

РАСЧЕТНО - ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ЗАГРУЗКИ БУНКЕРОВ С ПОМОЩЬЮ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОПРОВОДА

В.П. Чиркин, М.А. Киркор, С.В. Богуслов

В работе приводится обзор, анализ и описание существующих установок для пневматической загрузки и выгрузки зернового материала, а также активного вентилирования в бункерах. Предложены новые устройства для исследования процессов активного вентилирования и пневматического транспортирования зернового материала в бункерах. Проведены теоретические исследования процесса пневматической загрузки бункера через распределительный материалопровод.

Введение

В зерноперерабатывающей промышленности при загрузке бункеров сыпучим материалом используется пневматический или механический транспорт. При пневматической загрузке бункера сыпучий материал независимо от его количества в бункере необходимо постоянно поднимать на высоту бункера и разгрузителя, при этом последний устанавливается на крышке бункера. При таком способе загрузки значительно увеличиваются затраты электроэнергии на подъем материала, крошимость материала, а также требуется обязательная установка разгрузителя. Для пневматической выгрузки материала из бункера требуется установка дополнительных устройств – шлюзового затвора и приемника типа «тройник» [3].

Активное вентилирование проводят для сохранения качества сырого и влажного зерна, ожидающего сушки, путем снижения температуры, а также охлаждения хранящихся партий для повышения их стойкости; предотвращения развития плесеней и вредителей хлебных запасов [1,2].

Для вентилирования зерна в бункерах и силосах элеваторов в основном применяют установки с горизонтальным продуванием зерновой насыпи, так как с их использованием обеспечивается охлаждение зерна в более короткое время.

Авторами [4,7] предложены установки, позволяющие проводить с помощью одного вентилятора и единой системы пневмопроводов три технологические операции: активное вентилирование зерна, пневматическую загрузку и выгрузку сыпучих материалов в бункерах. В настоящее время разработан и изготовлен экспериментальный стенд для проверки работоспособности и определения конструктивных и технологических параметров [8], а также проведено расчетно-теоретическое исследование по определению конструктивных параметров распределительного материалопровода.

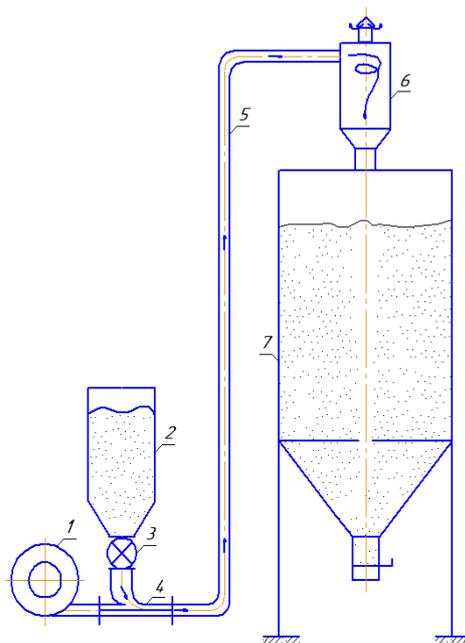
Целью настоящей работы является теоретическое определение конструктивных параметров поворотных пластин распределительного материалопровода.

Результаты исследований и их обсуждение

На рисунке 1 приведена схема загрузки бункера известным способом [1, 2]. Сыпучий материал из емкости 2 через шлюзовый затвор 3 в поступает приемник типа «тройник» 4. Затем материал транспортируется по вертикальному материалопроводу 5, выделяется в отделителе 6 и загружается в бункер 7.

