

## ГЕОМЕТРИЯ ПОСЕВА ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР\*

А.А. Завражнов<sup>1</sup>, кандидат технических наук, А.И. Завражнов<sup>1</sup>, академик РАН, А.А. Земляной<sup>1</sup>,  
В.Ю. Ланцев<sup>1</sup>, доктор технических наук, Д.В. Акишин<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук,  
А.С. Ибраев<sup>2</sup>, кандидат технических наук, А.В. Якушев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Мичуринский государственный аграрный университет,  
393760, Тамбовская обл., Мичуринск, ул. Интернациональная, 101  
E-mail: aiz@mgau.ru

<sup>2</sup>Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана,  
090000, Западно-Казахстанская обл., Уральск, ул. Жангир хана, 51  
E-mail: ibraevadil2012@mail.ru

<sup>3</sup>Публичное акционерное общество «Миллеровосельмаш»  
346130, Ростовская обл., г. Миллерово, ул. Заводская, 1  
E-mail: info@msm161.ru

*В мировой и отечественной практике при посеве пропашных культур используют сеялки точного высева (СТВ), обеспечивающие точный пунктирный посев семян. Отличительная особенность подавляющего большинства зарубежных и отечественных СТВ для пропашных культур – наличие опционного оборудования для внесения удобрений одновременно с высевом семян. Опция припосевного (стартового) внесения удобрений на сегодня – обязательная функциональная (потребительская) характеристика всех вновь разрабатываемых и реализуемых СТВ для пропашных культур. Современные СТВ могут обеспечить практически любую норму высева в необходимых геометрических сочетаниях (параметрах) с оптимальным размещением (раскладкой) семян на поле. Один из резервов повышения урожайности пропашных культур – увеличение числа растений на единицу площади при оптимизации размещения (раскладки) семян. Технические возможности производимых СТВ и появление новой системы машин позволяют эффективно проводить посев с узким междурядьем и сдвоенными рядками. Существующая технико-технологическая схема локально-ленточной заделки удобрений современных СТВ определяет их сплошное (непрерывное) внесение. Это сопровождается излишним расходом удобрений и затратами питательных веществ на рост и развитие сорняков, располагающихся в промежутках между семенами. Проведенные исследования позволили оптимизировать процесс посева пропашных культур с одновременным внесением припосевных (стартовых) удобрений путем их размещения по схеме «5×5×5» (на 5 см глубже семени, на 5 см в сторону от ряда растений, «очагами» размером 5 см), которая обеспечивает снижение нормы внесения и экономию удобрений в 2 раза и более. Предлагаемая схема реализована в техническом концепте, обозначенном как «высевающий аппарат для точного высева пропашных культур и локального дифференцированного внесения удобрений» (патент РФ №199944 от 29.09.2020), в котором высевающий аппарат СТВ выполнен совместно с дозирующим устройством для припосевных (стартовых) удобрений.*

## GEOMETRY OF SOWING AROUND CROPS

Zavrzhnov A.A.<sup>1</sup>, Zavrzhnov A.I.<sup>1</sup>, Zemlyanov A.A.<sup>1</sup>, Lantsev V.Yu.<sup>1</sup>, Akishin D.V.<sup>1</sup>, Ibraev A.S.<sup>2</sup>, Yakushev A.V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Michurinsk State Agrarian University,  
393760, Tambovskaya obl., Michurinsk, ul. Internatsional'naya, 101  
E-mail: aiz@mgau.ru

<sup>2</sup>Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhanqir Khan,  
090000, Zapadno-Kazakhstanskaya obl., Ural'sk, ul. Zhanqir khana, 51  
E-mail: ibraevadil2012@mail.ru

<sup>3</sup>Public Joint Stock Company «Millerovoselmash»  
346130, Rostov region, Millerovo, st. Factory, 1  
E-mail: info@msm161.ru

*Abstract. In world and domestic practice, when sowing row crops, precision seeders (STS) are used, which provide accurate dotted sowing of seeds. A distinctive feature of the vast majority of foreign and domestic PTS for row crops is the availability of optional equipment for applying fertilizers simultaneously with sowing seeds. The option of pre-sowing (starter) application of fertilizers today is a mandatory functional (consumer) characteristic of all newly developed and implemented STS for row crops. Modern STS can provide almost any seeding rate in the required geometric combinations (parameters) with optimal placement (layout) of seeds on the field. One of the reserves for increasing the yield of row crops is to increase the number of plants per unit area while optimizing the placement (layout) of seeds. The technical capabilities of modern STV and the emergence of a new system of machines allow efficient sowing with narrow row spacing and double rows. The existing technical and technological scheme for the local-tape incorporation of modern STS fertilizers determines their continuous (continuous) application. This predetermines the excessive consumption of fertilizers and, as a result, the "feeding" of weeds in the intervals between seeds. The conducted studies allowed to optimize the process of sowing tilled crops with the simultaneous application of near-sowing (starter) fertilizers by placing them according to the «5x5x5» scheme (placement of fertilizers relative to the seed at a depth of 5 cm, away from the row of plants 5 cm and the focus (zone) of application 5 cm), which provides a reduction in the application rate and saves fertilizers by 2 times or more. The technological scheme «5x5x5» is implemented in a technical concept, designated as a «seeder for precision seeding of row crops and local differentiated fertilization» (RF patent No. 199944 dated 09.29.2020) fertilizers.*

\* Результаты исследований, представленные в статье, получены в рамках реализации Соглашения №075-11-2019-041 от 22 ноября 2019 г. между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и ПАО «Миллеровосельмаш» на выполнение НИОКТР по теме «Создание высокотехнологичного производства многофункциональных комплексов для посева и возделывания пропашных и овощных культур в системе «точного» и «нулевого» земледелия на базе интеллектуальных мехатронных модулей». НИОКТР выполняется в организации Головного исполнителя (ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ).

**Ключевые слова:** пропашные культуры, геометрия посева, узкое междурядье, двухрядная и равномерно распределенная раскладка, сеялки точного высева, локально-очаговое внесение припосевных (стартовых) удобрений.

По определению сельскохозяйственного энциклопедического словаря (СЭС), к пропашным культурам относят сельскохозяйственные растения, нормальный рост и развитие которых требуют больших запасов питательных веществ и влаги в почве, борьбы с сорняками болезнями и вредителями [1]. Это зерновые (кукуруза, соя и др.), технические (сахарная свекла, подсолнечник и др.), овощные и бахчевые (кабачки, баклажаны, кормовая свекла, арбузы, дыни и др.) культуры.

