

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 633.2.039.6

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-5-4-12

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОСЕВНОЙ СЕКЦИИ ПРИ ПОСЕВЕ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР

АЛДОШИН НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, *д-р техн. наук, профессор*¹

naldoshin@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-0446-1096>

ВАСИЛЬЕВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ✉, *канд. с.-х. наук, доцент*²

vasilevtgsha@mail.ru✉; <http://orcid.org/0000-0002-0936-2011>

МОРОЗОВ ПАВЕЛ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ, *аспирант*²

vgolubev@tvgscha.ru

ГОЛУБЕВ ВЯЧЕСЛАВ ВИКТОРОВИЧ, *д-р техн. наук, профессор*²

vgolubev@tvgscha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-6421-6658>

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

² Тверская государственная сельскохозяйственная академия; 170904, Российская Федерация, г. Тверь, пос. Сахарово, ул. Василевского, 7

Аннотация. Рациональное поддержание лугов и пастбищ с одновременным вводом длительных залежных земель в сельскохозяйственный оборот возможно только посредством совершенствования существующих агротехнических приёмов, среди которых наименее энергоёмким является посев. Произведена оценка неравномерности высева мелкосеменных культур с использованием технической модернизации сеялки, оснащённой механическими высевающими аппаратами и инновационной сошниковой группой, обеспечивающей качественный посев. Комплексные исследования проводились на базе ФГБОУ ВО Тверской ГСХА. Представлены методики лабораторных и полевых опытов посева разных видов кормовых растений. Представлен системный подход для оценки и осуществления посева поливидового агрофитоценоза мелкосеменных культур, включающий в себя этапы: изучение профиля почвенного слоя, необходимого для дружного прорастания семян; анализ параметров размещения семенного материала, учитывающий глубину заделки, ширину междурядий, ширину между семенами в рядах и определяющий моделируемый уровень густоты стояния растений; оценка возможности модернизации и использования зернотуковой сеялки СЗ-3,6 для одновременного высева семян двух культур; разработка и исследование комбинированного сошника для одновременного полосного посева двух разных культур. Полученные данные направлены на расширение теоретической и практической базы для обоснования разработки новых посевных машин и их рабочих органов, а также процесса создания высокопродуктивных многокомпонентных агрофитоценозов кормового направления использования. На следующих этапах исследований планируется осуществить оптимизацию методики высева сельскохозяйственных растений с целью уменьшения ее трудоёмкости, а также провести полевые испытания посевной секции с использованием различных видов мелкосеменных культур.

Ключевые слова: посев, поливидовые агрофитоценозы, подготовка почвы к посеву, размещение семян в почвенном слое, модернизированная сеялка, комбинированный сошник.

Формат цитирования: Алдошин Н.В., Васильев А.С., Морозов П.В., Голубев В.В. Методика и результаты исследований посевной секции при посеве кормовых культур // Агроинженерия. 2021. № 5(105). С. 4-12. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-5-4-12>.

© Алдошин Н.В., Васильев А.С., Морозов П.В., Голубев В.В., 2021



ORIGINAL PAPER

METHODOLOGY AND TEST RESULTS OF THE SOWING SECTION USED FOR SEEDING FORAGE CROPS

NIKOLAY V. ALDOSHIN, *DSc (Eng), Professor*¹

naldoshin@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-0446-1096>

ALEKSANDR S. VASILIEV✉, *PhD (Ag), Associate Professor*²

vasilevtgsha@mail.ru✉; <http://orcid.org/0000-0002-0936-2011>

PAVEL V. MOROZOV, *postgraduate student*²

vgolubev@tvgscha.ru

VYACHESLAV V. GOLUBEV, *DSc (Eng), Professor*²

vgolubev@tvgscha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-6421-6658>

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

² Tver State Agricultural Academy; 7, Vasilevskogo Str. (Sakharovo), Tver, 170904, Russian Federation

Abstract. The sound practice of keeping meadows and pastures, including the simultaneous use of long-term fallow lands in the crop rotation pattern, is possible only through improving the existing agrotechnical methods, sowing being the least energy-intensive among them. The study goal was to assess the uneven seeding of small-seeded crops using the technical modernization of a seeder equipped with mechanical seeding units and an innovative coulter group that ensures high-quality sowing. Comprehensive studies of the problems under consideration were carried out at Tver State Agricultural Academy. The authors present a systematic approach for assessing and implementing the technological process of sowing multi-species agrophytocenosis of small-seeded crops. The method includes the following stages: studying the profile of the soil layer necessary for even germination of seeds; analyzing the parameters of placing the seed material, taking into account the depth of planting, the inter-row spacing width, the width between the seeds in the rows and determining the modeled level of plant density; assessing the possibility of modernization and use of the grain-fertilizer seeder SZ-3.6 for the simultaneous sowing of seeds of two crops; designing and testing a combination opener for simultaneous strip sowing of two different crops. The data obtained aim to expand the theoretical and practical grounds for the development of new seeding machines and their working elements and introduce highly productive multicomponent agrophytocenoses for forage production. The following stages of research will optimize the methodology for studying the seeding parameters of agricultural plants to reduce the labor intensity and conduct field tests of the sowing section using various types of small-seeded crops.

Key words: sowing, multi-species agrophytocenoses, soil preparation for sowing, seed placement in the soil layer, modernized seeder, combination opener.

