

УДК [635.65: 631.33.024.3]

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕРВАЛОВ ВАРЬИРОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВОГО СОШНИКА, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОЦЕСС БОРОЗДКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПОСЕВЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В. Р. ПЕТРОВЕЦ, С. В. КУРЗЕНКОВ, Н. И. ДУДКО, Д. В. ГРЕКОВ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 28.05.2018)

*Мировые тенденции при конструировании посевных машин склоняются к использованию дисковых комбинированных сошников. Они просты при изготовлении и наладке, технологичны, легко заглубляются, что дает возможность использовать их для посева различных сельскохозяйственных культур с широким варьированием глубин заделки.*

*В Республике Беларусь и за ее пределами существует множество видов дисковых сошниковых систем с различными их конфигурациями и особенностями, компоновками рабочих элементов, конструктивными особенностями и различными параметрами. Как правило, разнообразие признаков этих агрегатов связано с видом посева, высеваемых культур или веществ и предназначением сошника. Современная конструкция сошника должна позволять комбинировать операции подготовки почвы, внутривспашечного внесения стартовой дозы удобрений и посева сельскохозяйственных культур, хорошо работать на различных типах почв, в том числе засоренных растительными и пожнивными остатками.*

*Системный подход в обобщении прогрессивного опыта в создании посевных машин и агрегатов на основе комбинированных дисковых рабочих органов будет первым шагом к переходу к точному земледелию в Республике Беларусь и при обеспечении условий для получения запланированного объема продуктов растениеводства высокого качества.*

*С этой целью в представленной работе были определены основные конструктивные параметры дисковых сошников и проанализированы возможные их интервалы варьирования. Результаты работы будут использованы при планировании многофакторного эксперимента по определению рациональных параметров сошников нового поколения.*

**Ключевые слова:** посев, дисковый сошник, конструктивные и эксплуатационные параметры, границы варьирования параметров.

*World tendencies in the design of sowing machines tend to use combined disc coulters. They are simple for manufacturing and adjustment, are technologically advanced, easy to be buried, which makes it possible to use them for sowing various agricultural crops with a wide variation in the depths of the closure. In the Republic of Belarus and beyond, there are many types of disc coulters systems with their various configurations and features, layouts of working elements, structural features and various parameters. Typically, the variety of features of these aggregates is related to the type of crops or substances sown, and the purpose of the coulters. The modern design of the coulters should allow combining the operations of soil preparation, intra-soil application of the starting dose of fertilizers and sowing of crops, it should work well on various types of soils, including those contaminated by plant and stubble residues. A systematic approach in the generalization of progressive experience in the creation of sowing machines and aggregates based on combined disc working tools will be the first step towards the transition to precision agriculture in the Republic of Belarus, providing conditions for obtaining the planned volume of high-quality crop products. To this end, in the work presented, the main design parameters of disc coulters were determined and their possible variation intervals were analyzed. The results of work will be used in the planning of a multifactor experiment to determine the rational parameters of the new generation of coulters.*

**Key words:** sowing, disc coulters, constructive and operational parameters, range of variation of parameters.

### Введение

В общем комплексе технологических операций и приемов при возделывании сельскохозяйственных культур большое значение имеет их посев. Объясняется это тем, что именно в начальный период развития семени закладываются основы будущей высокой урожайности растений, их устойчивость к полеганию и стрессовым факторам. Поэтому при посеве требуется обеспечить оптимальные сочетания водного, воздушного и теплового факторов развития семени и растения. Установлено, что такие благоприятные условия формируются, когда семена равномерно распределены по площади питания и на одинаковую глубину, уложены на плотное ложе бороздок, вдавлены в него и прикрыты сверху рыхлым слоем почвы. Соблюдение рациональных агротехнических условий посева является залогом получения ровных и дружных всходов необходимой густоты [1–5].

Мировые тенденции при конструировании посевных машин склоняются к использованию дисковых комбинированных сошников. Они просты при изготовлении и наладке, технологичны, легко заглубляются, что дает возможность использовать их для посева различных сельскохозяйственных культур с широким варьированием глубин заделки.