Агробиологические особенности пропашных культур требуют применения специального технического оснащения для их посева, возделывания и уборки. В мировой и отечественной практике при посеве пропашных культур используют, так называемые, сеялки точного высева (СТВ), обеспечивающие точный пунктирный посев семян (в рамках представленной работы под термином «посев» мы понимаем технологические, «высев» – технические аспекты операции посева пропашных культур) [2, 3].

Согласно определению ГОСТ 16265-89, под точным подразумевается посев строго определенного количества семян в рядке, обеспечивающий оптимальную площадь питания растений, под пунктирным – рядовой посев с одиначным равномерным распределением семян в рядках.

Отечественные нормативы (ГОСТ 31345-2017, СТО АИСТ 5.6-2018) разделяют сеялки точного высева на сеялки для пропашных культур (с фиксированной шириной междурядья 45, 60, 70, 75 и 90 см), сахарной свеклы (с фиксированной шириной междурядья 45 и 60 см), овощных (с шириной междурядья в соответствии с агротехническими требованиями для определенной культуры) и бахчевых культур (с фиксированной шириной междурядья 180 см).

Американские и некоторые европейские сеялки точного высева для пропашных культур имеют фиксированную ширину междурядья, выраженную в дюймовой системе мер. Так, известные американские фирмы John Deere ([www.johndeere.com](http://www.johndeere.com)) и Great Plains ([www.greatplainsint.com](http://www.greatplainsint.com)) выпускают СТВ с шириной междурядья 30'' (76,2 см), 36'' (91,4 см), 38'' (96,5 см) и 40'' (101,6 см).

Ширина междурядья СТВ – исторически сложившийся параметр, который, в свое время, был сформирован принятой технологией возделывания пропашных культур и техническими возможностями сеялок и других машин (системы машин) для выполнения сопутствующих технологических операций (например, уничтожение сорняков в междурядьях пропашными культиваторами, междурядное опрыскивание, комбайновая уборка и др.).

Отличительная особенность подавляющего большинства зарубежных и отечественных СТВ для пропашных культур – наличие опционного оборудования для внесения удобрений одновременно с высевом семян. Эта операция трактуется как припосевное (стартовое) внесение удобрений, обеспечивающее растения питательными веществами в начальный период вегетации, когда слабая корневая система не может в достаточном количестве усваивать их из почвы и основного удобрения, внесенного под вспашку или культивацию [4]. Опция припосевного (стартового) внесения удобрений одновременно с высевом семян – обязательная функциональная (потребительская) характеристика всех вновь разрабатываемых и реализуемых СТВ для пропашных культур [4, 5].

Основные атрибуты техники-технологического развития современного растениеводства – точность и эффективность. Они реализованы в системах точного и

**Key words:** row crops, sowing geometry, narrow row spacing, two-row and equally distributed layout, precision seeders, local focal application of pre-sowing (starting) fertilizers.

ресурсосберегающего (No-till, Strip-till и др.) земледелия. В системе пропашного земледелия для процедуры (операции) посева необходимо обеспечить точное (по количеству) и оптимальное (по ряду или площади) размещение семян на поле, для процедуры (операции) внесения припосевных (стартовых) доз удобрений – их локально-ориентированное дифференцированное размещение относительно высеянных семян.

Согласно определению ГОСТ 28718-2016, локальное внесение удобрения – это внесение, обеспечивающее его размещение в почве очагами различной формы (рядковое, ленточное, порционное). По определению ГОСТ Р 56084-2014, дифференцированное внесение удобрений – это внесение удобрений с переменной дозой, рассчитанной на основе анализа плодородия почв.

Многочисленными исследованиями доказано, что увеличение продуктивности (урожайности) сельскохозяйственных растений определяет интенсивность их развития и оптимальное размещение по площади поля, которые, в свою очередь зависят, от точности высева (заданного количества семян на единицу площади поля), равномерного распределения, высева на необходимую и одинаковую глубину, а также рационального размещения удобрений относительно семян [6, 7, 8]. Перечисленные факторы в первую очередь характеризуются геометрическими параметрами посева, которым в последние годы уделяют большое внимание. В научный и практический обиход описания процесса посева, стала вводиться специфическая геометрическая терминология, например, точность высева в 3D-формате (точность в трёх измерениях) или триангуляционное размещение семян (размещение в вершинах треугольников, примыкающих один к другому) и др.

Признавая факт важности оптимального взаимного расположения точного количества посеянных семян и внесенных припосевных (стартовых) удобрений, считаем целесообразным ввести параметр (термин), который трактуется как «геометрия посева» пропашных культур. В нашем понимании геометрия посева – это геометрические параметры посева сельскохозяйственных культур.

Цель исследования – анализ геометрических параметров посева пропашных культур с одновременным внесением припосевного (стартового) удобрения для разработки конкурентоспособных технико-технологических решений.

**Методика.** Методологической основой исследования послужило изучение геометрических параметров высева пропашных культур, которые обеспечивают современные СТВ с расчетом площади питания растений (без учета ее формы). Работу проводили на основании изучения протоколов испытаний региональных машинно-испытательных станций (МИС) в период 2012–2019 гг. (табл. 1) и отчетов производителей.

В исследованиях использовали математические модели определения площади питания растений с целью оптимизации нормы высева пропашных культур в зависимости от геометрических параметров посева семян и их раскладки на поле, с учетом внесения припосевных (стартовых) удобрений.