For citation: Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Morozov P.V., Golubev V.V. Methodology and test results of the sowing section used for seeding forage crops. *Agricultural Engineering*, 2021; 5 (105): 4-12. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-5-4-12>.

Введение. Одной из наиболее актуальных задач современного аграрного производства является обеспечение эффективной эксплуатации всех сельскохозяйственных угодий [1-3]. Проведённый анализ почвенной карты «Земельная статистика» и собственные многолетние исследования в условиях Тверской области показали прогрессирующее распространение древесно-кустарниковой и инвазивной растительности. При этом исследуемый массив сельскохозяйственных угодий, требующий разного по интенсивности улучшения и включающий в себя залежь, сенокосы и пастбища, составляет порядка 750 тыс. га^{1,2}. Высокая запущенность земель сельскохозяйственного назначения обусловлена, в частности, низкой эффективностью существующих технологических адаптеров по уходу за различными категориями кормовых угодий.

Рядом авторов отмечается, что рациональное поддержание лугов и пастбищ с одновременным вводом длительных залежных земель в сельскохозяйственный оборот возможно только посредством совершенствования существующих агротехнических приёмов, среди которых наименее энергоёмким является посев [4-9].

Проведённые аналитические, рекогносцировочные и многолетние лабораторно-полевые исследования технологической операции посева позволили сделать ряд выводов, одним из которых является необходимость

оптимизации площади питания растений с учётом биологических и сортовых качеств высеваемого материала, а также нивелирование аллелопатических эффектов и межвидовой конкуренции возделывания многокомпонентных агрофитоценозов за счет рассредоточения культур по видам в рамках засеваемой площади [10]. Поскольку основной геометрической характеристикой мелкосеменных культур является малый размер, то особенно высокие требования предъявляются к подготовке семенного ложа, созданию выровненного поверхностного слоя, распределению семян в рядке, ширине междурядий, то есть показателей, направленных на обеспечение агротехнических требований, с учётом размерно-массовых характеристик высеваемого материала [11, 12]. При посеве многокомпонентного агрофитоценоза целесообразно осуществлять подготовку семенного материала различных сельскохозяйственных культур и применять разные способы посева: полосной, разбросной, перекрестной и т.д.

Как показал анализ нормативно-технической документации (ГОСТ, ОСТ, РД) в отношении агротехнических требований к возделыванию мелкосеменных культур, определены лишь критерии к качеству подготовки почвы: семенного ложа, поверхностного горизонта и корнеобитаемого слоя [10, 12]. При этом в доступных источниках отсутствуют чёткие требования к посеву мелкосеменных культур, тем более при реализации разных способов посева. Следовательно, воплотить на практике различные способы посева с необходимой равномерностью по требуемой площади питания посева фактически невозможно. Расхождения в требованиях к площади питания и фактических значениях распределения высеваемого материала

¹ Почвенно-географическая база данных России. URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-8-ispolzovanie-zemelnyh-resursov-i-pochv/8-2-regiony-rossiyskoi-federacii/tverskaya-oblast> (дата обращения: 16.03.2021).

² Почвы заповедников и национальных парков Российской Федерации. М.: Фонд «Инфосфера», 2012. 476 с.

зачастую достигают от 5 до 7%, что является значимым отклонением от нормативных значений, снижает планируемую урожайность и повышает необоснованные материально-технические и эксплуатационные расходы средств, в том числе дорогостоящего высеваемого материала.

Цель исследования: оценка неравномерности высева мелкосеменных культур с использованием технической модернизации сеялки, оснащённой механическими высевальными аппаратами и инновационной сошниковой группой, обеспечивающих качественный посев поливочного агрофитоценоза.

Задачи исследования: определение параметров посева мелкосеменных культур и обоснование возможности применения механических высевальных аппаратов на переоборудованной зернотуковой сеялке с учётом свойств высеваемого материала и характеристик сошниковой группы, используемых при одновременном полосном посеве разных культур.

Методика исследований. Комплексные исследования проводились на базе кафедры технологических и транспортных машин и комплексов и кафедры переработки и хранения сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Тверская ГСХА» по утверждённой методике.

В лабораторных исследованиях применялся почвенный канал (рис. 1) с объёмом не менее 1 м³ с возможностью замены почвы, различной по типу и гранулометрическому составу при условии возможного изменения свойств: влажности, плотности, структурности³. Почвенный короб оснащён прозрачными стенками с расчётной сеткой, что позволило осуществлять постоянное видеонаблюдение за протекающими процессами в почве и за растениями на протяжении всей вегетации.

Свойства почвы изучались с помощью приборов: набора сит с диаметрами отверстий 10,0...0,25 мм; шкафа сушильного СЭШ-3М; весов ВЛК-500; металлической линейки; видеокамеры SJ3600; видеорегистратора FreeDrive 207 Night FHD; полевой лаборатории Литвинова.

В качестве исследуемых мелкосеменных культур были использованы клевер луговой, тимофеевка луговая, люцерна, райграс однолетний, яровой рапс.

