

## References

1. Bagaev A.A. Elektrotekhnologiya: uchebnoe posobie / A.A. Bagaev, L.V. Kulikova, A.I. Bagaev. – Barnaul: Izd-vo Altaiskogo GAU, 2006. – 320 s.
2. Kulikova L.V. Elektrotekhnologiya: uchebnoe posobie / L.V. Kulikova, A.A. Bagaev. – Moskva, Berlin: Direkt-Media, 2021. – 372 s.
3. Bagaev, A. A. Matematicheskaya model vlogo- i tokoperenosa cherez stenu stebliya v protsesse elektroosmoticheskogo obezvozhivaniya rastitelnykh materialov / A. A. Bagaev // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – No. 8 (226). – S. 70-77. – DOI 10.53083/1996-4277-2023-226-8-70-77.
4. Bagaev, A. A. Rezultaty eksperimentalnogo issledovaniya polarizatsionnykh kharakteristik stenki stebliya kormovykh trav / A. A. Bagaev // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – No. 9 (227). – S. 85-90. – DOI 10.53083/1996-4277-2023-227-9-85-90.
5. Semenov B.A. Inzhenernyi eksperiment v promyshlennoi teplotekhnike, teploenergetike i teplotekhnologiiakh: uchebnoe posobie. – Sankt-Peterburg: «Lan», 2013. – 400 s.
6. Bagaev A.A. Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki: uchebnoe posobie / A.A. Bagaev, L.V. Kulikova, E.V. Kuzmin, V.N. Larionov, V.D. Mikheev, O.K. Nikolskii: uchebnoe posobie. – Barnaul: Izd-vo FGBOU VPO AltGTU, 2000. – 772 s.
7. Romanovskii P.I. Riady Fure. Teoriya polia. Analiticheskie i spetsialnye funktsii. Preobrazovanie Laplasa. – Moskva: Gos.izd-vo fiz.-mat.lit-ry, 1959. – 304 s.



УДК 631.362

А.А. Бауер, Н.И. Стрикунов, С.В. Леканов, Р.В. Родин

DOI: 10.53083/1996-4277-2023-229-11-88-93 А.А. Bauer, N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, R.V. Rodin

## РАЗРАБОТКА ПНЕВМОСЕПАРАТОРА С КОЛЬЦЕВЫМ МНОГОЯРУСНЫМ АСПИРАЦИОННЫМ КАНАЛОМ

### DEVELOPMENT OF PNEUMATIC SEPARATOR WITH A RING MULTI-TIERED ASPIRATION CHANNEL

**Ключевые слова:** зерновая смесь, легкие примеси, трудноотделимые примеси, пневмосепаратор, кольцевой канал, воздушный поток, эффективность сепарирования, скорость витания, аэродинамические свойства.

Воздушное сепарирование широко применяется в современных технологиях послеуборочной обработки зерна. Пневмосепарирующие каналы различного типа применяются в пневмосепараторах как отдельная воздушная машина, так и в составе воздушно-решётных зерноочистительных машин. В последнее время всё большее применение находят кольцевые пневмоканылы. Они имеют высокую производительность, а скорости воздушного потока в зоне сепарации могут быть выше, чем в прямоугольных аспирационных каналах. В современных зерноочистительных машинах для разделения зернового материала, как показывает практика, широко используются различия компонентов зернового вороха в основном по парусности и размерам. Многолетними исследованиями установлено, что наиболее целесообразно при предварительной очистке осуществлять разделение зернового материала по парусности, так как выделение легких компонентов на первой стадии очистки облегчает последующую работу

решётных станков. При подготовке семян, на стадии окончательной очистки, воздушное сепарирование применяют для сортирования. По результатам проведенного анализа аспирационных систем зерноочистительных машин установлено, что наиболее перспективным направлением является разработка кольцевых пневмосепарирующих каналов. Интенсифицировать процесс сепарирования в таких каналах можно за счёт встречного движения воздушного потока и обрабатываемого материала. При тонкослойном вводе зернового материала в зону сепарации с последующим многократным воздействием на него воздушного потока можно повысить эффективность сепарирования. Предложен воздушный сепаратор с многоярусным кольцевым аспирационным каналом, проведён расчёт основных конструктивно-режимных параметров.