Сегодня в Республике Беларусь и за ее пределами существует множество видов дисковых сошниковых систем с различными их конфигурациями и особенностями, компоновками рабочих элементов, конструктивными особенностями и различными параметрами [6–8]. Как правило, разнообразие признаков этих агрегатов связано с видом посева, с гранулометрическим составом высеваемых культур или веществ и предназначением сошника.

Это продемонстрировано в работе. Современная конструкция сошника должна позволять комбинировать операции подготовки почвы, внутривспашечного внесения стартовой дозы удобрений и посева сельскохозяйственных культур, хорошо работать на различных типах почв, в том числе засоренных растительными и пожнивными остатками [9–12].

Системный подход в обобщении прогрессивного опыта в создании посевных машин и агрегатов на основе комбинированных дисковых рабочих органов будет первым шагом к переходу к точному земледелию в Республике Беларусь и при обеспечении условий для получения запланированного объема продуктов растениеводства высокого качества.

### Основная часть

С этой целью нами в представленной работе были определены основные конструктивные параметры дисковых сошников и проанализированы возможные их интервалы варьирования.

Известно, что рабочий процесс сошника складывается из следующих фаз: образование бороздки, размещение в ней семян, частичная или полная заделка семян. При этом формы и размеры бороздки, образуемой сошником, зависят главным образом от диаметра диска, углов его установки, от взаимного расположения дисков у двухдисковых сошников и от конфигурации диска и реборд и его элементов для однодисковых сошников, усилий приходящихся на взаимодействующие с почвой элементы, а также свойств самой почвы и эффективного выбора скорости посева сельскохозяйственных культур из условия равновесия движущейся системы и стабильности ее работы, обеспечения необходимого расстояния между бороздками [13–16].

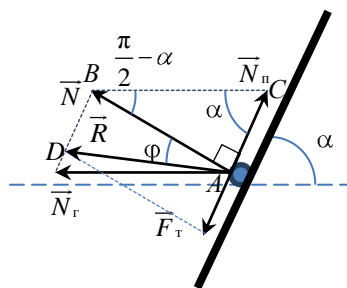


Рис. 1. Схема действия сил при вхождении сошника в почву под острым углом  $\alpha$

Рассмотрим вопрос о возможных углах крена сошника по отношению к почвенному горизонту.

Предположим, что сошник входит в почву под острым углом  $\alpha$ . При этом на материальную почвенную частицу массы  $m$  будут действовать следующие силы – сила реакции опоры  $\vec{N}$  и сила трения о поверхность сошника  $\vec{F}$ .

Рассмотрим на рис. 1 схему действия сил при вхождении сошника в почву под острым углом  $\alpha$ . В таком случае движение почвенной частицы будет осуществляться вверх по поверхности сошника только при условии, что поверхностная составляющая реакции опоры  $\vec{N}_n$  будет превышать силу трения ее о поверхность сошника  $|\vec{F}_t|$ , т. е.  $|\vec{N}_n| > |\vec{F}_t|$ .

Рассмотрим прямоугольный треугольник  $ABC$ , который на схеме (рис. 1) образуется реакцией опоры  $\vec{N}$  и ее поверхностной составляющей  $\vec{N}_n$ . Так как прямая  $CB$  параллельна уровню почвенной поверхности, то угол  $\angle BCA = \angle \alpha$ , а значит  $\angle CBA = \frac{\pi}{2} - \alpha$ .

Аналогичным образом рассмотрим треугольник  $ABD$ , который образуется реакцией опоры  $\vec{N}$  и результирующей силой  $\vec{R}$ , действующей на почвенную частицу. Обозначим через  $\angle \varphi = \angle DAB$  рассматриваемого треугольника и назовем его углом трения. Поясним физический смысл этого параметра.