Лабораторный эксперимент проводили в установленной последовательности. Предварительно отсортированные с применением сит почвенные агрегаты раскладывались послойно через каждые 25 мм на глубину 100 мм. С учетом рекомендаций по глубине посева (семенного ложа) мелкосеменных культур в среднем 1,5...2,5 см наиболее структурные почвенные агрегаты располагались именно на данной глубине [5, 8]. Имитируя изменение физико-механических свойств при проходе сошниковой группы, добивались оптимального значения плотности 1,25...1,27 г/см³. Затем, в зависимости от мелкосеменной культуры, семена раскладывались с минимальным расстоянием в соответствии с рекомендациями по нормам высева и площадям питания⁴. При раскладке семян для исключения влияния боковой стенки расстояние

от перегородок составляло не менее 50 мм. Расстояние между семенами в рядке и в междурядьях фиксировалось штангенциркулем с точностью до 0,01. Отклонение от средней линии рядка или от установленных значений между семенами не допускается. Обязательным условием являлась трехкратная повторность лабораторных экспериментов. Далее засыпался поверхностный слой почвы и выполнялся равномерный полив через установленные промежуток времени – в среднем один раз в два дня.

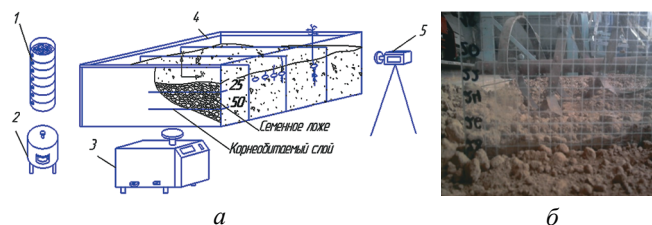


Рис. 1. Лабораторная установка для определения оптимальной площади питания и коэффициента структурности для мелкосеменных культур:

- а – схема расположения оборудования (1 – набор сит; 2 – сушильный шкаф; 3 – весы; 4 – почвенный короб; 5 – фото и видеофиксация при наблюдении);
б – структурная почва на второй день исследований после полива

Fig. 1. Laboratory installation for determining the optimal feeding area and structure coefficient for small-seeded crops:

- а – layout of equipment (1 – set of sieves; 2 – drying cabinet; 3 – scales; 4 – soil box; 5 – photo and video recording during the observation);
б – structural soil after watering on the second day of the study

Непрерывное наблюдение и фиксация вегетации растений мелкосеменных культур, послойное изменение структуры почвы осуществляются цифровой видеокамерой и видеорегистратором, подключенными к компьютеру и работающими круглосуточно.

Для определения влияния параметров посева на продуктивность разных видов кормовых растений в 2019-2020 гг. на опытном поле на дерново-среднеподзолистой супесчаной почве Тверской ГСХА выполнялись модельные опыты⁵ с рапсом яровым (сорт Викрос) и райграсом однолетним (сорт Рапид). Схема опытов включала в себя как общие для культур глубину посева (20, 25 мм), ширину междурядий (150, 180, 210 мм), так и частные факторы: моделируемый уровень густоты стояния растений (шт/м²) – ширину между семенами в рядке, мм (табл. 1).

Технологии возделывания изучаемых культур были общепринятыми для региона и включали в себя все необходимые приемы. Для высева мелкосеменных культур почвенный профиль был сформирован механизировано, после чего согласно принятой схеме опыта вручную были нарезаны бороздки заданной глубины. С помощью пинцета

³ Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

⁴ Синягин И.И. Площади питания растений. М.: Россельхозиздат, 1970. 232 с.

⁵ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 350 с.

семена обмакивались в клейстер (вода и мука) и закреплялись на бумажной ленте шириной 1 см, изготовленной из быстро разлагаемой 100%-ной целлюлозы. С целью нивелирования возможной низкой всхожести семян их прикрепление осуществлялось по 3 шт., а в случае прорастания всех семян два из них удалялись механически. Затем лента с семенами укладывалась в бороздку, засыпалась равномерно почвой и проливалась водой. Учетная площадь каждой делянки составляла 1 м², повторность четырехкратная. Учет массы растений проводился в фазу начала цветения рапса и в фазу колошения райграса, то есть в фазы, свойственные уборке данных видов трав. Взвешивание растений осуществлялось на электронных весах ВСТ-600. После этого для определения сухого вещества из растений нарезались навески, которые высушивались до постоянной массы в сушильном шкафу ШС-80-01 СПУ.

Оценку равномерности высева отдельных групп высевающих аппаратов проводили на модернизированной сеялке зернотуковой типа СЗ-3,6, оснащённой съёмными перегородками и комбинированными сошниками [13]. Исследуемые четыре группы мелкосеменных культур засыпались в отдельные бункеры для семян и туков, разделённые съёмными перегородками (рис. 2). Каждый отсек бункера с засыпанной сельскохозяйственной культурой обеспечивает пару высевающих аппаратов, один из которых заблокирован.



Рис. 2. Модернизированная зернотуковая сеялка СЗ-3,6:

- 1 – сеялка с разделёнными отсеками бункеров для семян и туков; 2 – бункер для семян;
- 3 – бункер для минеральных удобрений

Fig. 2. Upgraded grain-fertilizer seeder SZ-3.6:

- 1 – seeder with divided compartments of tanks for seeds and fertilizers; 2 – tank for seeds;
- 3 – tank for mineral fertilizers

Такой сеялкой можно осуществить высев равного количества семян двух разных мелкосеменных культур через катушечно-желобковый и катушечно-штифтовый высевающие аппараты, имеющие по 12 семепроводов. При этом дальнейшее перемещение высеваемого материала в почвенную бороздку, формируемую комбинированным сошником, осуществляется без перемешивания семян между собой.

