

УДК 631.331.86

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ СЕМЯН В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ

Богус Азамат Эдуардович
ст. преподаватель кафедры «Процессы и машины в агробизнесе», SPIN-код 9567-1848
email: azamat089@gmail.com
ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ», Краснодар, Россия

Пневматические зерновые сеялки с центральной дозирующей системой, обладают высокой производительностью за счет наличия большого централизованного бункера, а также большой ширины захвата. Однако, они не всегда могут обеспечить равномерное распределение семян между сошниками. Произведен анализ конструкций посевных машин. Исследовано влияние угла поворота аэросмеси в отводе на падение скорости семян. Получено уравнение скорости семян на поворотах пневмопроводов пневматических сеялок. Были аналитически исследованы отводы, внешние стенки которых в прямоугольной системе координат описывались различными уравнениями. Оптимальными являются отводы, контур внешней стенки которых очерчивается по кривым степенной функции. Анализ таких кривых свидетельствует о том, что оптимальной кривой, обеспечивающей наименьшие углы встреч, является кубическая парабола. На основании рассмотренных аналитических материалов решили, что при разработке пневматической схемы для транспортирования семян зерновых колосовых культур в распределитель необходимо избегать применения отводов с горизонталями на вертикаль, и с вертикали на горизонталь

Ключевые слова: ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ЗЕРНОВЫЕ СЕЯЛКИ, КУБИЧЕСКАЯ ПАРАБОЛА, ОТВОД, УРАВНЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ, АЭРОСМЕСЬ

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-158-001>

Введение

Увеличение количества мощных тракторов в современном сельскохозяйственном производстве, а также наличие полей большой площади способствовало появлению большого количества широкозахватных, высоко-

UDC 631.331.86

05.20.01 – Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

THEORETICAL STUDIES OF SEED MOVEMENT IN THE DISTRIBUTION SYSTEM OF A PNEUMATIC GRAIN DRILL

Bogus Azamat Eduardovich
Senior Lecturer, RSCI SPIN-code: 9567-1848
email: azamat089@gmail.com
Kuban state agrarian university, Krasnodar, Russia

Pneumatic grain seeders with a central dosing system have high productivity due to the presence of a large centralized hopper, as well as a large width of capture. However, they cannot always ensure an even distribution of seeds between coulter. The article performs an analysis of designs of sowing machines. The influence of the angle of rotation of the air mixture in the tap on the drop in seed speed is studied. We also obtained the equation of seed velocity at turns of pneumatic lines of pneumatic seeders. Branches were analytically studied, the outer walls of which were described by various equations in a rectangular coordinate system. Optimal are bends, the contour of the outer wall of which is outlined by the curves of the power function. Analysis of such curves indicates that the optimal curve that provides the smallest meeting angles is a cubic parabola. Based on the considered analytical materials, we found that when developing a pneumatic scheme for transporting seeds of grain crops to the distributor, it is necessary to avoid using taps with horizontal to vertical and from vertical to horizontal

Keywords: PNEUMATIC GRAIN SEEDERS, CUBIC PARABOLA, OUTPUT, EQUATION OF SPEED, AIR MIXTURE

производительных посевных комплексов с централизованным пневматическим дозированием семян. Известно, что пневматические зерновые сеялки позволяют увеличить производительность труда на посевах на 10...25% и снизить затраты на 25...31%, за счет наличия большого централизованного бункера, а также большой ширины захвата.

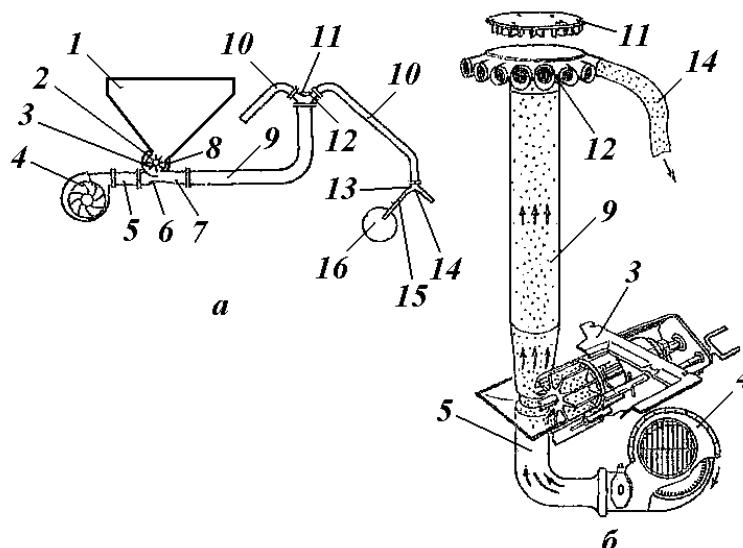
Анализ литературных источников и конструктивных решений

