранулой до момента сползания её на дно борозды по истечении времени t , можно определить

$$\tau_t = \frac{b}{2 \sin \gamma}, \quad (6)$$

где b – ширина раструба сошника, м.

Для определения длины щеки A сошника рассчитаем время t движения гранулы по плоскости стенки борозды, за которое она достигнет дна, используя выражения (5) и (6):

$$\frac{g(\cos \gamma - \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{2} \cdot t^2 + V_{\Pi} \cdot \sin \delta \cdot t - \frac{b}{2 \sin \gamma} = 0. \quad (7)$$

Решая степенное уравнение второго порядка (7), можно определить время t , необходимое для перемещения гранулы на дно

борозды. В этом случае расчётная длина щёк тукового сошника определится:

$$A = V_c \cdot t. \quad (8)$$

При нахождении минимально допустимого расстояния l между туковым и семенным сошниками для создания прослойки почвы между минеральными удобрениями и семенами, исходя из условия полного укрытия гранул минеральных удобрений почвой, осыпающейся со стенок борозды, определим относительную скорость движения частиц почвы, граничащих с боковыми гранями тукового сошника. При движении килевидного тукового сошника, имеющего в продольно-горизонтальной плоскости форму прямого плоского клина, на частицу почвы, соприкасающейся с боковой гранью сошника в точке O , действуют силы (рис. 3): P_x – боковое давление сыпучего материала; $F_{\text{тр}}$ – сила трения частиц почвы по наральнику сошника; $F_{\text{ин}}$ – сила динамического давления, обусловленная инерцией почвы, отбрасываемой в стороны боковой гранью сошника и направленная противоположно абсолютной скорости V движения частиц почвы, отбрасываемых боковой гранью наральника.

Разложим силу N на составляющие P_{xv} и P_{xt} , действующие по направлению скорости V_c движения сошника и по его рабочей поверхности. Частица почвы будет скользить по поверхности клина под действием силы:

$$P_{xt} > F_{\text{тр}} + F_{\text{инт}}. \quad (9)$$

Сила динамического давления почвы $F_{\text{ин}}$ на боковую грань сошника определяется выражением³:

$$F_{\text{ин}} = \frac{2m}{s} \cdot V_c^2 \cdot \sin \frac{\Delta}{2}, \quad (10)$$

где m – масса почвы, отбрасываемая боковой гранью сошника, кг, Δ – угол при вершине наральника тукового сошника, град.

Дифференциальное уравнение движения частицы почвы по наклонной грани сошника примет вид:

$$\frac{md^2x}{dt^2} = \frac{mg}{2 \operatorname{tg} \alpha} \cdot \operatorname{tg} \beta - \frac{mg}{2 \operatorname{tg} \alpha} \cdot \operatorname{tg} \varphi - \frac{2 \cdot m \cdot V_c^2}{s} \cdot \sin \frac{\Delta}{2}, \quad (11)$$

где $\frac{mg}{2 \operatorname{tg} \alpha} = P_x$ – усилие со стороны почвы на боковую грань сошника, Н; V_c – поступательная скорость сошника, м/с; α – угол укладки частиц, град, β_1 – угол между направлением скорости сошника и нормалью, град.

³Синеоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчёт почвообрабатывающих машин. 1977. 328 с.