Для контроля высева мелкосеменных культур использовались мерная пурка объёмом 1 л, весы ВЛК-500 и прозрачная тара. Для измерения длины рабочей части катушки посредством индивидуальной настройки высевающих аппаратов применялся штангенциркуль. При трёхкратной повторности проведения лабораторного эксперимента колесо делало 20 оборотов.

Результаты исследований. В соответствии с проведёнными исследованиями были определены необходимые агротехнические требования по распределению высеваемого материала в профиле почвенного слоя, характерного для посева мелкосеменных культур (рис. 3). Установлено, что равномерно распределённый семенной материал должен укрываться наиболее оструктуренными почвенными агрегатами, находящимися в пределах 0,25...5 мм. Напротив, зона семенного ложа и нижележащие слои до глубины 7...9 см должны быть представлены фракциями почвенных агрегатов от 0,25 до 10 мм. Указанные условия обеспечивают повышение всхожести семян и улучшение жизнеспособности всходов, что сказывается на всех последующих этапах роста и развития растений, определяя в конечном счете величину и качество получаемой продукции.

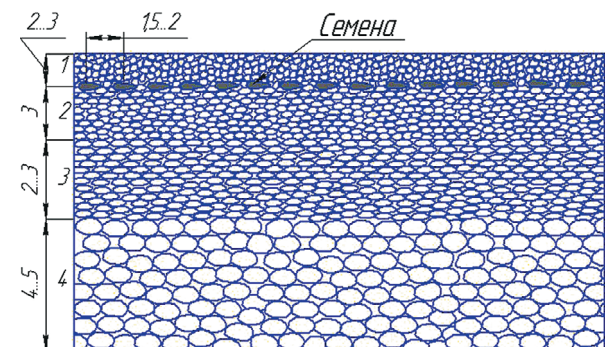


Рис. 3. Требуемое строение почвенного горизонта и распределение высеваемого материала для мелкосеменных культур:

- 1 – поверхностный слой (мелкокомковатая структура);
- 2 – семенное ложе (среднекомковатая, оптимально уплотненная);
- 3 – слой почвы после культивации (среднекомковатая);
- 4 – пахотный слой (крупнокомковатая)

Fig. 3. Required structure of the soil horizon and the distribution of the sown material for small-seeded crops:

- 1 – surface layer (fine crumbly structure);
- 2 – seedbed (medium lumpy, optimally compacted);
- 3 – soil layer after cultivation (medium lumpy);
- 4 – arable layer (coarse)

Создание высокопродуктивных посевов сельскохозяйственных культур базируется на качественном распределении семян по поверхности засеваемой площади, когда каждое культурное растение, образующее агрофитоценоз, не ограничивается условиями меж- и внутривидовой конкуренции и способно максимально эффективно реализовать собственный генетический потенциал. Наглядно представленные положения изучались в рамках модельных опытов с яровым рапсом и райграсом однолетним (табл. 1). Выявлено, что яровой рапс сорта Рипид формировал наибольшую урожайность при междурядьях 180 мм, уменьшение, равно как и увеличение их ширины, не способствовало повышению продуктивности и даже, напротив, несколько уменьшало ее количественные показатели. Максимальный уровень урожайности зеленой (29,3 т/га) и сухой (5,3 т/га) фитомассы рапса был получен при моделируемой густоте стояния растений 100 шт/м² с глубиной заделки семян 25 мм.

Таблица 1

Влияние параметров посева однолетних трав на их продуктивность

Table 1

Influence of sowing parameters of annual grasses on their productivity

Культура <i>Crop</i>	Глубина посева, мм <i>Sowing depth, mm</i>	Ширина междурядий, мм <i>Inter-row spacing, mm</i>	Ширина между семенами в рядке, мм <i>Width between seeds in a row, mm</i>	Моделируемый уровень густоты стояния растений, шт/м ² <i>Modeled level of plant density, pcs/m²</i>	Урожайность, т/га <i>Productivity, t/ha</i>	
					зеленой массы <i>green mass</i>	сухой массы <i>dry matter</i>
Ряпс яровой (<i>Brassica napus L. ssp oleifera (Metzg.) Sinsk</i>)	20	150	111	60	20,1	3,2
			83	80	22,0	4,1
			67	100	23,6	4,5
			56	120	24,0	4,5
		180	93	60	20,1	3,2
			69	80	24,7	4,1
			56	100	27,4	5,0
			46	120	25,0	4,3
		210	79	60	21,7	4,0
			60	80	23,6	4,2
			48	100	25,5	4,7
			40	120	23,1	3,9
	25	150	111	60	21,3	3,9
			83	80	22,7	4,2
			67	100	25,8	4,8
			56	120	26,4	4,7
		180	93	60	22,6	3,8
			69	80	26,2	4,7
			56	100	29,3	5,3
			46	120	28,1	4,5
		210	79	60	23,0	4,0
			60	80	24,7	4,4
			48	100	26,6	4,8
			40	120	26,0	4,4
Райграс однолетний (<i>Lolium multiflorum Lam. var. westervoldicum Witm.</i>)	20	150	33	200	26,8	5,7
			28	240	30,4	7,0
			24	280	27,7	6,1
			21	320	27,0	6,0
		180	28	200	24,3	5,2
			23	240	27,1	6,1
			20	280	25,6	5,6
			17	320	24,0	5,2
		210	24	200	22,3	4,6
			20	240	24,7	5,3
			17	280	23,9	5,1
			15	320	22,1	4,8
	25	150	33	200	24,5	5,3
			28	240	27,1	5,9
			24	280	24,0	5,0
			21	320	23,6	4,9
		180	28	200	22,2	4,7
			23	240	24,6	5,0
			20	280	23,1	4,9
			17	320	22,4	4,4
		210	24	200	20,9	4,2
			20	240	22,4	4,7
			17	280	21,7	4,7
			15	320	20,3	4,4