**Keywords:** grain mixture, light impurities, hard-separable impurities, pneumatic separator, annular channel, air flow, separation efficiency, terminal velocity, aerodynamic properties.

Air separation is widely used in modern technologies of post-harvest grain handling. Pneumatic separating channels of various types are used in pneumatic separators,

both as a separate air machine and as part of air-sieve grain cleaning machines. Recently, annular pneumatic channels have been increasingly used. They have high performance, and the air flow speeds in the separation zone can be higher than in rectangular aspiration channels. In modern grain cleaning machines, to separate grain material, as practice shows, differences in the components of a grain heap are widely used, mainly in terms of sowing capacity and size. Long-term studies have revealed that during preliminary cleaning it is most advisable to separate the grain material by sowing capacity, since the separation of light components at the first stage of cleaning facilitates the subsequent operation of the sieve pans. When prepar-

ing seeds, at the final cleaning stage, air separation is used for grading. Based on the results of the analysis of the aspiration systems of grain cleaning machines, it was found that the most promising direction was the development of annular pneumatic separating channels. The separation process in such channels may be intensified due to the oncoming movement of the air flow and the processed material. By thin-layer feeding grain material into the separation zone and then repeatedly exposing it to air flow, the separation efficiency may be increased. An air separator with a multi-tiered annular aspiration channel is proposed, and the main design and operating parameters are calculated.

**Бауер Андрей Андреевич**, магистрант, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: andrey4102000@mail.ru.

**Стрикунов Николай Иванович**, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: strikunov555@mail.ru.

**Леканов Сергей Валерьевич**, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: serrg333@mail.ru.

**Родин Роман Владимирович**, аспирант, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: romanbest1999@mail.ru.

**Bauer Andrey Andreevich**, master's degree student, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: andrey4102000@mail.ru.

**Strikunov Nikolay Ivanovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: strikunov555@mail.ru.

**Lekanov Sergey Valerevich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: serrg333@mail.ru.

**Rodin Roman Vladimirovich**, post-graduate student, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: romanbest1999@mail.ru.

### Введение

Зерновой материал, поступающий от комбайнов, сразу должен направляться на очистку [1]. Состав зернового вороха, как правило, представляет собой семена основной культуры с большим многообразием сорных примесей, в том числе и лёгких. При выделении лёгких примесей из зерновой смеси используются их аэродинамические свойства. Разделение частиц воздушным потоком основано на их способности сопротивляться воздушному потоку. Так как компоненты зерновой смеси имеют разные скорости витания, то это и будет являться основным критерием их разделения. Благодаря этому из основной культуры можно выделить не только сорные примеси, но и щуплые и колотые зерна. Практика показывает, что с применением воздушного потока на окончательной очистке семян можно осуществить сортирование. Для разделения зерновой смеси поменяют нагнетательный и всасывающий воздушные потоки. При действии нагнетательного воздушного потока разделение частиц происходит по принципу отклонения частиц в различные положения в зависимости от аэродинамических свойств. При работе всасывающего воздушного потока происходит более длительное воздействие на части-

цы, чем при нагнетательном, поэтому разделение зерновой смеси более эффективно. В этой связи разработка более эффективных пневмосепарирующих каналов всасывающего действия является актуальной задачей.

**Цель** исследования – разработка и обоснование параметров воздушного сепаратора с кольцевым многоярусным аспирационным каналом.

#### Задачи исследования:

- изучить аэродинамические свойства зерна и трудноотделимых примесей на возможность их разделения;
- разработать схему сепаратора и обосновать основные конструктивно-технологические параметры.