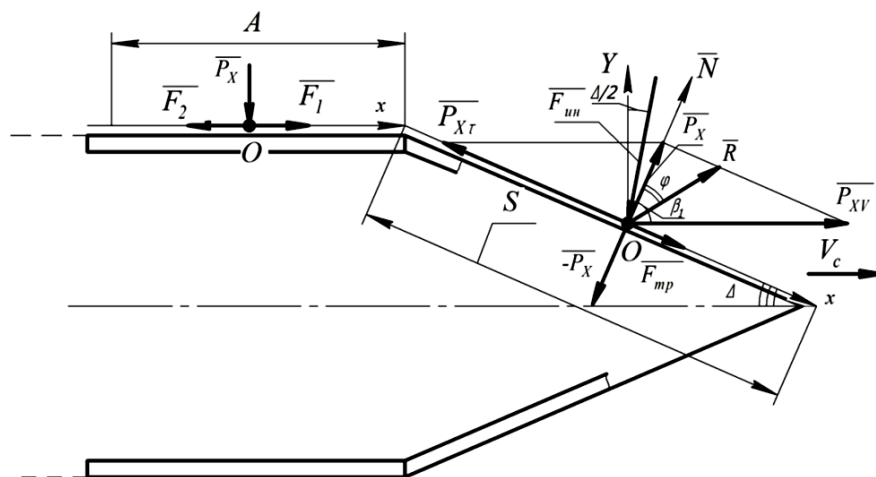


Рис. 3. Расчетная схема перемещения почвы по граням наральника тукового сошника в горизонтальной плоскости /

Fig. 3. Calculation scheme of soil movement along the verges of the shank fertilizer coulters in the horizontal plane

Интегрируя выражение (11), найдем уравнение скорости движения почвенных частиц по наклонной поверхности наральника сошника с учётом того, что время движения частиц по наклонной грани наральника тукового сошника составляет $t = S \cdot \cos \Delta / V_c$:

$$V_x = \frac{g \cdot S \cdot \cos \Delta}{2 \cdot \tan \alpha \cdot V_c} (\tan \beta - \tan \varphi) - 2V_c \cdot \cos \Delta \cdot \sin \frac{\Delta}{2}. \quad (12)$$

После того, как частица почвы достигнет точки перехода на боковой грани наральника, она начнет двигаться вдоль щёк сошника (рис. 3), где на неё действуют силы F_l – сила трения между почвенными частицами и боковой гранью сошника, увлекающая в сторону скорости сошника V_c , и сила трения F_2 – между почвенными частицами. Уравнение движения частицы по щеке тукового сошника после интегрирования имеет вид (ось OX в этом случае направлена вдоль щёк сошника):

$$V_x = \frac{gt}{2 \tan \alpha} [\tan \varphi - \tan \varphi_1] + C_1, \quad (13)$$

где φ_1 – угол трения между почвенными частицами, град.

При начальных условиях $t = 0$ скорость частиц почвы при попадании на боковую грань сошника рассчитывается согласно уравнению (13):

$$V_x = \frac{gt}{2 \tan \alpha} [\tan \varphi - \tan \varphi_1] + \frac{g \cdot S \cos \Delta}{2 \tan \alpha \cdot V_c} (\tan \beta - \tan \varphi) - 2V_c \cdot \cos \Delta \cdot \sin \frac{\Delta}{2}. \quad (14)$$

Уравнение (14) позволяет определить скорость почвенных частиц при схождении с грани тукового сошника. Её величина зависит от поступательной скорости V_c сошника и его геометрических параметров: угла Δ при вершине наральника и длины S наклонной поверхности наральника.

После прохода сошника идёт осыпание граничного с боковыми стенками сошника слоя почвы под действием силы тяжести. Время t_1 закрытия борозды после прохода тукового сошника равно:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (15)$$

где h – глубина хода тукового сошника, м.

Вследствие небольшой ширины раструба тукового сошника принято, что падение граничного с боковыми стенками слоя почвы обеспечит закрытие борозды с гранулами минеральных удобрений. При этом расстояние, проходимое частицей почвы при осыпании, составит $B = V_{xo} \cdot t_1$, а величина пути, проходимого сошниковой группой сеялки, за это время равна $B_1 = V_c \cdot t_1$. Тогда, значение минимально допустимого расстояния l между сошниками, исходя из условия полного укрытия гранул минеральных удобрений почвой, можно определить из выражения:

$$l = t_1 \cdot (V_c - V_{xo}). \quad (16)$$

С учётом формул (14) и (15) выражение для определения минимального расстояния между туковым и семенным сошниками примет вид:

$$l = \sqrt{\frac{2h}{g}} \cdot (V_c - \frac{gt}{2 \tan \alpha} (\tan \varphi - \tan \varphi_1) - \frac{g \cdot S \cos \Delta}{2 \tan \alpha \cdot V_c} (\tan \beta - \tan \varphi) + 2V_c \cdot \cos \Delta \cdot \sin \frac{\Delta}{2}). \quad (17)$$