Иная тенденция была установлена при оценке формирования продуктивности райграса однолетнего, который накопил наибольшую урожайность зеленой (30,4 т/га) и сухой (7,0 т/га) массы при глубине заделки семян 20 мм с междурядьями 150 мм и моделируемой густотой стояния растений порядка 240 шт/м². Изменение указанных параметров посева семян, как правило, не обеспечивало улучшения хода продукционного процесса. При увеличении междурядий в посевах райграса значительно возросло количество вегетативных побегов, однако они были истонченными и малооблиственными, что в целом отрицательно сказывалось на урожайности.

Отметим, что выявленные в ходе модельных опытов характеристики размещения семян в процессе посева и их влияние на формирование урожайности могут использоваться для обоснования разработки новых посевных машин и их рабочих органов, а также в процессе создания высокопродуктивных многокомпонентных агрофитоценозов.

Установив как одну из задач оптимизацию критерия качества из исследуемых факторов, среди которых – свойства высеваемого материала, отклонение от установленной нормы высева одним высевающим аппаратом и группой высевающих аппаратов, запишем формулу, определяющую качество совокупности реализуемых технологических операций:

$$E = f(X, Z, K) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где E – вектор-функция, определяющая параметры выходных показателей технологической операции высева при исследовании катушечных высевающих аппаратов, с учётом условий функционирования;

X – вектор-функция входных внешних воздействий на высеваемый материал элементов технической системы, характеризующей процесс посева;

Z – вектор-функция состояния элементов технической системы, оптимизирующих качественное проведение технологической операции высева мелкосеменных культур;

K – вектор-функция управляемых параметров и режимов работы элементов технической системы сеялки, оптимизирующих качественное проведение технологической операции мозаичного посева мелкосеменных культур.

Для оценки установленной нормы высева семян через катушечно-желобковый и катушечно-штифтовый высевающие аппараты предлагается методика оценки их функционирования.

Средняя масса семян, высеянных каждым отдельным аппаратом, –

$$\bar{m}_i = \frac{m'_i + m''_i + m'''_i}{3}, \text{ г}, \quad (2)$$

где m'_i, m''_i, m'''_i – масса семян по трем повторностям i -го аппарата, г.

Средняя масса семян, высеваемых всеми аппаратами:

$$m_{cp} = \frac{\sum \bar{m}_i}{n}, \text{ г}, \quad (3)$$

где n – количество аппаратов при исследовании.

Отклонение высева каждого аппарата от среднего значения:

$$\Delta_i = m_{cp} - \bar{m}_i, \text{ г}. \quad (4)$$

Неравномерность высева семян каждого аппарата:

$$H_{pi} = \frac{\Delta_i}{m_{cp}} \cdot 100, \%. \quad (5)$$

Средняя неравномерность общего высева семян по ширине сеялки:

$$\bar{H}_p = \frac{\sum H_{pi}}{n}, \%. \quad (6)$$

Неустойчивость высева семян (H_y) определяется для каждого отдельного высевающего аппарата как отношение среднего относительного отклонения $\bar{\delta}_i$ каждой повторности $\delta'_i, \delta''_i, \delta'''_i$ к среднему значению \bar{m}_i высева этого аппарата:

$$\delta'_i |\bar{m}_i - m'_i|, \delta''_i = |\bar{m}_i - m''_i|, \delta'''_i = |\bar{m}_i - m'''_i|. \quad (7)$$

Среднее значение абсолютных отклонений i -го аппарата:

$$\bar{\delta}_i = \frac{\sum (\delta'_i + \delta''_i + \delta'''_i)}{3}, \%. \quad (8)$$

$$H_{yi} = \frac{\bar{\delta}_i}{\bar{m}_i} \cdot 100, \%. \quad (9)$$

Средняя неустойчивость общего высева семян сеялкой:

$$\bar{H}_y = \frac{\sum H_{yi}}{n} \cdot 100, \%. \quad (10)$$

Неравномерность высева семян зерновых культур не должна превышать $\pm 3\%$, для бобовых – $\pm 4\%$. Неустойчивость общего высева для катушечных высевающих аппаратов для зерновых культур не должна превышать $\pm 2,8\%$, бобовых – $\pm 4\%$, для семян трав – $\pm 9\%$ ⁶.

В качестве частиц-имитаторов использовали семена четырёх видов культурных растений: льна-долгунца, пшеница, гречихи и риса (рис. 4). Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 2.