#### Объекты и методы исследования

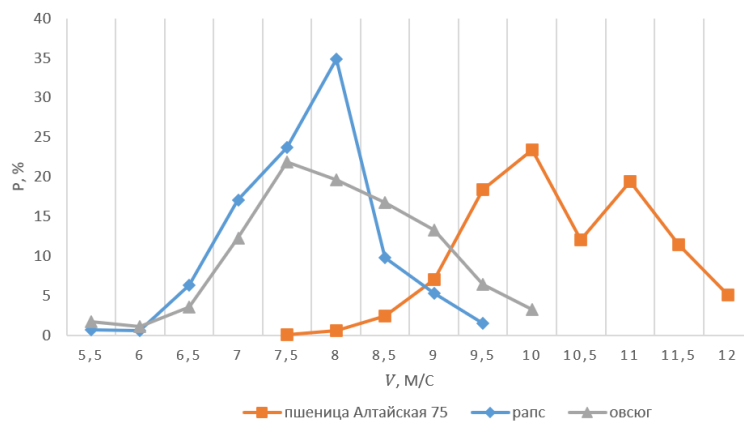
Объектом исследования является технологический процесс разделения зернового материала и отдельно сорных примесей по скорости витания на парусном классификаторе К-293.

Были исследованы зерна пшеницы после первичной очистки сорта Алтайская 75, а также семена овсяга и рапса. Чтобы судить о возможности разделения зернового вороха, его компоненты, а также семена рапса и овсяга были

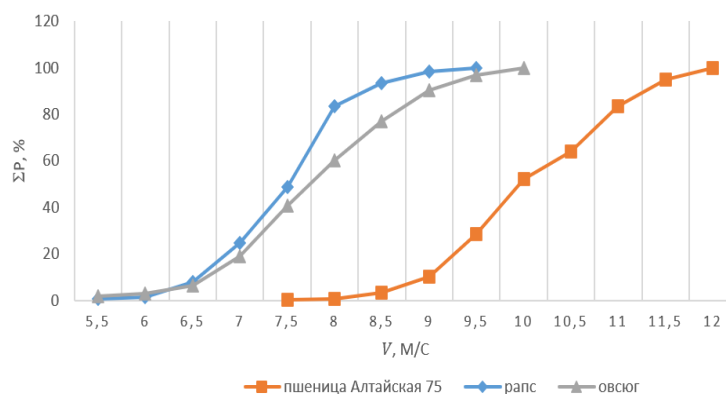
классифицированы по аэродинамическим свойствам их частиц на парусном классификаторе. Определялась масса 1000 зёрен основной культуры как одного из основных показателей качества семян.

### Результаты исследований их обсуждения

Анализ вариационных кривых распределения компонентов зерна пшеницы, а также рапса и овсяга показывает, что они перекрываются (рис. 1, 2).



**Рис. 1. Вариационные кривые скорости витания**



**Рис. 2. Интегральные кривые изменения количества зерна в зависимости от скорости витания**

Это значит, что воздушным потоком выделить из пшеницы, например, семена овсяга невозможно. Семена овсяга являются трудноотделимыми примесями и могут быть выделены триерными машинами или на пневмосортировальных столах, а также фотосепараторами [2, 3]. При эффективном выделении воздушным потоком мелких примесей можно существенно облегчить работу подсевных решёт зерноочистительных машин.

Законы распределения семян пшеницы, рапса и овсяга близки к нормальному. Опытами установлено, что с повышением качества зерна пшеницы коэффициент вариации снижается, что говорит об однородности семенного материала.

По агробиологическим требованиям наибольшую ценность в качестве посевного материала имеют семена с большей массой 1000 зёрен. В исследуемом случае биологически

полноценными являются семена, имеющие скорость витания более 8,5 м/с. При этом реально можно удалить большую часть мелких примесей и семян овсяга. Всё это указывает на целесообразность сепарации воздушным потоком посевного материала. Полученные результаты исследований свидетельствуют о том, что воздушным потоком из зернового вороха можно выделить легковесные зерна и большую часть зерновых и не зерновых сопутствующих примесей. Поэтому качество разделения зависит от эффективной работы пневмосепарирующих каналов. Практика показывает, что этому положению соответствуют центробежно-воздушные сепараторы с кольцевыми пневмоканалами [4, 5].