Если рассматривать движение тела по идеально гладкой поверхности, то в точке их соприкосновения действует реакция  $\vec{R}$ , направленная по нормали к поверхности. На шероховатой поверхности возникают силы трения скольжения. Поэтому реакцию шероховатой поверхности  $\vec{R}$ , в нашем случае почвы, представим в виде двух составляющих: нормальной реакции  $\vec{N}$ , равной по модулю силе нормального давления, и перпендикулярной ей силы трения  $\vec{F}_{тр}$ , т. е.  $\vec{R} = \vec{N} + \vec{F}_{тр}$ . Полная реакция образует с нормалью к поверхности некоторый угол, тангенс которого равен отношению силы трения и нормальной реакции. В случае, когда тело лежит на горизонтальной шероховатой поверхности, и на него не действуют никакие внешние силы, кроме силы тяжести, полная реакция  $\vec{R} = \vec{N}$  и перпендикулярна опорной поверхности. Приложив к телу силу  $\vec{F}_t$ , мы стремимся вызвать его движение, но оно не происходит, так как возникает сила трения  $\vec{F}_{тр} = -\vec{F}_t$ , причем сила трения меньше некоторого максимального своего значения  $\vec{F}_{тр} \leq \vec{F}_{тр}^{max}$ , при котором наблюдается равновесие системы. С увеличением силы  $\vec{F}_t$  будет возрастать и сила  $\vec{F}_{тр}$ . Наконец, наступит предельное состояние равновесия, при котором полная реакция  $\vec{R}$  отклонится от вертикали на

пределный угол  $\varphi$ , называемый **углом трения** и затем начнется движение тела. Тангенс этого угла находится по формуле  $\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{F_{\text{тр}}^{\max}}{N} = f$  и равен коэффициенту трения, а значит  $\varphi = \operatorname{arctg}(f)$ .

Тогда с учетом введенных обозначений можем записать, что условием движения почвенной частицы вверх по поверхности сошника будет  $|\vec{N}| \cdot \operatorname{tg}(\frac{\pi}{2} - \alpha) > |\vec{N}| \cdot \operatorname{tg}(\varphi)$ , или после упрощения это неравенство можно преобразовать к виду:

$$\alpha < \frac{\pi}{2} - \varphi. \quad (1)$$

При таком вхождении сошника в почву ее частицы идут вверх по поверхности сошника. При этом поверхность почвы подвергается рыхлению, а сошник активно заглубляется в почву. Однако наблюдаются и нежелательные явления, такие как неравномерность заглубления сошника, что в свою очередь приводит к образованию бороздки с неровным и волнистым рельефом, а также этот процесс сопровождается не предсказуемым и не контролируемым отбросом почвы. Ситуация стабилизируется, если реальный угол вхождения сошника в почву будет значительно больше расчетного.

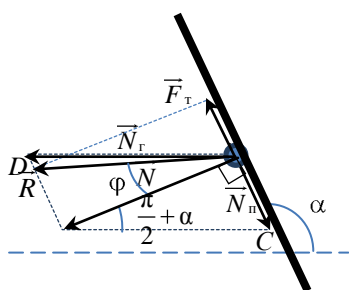


Рис. 2. Схема действия сил при вхождении сошника в почву под тупым углом  $\alpha$

Рассмотрим на рис. 2 схему действия сил при вхождении сошника в почву под тупым углом  $\alpha$ . Действуя по аналогии с первым случаем, проанализируем движение почвенной частицы по сошнику вниз.

Условием для такого движения будет неравенство:

$$|\vec{N}_n| > |\vec{F}_\tau|, \text{ или } |\vec{N}| \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \frac{\pi}{2}) > |\vec{N}| \cdot \operatorname{tg}(\varphi).$$

Откуда получаем  $\alpha - \frac{\pi}{2} > \varphi$ , или

$$\alpha > \varphi + \frac{\pi}{2}. \quad (2)$$

Анализ данной схемы свидетельствует о том, что при выполнении условия (2) частицы почвы будут подминаться сошником и выталкивать его из почвы. Это тот случай, когда работа сошника будет нарушаться и будет неэффективна.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что значение угла вхождения сошника в почву должно ограничиваться следующими пределами:

$$\frac{\pi}{2} - \varphi < \alpha < \frac{\pi}{2} + \varphi \quad (3)$$

На основании справочных материалов [11] известно, что коэффициент трения  $f$  стали по почвенному грунту изменяется от 0,325 до 0,8, а значит, угол трения для большинства почв лежит в пределах от 18 до 39°. В нашем случае экспериментально установлено, что значения угла  $\varphi$  для почв Горьковского района изменяются от 29 до 31° (с учетом предпосевной их обработки).

Для определенности возьмем угол  $\varphi = 30^\circ$  ( $\pi/6$  рад). Тогда пределы изменения угла вхождения сошника в почву должны изменяться от 60 до 120°.

