6. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. Изд. 4-е доп. и переработке зерна. Изд. 4-е доп. и перераб. – М.: Колос, 1975. – 495 с.

7. Тарасенко А.П., Оробинский В.И., Суднєев А.А., Шередякин В.В., Гиевский А.М. Влияние схемы размещения решет в решетном стане на фракционирование зернового вороха // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – № 3. – С. 32-34.

8. Московский М.Н. Идентификация процесса сепарации семян зерновых в зерноочистительных агрегатах // Дисс. канд. техн. наук. (05.20.01) – Ростов-на-Дону, 2005. – 218 с.

References.

1. Patent RF № 2520341 MPK A01F 12/44. Ustrojstvo dlja razdelenija potoka sypuchih materialov / Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Tishaninov K.N. – № 2012145368/13; zajavl. 24.10.2012; opubl. 20.06.2014, Bjul. №17.

2. Patent RF №2706163 MPK A01F 12/4. Ustrojstvo dlja razdelenija potoka sypuchih materialov / Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Tishaninov K.N. – №2019112704; zajavl. 25.04.2019; opubl. 14.11.2019, Bjul. №32.

3. Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Tishaninov K.N. Teoreticheskoe obosnovanie tehnologicheskikh parametrov kaskadnogo delitelja // Nauka v central'noj Rossii. – 2019. – №3 (39). – S. 56-67.

4. Lur'e A.B. Raschet i konstruirovaniye sel'skhozajajstvennykh mashin. – L.: Mashinostroenie, 1997. – 526 s.

5. Listopad G.E. Sel'skhozajajstvennyye i meliorativnyye mashiny. – M.: Agropromizdat, 1986. – 687 s.

6. Sokolov A.Ja. Tehnologicheskoe oborudovanie predpriyatij po hraneniju i pererabotke zerna. Izd. 4-e dop. i pererabotke zerna. Izd. 4-e dop. i pererab. – M.: Kolos, 1975. – 495 s.

7. Tarasenko A.P., Orobinskij V.I., Sudnєev A.A., Sheredjakin V.V., Gievskij A.M. Vlijanie shemy razmeshhenija reshet v reshetnom стане na frakcionirovaniye zernovogo voroha // Tehnika v sel'skom hozjajstve. – 2006. – № 3. – S. 32-34.

8. Moskovskij M.N. Identifikacija processa separacii semjan zernovykh v zernoочистitel'nykh agregatah // Diss. kand. tehn. nauk. (05.20.01) – Ростов-на-Дону, 2005. – 218 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Тишанинов Николай Петрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniitinlab5@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Tishaninov Nikolai – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vniitinlab5@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 04.06.2020

Принята к публикации (Accepted): 10.07.2020

УДК 631.303

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-4-11-17

ОЦЕНКА ПРЕИМУЩЕСТВА НАКЛОННОГО ИСПОЛНЕНИЯ ЩЕЛЕВОЙ СТЕНКИ ЖАЛЮЗИЙНОГО ДЕЛИТЕЛЯ ПОТОКА ЗЕРНА

¹Тишанинов Константин Николаевич

¹Тишанинов Николай Петрович

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. Известно, что среди разработанных видов делителей жалюзиный тип размещения щелевых отверстий обеспечивает наилучшее качество деления. Установлено, что при модернизации зерноочистительных агрегатов целесообразно использовать делители технологически ограниченные по высоте. Для повышения расходных характеристик делителя

используют наклон разделительной стенки. При наклоне стенки делителя, через которую происходит истечение зерна, появляется вместе с горизонтальным истечением вертикальная составляющая. Причем расход зерна через горизонтальное отверстие в 3 – 4 раза выше чем через вертикальное. Угол наклона определяет соотношение горизонтального и вертикального истечения через жалюзийные каналы. Так при угле наклона в 90^0 происходит только вертикальное истечение. При наклоне вертикальной стенки меняются не только расходные характеристики отводов, но и характер взаимодействия сыпучего материала с жалюзийными отверстиями. Для оценки качества деления потока зерна устройством с наклонным размещением жалюзийных отверстий проведен теоретический анализ. За модель истечения зерна из стабилизирующей емкости вертикальным потоком была взята модель истечения зерна каскадного делителя с горизонтальным размещением каскадных отверстий, для наклонного делителя была взята модель истечения зерна каскадного делителя с наклонным размещением каскадных отверстий. Теоретический анализ показал возможность применения наклона вертикальной стенки делителя без существенной потери качества его работы. Несмещенная подача зерна в стабилизирующую емкость с отклонением менее 5 см при использовании центрирующей горловины обеспечивает приемлемый уровень качества деления потока – погрешность не более 10 %. Наклон стенки в $48,6^0$ от вертикали позволяет увеличить расход зерна в 2,5 раза и сократить вертикальные габариты делителя в 2,2 раза.