**Результаты и обсуждение.** Геометрическими параметрами посева пропашных культур служат следующие (ГОСТ 31345-2017, СТО АИСТ 5.6-2018):  $h$  – глубина посева (расстояние от поверхности почвы до высеянных семян), см;  $B$  – ширина междурядья (расстояние между центрами соседних рядков растений в одном проходе сеялки), см;

Табл. 1. Список протоколов испытаний сеялок точного высева (СТВ)

Номер протокола	Наименование МИС	Наименование и марка машины, страна-изготовитель
01-12-12	Алтайская	СТВ универсальная УПС-8-02, Украина
01-14-12	Алтайская	СТВ Caspardo SP Dorada 8F-70, Италия
01-16-13	Алтайская	СТВ Caspardo SP Dorada 8F-70, Италия
01-22-13	Алтайская	СТВ СТП-12 «РИТМ-1М»
01-23-13	Алтайская	СТВ Caspardo MT 8-70, Италия
01-37-13	Алтайская	СТВ прицепная Challenger CH 8108, США
03-08-13	Владимирская	СТВ пропашная ТС-М 8000А
03-12-13	Владимирская	СТВ пропашная SPP-8FS, Молдова
03-14-13	Владимирская	СТВ универсальная УПС-8-02, Украина
08-40-13	Поволжская	СТВ John deere DB-55, США
08-101-13	Поволжская	СТВ пропашная SPP-8, Молдова
08-89-14	Поволжская	СТВ KINZE 3700, США
01-13-14	Алтайская	СТВ пропашная «Maskar Maxi», Италия
03-10-14	Владимирская	СТВ пропашная МС-8
11-01-14	Северо-Кавказская	СТВ пропашная МС-8
11-02-14	Северо-Кавказская	СТВ пропашная МС-12
11-03-15	Северо-Кавказская	СТВ СТП-12 «РИТМ-1М»
01-08-15	Алтайская	СТВ пропашная «Maskar Maxi», Италия
01-09-15	Алтайская	СТВ Caspardo SP Dorada MT8-70, Италия
03-16-15	Владимирская	СТВ Caspardo SP8 Dorada, Италия
08-21-15	Поволжская	СТВ KINZE 3600, США
14-26-15	Центр.-Черноземная	СТВ Vaderstad Tempo TPF8
03-08-17	Владимирская	СТВ Caspardo SP/540 8 ROWS, Италия
11-02-17	Северо-Кавказская	СТВ пропашная МС-8
11-04-17	Северо-Кавказская	СТВ пропашная МС-12
01-17-18	Алтайская	СТВ Caspardo SP Dorado MT 8-70, Италия
03-14-18	Владимирская	СТВ Caspardo SP 8 R70 5800, Италия
08-11-18	Поволжская	СТВ VEGA-8. ПАО «Эльворти». Украина
12-10-18	Сибирская	СТВ пропашная ТС-М-4150А
01-18-18	Алтайская	СТВ пропашная МС-8
01-35-19	Алтайская	СТВ KUHN Maxima 2TRS, Франция
03-12-19	Владимирская	СТВ ТС-М-4150А
03-14-19	Владимирская	СТВ пропашная МС-8
11-08-19	Северо-Кавказская	СТВ пропашная МС-8
11-10-19	Северо-Кавказская	СТВ пропашная МС-12
08-09-19	Поволжская	СТВ KINZE 3000, США
08-13-19	Поволжская	СТВ СТП-12 «РИТМ-1М»
08-30-19	Поволжская	СТВ УПС-8-02, Украина

$t$  – шаг посева (расстояние между двумя следующими одно за другим семенами в ряду), см;  $L$  – длина посева, пм/га;  $N$  – норма высева (количество семян, посеянных на единицу площади, шт./га, или единицу длины, шт./пм).

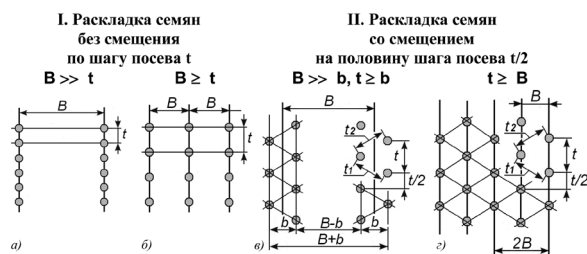


Рис. 1. Геометрия высева пропашных культур в 2D-формате: а – однорядная (однострочная) раскладка с широким междурядьем, б – однорядная (однострочная) раскладка с узким междурядьем, в – двухрядная (двухстрочная) триангуляционная раскладка, г – равномерно распределенная гексагональная раскладка.

Ранее основным параметром, используемым для оценки агротехнологической эффективности операций посева и возделывания пропашных культур была норма высева. Она формирует заданную густоту стояния растений, которая в свою очередь определяет продуктивность и урожайность. Отечественными нормативами (ГОСТ 31345-2017, СТО АИСТ 5.6-2018) установлено, что для пропашных культур норма высева составляет 1,4...8 шт./пм ( $t = 71,4...12,5$  см), для сахарной свеклы – не более 6 шт./пм ( $t = 16,7$  см), для бахчевых культур – 2...4 шт./пм ( $t = 50,0...25,0$  см).

Сейчас для оценки агротехнологической эффективности кроме нормы высева используют геометрические параметры, определяющие рациональное (оптимальное) размещение (раскладку) растений на поле. В современном пропашном земледелии используют следующие четыре основные раскладки:

- однорядная (однострочная) с широким междурядьем (которая трактуется как традиционная или классическая);
- однорядная (однострочная) с узким междурядьем;
- двухрядная (двухстрочная, зарубежное название – Twin Row);
- равномерно распределенная.

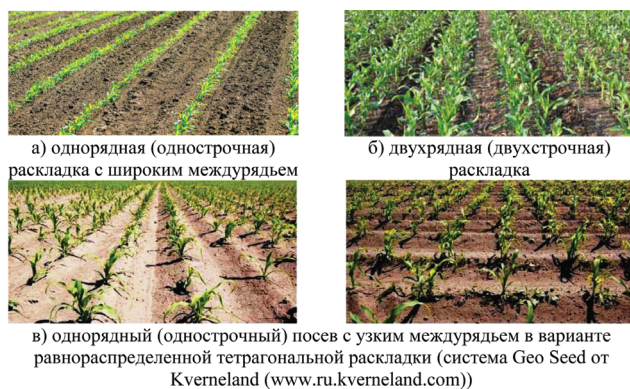


Рис. 2. Посевы пропашных культур с различной раскладкой.

Первые две раскладки (рис. 1, а, б, рис. 2, а, б) относятся к так называемому тетрагональному типу, в котором семена располагаются в вершинах четырехугольников без смещения одно относительно другого по шагу посева в соседних рядах. Две остальные раскладки образованы путем смещения семян в соседних рядах одно относительно другого на половину шага посева (см. рис. 1, в, г, рис. 2, в).