При этом необходимо добиться надежного дозирования и высокой равномерности распределения семян по полю. Существенное влияние на эти показатели оказывают конструктивные особенности распределителей семян. Несмотря на их разнообразие наибольшее применение получили системы типа «Аккорд» [2] (рисунок 1).

В аналогичных пневматических системах семена из бункера 1 катушечным дозирующим аппаратом доставляются в диффузор 7, откуда воздушным потоком по материалопроводу 9 переносятся в вертикальную колонку к распределительной головке первой ступени 12. А далее по материалопроводам 10 семена попадают в распределительные головки второй ступени 13, а оттуда по семяпроводам 15 в сошники 16.

Если система одноступенчатая, то семенной материал после распределительной головки первой ступени сразу поступает в сошники.

При транспортировании семян по пневмопроводу скорость движения воздуха составляет 16...27 м/с, а коэффициент массовой расходной концентрации $\mu=1,0-1,5$.



а – двухступенчатая; б – одноступенчатая;

1 – бункер; 2 и 8 – уплотнители; 3 – дозирующий аппарат; 4 – вентилятор;
 5 – воздухопровод; 6 – конфузор; 7 – диффузор; 9 и 10 – общий
 и соединительный материалопроводы; 11 и 14 – отражатели первой
 и второй ступени; 12 и 13 – распределительные головки первой и второй
 ступеней; 15 – семяпровод; 16 – сошник

Рисунок 1 – Высеваяющие системы пневматической зерновой сеялки

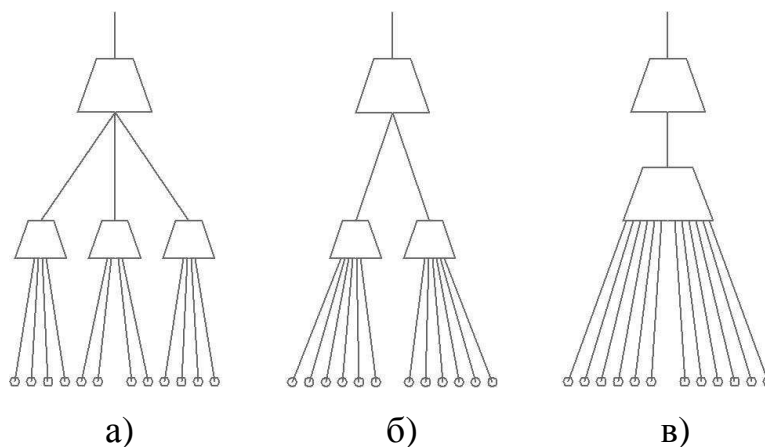
В отечественных аналогичных высеваяющих системах неравномерность распределения семян составляет 4...9%.

Кроме низкой равномерности распределения семян приведенные конструкции головок отличаются повреждаемостью подаваемого материала после удара об отражающую поверхность.

Исходя из отмеченных недостатков распределительной головки «Аккорд» были предложены горизонтальные распределяющие устройства [1] (рисунок 2), в которых в зависимости от схем дозирования 3×4, 2×6 и 1×12 минимальное значение неравномерности распределения семян соответствует скорости воздуха 23 м/с, а в других случаях, когда скорости воздуха равны 20 м/с и 26 м/с показатель неравномерности ухудшается до 6 %.

В связи с тем, что в таких распределителях отражательная поверхность установлена под углом к потоку воздуха имеют место многократные

удары зерен об отражатели. Поэтому подобные устройства обеспечивают хорошую равномерность распределения лишь на одном из режимов работы.