Ключевые слова: делитель потока зерна, теоретический анализ, средства управления массовыми потоками зерна.

EVALUATING THE ADVANTAGES OF SLOPING SLOTTED WALL DESIGN OF A LOUVERED GRAIN FLOW DIVIDER

¹Tishaninov Konstantin

¹Tishaninov Nikolay

¹FSBSI “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”

Abstract. It is known that among the developed types of dividers, the louver type of slot hole placement provides the best quality of division. It was found that when upgrading grain cleaning units, it is advisable to use dividers that are technologically limited in height. To increase the flow characteristics of the divider, use the slope of the dividing wall. When the divider wall is tilted through which the grain flows, a vertical component appears along with the horizontal flow. Moreover, the consumption of grain through a horizontal hole is 3-4 times higher than through a vertical one. The angle of inclination determines the ratio of horizontal and vertical flow through the louver channels. So when the angle of inclination is 90^0 , only the vertical expiration occurs. When the vertical wall is tilted, not only the flow characteristics of the bends change, but also the nature of the interaction of the bulk material with the louver holes. To assess the quality of grain flow division by a device with an inclined placement of louver holes, a theoretical analysis was performed. The model of the expiration of the grain of the stabilising capacity of vertical flow was modelled expiry of grain cascaded divider with horizontal placement of cascading holes for the horizontal divider is expiry of grain cascaded divider with a slanted placement of cascading holes. Theoretical analysis has shown the possibility of using the vertical wall tilt divider without significant loss of quality of its operation. An unbiased feed of grain to a stabilizing container with a deviation of less than 5 cm when using a centering neck provides an acceptable level of quality of flow division – an error of no more than 10%. The wall slope of 48.60 from the vertical allows you to increase the grain consumption by 2.5 times and reduce the vertical dimensions of the divider by 2.2 times.

Keywords: grain flow divider, theoretical analysis, tools for controlling mass grain flows.

Введение. Известны делители потока сыпучих материалов жалюзийного типа [1 – 4] с вертикальной стабилизирующей емкостью. Они просты по конструкции и обеспечивают достаточно высокий уровень качества деления потока. Однако, из-за низкой интенсивности истечения сыпучего материала через щелевые каналы в вертикальной стенке они имеют значительные габариты по высоте, что ограничивает их применение при реконструкции существующих зерноочистительных агрегатов, которые не имеют запаса технологической высоты,

а их использование без средств управления массовыми потоками зерна малоэффективно или убыточно. При расходной характеристике делителя жалюзийного типа в 50 т/ч, например, его габарит с отводами составляет 1,7 м. Возможности снижения вертикальных габаритов за счет увеличения ширины стабилизирующей емкости и, как следствие, длины целевых каналов приводит к снижению качества процесса. Поэтому рассмотрение возможности увеличения расходных характеристик делителей жалюзийного типа за счет наклона стенки с щелевыми отводными каналами представляет собой актуальную задачу.

Результаты и их обсуждение. Делитель с размещением щелевых отверстий в наклонной стенке должен обладать большими расходными характеристиками. Известно, что удельный расход зерна через горизонтальное отверстие в 3 – 4 раза выше чем через вертикальное. Предполагаемое увеличение производительности делителя с размещением щелевых отверстий в наклонной составит 50 – 150 % при наклоне стенки на 30 – 60 градусов в сравнении с вертикальным делителем. Для более точной оценки количественных и качественных характеристик делителя необходимо провести теоретический анализ.

Рассмотрим конструктивно-технологическую схему наклонного делителя и его работу (рисунок 1).