Несмотря на достижения селекционной науки, основным резервом повышения урожайности пропашных культур по-прежнему остается увеличение количества растений на единице площади, определяемое нормой высева. Основные ограничения при ее увеличении – обеспечение требуемой площади питания и оптимальной густоты стояния растений [8]. Если необходимые условия питания можно сформировать путем внесения удобрений, то конкуренция растений за влагу и свет (при значительной густоте стояния) приводит к снижению их продуктивно-

( $S_k = 907,5 \text{ см}^2$ ) и оптимальную геометрию размещения семян на площади поля ( $t = 34 \text{ см}$ ) обеспечивает равномерно-распределенная гексагональная раскладка. Это заключение подтверждают результаты исследований различных авторов, которые утверждают, что при такой раскладке площади зон питания и равноудаленности растений одно от другого имеют максимальные значения [10, 13, 14].

Для различных раскладок при одинаковой норме высева соблюдается условие:

$$S_k' < S_k'' < S_k''' < S_k'''' \quad (1)$$

где  $S_k'$ ,  $S_k''$ ,  $S_k'''$  и  $S_k''''$  – площади питания соответственно при однорядной (однострочной) раскладке с широким междурядьем; однорядной (однострочной) раскладке с узким междурядьем; двухрядной (двухстрочной) триангуляционной раскладке; равномерно-распределенной гексагональной раскладке.

Как было отмечено, основным резервом повышения урожайности пропашных культур – увеличение нормы высева, в частности для кукурузы и подсолнечника с 30...50 тыс. шт./га до 100...150 тыс. шт./га. Увеличение нормы высева при однорядном посеве на узком междурядье или двухрядном посеве на стандартном междурядье позволяет повысить урожайность пропашных культур более чем на 10% [11]. Это стало возможным благодаря конструктивным изменениям современной системы машин для пропашного земледелия, позволяющим не ограничиваться стандартными междурядьями (70 см, 75 см, 90 см в метрической системе и 30'', 36'', 38'' в дюймовой системе), а проводить работы на зауженных междурядьях – от 38,1 см (15'') до 24,1 см (9,5'').

Уменьшение ширины междурядья и двухрядный посев с возможностью смещения семян по шагу в соседних рядах – одно из ключевых конструктивных и технических новаций в развитии СТВ для пропашных культур.

Табл. 2. Площади зон питания растений при различной раскладке и одинаковой норме высева, шт./га

Раскладка	Геометрические параметры высева					Площадь $S_k$ , $\text{см}^2$
	В, см	t, см	L, шт./га	N		
				шт./пм	шт./га	
Однорядная (однострочная) раскладка с широким междурядьем	70	14	14285,71	7,1	101420	153,9
Однорядная (однострочная) раскладка с узким междурядьем	45	22	22222,22	4,5	101420	379,9
Двухрядная (двухстрочная) триангуляционная раскладка	70	28	14285,71	3,6	101420	615,4
Равномерная гексагональная раскладка	29	34	34482,76	2,9	101420	907,5

сти. По выражению Л.В. Фадеева, основная задача точной агротехнологии – не заставлять растения тратить энергию на борьбу между собой при увеличении их количества на единице площади [9, 10]. Решается она путем оптимизации геометрии размещения семян на засеваемой площади.

На сегодняшний день нет единой методики определения формы площади (зоны) питания растений в зависимости от их раскладки. Так, по данным фирмы Monosem ([www.monosem-inc.com](http://www.monosem-inc.com)), формы площадей (зон) питания выглядят как фигуры неправильной формы, прилегающие одна к другой. Д. Шпаар и Л.В. Фадеев для равномерно-распределенной раскладки определяют формы площадей (зон) питания в виде правильных шестиугольников [10, 11]. Ряд исследователей определяют их в виде кругов [12].

В большинстве случаев площадь питания растений определяют (по принятой в растениеводстве практике) делением густоты стояния на единицу площади (10, ГОСТ 31345-2017, СТО АИСТ 5.6-2018). Расчетные данные (табл. 2) показывают, что при одинаковой норме высева традиционная (классическая) раскладка (наиболее нерациональна в плане площади питания ( $S_k = 153,9 \text{ см}^2$ ) и загущенности растений в ряду ( $t = 14 \text{ см}$ ). Максимальную площадь питания

В табл. 3 представлены геометрические параметры высева пропашных культур, которые обеспечивают современные СТВ [9] с указанием площади зоны (без учета ее формы) питания растений  $S$ , которую рассчитывали по формулам:

$$S = 104 \times (104/N), \quad (2)$$

где  $S$  – площадь питания,  $\text{см}^2$ ;  $10^4 = 10000 \text{ м}^2$  – площадь, га;  $N$  – норма высева, шт./га;

исходя из этого для однорядной (однострочной) раскладки  $S = Bt$ ; (3)

для двухрядной (двухстрочной) раскладки  $S = Bt/2$ ; (4)

где  $B$  – ширина междурядья, см;  $t$  – шаг посева, см.

Зависимости (2)–(4) позволяют определить норму высева (шт./га) для любых геометрических параметров высева и выбранной раскладки растений на поле по следующим формулам:

для однорядной (однострочной) раскладки  $N = 10^8/Bt$ ; (5)

для двухрядной (двухстрочной) раскладки  $N = 2 \times 10^8/Bt$ . (6)