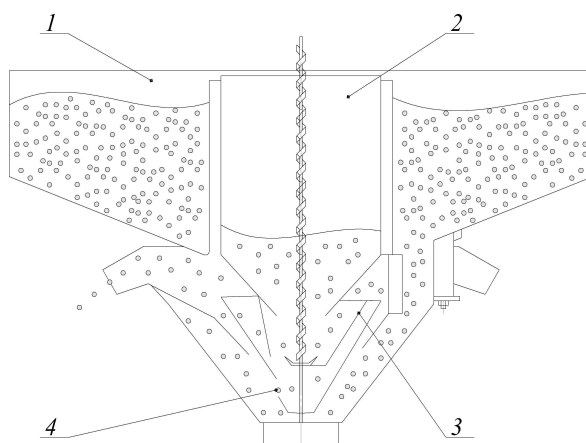
а – 3×4; б – 2×6; в – 1×12

Рисунок 2 – Схемы дозирования пневматических зерновых сеялок

После анализа различных конструкций дозирующих и распределительных систем В. А. Насонов предложил использовать дозаторы центробежного типа и круглые распределители пассивного действия с дополнительными турбулизаторами потока аэросмеси [4].

Центробежный дозатор представляет собой полый ротор (рисунок 3), соединенный с бункером. В процессе работы семена ротором 3 дозатора, раскручиваются и выбрасываются через дозирующие отверстия 4.

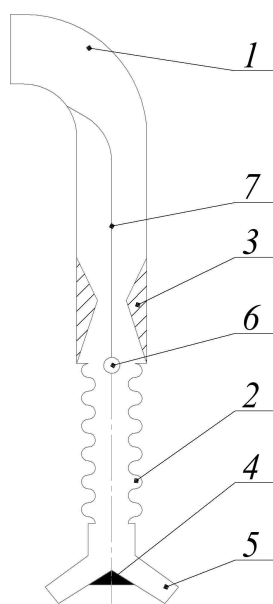
Центробежное дозирование семян состоит из трех отдельных процессов: заполнение ротора из бункера высеваемым материалом, раскручивание смеси в роторе и истечение её через дозирующие отверстия. Далее семенной материал попадает во входной трубопровод, соединенный с пневматическим распределителем, имеющим гофрированный участок и оборудованный дополнительным турбулизатором в виде легкого пластмассового шарика, подвешенного на нити (рисунок 4).



1 – бункер; 2 – входное отверстие; 3 - ротор:
4 – дозирующее отверстие

Рисунок 3 – Схема центробежного дозатора

Под действием потока воздуха и семян шарик совершает колебания, завихряя поток, выравнивая распределение семян по сечению входного трубопровода.



1 – материалопровод; 2 – гофрированный турбулизатор;
3 – кольцевой турбулизатор; 4 – отражатель семян;
5 – отводящие патрубки; 6 – подвесной турбулизатор;
7 – нить

Рисунок 4 – Схема пневматического распределителя семян с турбулизатором

Следовательно, предлагаемая В.А. Насоновым система включает первую и вторую распределительные ступени. При этом частота вращения ротора должна быть в диапазоне 200...600 мин⁻¹, а скорость воздуха во входном трубопроводе должна составлять 22,0...25,5 м/с, обеспечивающих нестабильность высева зерновых колосовых и зернобобовых культур не более 2,3...3,1% и неравномерность высева по сошникам 3,7...4,6%.

Сравнивая показатели работы дозаторов и распределителей семян зерновых колосовых культур, предложенными В.А. Насоновым с аналогичными данными по горизонтальным распределителям, следует отметить преимущество первых.

Однако нужно отметить следующие недостатки центробежного дозатора и пневматического распределителя семян с дополнительным турбулизатором аэросмеси.

Во-первых, конструктивная сложность предложенных схем дозирования и распределения семенного материала в процессе эксплуатации скажется на надежности их работы.

Во-вторых, наличие в пневмопроводах отводов не позволяет использовать в полной мере круглые распределители пассивного действия из-за невысокой скорости воздуха.

Конструкции делительных головок существующих конструкций пневматических зерновых сеялок допускают неравномерность распределения семян по сошникам в диапазоне 9...16%.

В ходе работы семена при ударе о поверхность крышки деформируются, из-за чего предел допустимой скорости ограничен 27 м/с.

Следовательно, большинство распределителей современных, высевающих систем зерновых культур не обеспечивают такие агротехнические требования, как средняя неравномерность распределения семян между сошниками, а также к повреждению семян в дополнительных головках.