Таким образом, длина щеки A тукового сошника определяется из условия гарантированного перемещения гранул минеральных удобрений на дно борозды до того момента, пока их не закроет почвой, осыпавшейся со стенок борозды. Следующим этапом расчёта является нахождение минимально допустимого расстояния l между туковым и семенным сошниками, определяемое из условия полного закрытия борозды, оставленной туковым сошником. Варьируя значениями других параметров тукового сошника, такими как угол γ при вершине наральника сошника в вертикально-поперечной плоскости и ширина раструба b сошника, а также технологическими параметрами процесса посева, можно найти рациональные значения рассматриваемых параметров применительно к условиям работы сошниковой группы и характеристикам высеваемых материалов.

Для изучения влияния основных параметров и режимов работы сошниковой группы на длину щеки A тукового сошника построены графические решения уравнения (8), которые рассчитаны при следующих значениях $\varphi = 30^\circ$, $\gamma = 20^\circ$, $\delta = 45^\circ$ для двух значений скорости V_{II} падения гранулы: 1,6 и 4,4 м/с, которые соответствуют её свободному падению с высоты h_{II} , равной 0,125 и 1,0 м (рис. 4). Анализ уравнений (7) и (8) показал, что на время скольжения гранул удобрений по наклонной стенке борозды, сделанной наральником тукового сошника, влияют такие параметры рабочего процесса посева, как скорость V_{II} падения гранул, угол δ падения, а также геометрические параметры сошника: угол γ при вершине наральника в вертикально-поперечной плоскости и ширина раструба b сошника. Величина угла $\gamma = 20^\circ$ выбрана из условия полного удержания отражения гранул от стенки борозды.