Табл. 3. Геометрические параметры высева пропашных культур

Ширина междурядья (В), см (°)	Ширина ряда (b), см (°)	Расстояние между семенами в ряду (t), см (°)	Длина посева (L), пм./га	Норма высева (N)		Площадь зоны питания (S), см <sup>2</sup>
				шт./пм	шт./га	
Однорядная (однорядная) «классическая» раскладка с широким междурядьем						
70,0	–	12,5...71,4	14285,71	1,4...8	20008...114286	875,0...4998,0
90,0	–	12,5...71,4	11111,11	1,4...8	15562...88889	1125,0...6426,0
Однорядная (однорядная) раскладка с узким междурядьем						
Геометрия высева от Monosem ( <a href="http://www.monosem-inc.com">www.monosem-inc.com</a> ). Ультра узкий ряд (UNR – <i>ultra narrow row</i> )						
24,1 (9,5°)	–	6,7...20,0	41493,78	5,0...15,0	70000...215000	160,7...482,0
Геометрия высева от Kinze ( <a href="http://www.kinze.com">www.kinze.com</a> )						
35,0	–	4,3...22,4	28571,42	4,5...23,2	127951...662689	150,5...784,0
Геометрия высева от John Deere ( <a href="http://www.johndeere.com">www.johndeere.com</a> ) и Great Plains ( <a href="http://www.greatplainsint.com">www.greatplainsint.com</a> )						
35,0	–	3,9...82,6	28571,42	1,2...25,6	34590...732601	136,5...2891,0
38,1 (15°)	–	3,5...75,9	26246,72	1,3...28,6	34581...749906	133,4...2891,8
Геометрия высева от Kverneland ( <a href="http://www.kverneland.com">www.kverneland.com</a> )						
37,5	–	5,0...46,0	26666,67	2,2...20,0	57971...533333	187,5...1725,0
Двухрядная (двухрядная) раскладка						
Геометрия высева от John Deere ( <a href="http://www.johndeere.com">www.johndeere.com</a> ) и Great Plains ( <a href="http://www.greatplainsint.com">www.greatplainsint.com</a> ). Система Twin Row						
76,2 (30°)	20,3 (8°)	23,4	13123,36	8,5	112165	891,6
91,4 (36°)	20,3 (8°)	23,4	10940,92	8,5	93512	1069,4
96,5 (38°)	20,3 (8°)	23,4	10362,69	8,5	88570	1129,1
Геометрия высева от Monosem ( <a href="http://www.monosem-inc.com">www.monosem-inc.com</a> ). Система Twin Row						
75,0	20,3 (8°)	31,2 (12,3°)	13333,33	6,4	85470	1170,0
76,2 (30°)	20,3 (8°)	31,2 (12,3°)	13123,36	6,4	84124	1188,7
80,0	20,3 (8°)	31,2 (12,3°)	12500,0	6,4	80128	1248,0
Геометрия высева от MaterMac ( <a href="http://www.matermacc.it">www.matermacc.it</a> ). Система Twin Row						
53,0	22,0	26,0	18867,92	7,7	145138	689,0
70,0	22,0	26,0	14285,71	7,7	109890	910,0
75,0	22,0	26,0	13333,33	7,7	102564	975,0
Геометрия высева от Gaspardo ( <a href="http://www.maschio.com">www.maschio.com</a> ). Система Quincoince						
75,0	25,0	26,0	13333,33	7,7	102564	975,0
Геометрия высева от Lemken ( <a href="http://www.lemken.com">www.lemken.com</a> ). Система Delta Row						
75,0	12,5	29,6	13333,33	6,8	90090	1110,0
Равнораспределенная гексагональная раскладка						
Геометрия высева от Kverneland ( <a href="http://www.kverneland.com">www.kverneland.com</a> ). Система Geo Seed						
37,5	–	43,3	26666,67	2,3	61526	1623,8
Геометрия высева по Фадееву Л.В. [5, 6]						
40,0	–	45,0	25000,0	2,2	55556	1800,0
Геометрия высева по Шпаару Д. [7]						
29,0	–	34,0	34482,76	2,9	101420	986,0

На основании данных табл. 3 с использованием формул (5) и (6) были рассчитаны нормы высева пропашных культур в зависимости от геометрических параметров посева семян и их раскладки на поле (рис. 3, а) и от шага посева в диапазоне его изменения от 5,0 до 50,0 см (рис. 3, б). Результаты анализа этих данных свидетельствуют, что конструкционные и технические возможности современных СТВ позволяют обеспечивать практически любую норму высева в необходимых геометрических сочетаниях (параметрах) и оптимальном размещении (раскладке) семян на поле.

Технический и конструкционный анализ изучаемых СТВ (см. табл. 3) выявил общую тенденцию: все технологические мероприятия, обеспечивающие повышение урожайности благодаря увеличению нормы высева и оптимизации геометрических параметров размещения семян на поле, выполнены на базе существующих высевающих секций, хорошо зарекомендовавших себя на широкорядном посеве.

Узкое междурядье и двоянные рядки (схема Twin Row) большинства СТВ формируются путем параллельной или параллельно-разнесенной фронтальной установки высе-

вающих секций сеялок. Однако такой (весьма практичный и может быть вполне рациональный) подход имеет свои ограничения и технические трудности при установке высевающих секций СТВ менее чем на 20,3 см (8°).

Также открытым остается вопрос о возможности симметричного позиционирования внесенных припосевных (стартовых) удобрений относительно семян. На этом аспекте акцентировал внимание Д. Шпаар [11], а также некоторые фирмы-разработчики, например, MaterMac ([www.matermacc.it](http://www.matermacc.it)).

Для решения такой проблемы была разработана СТВ Azurit 9 (рис. 4) фирмы Lemken (система Delta Row), у которой конструкционное и техническое исполнение высевающих аппаратов и секций позволяет проводить точный высева пропашных культур по двухрядной (двухрядной) схеме с шириной рядка 12,5 см с одновременным локально-ленточным внесением гранулированных стартовых удобрений по центру рядка ([www.lemken.com](http://www.lemken.com)). Основное ее преимущество заключается в возможности совместной работы с существующей системой машин для пропашного земледелия.

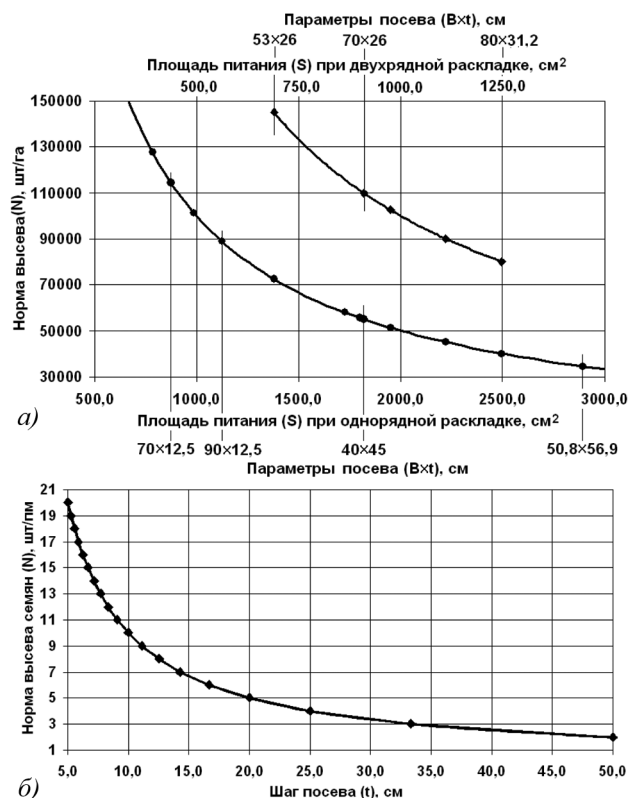


Рис. 3. Норма высева пропашных культур в зависимости: а) от геометрических параметров посева семян и их раскладки на поле (шт./га); б) от шага посева (шт./м).