На основании этого факта можно выдвинуть гипотезу, что для контролируемого и равномерного по глубине образования бороздок эффективно применять сошники с углом  $\alpha$  вхождения в почву (углом крена) близким или равным к 90°. Данная гипотеза нашла подтверждение в многолетних исследованиях В. И. Ильина.

Работа дисковых орудий зависит от диаметра дисков и расстояния между ними. Диаметр дисков выбирают из условий обеспечения требуемой глубины обработки и экономии металла. Расстояние  $b$  между дисками должно быть таким, чтобы орудия не забивались, обеспечивали необходимую высоту  $h$  гребней и не засыпали соседние бороздки. При глубине обработки  $\Delta$ , это расстояние  $b$  между дисками принимается больше  $1,5\Delta$ . На глубину обработки почвы дисковыми сошниками оказывает влияние угол  $\gamma$  поворота их поверхности по отношению к направлению движения тягового механизма, т.е. угол атаки диска (рис. 3). Объясняется это

тем, что реакция почвы всегда нормальна к рабочей поверхности диска. Поворот поверхности диска против направления его движения увеличивает площадь лобового сопротивления сошника, а значит и захватываемую почвенную поверхность, способствует заглублению диска.

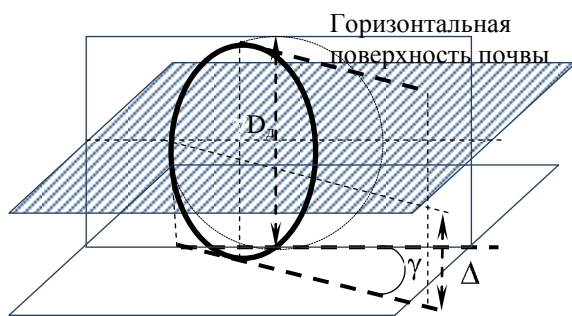


Рис. 3. Схема к определению угла атаки дискового сошника

Однако анализ конструкций дисковых сошников [6] показывает, что на практике применяются сошники с углом атаки не более  $20^\circ$ . В первую очередь это связано с тем, что при увеличении угла атакикратно увеличивается сопротивление сошника, а значит, для преодоления этого сопротивления необходимо затрачивать дополнительные энергоресурсы и денежные средства. Не всегда эти затраты являются обоснованными.

С другой стороны, угол атаки сошника и его скорость напрямую связаны с объемом и дальностью отброса выносимой из бороздки почвы. Причем тенденция влияния дальности отброса почвы такова, что при уменьшении скорости работы сошника можно увеличивать его угол атаки и наоборот. Эти параметры взаимосвязаны и должны быть подобраны для проектируемого сошника таким образом, чтобы обеспечить стабильное и равномерное образование бороздок и исключить случаи засыпания почвы соседних рабочих механизмов и сформированных бороздок.

При узкорядном посеве мелкосемянных культур и для увеличения его скорости целесообразно применять однодисковые сошники с нулевым углом атаки или близким к нулевому. В этом случае будем говорить о накатывании бороздок, при котором за их формообразование и глубину отвечают такие факторы, как усилие, оказываемое на сошник, конфигурация сошника и его скорость движения. Однако при таком способе образования бороздок с целью заделки семян на глубину, превышающую 4 см, как правило, нужно проводить дополнительную подготовку почвы, что в свою очередь связано с дополнительными затратами.

Некоторые конструкторы посевных машин при их компоновке отдают предпочтение двухдисковым сошникам со смыкающейся под углом  $\psi$  передней частью дисков (рис. 4). В этом случае смыкающаяся часть дисков выполняет функции наральника, а диски сошника – роль отвала.

При использовании таких устройств размеры и форма бороздки зависит не только от угла входа и атаки дисков по отношению к почвенной поверхности, но и от угла раствора дисков сошника  $\psi$ , а также высоты расположения точки стыка кромок дисков.