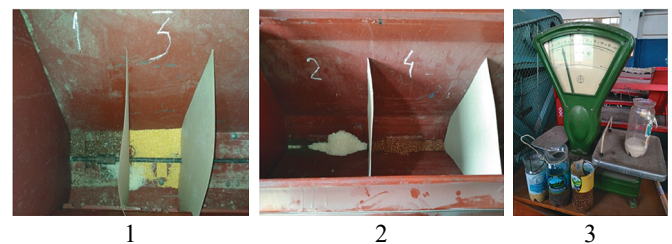


Рис. 4. Процесс высева из отдельных отсеков мелкосеменных культур:

1 – вид бункера семян двух работающих высевающих аппаратов катушечно-желобкового типа для высева семян льна-долгунца и гречихи;

2 – вид бункера семян двух работающих высевающих аппаратов катушечно-штифтового типа для высева семян пшеница и риса;

3 – процесс замера перед настройкой

Fig. 4. Sowing small-seeded crops from individual compartments:

1 – view of the seed hopper of two working sowing units of the reel-to-reel-groove type for sowing fiber flax and buckwheat;

2 – view of the seed hopper of two working seeding units of the reel-to-pin type for sowing millet and rice;

3 – taking measurements before adjusting

⁶ ГОСТ 26711-89. Сеялки тракторные. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1990. 11 с.

Таблица 2

Результаты исследований неравномерности высева семян через семя- и туковывсевающие аппараты

Table 2

Results of studies of uneven sowing through seed-and-fertilizer units

Культура <i>Crop</i>	Масса семян по повторности, г <i>Repetition weight of seeds, g</i>			Среднее значение массы, г <i>Average weight, g</i>	Отклонение нормы высева по массе, г <i>Seeding rate deviation by weight, g</i>			Среднее значение, г <i>Average value, g</i>
	m'_i	m''_i	m'''_i		\bar{m}'_i	δ'_i	δ''_i	
Лен-долгунец* <i>Fiber flax*</i>	50,2	50,1	50,0	50,1	0,1	0	0,1	0,1
Гречиха* <i>Buckwheat*</i>	49,5	49,8	49,6	49,6	0,1	0,2	0	0,1
Пшено** <i>Millet**</i>	32,2	32,1	32,4	32,2	0	0,1	0,2	0,1
Рис** <i>Rice**</i>	31,0	31,4	31,3	31,2	0,2	0,2	0,1	0,2
Среднее значение <i>Average</i>				40,8	-	-	-	0,1

* Катущечный желобковый высевающий аппарат / * *Reel-to-reel-groove sowing unit*** Катущечный штифтовый высевающий аппарат / ** *Reel-to-pin sowing unit*

Обработанные статистические данные таблицы 2 являются исходными для дальнейшего расчёта неустойчивости высева мелкосеменных культур. Выполненные расчёты отражены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты исследований неустойчивости высева семян

Table 3

Results of studying the instability of sowing

Культура <i>Crop</i>	Неустойчивость высева семян, H_i^i , г <i>Instability of sowing, H_i, g</i>	Отклонение нормы высева, Δ_i <i>Seeding rate deviation, Δ_i</i>	Неравномерность, H_{pi} , % <i>Irregularity, $H_{pi}, \%$</i>
Лен-долгунец <i>Fiber flax</i>	0,13	9,30	22,79
Гречиха <i>Buckwheat</i>	0,22	8,80	21,56
Пшено <i>Millet</i>	0,33	8,56	20,98
Рис <i>Rice</i>	0,48	9,56	23,43

Средняя неустойчивость общего высева семян сеялкой – выше установленных значений, что потребует дополнительных настроек сеялки. Данный факт объясняется различным видом высеваемого материала, что будет устранено перерасчётом и изменением нормы высева отдельно взятой группы высевающих аппаратов.

Реализация полосного посева поливидового агрофитоценоза, осуществляемого попарным высевом через отдельные сошники, технически решена инновационной конструкцией [13, 14]. После прохода комбинированного сошника осуществляется одновременный высев двух

мелкосеменных культур, высеваемых с левой стороны сошника (по ходу движения) из семявысевающего бункера, а с правой стороны (по ходу движения) – из туковывсевающего бункера, что позволит выполнить мозаичный посев.

Для подтверждения результатов предварительных лабораторных исследований планируется в рамках пилотного проекта по полевым исследованиям осуществить апробацию инновационной конструкции сошника (рис. 5), разработанного и изготовленного совместно с ФГБНУ ФНЦ ЛК [13].