Наибольший интерес представляют пневматические сепараторы конструкции Оренбургского СХИ. Их особенности – наличие аспирационных каналов прямоугольного (ПС-ОСХИ) или

кольцевого (ПС-26679) сечения, внутри которых ярусами установлены отражательные козырьки [6, 7].

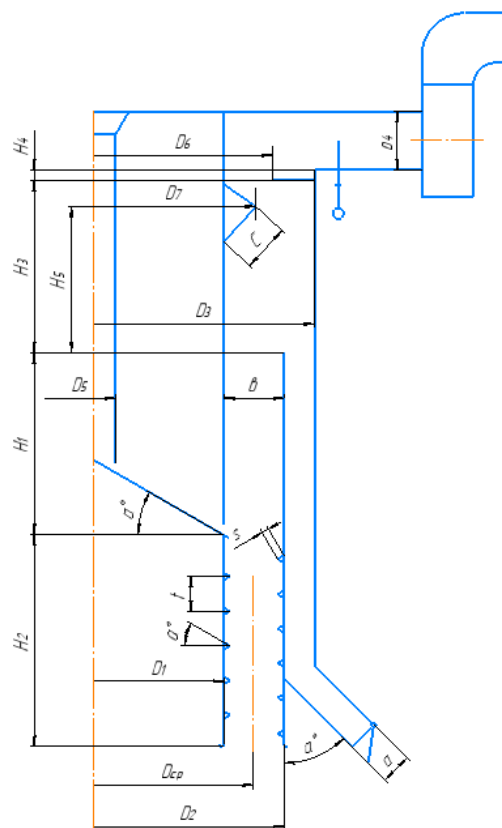
Многоярусный аспирационный канал, сохраняя достоинства каналов серийных машин, обладает в сравнении с ними значительными преимуществами.

В воздушных каналах серийных зерноочистительных машин разделение зернового материала происходит в момент движения частиц от внутренней стенки канала к наружной. Время воздействия воздушного потока на зерно в этих каналах невелико. При таком кратковременном контакте с воздушным потоком процесс разделения зерновой смеси носит случайный характер. Увеличение ширины канала с целью повышения длительности воздействия воздуха на частицы материала (в основном из-за возрастающей неравномерности воздушного потока) не обеспечивает роста эффективности сепарирования. Однако с увеличением ширины канала возрастает расход воздуха, что приводит к повышению энергозатрат. Поэтому возможности этих каналов ограничены, и существенно увеличить время воздействия воздушного потока на сепарируемый материал не представляется возможным.

Применение предлагаемого многоярусного аспирационного канала обеспечивает увеличение времени воздействия воздушного потока на сепарируемый материал без увеличения ширины канала, за счет использования нижней зоны пневмосепарирования. Такая схема работает следующим образом (рис. 3).

Зерновая смесь по встроенной самотечной трубе поступает на неподвижный конический распределитель, который равномерным слоем по периметру направляет её в пневмосепарирующий канал. При этом лёгкие примеси под действием воздушного потока сразу уносятся в верхнюю часть кольцевого канала. Оставшаяся часть зерна после удаления лёгких примесей, достигнув наружной стенки канала, сходит вдоль неё. Встроенные направлятели, принимая это зерно на свою поверхность, снова вводят его в воздушный поток, отбрасывая к противоположной стенке. Многократное повторение этого процесса обеспечивается определённым количеством направлятелей. При этом лёгкие примеси выделяются под воздействием воздушного потока. Когда зерно перемещается в кольцевом канале, то не все частицы вступают во взаимо-

действие с направлятелем, а лишь те из них, которые достигли его стенок.



**Рис. 3. Схема пневмосепаратора с многоярусным аспирационным каналом**

Длительность нахождения частиц в пневмоканале обеспечивается максимальным количеством воздействий с направлятелями при меньшей разности между скоростью витания частиц и скоростью воздушного потока.

Предлагаемые направлятели в кольцевом пневмосепарирующем канале создают такие условия, при которых тяжёлая фракция сепарируемого зерна получает многократное взаимодействие с воздушным потоком.

Кроме того, в многоярусном канале зерновая смесь лучше разрыхляется, что обеспечивает улучшенный проход частиц из нижней зоны канала в верхнюю.