Экспериментально установлено [16], что область оптимальных значений угла  $\psi$  находятся в пределах  $5...9^\circ$ . Пусть точка  $M$  стыка дисков находится на высоте, определяемой углом  $\alpha_1$  наклона радиуса  $OM = R_d$  к вертикали. Разрезав диски по их горизонтальному радиусу, развернем половины дисков на угол  $\frac{\pi}{2}$ , совместив их с горизонтальной плоскостью. Тогда расстояние  $BC$  будет шириной вскрываемой сошником бороздки  $b_1$ . Из прямоугольного треугольника  $BCM$  следуют выражения (4–5):

$$BC = MB \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\psi}{2}\right), \quad (4)$$

$$MB = MO - BO = MO - MO \cdot \cos(\alpha_1) = R_d(1 - \cos(\alpha_1)). \quad (5)$$

Подставив (5) в (4), получим:

$$b_1 = 2R_d \cdot (1 - \cos(\alpha_1)) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\psi}{2}\right). \quad (6)$$

Анализ формулы (6) показывает, что при эксплуатации стыкующихся дисков применение углов  $\alpha_1 > \frac{\pi}{2}$  нецелесообразно, так как в этом случае точка  $M$  стыка будет поднята слишком высоко, т. е. и каждый диск будет работать отдельно, проводя самостоятельную бороздку, что агротехнически недопустимо при обычном посеве и может быть использовано только в двухдисковом сошнике для организации узкорядных посевов.

Из выражения (6) можно определить угол раствора дисков  $\psi$ . Поскольку высота  $h$  точки стыка дисков над опорной плоскостью будет равна заглублению такого сошника  $h = \Delta = R_d \cdot (1 - \cos(\alpha_1))$ , то

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\psi}{2}\right) = \frac{b_1}{2R_d \cdot (1 - \cos(\alpha_1))} = \frac{b_1}{2h} = \frac{b_1}{2\Delta}. \quad (7)$$

Тогда угол раствора дисков  $\psi$  связан с шириной вскрываемой им бороздки  $b_1$  и ее глубиной  $\Delta$  следующим выражением:

$$\psi = 2\operatorname{tg}\left(\frac{b_1}{2\Delta}\right). \quad (8)$$

Анализ литературных источников [17–19] показывает, что глубину хода сошников в почве (и связанную с ней глубину бороздки) практически для всех типов сошников можно регулировать за счет изменения нагрузки на сошник (за счет давления пружины), определив направление силы тяги (переносом точки присоединения поводков по горизонтали и вертикали) и подобрав рациональную скорость его движения. При этом, как правило, применяют нагрузки на сошник до 300 Н и скорости посева до 30 км/ч.

#### **Заключение**

На основании приведенных в работе материалов можно сделать вывод, что рациональные границы варьирования конструктивных и эксплуатационных параметров дисковых сошников находятся в следующих пределах: угол крена сошника по отношению к почвенному горизонту – близким или равным  $90^\circ$  ( $\frac{\pi}{2}$  рад); углом атаки близким или равным  $0^\circ$  (0 рад); расстоянием между дисками превышающем  $1,5\Delta$ , где  $\Delta$  – глубина бороздки; углом раствора дисков связанным с шириной вскрываемой им бороздки  $b_1$  и ее глубиной  $\Delta$  выражением (8), при условии, что речь идет о конструкции смыкающихся дисков; с применяемыми на сошник нагрузками до 300 Н; – скоростью посева до 30 км/ч.

При узкорядном посеве мелкосемянных культур и для увеличения скорости их посева целесообразно применять конструкции однодисковых сошников с углом атаки, близким к нулевому, и углом крена  $90^\circ$ , формообразование бороздок которых задается за счет применения в них реборд различных форм, а также могут быть использованы конструкции со смыкающимися дисками.

Результаты работы будут использованы при планировании многофакторного эксперимента по определению рациональных параметров сошников нового поколения.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