Основные технологические параметры внесения припосевных (стартовых) доз удобрений – норма внесения, определяемая их дозой (количество удобрений, внесенных за один прием), и позиционирование (схема размещения) относительно семян. Доза внесения гранулированного стартового удобрения (N) при посеве пропашных культур составляет 50...250 кг/га, в том числе под сахарную свеклу – N = 50...250 кг/га, под овощные культуры – 50...150 кг/га, под бахчевые – N = 30...350 кг/га (СТО АИСТ 5.6-2018). При этом схемы (способы) внесения отечественными нормативами не регламентированы.

Современная наука и практика определяет в качестве основной схемы (способа) внесения припосевных (стартовых) удобрений под пропашные культуры – локально-ленточную (рис. 5) [8, 14]. Большинство современных СТВ реализует локально-ленточное внесение гранулированных припосевных (стартовых) удобрений по схеме «ниже и в сторону» 2×2 дюйма, или 5×5 см (глубина внесения удобрений на 5 см ниже семян, со смещением на 5 см в сторону от рядка) (рис. 6). Такие параметры установлены с целью исключения солевого «ожога» семян [8].

Локализация удобрений ускоряет появление вторичных корней у пропашных культур. Происходит специализация отдельных зон корневой системы, что особенно важно для скороспелых сортов. Потребление влаги при локализации удобрений снижается на 10...15%, эффективность удобрений меньше зависит от погодных условий, а это особенно важно в земледельческих зонах, где в период всходы – кушение наблюдается дефицит влаги. Однако ленточное внесение удобрений предопределяет излишний расход удобрений, которые в том числе расходуются на рост сорняков, развивающихся в промежутках между семенами.

Для исключения солевого «ожога» при внесении припосевных (стартовых) доз гранулированных удобрений должно выдерживаться условие:

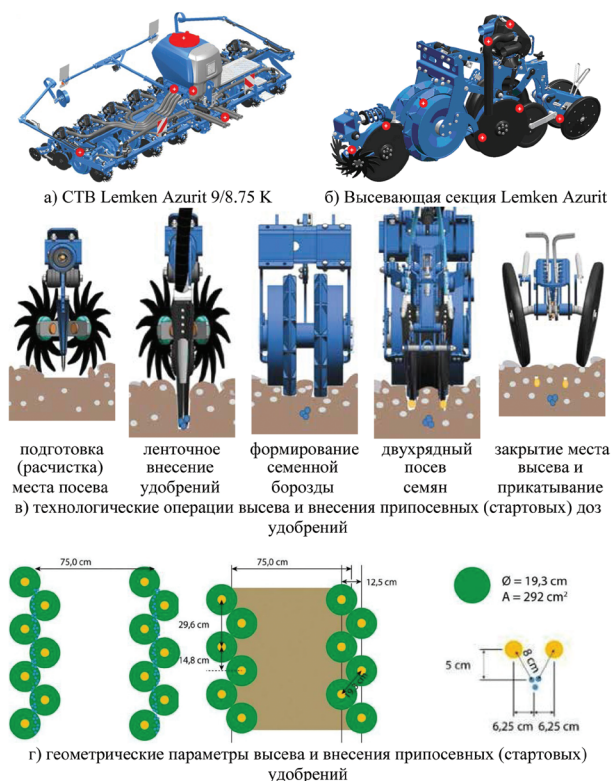


Рис. 4. СТВ Lemken Azurit 9 (система Delta Row), технико-технологический концепт.

$$r \geq 2'' (5 \text{ см}). \quad (7)$$

Сегодня активно внедряют так называемую технологию ультралокального внесения припосевных (стартовых) Рор-Ур удобрений по схеме In-Furrow (рис. 5, д). К Рор-Ур (анг. – выскакивающий, выпрыгивающий) удобрениям относятся микрогранулированные и жидкие высокочистые безбалластные стартовые удобрения с низким солевым индексом, а схема In-Furrow (анг. – в борозду) определяет их внесение в непосредственной близости от семян [8].

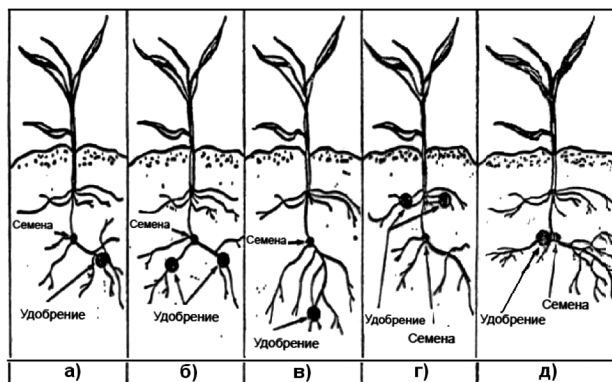
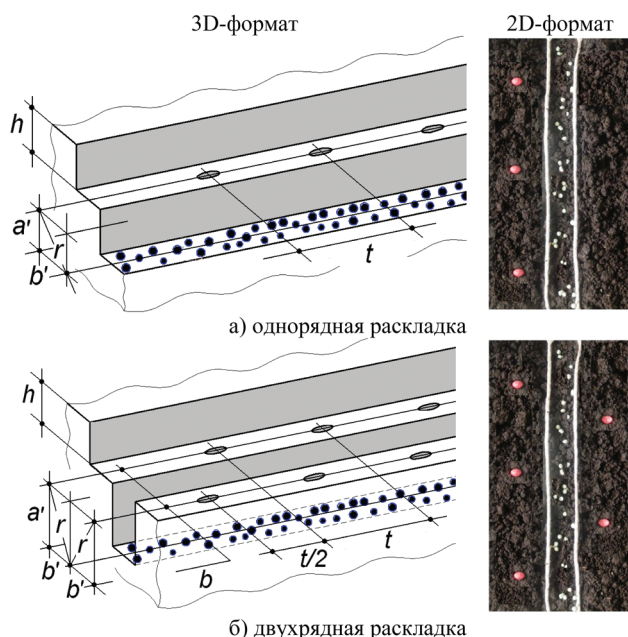