Направлятели в канале могут устанавливаться шарнирно и иметь различную геометрическую форму. Разработанный многоярусный аспирационный канал целесообразно использовать для сортирования семян зерновых культур.

Учитывая результаты исследования, проведём расчёт основных параметров сепаратора с многоярусными аспирационными каналом (табл.).

## Формулы и зависимости для расчета параметров сепаратора

Обозначение	Единица измерения	Наименование параметров и формула для определения	Значение параметра
$q_3$	$\frac{\text{кг}}{\text{с}}$	Секундная подача зерна в сепаратор: $q_3 = q_B \pi D_{\text{ср}}$ , где $q_B$ – удельная нагрузка на 1 м периметра канала; $D_{\text{ср}}$ – средний диаметр сепаратора	2,79
$Q$	$\frac{\text{т}}{\text{ч}}$	Производительность сепаратора: $Q = 3,6q_3$	10
$D_{\text{ср}}$	м	Средний диаметр сепаратора: $D_{\text{ср}} = \frac{q_3}{\pi} = \frac{Q}{3,6\pi q_B}$	0,8
$b$	м	Ширина канала	0,15 [4]
$D_1, D_2$	м	Внутренний и наружный диаметр сепаратора: $D_1 = D_{\text{ср}} - b$ , $D_2 = D_{\text{ср}} + b$	0,65 0,95
$S$	м	Ширина направляющих: $S = (0,05 \dots 0,07)b$	0,001
$\alpha$	град.	Угол наклона направляющих	45°
$t$	м	Расстояние между ярусами направляющих: $t = (0,5 \dots 0,7)b$	0,09
$z$	шт.	Количество ярусов направляющих	6
$H_1$	м	Высота верхней части канала	0,45
$H_2$	м	Высота нижней части канала	0,55
$D_5$	м	Диаметр питающей трубы	0,15
$V_B$	$\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$	Расход воздуха в воздушном канале: $V_B = C \cdot F_k$ где $U_B$ – рабочая скорость в воздушном канале, $U_B = 8,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ – скорость воздушного потока, обеспечивающая вынос щуплого зерна $F_k$ – площадь канала, м $V_B = U_B \frac{\pi(D_2^2 - D_1^2)}{4}$	3,0
$V$	$\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$	Часовой расход воздуха: $V = 3600 \cdot V_B$	10800
$D_3$	м	Диаметр осадочной камеры: $V_B = \text{const}, V_B = F \cdot U_B$ , $F = \frac{\pi D_3^2}{4} - \frac{\pi D_1^2}{4} = \frac{\pi(D_3^2 - D_1^2)}{4}$ , $D_3 = \sqrt{\frac{4V_B}{\pi U_B} + D_1^2}$ , где $U_B = 5,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ – скорость воздушного потока в осадочной камере, обеспечивающая осаждение щуплого зерна	1,1
$H_3$	м	Высота осадочной камеры	0,3
$D_7$	м	Согласно расчётной схеме, задаёмся другими параметрами, обеспечивающими работоспособность сепаратора	0,85
$H_4$	м		0,05
$H_5$	м		0,2
$a$	м		0,1
$D_6$	м		0,9
$c$	м		0,115
$H$	м	Суммарные местные гидравлические сопротивления: $H = \left( \sum_{i=1}^n \frac{\xi_i}{F_i} \right) \frac{\rho}{2} \cdot V_B$ , Па	486
$N_B$	кВт	Мощность, потребляемая вентилятором: $N_B = \frac{V_B \cdot H}{\eta \cdot 1000}$	2,9
$N_{\text{дв}}$	кВт	Установленная мощность электродвигателя: $N_{\text{дв}} = k \cdot N_B$	4,0 (4A 100L4, $n=1430 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ )

**Заключение**

1. При очистке зерна воздушным потоком основным критерием разделения частиц зерновой смеси является скорость витания. Чем больше разница в скоростях витания зёрен основной культуры и примесей, тем больше этих примесей можно выделить. Пневмосепараторы в технологических линиях могут применяться в качестве машин окончательной очистки в режиме сортирования.