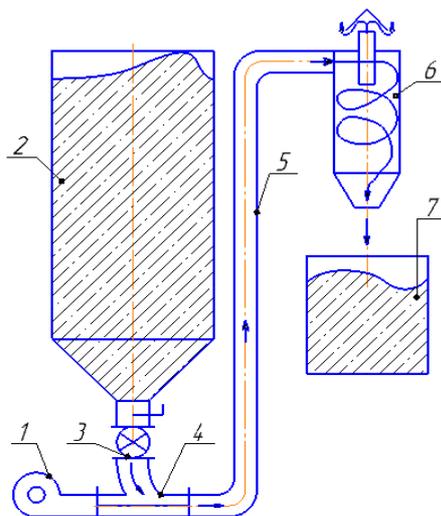
При выгрузке материала традиционным способом (рисунок 2) из бункера 2 сначала включается воздуходувная машина 1, затем шлюзовый затвор 3. Образующаяся аэросмесь после шлюзового затвора 3 поступает в нагнетающий материалопровод 4 и транспортируется по вертикальному материалопроводу 5 в отделитель 6. Сыпучий материал выделяется

в отделителе 6 и поступает в емкость 7, а очищенный воздух из отделителя 6 выбрасывается наружу.



1 – вентилятор; 2 – емкость; 3 – шлюзовый затвор; 4 – приемник типа «тройник»;
5 – материалопровод; 6 – отделитель; 7 – бункер

Рисунок 1 – Схема загрузки бункера традиционным способом

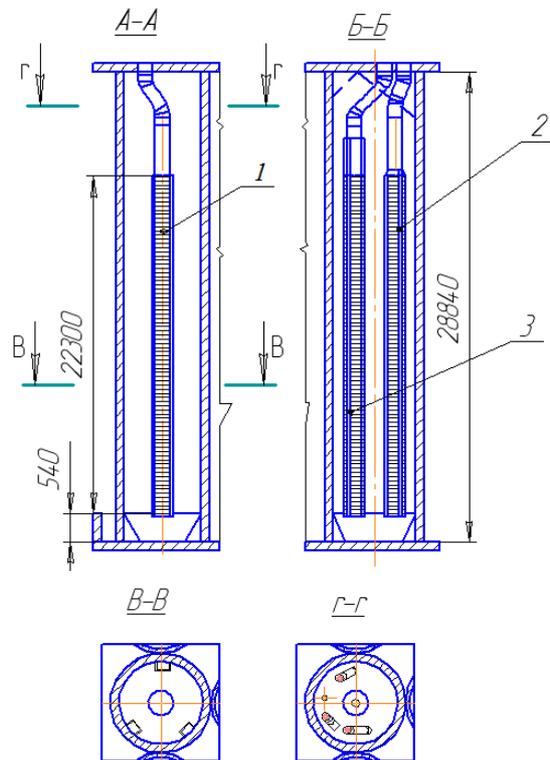


1 – воздуходувная машина; 2 – бункер; 3 – шлюзовый затвор; 4 – нагнетающий материалопровод; 5 – вертикальный материалопровод; 6 – отделитель; 7 – емкость

Рисунок 2 – Схема выгрузки бункера традиционным способом

Для проведения активного вентилирования зерна разработана установка, в которой применено поперечное (или горизонтальное) продувание зерновой насыпи в силосе или бункере с использованием воздухоподводящих и воздухоотводящих каналов (рисунок 3) [2].

В последнее время авторами предложены установки, позволяющие, кроме проведения активного вентилирования, осуществлять пневматическую загрузку и выгрузку сыпучих материалов из силосов и бункеров, используя при этом один вентилятор и единую систему пневмопроводов [4–7].



1 – воздухоподводящий канал; 2,3 – воздухоотводящие каналы

Рисунок 3 – Схема усовершенствованной установки для активного вентилирования зерна в силосах элеваторов