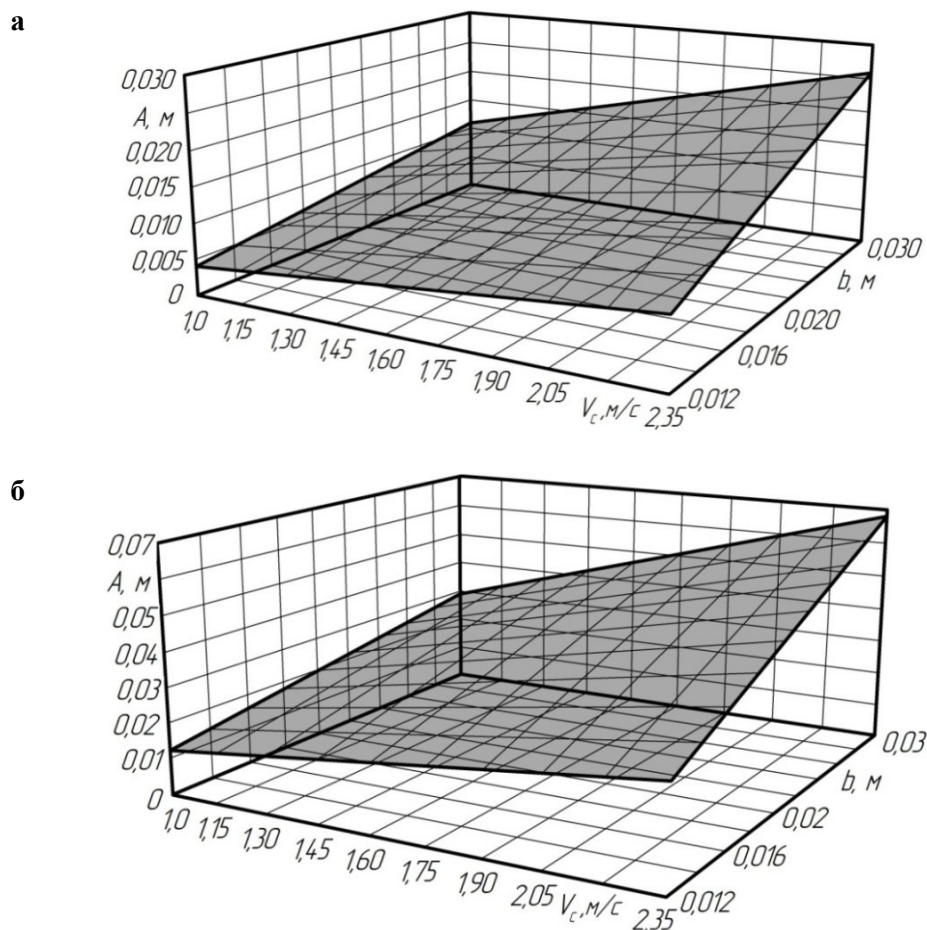


Рис. 4. Влияние скорости V_C (м/с) и ширины b (м) раструба на длину A (м) щёк тукового сошника при скорости падения гранулы минеральных удобрений: а) $V_{II} = 1,6$ м/с; б) $V_{II} = 4,4$ м/с /

Fig. 4. Influence of the speed V_C (m/s) and the width b (m) of the coulter bell on the length A (m) of the fertilizer coulter sides at the speed of falling of the granules of mineral fertilizers: а) $V_{II} = 1,6$ m/s; б) $V_{II} = 4,4$ m/s

Анализ графиков (рис. 4) выявил, что повышение ширины b раструба тукового сошника и его поступательной скорости V_C , независимо от начальной скорости V_H падения гранулы, обуславливают увеличение необходимой длины A щёк сошника. Так, изменение ширины b раструба сошника с 0,01 до 0,03 м при фиксированной скорости $V_C = 2,0$ м/с требует удлинения щёк A сошника с 0,008 до 0,023 м в случае падения гранулы с высоты $h_H = 1,0$ м ($V_H = 4,4$ м/с) и с 0,022 до 0,058 м при $h_H = 0,125$ м ($V_H = 1,6$ м/с) для гарантированного выполнения условия размещения гранул минеральных удобрений на дне борозды до осыпания почвы с её стенок. Увеличение угла γ при вершине наральника, обуславливающее форму поперечного сечения борозды, более 20° , а также высоты падения h_H гранулы, определяющей её потенциальную энергию, может изменить характер движения гранул по стенкам борозды, перейдя от скольжения до многократного отражения их от стенок, при котором значительно возрастёт время t , необходимое для перемещения гранул на дно борозды. Соответственно это повлечёт увеличение длины конструкции тукового сошника и сошниковой группы в целом, что является нецелесообразным.

Для минимизации разброса гранул минеральных удобрений по глубине заделки необходимо ограничить их высоту свободного падения и обеспечить формирование нижней части борозды с небольшим углом раствора, что позволит использовать максимально компактную конструкцию тукового сошника.

При соблюдении оптимального характера движения гранул по стенкам борозды для дернинной сеялки полосного посева в диапазоне рабочих скоростей до 2,0 м/с рациональными параметрами тукового сошника являются угол при вершине наральника в вертикально-поперечной плоскости $\gamma = 20^\circ$, ширина раструба сошника $b = 0,02$ м, что обуславливает расчётную длину щеки сошника $A = 0,040-0,045$ м.