Рисунок 1 – Схема делителя с наклонным размещением щелевых отверстий

Устройство для разделения сыпучих материалов содержит стабилизирующую емкость 1 с щелевыми отводящими каналами 2 в боковой стенке 3, корпус 4 с перегородкой 5, патрубки 6, приемную горловину 7 с планками 8. В стабилизирующую емкость 1 через приемную горловину 7, закрепленную на стабилизирующей емкости 1 планками 8, подается зерно. По мере увеличения подачи зерна в стабилизирующую емкость 1 увеличивается число включенных в работу щелевых отводящих каналов 2, выполненных в боковой стенке 3, через которые зерно попадает в полость корпуса 4, разделенного перегородкой 5, и далее – в патрубки 6, увеличивая их расходные характеристики. При уменьшении подачи зерна в стабилизирующую емкость 1 число включенных в работу щелевых отводящих каналов 2 и расходные характеристики патрубков 6 уменьшаются.

Таким образом, осуществляется процесс авторегулирования деления потока и поддержания стабилизирующего слоя зерна в необходимом диапазоне высот наклон боковой стенки 3 к горизонту повышает интенсивность истечения зерна через щелевые отводящие каналы 2, обеспечивая рост расходных характеристик при равных габаритах устройства, что расширяет область его применения.

Для оценки качества разделения делителя с наклонным размещением щелевых отверстий сравним его работу с вертикальным делителем. В работе [5] определена погрешность деления потоков зерна делителем с горизонтальным размещением каскадных отверстий. Для вертикального делителя примем, что площадь поверхности, через которое происходит истечение, равна половине площади S , вычисляемой по формулам (1, 2) (Рисунок 2).

Рисунок 2 – Общий вид (а) и расчетная схема (б) расходных характеристик вертикального делителя

$$S_1 = \int_{e-b}^e dy \int_0^{H-tg(\alpha) \cdot \sqrt{(L-a)^2 + y^2}} dz = \int_{e-b}^e (H - tg(\alpha) \cdot \sqrt{(L-a)^2 + y^2} - 0) dy = H(e - e + b) - tg(\alpha) \cdot \left(e \cdot \sqrt{(L-a)^2 + e^2} - (e-b) \cdot \sqrt{(L-a)^2 + (e-b)^2} \right) / 2 - tg(\alpha) \cdot (L-a)^2 \cdot \left(\ln(|e| + \sqrt{(L-a)^2 + e^2}) - \ln(|e-b| + \sqrt{(L-a)^2 + (e-b)^2}) \right) / 2. \quad (1)$$

$$S_2 = \int_e^{e+b} dy \int_0^{H-tg(\alpha) \cdot \sqrt{(L-a)^2 + y^2}} dz = \int_e^{e+b} (H - tg(\alpha) \cdot \sqrt{(L-a)^2 + y^2} - 0) dy = H(e - e + b) - tg(\alpha) \cdot \left((e+b) \cdot \sqrt{(L-a)^2 + (e+b)^2} - e \cdot \sqrt{(L-a)^2 + e^2} \right) / 2 - tg(\alpha) \cdot (L-a)^2 \cdot \left(\ln(|e+b| + \sqrt{(L-a)^2 + (e+b)^2}) - \ln(|e| + \sqrt{(L-a)^2 + e^2}) \right) / 2. \quad (2)$$

$$S_{11} = \frac{S_1}{2};$$

$$S_{22} = \frac{S_2}{2}.$$

Тогда погрешность деления вертикального делителя будет равна погрешности деления делителя с горизонтальным размещением каскадных отверстий (формула 3):

$$\Delta_{11} = \frac{S_{11} - S_{22}}{S_{11}} = \frac{\frac{S_1}{2} - \frac{S_2}{2}}{\frac{S_1}{2}} = \frac{S_1 - S_2}{S_1} = \Delta_1; \quad (3)$$

Погрешность деления потока делителем с наклонным размещением щелевых отверстий вычисляется по формулам (4, 5, 6), указанных в работе [6], рисунок 3.