Уравнение скорости движения семян в распределительной системе

Анализ литературных источников и конструктивных решений в современных сеялках ЦВС показал слишком высокую неустойчивость общего высева и неравномерность высева между отдельными сошниками. Поэтому нами предложена гипотеза о том, что показатели высева семян зерновых колосовых культур можно улучшить путем выбора высоких скоростей пневмотранспортирования, соответствующих максимальным значениям числа Рейнольдса, т.е. $R_e=10^5 \dots 10^6$ с помощью сеялки с центрально-дозирующей системой [1].

Необходимо исследовать влияние угла поворота аэросмеси в отводе (колене) на падение скорости, для чего необходимо воспользоваться методикой определения скорости частицы в пневмопроводе с отводами, предложенной Ф.Г. Зуевым (рисунок 5) [3]:

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = -T \cos \delta - N \cos \delta \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = -T \sin \delta - N \cos \delta + G \end{cases} \quad (1)$$

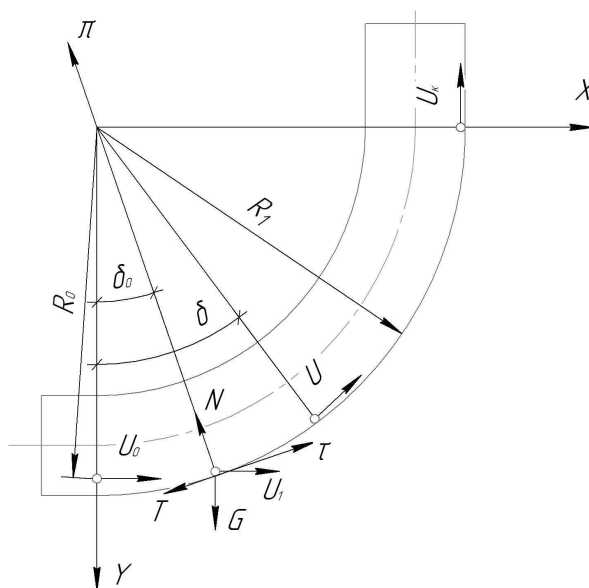


Рисунок 5 – Силы, действующие на поток зёрен пшеницы при движении в отводе и их влияние на скорость зерновки

Записав уравнение (1) по форме Эйлера, получим:

$$m \frac{du}{dt} = -T - G \sin \delta \quad (2)$$

$$m \frac{u^2}{R_1} = N - G \cos \delta \quad (3)$$

Из уравнения (3) находим, что $N = m \frac{u^2}{R_1} + G \cos \delta$

Тогда $T = \left(m \frac{u^2}{R_1} + G \cos \delta \right) f$

Подставив в уравнение (2) значение выражения для T с учетом $\frac{d\delta}{dt} = \frac{u}{R_1}$, приводим к новой координате δ : $\frac{du}{d\delta} = -Uf - \frac{gR_1}{U} (f \cos \delta + \sin \delta)$

Решая это уравнение для любого значения угла δ можно определить скорость движения частицы.

С учетом постоянного интегрирования при начальных условиях

$$\delta = 0; U = U_0; C = U_0^2 - 2gR_1 \frac{1-2f^2}{1+4f^2},$$

получим

$$U = \sqrt{\frac{U_0^2}{e^{2f\delta}} - 2gR_1 \left[\frac{1-2f^2}{e^{2f\delta}} - (1-2f^2) \cos \delta + 3f \sin \delta \right]} \quad (4)$$

В связи с тем, что в пневматических системах централизованного высева обычно не применяются отводы для поворотов с вертикали на горизонталь, поэтому рассмотрим наиболее частые случаи, т.е. решение дифференциальных уравнений для поворотов частиц с горизонтали на вертикаль и в горизонтальной плоскости.

Для поворотов с горизонтали на вертикаль

$$U_{\kappa} = \sqrt{\frac{U_0^2}{e^{\pi f}} - \frac{2gR_1}{1+4f^2} \left[\frac{1-2f^2}{e^{\pi f}} + 3f \right]} \quad (5)$$

В горизонтальной плоскости

$$U_{\kappa} = U_0 \frac{e^{\frac{\pi}{2}f-1}}{e^{\frac{\pi}{2}f}} \quad (6)$$

Более точное значение для скорости U можно получить в том случае, когда величина начальной скорости соответствует углу δ_0 встречи частицы со стенкой отвода. Если предположить движение потока на начальном участке поворота по закону площадей, скорость частицы U_1 в момент встречи ее со стенкой отвода запишется так:

$$U_1 = \frac{U_0 R_0}{R_1}$$

где R_0 – расстояние частицы от центра поворота в момент ее входа в отвод.