С целью выявления зависимости между значением минимально допустимого расстояния l между туковым и семенным сошниками и конструктивно-технологическими параметрами сошниковой группы решение уравнения (17) графически проиллюстрировано на рисунке 5 при следующих значениях переменных, соответствующих условиям посева на средне-суглинистых дерново-подзолистых почвах: $\alpha = 25^\circ$; $\varphi = 30^\circ$; $\varphi_1 = 35^\circ$; $\beta = 65^\circ$; $h = 0,03$ м; $t = 0,02$ с; $S = 0,03$ м. Выявлено, что с ростом поступательной скорости V_C сошниковой группы и увеличением угла Δ при вершине наральника тукового сошника в горизонтальной плоскости расстояние, необходимое для полного закрытия минеральных удобрений, увеличивается. Это объясняется тем, что относительная скорость почвенных частиц V_X , граничащих с гранями наральника, возрастает. Так, повышение скорости сошника с 1,0 до 2,2 м/с при фиксированном значении угла $\Delta = 20^\circ$ приводит к увеличению расстояния между сошниками l с 0,06 до 0,26 м. Изменение величины угла Δ обуславливает изменения аналогичного характера, но выражено менее значимо.

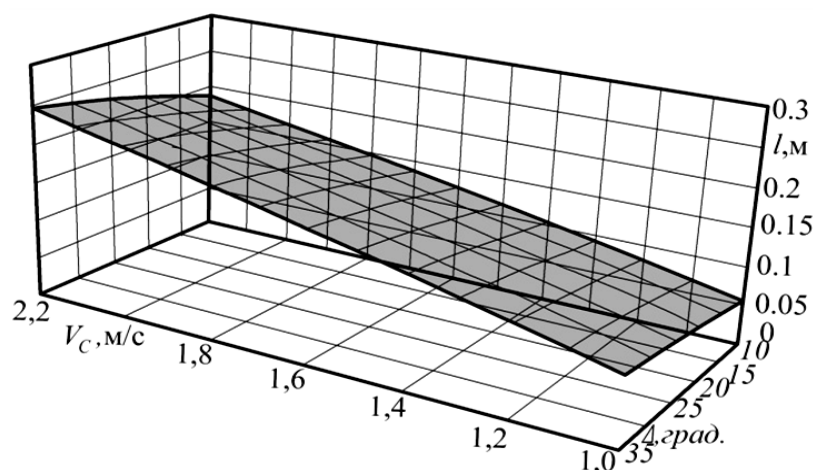


Рис. 5. Влияние скорости V_C (м/с) сошника и угла Δ (град) при вершине наральника тукового сошника в горизонтальной плоскости на минимально допустимое расстояние l (м) между туковым и семенным сошниками /

Fig. 5. Influence of the coulter speed V_C (m/s) and the angle Δ (deg) at the apex of the shank fertilizer coulter in the horizontal plane by the minimum permissible distance l (m) between the fertilizer and seed coulters

Анализ выражения (17) также показал, что увеличение длины S наклонной стенки наральника несколько снижает необходимую дистанцию между сошниками, так согласно расчётам при поступательной скорости сошника $V_c = 2,2$ м/с её удлинение с 0,01 до 0,03 м уменьшило величину допустимого расстояния l на 5-12 %.

Для повышения компактности конструкции сошниковой группы при сохранении высокой стабильности величины прослойки почвы между высеваемыми гранулами минеральных удобрений и семенами необходимо использовать туковый сошник с минимально допустимой шириной наральника. В этом случае в диапазоне рабочих скоростей дернинной сеялки полосного посева до 2,0 м/с рациональными параметрами сошниковой группы являются: угол при вершине наральника тукового сошника в поперечно-горизонтальной плоскости $\angle = 15-20^\circ$; длина наклонной стенки наральника $S = 0,03$ м; расстояние между сошниками $l = 0,14-0,16$ м.