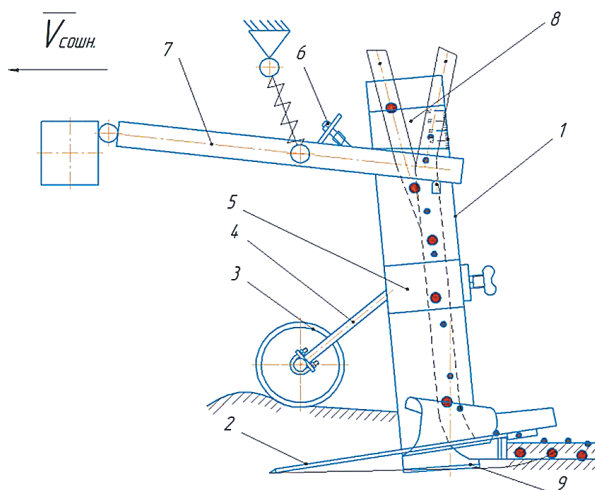


Рис. 5. Комбинированный сошник:

1 – стойка-семенпровод; 2 – лапа; 3 – ролик; 4 – поводок;
5 – кронштейн; 6 – упор; 7 – грядиль; 8 – тукосеменпроводы;
9 – бороздодел-распределитель семян

Fig. 5. Combination coulter:

1 – stand-seed pipe; 2 – sweep; 3 – roller; 4 – guide; 5 – bracket;
6 – stop block; 7 – beam; 8 – seed-and-fertilizer pipelines;
9 – furrow opener and seed distributor

Предложенная инновационная конструкция комбинированного сошника позволяет сначала подрезать слой почвы без сдвига в сторону, не нарушая его сплошности,

Библиографический список

1. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Kudryavtsev A.V. et al. Improvement of forage lands in Central Non-Black Earth Zone of Russia by using some integrated approaches. *Plant Science Today*. 2021; 8 (1): 9-15. <https://doi.org/10.14719/pst.2021.8.1.827>
2. Алдошин Н.В. Инновационные технологии заготовки высококачественных кормов / Н.В. Алдошин, А.С. Васильев, В.А. Тюлин и др. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 92 с.
3. Васильев А.С. Адаптивные агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур в Центральном Нечерноземье (технологии, средства механизации): Монография / А.С. Васильев, Н.В. Алдошин, Ю.Т. Фаринюк и др. Тверь: Тверская ГСХА, 2021. 293 с.
4. Munkholm L.J., Schjonning P., Rasmussen K.J. et al. Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil & Tillage Research*. 2003; 71 (2): 163-173. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00062-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00062-X)
5. Кувайцев В.Н., Ларюшин Н.П., Карасев И.Е. Конструктивные особенности сошников для посева мелкосеменных масличных культур и их влияние на качество посева // Сб. материалов Международной научно-практической конференции, посвящённой Дню российской науки «Образование, наука, практика: инновационный аспект». Пенза: ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА, 2015. С. 5-7.
6. Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I. et al. Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019; 58 (2): 137-146. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-58-15>

далее протаскивать подрезанный слой по поверхности лапы, а в образовавшееся пространство между лапой и дном борозды подавать семенной материал. В это же время ненарушенный слой почвы разрезается стойкой сошника с семенпроводом и стремится сползти с крыльев сошника в сторону, чему препятствуют боковины. Почва сходит с крыльев сошника постепенно, так как заделыватели семян расположены под углом к сошнику.

Результаты предварительных исследований в лабораторных условиях на почвенном канале с высевом одной мелкосеменной культуры показали отклонение семян между рядками не более 3%, что соответствует предъявляемым агротехническим требованиям.

Выводы

Системный подход для оценки и осуществления посева поливидового агрофитоценоза позволяет расширить теоретическую и практическую базу для обоснования разработки новых рабочих органов посевных машин, а также оптимизировать процесс создания высокопродуктивных многокомпонентных агрофитоценозов кормового направления использования.

На следующих этапах исследований планируется оптимизировать методику высева сельскохозяйственных растений с целью уменьшения ее трудоемкости, а также провести полевые испытания посевной секции с использованием различных видов мелкосеменных культур.

References

1. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Kudryavtsev A.V. et al. Improvement of forage lands in Central Non-Black Earth Zone of Russia by using some integrated approaches. *Plant Science Today*. 2021; 8 (1): 9-15. <https://doi.org/10.14719/pst.2021.8.1.827>
2. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Tyulin V.A. et al. Innovative technologies for the procurement of high-quality feed. Moscow, FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2020: 92. (In Rus.)
3. Vasiliev A.S., Aldoshin N.V., Farinyuk Yu.T. et al. Adaptive agricultural technologies for the cultivation of agricultural crops in the Central Non-Black Earth Region (technologies, means of mechanization): Monograph. Tver, Tverskaya GSKHA, 2021: 293. (In Rus.)
4. Munkholm L.J., Schjonning P., Rasmussen K.J. et al. Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil & Tillage Research*. 2003; 71 (2): 163-173. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00062-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00062-X)
5. Kuvaitsev V.N., Laryushin N.P., Karasev I.E. Design features of openers for sowing small-seeded oilseeds and their impact on the quality of sowing. *Coll. materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the Day of Russian Science “Education, Science, Practice: Innovative Aspect”*. Penza, FGBOU VPO Penzenskaya GSKHA, 2015: 5-7. (In Rus.)
6. Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I. et al. Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019; 58 (2): 137-146. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-58-15>
7. Cujbescu D., Matache M., Vlăduț V. et al. Determination of sowing precision in simulated laboratory conditions.

7. Cujbescu D., Matache M., Vlăduț V. et al. Determination of sowing precision in simulated laboratory conditions. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2020; 61 (2): 209-216. <https://doi.org/10.35633/inmateh-61-23>

8. Белякова Е.С. Анализ технологического процесса посева мелкосеменных культур // Сб. статей по материалам XII Всероссийской (национальной) научно-практической конференции молодых учёных «Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодёжи», посвящённой 125-летию Т.С. Мальцева. Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2020. С. 7-11.