В этом случае зависимость скорости частица $U = U_{\delta}$ будет:

$$U = \sqrt{\frac{U_0^2 R_0^2}{e^{2f\delta} R_1^2} - \frac{2gR_1}{1+4f^2} \left[\frac{1-2f^2}{e^{2f\delta}} - (1-2f^2) \cos \delta + 3f \sin \delta \right]} \quad (2.7)$$

А для поворота в горизонтальной плоскости

$$U = \frac{U_0 R_0}{R_1} = \frac{e^{f\delta} - 1}{e^{f\delta}} \quad (8)$$

Используя уравнения (7) и (8) и зная величину радиуса кривизны внешней стенки, можно определить скорость частицы на выходе ее из отвода или найти радиус отвода, при движении в котором скорость материала снизилась бы от U_0 до заданного значения U_{κ}

Аналитическое исследование приведенных уравнений показывает, что кривые изменения скорости частиц в отводах имеют оптимумы. Для отвода с горизонтали на вертикаль он будет $\frac{R}{D} = 8...9$, а отвод в горизон-

тальной плоскости $C \frac{R}{D} > 8$ практически не влияет на величину падения скорости.

Наряду с отводами, имеющими постоянные радиусы кривизны, были аналитически исследованы отводы, внешние стенки которых в прямоугольной системе координат описывались различными уравнениями (эллипс, гипербола, парабола). Анализ показал, что оптимальными с точки зрения величины углов встреч являются отводы, контур внешней стенки которых очерчивается по кривым вида $y = ax^n$. Графики такой степенной функции представляют собой параболы $n - 20$ порядка и их анализ свидетельствует о том, что оптимальной кривой, обеспечивающей наименьшие углы встреч, является кубическая парабола с крайними значениями абсциссы $x_H = 3D$ и ординаты $y_H = 8D$, описанная уравнением $y = \frac{8}{27D^2} x^3$.

На основании рассмотренных аналитических материалов решили, что при разработке пневматической схемы для транспортирования семян зерновых колосовых культур в распределитель необходимо избегать применения отводов с горизонталями на вертикаль и с вертикали на горизонталь.

Так как пневмопроводы в системах ЦВС не могут функционировать без отводов, желательно применять варианты этого изделия параболического типа, как это показано на рисунке 6. Такую форму отводов нетрудно получить в том случае, когда для пневмопроводов используют шланги из эластичного материала.