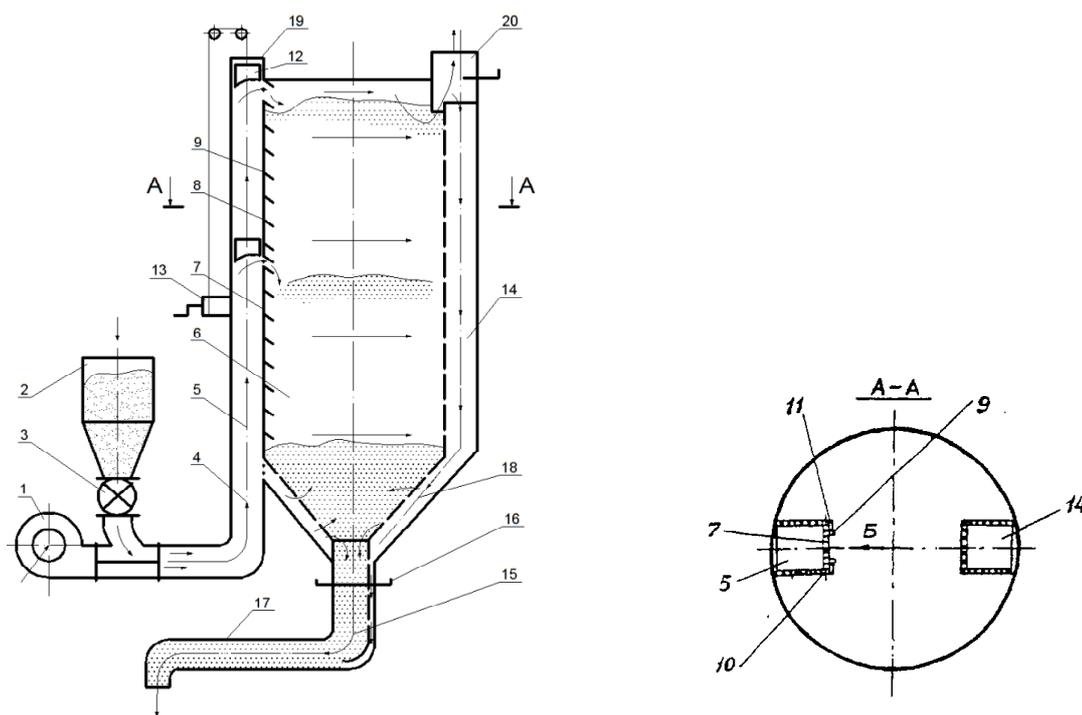
На рисунке 4 приведена схема одного из предлагаемых устройств [4].

Устройство работает следующим образом. Сыпучий материал, например пшеница, поступает в приемный бункер 2. Из приемного бункера 2 пшеница направляется в питатель 3 и с помощью сжатого воздуха, поступающего от вентилятора 1, подается в загрузочный транспортный трубопровод 4, а затем в распределительный трубопровод 5. В последнем за счет создания вентилятором давления образуются щели между шарнирно установленными перфорированными пластинами 7 и верхней частью неподвижных пластин 8, размер которых определяется дополнительными ограничителями 9. Материал скользит по криволинейной поверхности клапана 12, ударяется о сопряженные с ним перфорированные пластины 7, теряет скорость и высыпается в приемную емкость 6. Таким образом, в предложенном устройстве шарнирно установленные перфорированные пластины совместно с бункером полностью выполняют функцию инерционного разгрузителя, то есть решается задача значительного повышения эффективности отделения материала и легких примесей от воздушного потока, что позволяет выбрасывать в атмосферу отработанный очищенный воздух.

По мере заполнения приемной емкости 6 перфорированные пластины 7 распределительного трубопровода 5 постепенно перекрываются материалом, в результате чего пластины 7 под действием собственной массы и давления массы материала возвращаются в исходное вертикальное положение (движение перфорированных пластин 7 внутрь распределительного трубопровода невозможно из-за ограничителей 11, расположенных с наружной стороны пластин 7), следовательно, давление воздуха на клапан 12 увеличивается, при этом включается электродвигатель лебедки 13, которая поднимает клапан 12 выше.

В конечный период загрузки приемной емкости 6 материалом клапан 12 входит в патрубков 19, расположенный на крышке емкости 6, взаимодействует с конечным выключателем, закрепленным на крышке патрубка 19, в результате чего отключается электродвига-

тель лебедки 13 и останавливается движение клапана 12. Материал скользит по криволинейной поверхности клапана 12 и сопряженной с ним криволинейной поверхности патрубка 19, в результате чего происходит полное заполнение емкости 6 материалом, при этом сокращаются потери полезного объема емкости.