Рисунок 3 – Ассиметричная подача сыпучего материала в наклонный делитель: вид сверху (а), общий вид (б)

$$\begin{aligned}
 V_1 = & \int_{a-L}^{\frac{H-(L-a)}{\operatorname{tg}(\alpha)+1}} (H+a-L-x)(e-e+b) - \operatorname{tg}(\alpha) \left(\frac{e}{2} \sqrt{x^2+e^2} \right. \\
 & \left. - \frac{e-b}{2} \sqrt{x^2+(e-b)^2} + \frac{x^2}{2} \ln |e+\sqrt{x^2+e^2}| - \frac{x^2}{2} \ln |e-b+\sqrt{x^2+e^2}| \right) dx \\
 = & (H+a-L)(d_1-d_2)b - \frac{d_1^2-d_2^2}{2} b - \operatorname{tg}(\alpha) \frac{e}{2} \left(\frac{d_1}{2} \sqrt{d_1^2+e^2} - \frac{d_2}{2} \sqrt{d_2^2+e^2} \right) \\
 & - \frac{e^3}{4} \operatorname{tg}(\alpha) \left(\ln |d_1+\sqrt{d_1^2+e^2}| - \ln |d_2+\sqrt{d_2^2+e^2}| \right) + \frac{e-b}{2} \operatorname{tg}(\alpha) \left(\frac{d_1}{2} \sqrt{d_1^2+(e-b)^2} - \right. \\
 & \left. \frac{d_2}{2} \sqrt{d_2^2+(e-b)^2} \right) + \frac{(e-b)^3}{4} \operatorname{tg}(\alpha) \left(\ln |d_1+\sqrt{d_1^2+(e-b)^2}| - \ln |d_2+\sqrt{d_2^2+(e-b)^2}| \right) - \\
 & \frac{\operatorname{tg}(\alpha)}{6} \left(d_1^3 \ln |e+\sqrt{d_1^2+e^2}| - d_2^3 \ln |e+\sqrt{d_2^2+e^2}| \right) - \frac{\operatorname{tg}(\alpha)}{12} e \left(d_1 \sqrt{d_1^2+e^2} - d_2 \sqrt{d_2^2+e^2} \right) + \\
 & \frac{\operatorname{tg}(\alpha)}{12} e^3 \left(\ln |d_1+\sqrt{d_1^2+e^2}| - \ln |d_2+\sqrt{d_2^2+e^2}| \right) + \\
 & \frac{\operatorname{tg}(\alpha)}{6} \left(d_1^3 \ln |e-b+\sqrt{d_1^2+(e-b)^2}| - d_2^3 \ln |e-b+\sqrt{d_2^2+(e-b)^2}| \right) + \frac{\operatorname{tg}(\alpha)}{12} |e-b| \cdot \\
 & b \left(d_1 \sqrt{d_1^2+(e-b)^2} - d_2 \sqrt{d_2^2+(e-b)^2} \right) - \frac{\operatorname{tg}(\alpha)}{12} |e-b|^3 \left(\ln |d_1+\sqrt{d_1^2+(e-b)^2}| - \right. \\
 & \left. \ln |d_2+\sqrt{d_2^2+(e-b)^2}| \right). \tag{4}
 \end{aligned}$$

Аналогичным образом найдем объем V_2 :

$$V_2 = \int_{a-L}^{\frac{H-(L-a)}{\operatorname{tg}(\alpha)+1}} dx \int_e^{e+b} dy \int_{x+(L-a)}^{H-\operatorname{tg}(\alpha) \cdot \sqrt{x^2+y^2}} dz. \tag{5}$$

$$\Delta_{22} = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \tag{6}$$

Как видно на графике 3 делитель с наклонным размещением щелевых отверстий дает большую погрешность деления при тех же значениях горизонтального смещения подаваемого потока (e) чем вертикальный делитель. Однако при минимальном смещении потока с использованием центрирующей горловины качество деления потока зерна приемлемо для существующих технологий.

Рисунок 3 – Погрешности деления потока с использованием делителей с наклонным (Δ_{11}) и вертикальным размещением отверстий (Δ_{22}) от величины горизонтального смещения потока зерна (e)

Расходные характеристики делителя с наклонной стенкой должны увеличиться. Примем, что при истечении зерна через горизонтальные каналы расходные характеристики при той же площади проходного отверстия в 3 раза больше чем при истечении зерна через вертикально расположенные каналы. Для нахождения расходных характеристик делителя с наклонным размещением отводящих каналов примем, что его величина (Q) определяется в зависимости от угла (α) по следующей формуле (7):

$$Q(\alpha) = q + 2q \sin(\alpha). \quad (7)$$

Увеличение наклонна стенки делителя позволяет увеличивать его производительность, не увеличивая технологическую высоту (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость увеличение производительности делителя (Q) от угла наклона его стенки (α)

Производительность $Q(\alpha)$	Q	$1,5 Q$	$2 Q$	$2,5 Q$	$3 Q$
Угол наклона стенки (α)	0°	$14,5^\circ$	30°	$48,6^\circ$	90°

Выводы. Теоретический анализ показал, что применение делителя с наклонным размещением щелевых каналов позволяет увеличить производительность, сохраняя его габариты по высоте. Погрешность деления при этом увеличивается с 26,3 % до 32 % при величине горизонтального смещения подачи в 15 см и с 42 % до 87,6 % при подаче зерна в боковую стенку.