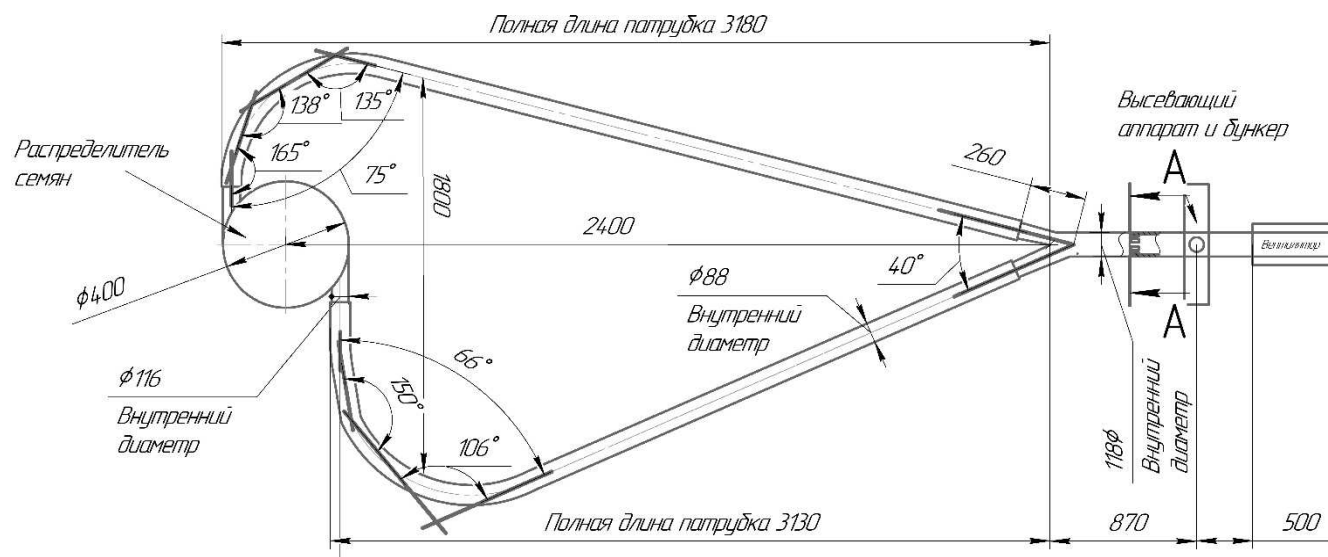


Рисунок 6 – Фрагмент схемы пневмосистемы с отводами параболического типа.

При этом пневмопроводы подсоединяют к камере распределителя семян, боковая поверхность которой выполнена в форме тела вращения, благодаря чему пневмосмесь попадая внутрь камеры по касательной под действием центробежных сил раскручивается по спиральям.

Выводы

1. Распределители семян в современных сеялках централизованного высева не обеспечивают в достаточной степени агротехнические требования по общей неустойчивости высева и неравномерности высева между отдельными сошниками из-за слабой турбулизации пневмосмеси.

2. Показатели высева семян зерновых колосовых культур можно улучшить путем выбора высоких скоростей, соответствующих максимальным значениям числа Рейнольдса, т.е. $R_e = 10^5 \dots 10^6$.

3. Для транспортирования семян в пневмопроводах с высокой скоростью наряду с выбором соответствующего вентилятора необходимо избегать применения отводов с горизонтали на вертикаль и с вертикали на горизонталь.

4. Аналитическими исследованиями установлено, что отводы в горизонтальной плоскости в виде кубической параболы $y = \frac{8}{27D^2}x^3$ с крайними значениями абсциссы $3D$ и ординаты $8D$ не приводят к снижению скорости транспортирования семян и их травмированию.

Библиографический список

1. Богус А. Э. Анализ причин неравномерного распределения посевного материала в распределительных системах зерновых пневматических сеялок с центральным дозированием / А. Э. Богус // сборник статей по материалам 72-й научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2016 г. – 2017. – С. 281-282.
2. Богус А. Э. Анализ процесса работы распределительных устройств зерновых пневматических сеялок / А. Э. Богус // сборник статей по материалам 73-й научно-практической конференции преподавателей. – 2018. – С. 267-268.
3. Зуев Ф. Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях. [Текст] / Ф. Г. Зуев – М.: Колос, 1976. - 344 с.
4. Насонов В. А. Обоснование процесса посева и параметров дозирующих рабочих органов широкозахватной зерновой сеялки с централизованной высевальной системой. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 : защищена 22.01.84 : утв. 15.07.84 / Насонов Василий Андреевич. — Глеваха., 1984. — 281 с. — Библиогр.: с. 217—226. — 04200201565.

References

1. Bogus A. Je. Analiz prichin neravnomernogo raspredelenija posevnogo materiala v raspredelitel'nyh sistemah zernovyh pnevmaticheskikh sejalok s central'nym dozi-rovaniem / A. Je. Bogus // sbornik statej po materialam 72-j nauchno-prakticheskoi konferencii prepodavatelej po itogam NIR za 2016 g. – 2017. – S. 281-282.
2. Bogus A. Je. Analiz processa raboty raspredelitel'nyh ustrojstv zernovyh pnevmaticheskikh sejalok / A. Je. Bogus // sbornik statej po materialam 73-j nauchno-prakticheskoi konferencii prepodavatelej. – 2018. – S. 267-268.
3. Zuev F. G. Pnevmaticheskoe transportirovanie na zernopererabatyvajushhiih predpri-jatijah. [Tekst] / F. G. Zuev – M.: Kolos, 1976. - 344 s.
4. Nasonov V. A. Obosnovanie processa poseva i parametrov dozirujushhiih rabo-chih organov shirokozahvatnoj zernovoi sejalki s centralizovannoi vysevajushhej si-stemoj. [Tekst]: dis. ... kand. tehn. nauk : 05.20.01 : zashhishhena 22.01.84 : utv. 15.07.84 / Nasonov Vasilij Andreevich. — Glevaha., 1984. — 281 s. — Bibliogr.: s. 217—226. — 04200201565.