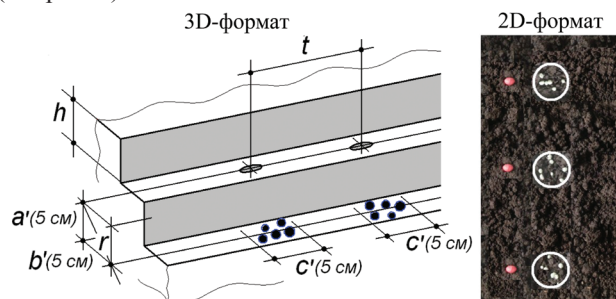
Рис. 5. Схемы (способы) локально-ленточного припосевного (стартового) внесения удобрений (по материалам [8]): а – с одной стороны от семян, б – с двух сторон от семян, в – ниже семян, г – выше семян (с одной или с двух сторон), д – в рядки с семенами (система In-Furrow).

Однако локально-ленточное внесение гранулированных припосевных (стартовых) удобрений по схеме «ниже и в сторону» с геометрическими параметрами 2×2 (5×5) остается наиболее распространенной, хотя и требует совершенствования (модернизации).



**Рис. 6. Геометрические параметры посева семян пропашных культур с одновременным внесением гранулированных припосевных (стартовых) удобрений:**  $h$  – глубина посева,  $t$  – шаг посева,  $b$  – ширина ряда,  $a'$  – глубина внесения удобрений ниже семян,  $b'$  – смещение удобрений от оси ряда семян;  $r$  – диагональ удаления удобрений от семян.

Точный высеv пропашных культур характеризуется определенным расстоянием (шагом посева) между семенами в пределах от 3,5 до 82,6 см и более (см. табл. 2). Существующая технико-технологическая схема локально-ленточной заделки удобрений современных СТВ определяет их сплошное (непрерывное) внесение (см. рис. 6).



**Рис. 7. Геометрические параметры посева семян пропашных культур с одновременным внесением гранулированных припосевных (стартовых) удобрений по схеме «5×5».**

Авторы разработали технико-технологический концепт, определяющий локально-очаговый вариант внесения гранулированных припосевных (стартовых) удобрений, только в зоне нахождения семени очагом не более 5 см (рис. 7). Такая технико-технологическая схема определена как «5×5» (размещение удобрений на 5 см ниже семени, на 5 см в сторону от ряда растений «очагами» (зонами) 5 см).

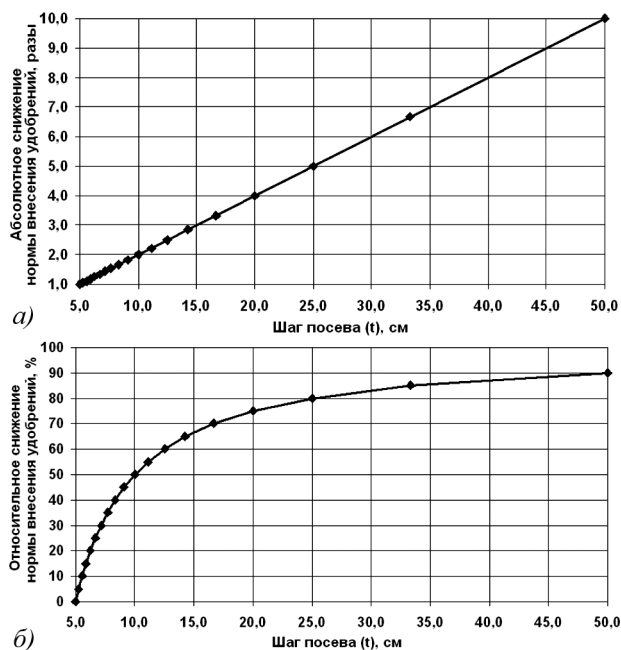
Ее использование предопределяет значительную экономию гранулированных припосевных (стартовых) удобрений благодаря снижению нормы (дозы) их внесения. Расчеты показывают, что уже при шаге посева  $t = 10$  см норма внесения удобрений уменьшается в 2 раза, или на 50 % (рис. 8).

Технологическая схема «5×5» реализована в техническом концепте, обозначенном как «высеvающий аппарат для точного высева пропашных культур и локального дифференцированного внесения удобрений» (патент РФ № 199944 от 29.09.2020 г.), в котором высевающий аппарат СТВ выполнен совместно с дозирующим устройством для припосевных (стартовых) удобрений. Дозирующее устройство вносит определенную порцию удобрений одновременно с семенем и тем самым обеспечивает процесс точного посева семян пропашных культур с внесением припосевных (стартовых) удобрений.

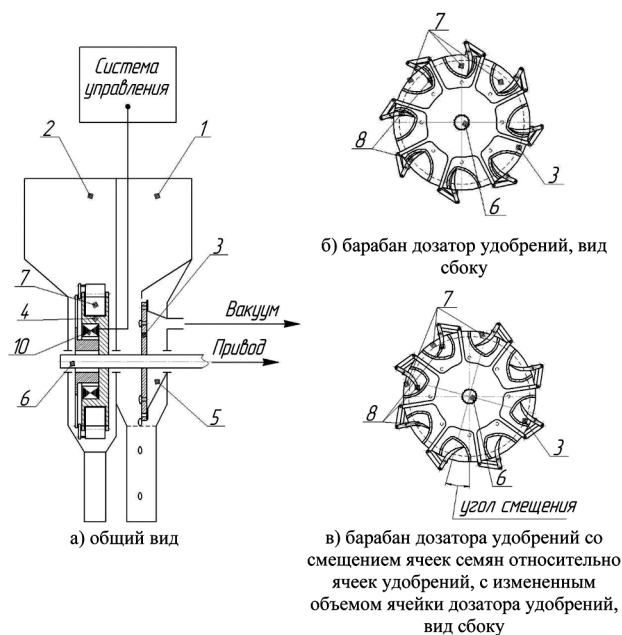
Высевающий аппарат для точного высева пропашных культур и локального дифференцированного внесения удобрений содержит семенной бункер 1 и бункер для удобрений 2, высевающий диск 3 и барабан для дозирования удобрений 4, тукопроводы 9 для сошника внесения удобрений и семян (рис. 9). Высевающий диск 3 смонтирован в семенном бункере 1 и одной стороной примыкает к вакуумной камере 5. Барабан дозатор удобрений 4 размещен на валу 6 высевающего диска 3 и соединен с бункером удобрений 2.