9. Кириллов Н.В. Повышение эффективности мозаичного посева путём конструктивно-технологического совершенствования процесса заделки семян при заложении травостоя разбросной сеялкой мозаичного высева на Северо-Западе России: Дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГАУ, 2007. 227 с.

10. Голубев В.В. Совершенствование технологических процессов и технических средств для предпосевной обработки почвы, посева льна и других мелкосеменных культур: Дис. ... д-ра техн. наук. Москва: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2017. 421 с.

11. Ларюшин Н.П., Кувайцев В.Н., Бычков И.В. и др. Теоретические исследования технологического процесса работы высевающего аппарата с катушкой в виде шайбы с мелкозубчатым профилем для высева семян мелкосеменных культур // *Нива Поволжья*. 2013. № 3 (28). С. 83-89.

12. Никифоров М.В. Совершенствование конструкции выравнивающих рабочих органов для предпосевной обработки почвы под мелкосеменные культуры // *Вестник НГИЭИ*. 2018. № 12 (91). С. 30-39.

13. Комбинированный сошник для полосного посева сельскохозяйственных культур: Патент RU199176 U1 / А.С. Васильев, Н.В. Алдошин, В.В. Голубев; заяв. 03.04.2020, опубл. 19.08.2020. Бюл. № 23

14. Алдошин Н.В., Васильев А.С., Голубев В.В. Результаты лабораторных исследований комбинированного сошника для посева кормовых культур // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2020. № 23 (186). С. 111-122.

INMATEH – Agricultural Engineering. 2020; 61 (2): 209-216. <https://doi.org/10.35633/inmateh-61-23>

8. Belyakova E.S. Analiz tekhnologicheskogo protsessa poseva melkosemennykh kul'tur [Analysis of the technological process of sowing small-seeded crops]. In: *Sb. statey po materialam XII Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchonykh "Razvitiye nauchnoy, tvorcheskoy i innovatsionnoy deyatel'nosti molodozhi"*, posvyashchonnoy 125-letiyu T.S. Mal'tseva. Kurgan, Kurganskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya im. T.S. Mal'tseva, 2020: 7-11. (In Rus.)

9. Kirillov N.V. Povyshenie effektivnosti mozaichnogo poseva putom konstruktivno-tekhnologicheskogo sovershenstvovaniya protsessa zadelki semyan pri zalozhenii travostoya razbrosnoy seyalkoy mozaichnogo vyseva na Severo-Zapade Rossii [Improving the efficiency of mosaic seeding by means of constructive and technological improvement of the process of seeding when the herbage is established with a mosaic spreading seeder in the North-West of Russia]: PhD (Eng) thesis. SPb, SPbGAU, 2007: 227. (In Rus.)

10. Golubev V.V. Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov i tekhnicheskikh sredstv dlya predposevnoy obrabotki pochvy, poseva l'na i drugikh melkosemennykh kul'tur [Improving the technological processes and technical means for pre-sowing soil cultivation, the sowing of flax and other small-seeded crops]: DSc (Eng) thesis. Moscow, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2017: 421. (In Rus.)

11. Laryushin N.P., Kuvaitsev V.N., Bychkov I.V. et al. Teoreticheskiye issledovaniya tekhnologicheskogo protsessa raboty vysevayushchego apparata s katushkoy v vide shayby s melkozubchатыm profilem dlya vyseva semyan melkosemennykh kul'tur [Theoretical studies of the technological process of the seeding unit with a washer-type coil with a fine-toothed profile for sowing small-seeded crops]. *Niva Povolzhya*, 2013; 3 (28): 83-89. (In Rus.)

12. Nikiforov M.V. Sovershenstvovanie konstruktivnykh vyvayushchikh rabochikh organov dlya predposevnoy obrabotki pochvy pod melkosemennyye kul'tury [Improving the design of leveling working units for pre-sowing soil cultivation for small-seeded crops]. *Vestnik NGIEI*, 2018; 12 (91): 30-39. (In Rus.)

13. Vasiliev A.S., Aldoshin N.V., Golubev V.V. Kombinirovannyi soshnik dlya polosnogo poseva sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Combination opener for the strip sowing of agricultural crops]: Patent RU199176 U1, 2020. (In Rus.)

14. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Golubev V.V. Rezul'taty laboratornykh issledovaniy kombinirovannogo soshnika dlya poseva kormovykh kul'tur [Results of laboratory studies of the combination opener for sowing forage crops]. *Izvestiya sel'skokhozyaystvennoy nauki Tavriды*, 2020; 23 (186): 111-122. (In Rus.)

Критерии авторства

Алдошин Н.В., Васильев А.С., Морозов П.В., Голубев В.В. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Алдошин Н.В., Васильев А.С., Морозов П.В., Голубев В.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 26.05.2021

Одобрена после рецензирования 15.06.2021

Принята к публикации 15.06.2021

Contribution

N.V. Aldoshin, A.S. Vasiliev, P.V. Morozov, V.V. Golubev carried out theoretical studies and conducted the experiment based on the obtained theoretical results. N.V. Aldoshin, A.S. Vasiliev, P.V. Morozov, V.V. Golubev have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 26.05.2021

Approved after reviewing 15.06.2021

Accepted for publication 15.06.2021