Выводы. Теоретически обоснована конструктивно-технологическая схема сошниковой группы дернинной сеялки, состоящей из тукового и семенного сошников, которые установлены на поводках крепления в виде прицепов пружин кручения. Получены математические зависимости, позволяющие вычислить параметры и режимы работы сошниковой группы, обеспечивающие минимальный разброс гранул минеральных удобрений по глубине заделки и стабильность величины прослойки почвы между гранулами минеральных удобрений и семенами. Для диапазона рабочих скоростей дернинной сеялки полосного посева рассчитаны рациональные параметры сошниковой группы: угол при вершине наральника тукового сошника в поперечно-горизонтальной плоскости $\angle = 15-20^\circ$, длина щеки тукового сошника $A = 0,040-0,045$ м, ширина раструба тукового сошника $b = 0,02$ м, расстояние между туковым и семенным сошниками $l = 0,14-0,16$ м.

Список литературы

1. Зотов А. А., Косолапов В. М., Кобзин А. Г., Трофимов И. А., Уланов А. Н., Шевцов А. В., Шельменкина Х. Х., Щукин Н. Н. Сенокосы и пастбища на осушаемых землях Нечерноземья. Москва-Астана: ИП «Изотова К. У.», 2012. 1198 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18823927&>
2. 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-a1298e.pdf>
3. Welty L. E., Hensleigh P. F., Stewart V. R. Methods for Sod-Seeding of Small-Seeded Legumes and Grasses [Электронный ресурс]. URL: <http://www.animalrangeextension.montana.edu/forage/documents/methods%20for%20sod-seeding%20of%20small-seeded%20legumes%20and%20grasses.pdf> (дата обращения: 22.01.2020).
4. Рекомендации по улучшению лугов и пастбищ в Северо-Восточном регионе Европейской части России. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. 116 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003383003>
5. Дерепаскин А. И., Полищук Ю. В., Бинюков Ю. В. Полосной подсев в технологии поверхностного улучшения старовозрастных многолетних трав с использованием орудия ОПП-6. Тракторы и сельхозмашины. 2014;(8):3-4.
6. 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://elibrary.ru/item.asp?id=30009673>
7. Лазарев Н. Н., Еремин В. В., Виноградов Е. С. Улучшение старосеяных сенокосов подсевом в дернину многолетних бобовых и злаковых трав. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2008;(3):64-71. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/uluchshenie-staroseyanyh-senokosov-podsevom-v-derninu-mnogoletnih-bobovyh-i-zlakovyh-trav/viewer>
8. Ларюшин Н. П., Шумаев В. В., Бучма А. В. Технология и средство механизации посева сельскохозяйственных культур комбинированным сошником разноуровневого внесения удобрений и распределения семян. Пенза: РИО ПГСХА, 2015. 181 с.
9. Мазитов Н. К. Ресурсосберегающие почвообрабатывающие машины. Казань: Полиграфическо-издательский комбинат, 2003. 456 с.
10. Сысуев В. А., Дёмшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Повышение качества полосного посева семян трав в дернину. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(5 (60)):63-68. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30008779>
11. Бодалев А. П., Иванов А. Г., Костин А. В., Шкляев К. Л., Шкляев А. Л., Дерюшев И. А. Взаимодействие пружинных рабочих органов тяжелых зубовых борон с почвой. Вестник НГИЭИ. 2020;(1 (104)):16-30. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41863683>

12. Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А. Обоснование оптимальных режимов работы культиваторных лап на виброударной подвеске. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2017;(3):69-73. Режим доступа: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/135/135>
13. Дёмшин С. Л., Андреев В. Л., Козлова Л. М., Владимиров Е. А., Черемисинов Д. А., Носкова Е. Н. Способ обработки почвы и посева и устройство для его осуществления: пат. №2436271 Российская Федерация. №2009149141/21: заявл. 28.12.2009; опубл. 20.12.2011. Бюл. №35. 13 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37758000>
14. Сысуюев В. А., Дёмшин 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: заяв. 09.03.2016, опубл. 15.01.2018. Бюл. №2. 11 с. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2641073C2/ru>
15. Пяскорский Д. С., Корнеев Е. А., Кем А. А., Демчук Е. В. Сошник для двухстрочного посева с разноразмерным внесением удобрений. *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ*. 2017;(1 (8)). Режим доступа: <http://e-journal.omgau.ru/index.php/2017/1/35-statya-2017-1/779-00306>
16. Хаджиев А. Х., Темиров С. У., Йулдашев О. К., Курамбоев Б. Р. Обоснование параметров усовершенствованного сошника для внесения минеральных и органо-минеральных удобрений. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019;(4):54-57. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2019-13-4-54-57>
17. Шевченко А. П., Бегунов М. А., Коваль В. С. Теоретические исследования процесса посева семян льна-долгунца. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2017;(3 (27)):187-196. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30467986>
18. Аванькина А. С., Голубев В. В., Фирсов А. С. Исследование взаимодействия комбинированного сошника с почвой. *Вестник НГИЭИ*. 2017;(3 (70)):15-22. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28862830>

References

1. Zotov A. A., Kosolapov V. M., Kobzin A. G., Trofimov I. A., Ulanov A. N., Shevtsov A. V., Shel'menkina Kh. Kh., Shchukin N. N. *Senokosy i pastbishcha na osushaemykh zemlyakh Nechernozem'ya*. [Hayfields and pastures on the drained lands of the Non-Chernozem region]. Moscow-Astana: IP «Izotova K. U.», 2012. 1198 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18823927&>
2. 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-a1298e.pdf>
3. Welty L. E., Hensleigh P. F., Stewart V. R. Methods for Sod-Seeding of Small-Seeded Legumes and Grasses Available at: <http://www.animalrangeextension.montana.edu/forage/documents/methods%20for%20sod-seeding%20of%20small-seeded%20legumes%20and%20grasses.pdf> (accessed: 22.01.2020).
4. *Rekomendatsii po uluchsheniyu lugov i pastbishch v Severo-Vostochnom regione Evropeyskoy chasti Rossii*. [Recommendations for improving of meadows and pastures in North-Eastern region of the European part of Russia]. Moscow: FGUN «Rosinformagrotekh», 2007. 116 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003383003>
5. Derepaskin A. I., Polishchuk Yu. V., Binyukov Yu. V. *Polosnoy podsev v tekhnologii poverkhnostnogo uluchsheniya starovozrastnykh mnogoletnikh trav s ispol'zovaniem orudiya OPP-6*. [Strip oversowing in surface improvement technology of old-growth perennial grasses using the OPP-6 tool]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2014;(8):3-4. (In Russ.).
6. Kurbanov R. F., Sozontov A. V. *Effektivnost' tekhnologii mnogokomponentnogo polosnogo poseva mnogoletnikh trav v derninu*. [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://elibrary.ru/item.asp?id=30009673>
7. Lazarev N. N., Eremin V. V., Vinogradov E. S. *Uluchshenie staroseyanykh senokosov podsevom v derninu mnogoletnikh bobovykh i zlakovykh trav*. [Improvement of old-seeded hayfields by sowing in the sod of perennial legume and cereal grasses]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2008;(3):64-71. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uluchshenie-staroseyanyh-senokosov-podsevom-v-derninu-mnogoletnih-bobovykh-i-zlakovykh-trav/viewer>
8. Laryushin N. P., Shumaev V. V., Buchma A. V. *Tekhnologiya i sredstvo mekhanizatsii poseva sel'skokhozyaystvennykh kul'tur kombinirovannym soshnikom raznourovnevoogo vneseniya udobreniy i raspredeleniya semyan*. [Technology and means of mechanization of sowing crops with a combined opener of different levels of fertilizer application and seed distribution]. Penza: RIO PGSKhA, 2015. 181 p.
9. Mazitov N. K. *Resursosberegayushchie pochvoobrabatyvayushchie mashiny*. [Resource-saving tillage machines]. Kazan': Poligraficheskoye-izdatel'skiy kombinat, 2003. 456 p.
10. Sysuev V. A., Demshin S. L., Cheremisinov D. A., Doronin M. S. *Povyshenie kachestva polosnogo poseva semyan trav v derninu*. [Improvement quality of strip sowing of grasses' seeds into a sod]. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;(5 (60)):63-68. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30008779>
11. Bodalev A. P., Ivanov A. G., Kostin A. V., Shklyayev K. L., Shklyayev A. L., Deryushev I. A. *Vzaimodeystvie pruzhinnykh rabochikh organov tyazhelykh zubovykh boron s pochvoy*. [Interaction of spring operat-