- Петровец, В. Р. Посев зерновых культур дисковыми сошниками с усеченно-конусными бороздообразователями-уплотнителями / В. Р. Петровец, С. В. Авсюкевич, Н. И. Дудко. – Горки, 2015. – 212 с.
- Точицкий, А. А. Изыскание и исследование сошников к зернотуковым сеялкам для посева на торфяных почвах: дисс. .... канд. техн. наук 05.20.01 / А. А. Точицкий. – Минск, 1981. – 206 с.
- Ильин, В. И. Посев сельскохозяйственных культур сеялкой с однодисковыми сошниками и опорно-прикатывающими катками: диссертация кандидата технических наук 05.20.01 / В. И. Ильин. – Горки, 1991. – 183 с.
- Петровец, В. Р. Посев зерновых культур при интенсивной технологии возделывания: практ. руководство для ФПК / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц. – Горки: БСХА, 1998. – 50 с.
- Способы посева и посадки сельскохозяйственных культур / Агропортал – все для специалистов агропромышленного комплекса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agroinf.com/zemledeliye/-sposoby-poseva-i-posadki-selskokochozaystvennykh-kultur/sposoby-poseva-i-posadki-selskokochozaystvennykh-kultur.html> – Дата доступа: 12.02.2018.
- Петровец, В. Р. Классификация дисковых сошников по технологическим и конструктивным параметрам / В. Р. Петровец, С. В. Курзенков, Н. И. Дудко, Д. В. Греков // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. – 2017. – №2, – 100–109.6.
- Петровец, В. Р. Математическая модель комбинированного однодискового сошника для узкорядного посева с симметрично расположенными двухсторонними ребордками-бороздообразователями и нулевым углом атаки / В. Р. Петровец, С. В. Курзенков, Н. И. Дудко, Д. В. Греков. – Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – №4. – С. 94 – 97.
- Петровец, В. Р. Обзор и исследование одно- и двухстрочных современных дисковых сошников / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, С. В. Авсюкевич // Вестник БГСХА – 2009. – №1. – С. 152–158.

9. Петровец, В. Р. Математическая модель уплотнения почвы в бороздках, образованных однодисковым сошником с нулевым углом атаки и симметрично расположенными двухсторонними ребордами-бороздкообразователями для узкорядного посева мелкосемянных культур / В. Р. Петровец, С. В. Курзенков, Н. И. Дудко, Д. В. Греков. – Горки: Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 4. – С. 98–100.
10. Петровец, В. Р. Комбинированный однодисковый сошник с симметрично расположенными двухсторонними ребордами – бороздкообразователями и нулевым углом атаки / В. Р. Петровец, С. В. Курзенков, Н. И. Дудко, Д. В. Греков // Вестник БГСХА. – 2016. – № 3. – С. 137–140.
11. Петровец, В. Р. Распределение семян по глубине двухдисковыми сошниками с нулевым углом атаки дисков с внешними усеченно-конусными ребордами-бороздкообразователями / В. Р. Петровец, С. В. Авсюкевич. – Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 2. – С. 153–159.
12. Мацепуро, М. Е. Основные предпосылки к разработке технологии посева / М. Е. Мацепуро, В. А. Новичихин // Вопросы технологии механизированного с.-х. производства, ч.1. – Минск: Госиздат БССР, 1963. – С. 132–175.
13. Точечное земледелие: [Электронный ресурс] // mсх-consult.ru, Федеральный центр сельскохозяйственного консультирования и переподготовки кадров агропромышленного комплекса 2015. – Режим доступа: <http://mсх-consult.ru/d/77622/d/tochnoe-zemledelie.pdf>. – Дата доступа: 12.02.2017.
14. Петровец, В. Р. Технологии и машины для посева зерновых культур / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, С. В. Авсюкевич. – Горки, 2008. – С. 4–5.
15. Петровец, В. Р. Посев зерновых культур дисковыми сошниками с усеченно-конусными бороздкообразователями-уплотнителями / В. Р. Петровец, С. В. Авсюкевич, Н. И. Дудко. – Горки: БГСХА, 2015. – С. 212.
16. Капустин, А. Н. Основы теории и расчета машин для основной и поверхностной обработки почв, посевных машин и машин для внесения удобрений: курс лекций / А. Н. Капустин; Юргинский технологический институт. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 134 с.
17. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: «Колос» 1979. – 415 с.
18. Майонов, В. В. К вопросу обоснования оптимальных параметров посевных машин / В. В. Майонов // Вопросы сельскохозяйственной механики, т. 16. – Минск: Ураджай, 1967. – С. 99–153.
19. Петровец, В. Р. Проблема равномерного высева сельскохозяйственных культур универсальными пневматическими сеялками при интенсивной технологии возделывания / Современные проблемы сельскохозяйственной механики // В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц // Сборник трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения академика М. Е. Мацепуро. – Минск, 1999. – С. 101–104.