При смещении подачи < 5 см погрешность деления не превышает 10 %, что приемлемо для существующих зерноочистительных технологий, в которых используются флажковые, призмные и тарельчатые делители с погрешностью деления на порядок превышающий достигнутый уровень.

Список литературы

1. Патент РФ № 2459405, МПК С1, А01F12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов // Тишанинов Н.П., Тишанинов К.Н. - 2011110258/13; Заявлено 17.03.2011; Оpubл. 27.08.2012. Бюл. № 24.

2. Патент РФ № 2490863, МПК С1, А01F12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов // Тишанинов Н.П., Тишанинов К.Н., Растюшевский К.А. - 2012113182/13, Заявлено 04.04.2012; Оpubл. 27.08.2013. Бюл. № 24.

3. Патент РФ № 2520341, МПК С1, А01F12/44. Устройство для разделения потока сыпучих материалов // Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. - 2012145368/13; Заявлено 24.10.2012; Оpubл. 20.06.14. Бюлл. № 17.

4. Патент РФ № 2706163, МПК С1, А01F12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов // Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. - 2019112704/19; Заявлено 25.04.2019; Оpubл. 14.11.2019. Бюл. № 32.

5. Тишанинов К.Н., Анашкин А.В. Теоретическое обоснование конструктивных параметров делителя с горизонтальным размещением щелевых отверстий // Вестник АПК Верхневолжья. – 2019. – № 2 (46), – С. 62 – 66.

6. Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. Теоретическое обоснование технологических параметров каскадного делителя // Наука в центральной России. – 2019. – № 3 (39), – С. 56 – 60.

References

1. Patent RF № 2459405, MPK S1, A01F12/46. Ustrojstvo dlja razdelenija potoka sypuchih materialov // Tishaninov N.P., Tishaninov K.N. - 2011110258/13; Zajavleno 17.03.2011; Opubl. 27.08.2012. Bjul. № 24.

2. Patent RF № 2490863, MPK S1, A01F12/46. Ustrojstvo dlja razdelenija potoka sypuchih materialov // Tishaninov N.P., Tishaninov K.N., Rastjushevskij K.A. - 2012113182/13, Zajavleno 04.04.2012; Opubl. 27.08.2013. Bjul. № 24.

3. Patent RF № 2520341, MPK S1, A01F12/44. Ustrojstvo dlja razdelenija potoka sypuchih materialov // Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Tishaninov K.N. - 2012145368/13; Zajavleno 24.10.2012; Opubl. 20.06.14. Bjull. № 17.

4. Patent RF № 2706163, MPK S1, A01F12/46. Ustrojstvo dlja razdelenija potoka sypuchih materialov // Tishaninov N.P., Anashkin A.V., Tishaninov K.N. - 2019112704/19; Zajavleno 25.04.2019; Opubl. 14.11.2019. Bjul. № 32.

5. Tishaninov K.N., Anashkin A.V. Teoreticheskoe obosnovanie konstruktivnyh parametrov delitelja s gorizontaln'ym razmeshheniem shhelevyh otverstij // Vestnik APK Verhnevolzh'ja. – 2019. – № 2 (46), – S. 62 – 66.

6. Anashkin A.V., Tishaninov K.N. Teoreticheskoe obosnovanie tehnologicheskikh parametrov kaskadnogo delitelja // Nauka v central'noj Rossii. – 2019. – № 3 (39), – S. 56 – 60.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Тишанинов Константин Николаевич – кандидат технических наук старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: TishaninovKN@rambler.ru.

Тишанинов Николай Петрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniitinlab5@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Tishaninov Konstantin – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: TishaninovKN@rambler.ru.

Tishaninov Nikolai – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vniitinlab5@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 03.07.2020 Принята к публикации (Accepted): 17.08.2020