2. Проведённый обзор пневмосепарирующих каналов показывает, что наиболее полная и качественная очистка и сортирование семян происходят в пневмосепараторах с многоярусным аспирационным каналом.

3. Разработана технологическая схема, и проведён расчет пневмосепаратора с многоярусным аспирационным каналом. Результаты расчёта могут быть использованы при создании производственных образцов сепаратора.

**Библиографический список**

1. Леканов, С. В. Техника и технологии для послеуборочной обработки зерна и семян: рекомендации / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов. – Барнаул: Изд-во Алт. ИПК АПК, 2019. – 74 с. – Текст: непосредственный

2. Дринча, В. М. Повышение эффективности выделения сорных семян овсяга на пневматических сортировальных столах / В. М. Дринча, С. Г. Мударисов, А. С. Филатов. – Текст: непосредственный // Кормопроизводство. – 2020. – № 4. – С. 44-48.

3. Стрикунов, Н. И. Повышение эффективности работы сортировального отделения семяочистительной линии с применением фотосепаратора / Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов, Д. С. Арапов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 12 (158). – С. 147-151.

4. Стрикунов, Н. И. Обоснование параметров кольцевого канала выхода очищенного зерна центробежного воздушного сепаратора / Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов, С. А. Черкашин. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4 (162). – С. 168-172.

5. Патент 2675607 В07/083. Центробежно-воздушный сепаратор / Леканов С. В., Стрикунов Н. И., Черкашин С. А., (РФ). –

№ 2017146182; заявл. 26.12.2017; опубл. 20.12.2018. – Текст: непосредственный.

6. Мякин В. Н. Обоснование параметров многоярусного аспирационного канала / В. Н. Мякин, С.Г. Урюпин – Текст: непосредственный // Сборник научных работ Башкирского СХИ. – УФА. – 1988. – С. 89-92.

7. Мякин, В. Н. Анализ работы воздушных агрегатов при подготовке семян / В. Н. Мякин, С. Г. Урюпин – Текст: непосредственный // Сборник научных работ Саратовского СХИ. – Саратов, 1979. – Вып. 132. – С. 68-72.

**References**

1. Lekanov, S.V. Tekhnika i tekhnologii dlia posleuborochnoi obrabotki zerna i semian: rekomendatsii / S.V. Lekanov, N.I. Strikunov. – Barnaul: Izd-vo Alt. IPK APK, 2019. – 74 s.

2. Drincha, V.M. Povyshenie effektivnosti vydeleniia sornykh semian ovsiuga na pnevmaticheskikh sortirovalnykh stolakh / V. M. Drincha, S.G. Mudarisov, A.S. Filatov // Kormoproizvodstvo. – 2020. – No. 4. – S. 44-48.

3. Strikunov, N. I. Povyshenie effektivnosti raboty sortirovalnogo otdeleniia semiaochistitelnoi linii s primeneniem fotoseparatora / N. I. Strikunov, S. V. Lekanov, D. S. Arapov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – No. 12 (158). – S. 147-151.

4. Strikunov, N.I. Obosnovanie parametrov koltsevogo kanala vykhoda ochishchennogo zerna tsentrobezhnogo vozdušnogo separatora / N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, S.A. Cherkashin // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 4 (162). – S. 168-172.

5. Patent 2675607 V07/083. Tsentrobezhno-vozdushnyi separator / Lekanov S.V., Strikunov N. I., Cherkashin S.A., (RF). – No. 2017146182; zaiavl. 26.12.2017; opubl. 20.12.2018.

6. Miakin V. N. Obosnovanie parametrov mnogoiarusnogo aspiratsionnogo kanala / V. N. Miakin, S.G. Uriupin // Sbornik nauchnykh rabot Bashkirskogo SKhI. – Ufa, 1988. – S. 89-92.

7. Miakin, V.N. Analiz raboty vozdushnykh agregatov pri podgotovke semian / V. N. Miakin, S. G. Uriupin // Sbornik nauchnykh rabot Saratovskogo SKhI. – Saratov, 1979. – Vyp. 132. – S. 68-72.