Барабан дозатор удобрений 4 имеет ячейки 7 с установленными в них подвижными лопастями 8, обеспечивающими изменение объема ячейки благодаря приводу 10. Барабан дозатор удобрений 4 устанавливается на шлицевой вал высевающего диска. В нем реализована возможность смещения ячеек семян и удобрений одна относительно другой, что позволяет обеспечить оптимальную схему внесения удобрений.

Технологический процесс высева пропашных культур и локального дифференцированного внесения удобрений осуществляется следующим образом. Перед началом работы устанавливается смещение ячеек семян относительно ячеек удобрений на заданный угол путем поворота барабана дозатора удобрений на шлицевом валу. В процессе работы аппарата семена из бункера 1 высеваются диском 3 по одному подаются в тукопровод 9. Одновременно в барабан дозатор удобрений 2 подается питательная смесь,



**Рис. 8. Зависимость снижения нормы внесения удобрений от шага посева: а) в абсолютных единицах; б) в относительных единицах.**



**Рис. 9.** Высевной аппарат для точного высева пропашных культур и локального дифференцированного внесения удобрений: 1 – семенной бункер, 2 – бункер для удобрений, 3 – высевной диск, 4 – барабан для дозирования удобрений, 5 – вакуумная камера, 6 – вал высевного диска, 7 – ячейки для удобрений, 8 – подвижная лопатка, 9 – тукопровод, 10 – управляемый привод.

при этом в зависимости от потребного количества удобрений изменяется объем ячеек 7 с помощью лопастей 8, управляемых приводом 10.

Таким образом, используемый на протяжении длительного периода времени параметр описания агротехнологической эффективности операций посева и возделывания пропашных культур «норма высева» в современных условиях недостаточен. С целью оценки количества высеянных семян, их взаимного расположения в почве между собой и с внесенными стартовыми удобрениями при посеве пропашных культур целесообразно ввести параметр «геометрия посева».

На сегодняшний день нет единой методики определения оптимальной формы площади питания растений в зависимости от их раскладки. При одинаковой норме высева максимальную площадь питания и оптимальную геометрию размещения семян на поле обеспечивает равномерно-распределенная гексагональная раскладка.

Одна из ключевых конструктивных и технологических новаций в развитии сеялок точного высева для пропашных культур – уменьшение ширины междурядья и двухрядный посев с возможностью смещения семян по шагу в соседних рядах. Современные СТВ обеспечивают возможность высева практически любой нормы семян в необходимых геометрических сочетаниях (параметрах) с их оптимальным размещением (раскладкой) на поле.

Существующая технико-технологическая схема локально-ленточной заделки удобрений современных СТВ определяет их сплошное (непрерывное) внесение. Это сопровождается излишним расходом удобрений и в итоге потреблением их питательных веществ сорняками, расположенными между культурными растениями. Для решения этой проблемы предложен новый технико-

технологический концепт, определяющий локально-очаговый вариант внесения гранулированных припосевных (стартовых) удобрений, то есть только в зоне нахождения семени очагом не более 5 см (схема «5×5×5»). Использование этой технологии позволяет экономить расход припосевного удобрения благодаря значительному снижению нормы его внесения.

### Литература.

1. *Сельскохозяйственный энциклопедический словарь / под ред. В.К. Месяца и др. М.: Сов. Энциклопедия, 1989. 656 с.*
2. *Современное состояние и перспективы развития семеноводства в Российской Федерации / Ю.Ф. Лачуга, Ю.В. Плугатарь, А.И. Трубилин и др. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2018. №72. С. 9–24.*
3. *Ценч Ю.С., Несмиян А.Ю., Хомутова Н.С. История развития конструкции высевных аппаратов зерновых сеялок // Вопросы истории естествознания и техники. 2020. Т. 41. №1. С. 106.*
4. *Несмиян А.Ю., Ценч Ю.С. Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. №3. С. 45–52.*
5. *Демчук Е.В., Союнов А.С. Совершенствование технологии возделывания сельскохозяйственных культур // Вестник ОмГАУ. 2016. № 2 (22). С. 242–246.*
6. *Гольятин В.Я. Анализ результатов испытаний сеялок и посевных комплексов прямого посева // Техника и оборудование для села. 2019. № 10 (268). С. 20–24.*
7. *Результаты производственных исследований зарубежного агрегата на посеве сои возделываемой по различным технологиям / А.И. Завражнов, А.Н. Зазуля, А.В. Балашиов и др. // Наука в центральной России. 2020. №1. С. 36–43.*
8. *Логина И. Стартовое удобрение: не навреди // АгроИндустрия. 2019. №2. С. 34–42.*
9. *Лачуга Ю.Ф., Шогенов Ю.Х., Ахалая Б.Х. Новая конструкция дозирующей системы пневматического высевного аппарата // Российская сельскохозяйственная наука. 2018. №3. С. 51–53.*
10. *Фадеев Л.В. Точная агротехнология будущего начинается сегодня. Кукуруза // Зернові продукти і комбікорми. 2016. Vol. 61. No. 1. С. 5–11.*
11. *Шнаар Д. Кукуруза: выращивание, уборка, хранение и использование. К.: Издательский дом «Зерно», 2012. 464 с.*
12. *Murray J.R., Tullberg J.N., Basnet B.B. Planters and their components: types, attributes, functional requirements, classification and description // ACIAR Monograph, 2006. 178p.*
13. *Evaluation of the efficiency of row-crop seeders using vacuum and extrabaric seed metering methods / V.I. Khizhnyak, V.V. Shchirov, A.Y. Nesmyan, et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. «International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production» 2021. С. 012045. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/659/1/012045> (дата обращения: 12.11.2021).*
14. *Rational parameter calculation method for devices with horizontal rotation axis to disseminate mineral fertilizers and seeds / V.A. Chernovolov, V.A. Kravchenko, L.V. Kravchenko, et al. // Amazonia investiga. 2018. Vol. 7. No. 17. P. 670–675.*

Поступила в редакцию 01.12.2021  
После доработки 28.12.2021  
Принята к публикации 27.01.2022