ing part of heavy tine harrows with soil]. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGII. 2020;(1 (104)):16-30. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41863683>

12. Babitskiy L. F., Sobolevskiy I. V., Kuklin V. A. *Obosnovanie optimal'nykh rezhimov raboty kul'tivatornykh lap na vibroudarnoy podveske*. [Substantiations for the optimal modes of cultivator paws on vibro-impact suspension]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(3):69-73. (In Russ.). URL: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/135/135>

13. Demshin S. L., Andreev V. L., Kozlova L. M., Vladimirov E. A., Cheremisinov D. A., Noskova E. N. Method of soil treatment and seeding and device for its implementation: pat. RF, no. 2436271, 2011. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37758000>

14. Sysuev V. A., Demshin S. L., Cheremisinov D. A., Doronin M. S. Method of seeding grass seeds into sod and seeding machine for its implementation: pat. RF no. 2641073, 2018. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet

15. Pyaskorskiy D. S., Korneev E. A., Kem A. A., Demchuk E. V. *Soshnik dlya dvukhstrochnogo poseva s raznourovnevnyim vneseniya udobreniy*. [The Opener for the Two-Line Seeding With Multilevel Fertilizer Application]. *Elektronnyy nauchno-metodicheskiy zhurnal Omskogo GAU* = Research and Scientific Electronic Journal of Omsk SAU. 2017;(1 (8)). (In Russ.). URL: <http://e-journal.omgau.ru/index.php/2017/1/35-statya-2017-1/779-00306>

16. Khadzhiev A. Kh., Temirov S. U., Yuldashev O. K., Kuramboev B. R. *Obosnovanie parametrov usovershenstvovannogo soshnika dlya vneseniya mineral'nykh i organo-mineral'nykh udobreniy*. [Determination of the Parameters of Improved Coulter for Introducing Mineral and Organic-And-Mineral Fertilizers]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2019;(4):54-57. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2019-13-4-54-57>

17. Shevchenko A. P., Begunov M. A., Koval' V. S. *Teoreticheskie issledovaniya protsessa poseva semyan l'na-dolguntsa*. [Theoretical investigations of the flax seeds sowing]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017;(3 (27)):187-196. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30467986>

18. Avan'kina A. S., Golubev V. V., Firsov A. S. *Issledovanie vzaimodeystviya kombinirovannogo soshnika s pochvoy*. [Study of the interaction of combined openers with soil]. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGII. 2017;(3 (70)):15-22. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28862830>

Сведения об авторах:

Сысуев 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, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1172-005X>, e-mail: sisuev@mail.ru

✉ **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, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7562-7965>, e-mail: sergdemshin@mail.ru

Черемисин Дмитрий Анатольевич, 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, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1332-4034>, e-mail: cheremisinov86@mail.ru

Доронин Максим Сергеевич, 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, e-mail: maksim.doronin2017@mail.ru

Information about the authors

Vasiliy A. Sysuev, academician of 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, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1172-005X>, e-mail: sisuev@mail.ru

✉ **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, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7562-7965>, e-mail: sergdemshin@mail.ru

Dmitriy A. Cheremisinov, 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, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1332-4034>, e-mail: cheremisinov86@mail.ru

Maxim S. Doronin, 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, e-mail: maksim.doronin2017@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author