1 – вентилятор; 2 – приемный бункер; 3 – питатель; 4 – загрузочный транспортный трубопровод; 5 – распределительный трубопровод; 6 – приемная емкость; 7 – перфорированные пластины; 8 – неподвижные пластины; 9, 11 – ограничители; 10 – вертикальные стойки; 12 – клапан; 13 – лебедка; 14 – перфорированный воздухопровод; 15 – выпускной патрубок; 16 – затвор; 17 – разгрузочный транспортный трубопровод; 18 – перфорированная вставка; 19 – патрубок; 20 – патрубок с задвижкой

Рисунок 4 – Схема установки для активного вентилирования и пневмотранспортирования сыпучих материалов в силосах и бункерах

Отработанный воздух поступает в кольцевой зазор между перфорированным воздухопроводом 14 и нижней частью патрубка 20, после чего выбрасывается в атмосферу при открытой задвижке в патрубке 20, при этом уменьшаются энергозатраты за счет снижения гидравлических потерь воздухопроводов. Загружаемый в верхней части материал ударяется о наружную поверхность нижней части патрубка 20, теряет скорость и выпадает в емкость 6, при этом исключается попадание материала и легких примесей в открытый сверху перфорированный воздухопровод 14. При сушке или охлаждении материала воздух поступает от вентилятора 1 в распределительный трубопровод 5 (клапан 12 при этом находится ниже материала). Из распределительного трубопровода 5 и перфорированной вставки 18 воздух в поперечно-горизонтальном направлении пронизывает толщу материала и через перфорированный воздухопровод 14 и патрубок 20 при открытой задвижке выбрасывается в атмосферу. Вентилирование проводится до тех пор, пока материал не охладится до температуры подаваемого воздуха. Затвор 16 при этом закрыт. При выгрузке материала из емкости 6 задвижка в патрубке 20 закрывается. Воздух от вентилятора 1 подается в распределительный трубопровод 5, затем в открытый в верхней части перфорированный воздухопровод 14. При этом открывается затвор 16 на величину заданной производительности. Воздух, выходящий через перфорации воздухопровода 14 и перфорации вставки 18, ожигает материал в конусной части емкости и в выпускном пат-

рубке 15, а воздух, находящийся в воздухопроводе 14 и выходящий через сужающееся нижнее его основание, подхватывает оживленный материал, и вся аэросмесь по транспортному трубопроводу 17 подается к месту назначения.

Как было описано выше, новые установки могут быть использованы для проведения трех технологических операций: загрузки, вентилирования и выгрузки сыпучих материалов. Поэтому необходимо показать, что производительность установки достаточна для проведения вышеперечисленных операций.

При пневмотранспортировании сыпучих материалов скорость воздушного потока принимают в пределах 20–30 м/с, а диаметр материалопроводов 0,1–0,3 м [2, 5]. Исходя из этого, производительность будет равна 565–7630 м³/ч. Примем скорость воздушного потока для зерна пшеницы 25 м/с, а диаметр материалопровода 0,25 м, тогда производительность будет равна 4416 м³/ч.

В качестве одного из режимных параметров процесса вентилирования принята удельная подача воздуха Q_{y0} , выраженная отношением количества воздуха (производительности), проходящего через насыпь за 1 час, к количеству вентилируемого материала в бункере [1]:

$$Q_{y0} = \frac{Q}{M}, \quad (1)$$

где Q – производительность, м³/ч;

M – масса вентилируемого материала, т.

Масса материала, закладываемого на хранение в серийно выпускные бункера, равна 10–40 т. Подставляя в выражение (1) значение производительности Q и массу вентилируемого материала M , получим удельные подачи воздуха $Q_{y0} = 57–191$ м³/(ч·т).

Режимы вентилирования должны обеспечивать эффективное снижение температуры, предупреждать и устранять очаги самосогревания.

Удельные подачи воздуха в основном зависят от типа материала и его влажности. Так, при влажности зерна пшеницы, ржи, ячменя, овса и т.д., равной 16 %, минимальная подача воздуха равна 30 м³/(ч·т), при влажности 18 % – 40 м³/(ч·т), при 26 % – 60 м³/(ч·т). При наличии застойных зон в вентилируемой насыпи удельные подачи должны быть увеличены [1,2].

Сравнивая удельные подачи воздуха при пневмотранспортировании, равные 56–180 м³/(ч·т), с удельными подачами для проведения активного вентилирования, равными 30–60 м³/(ч·т), видно, что они сопоставимы и даже превышают подачи для вентилирования. Поэтому можно утверждать, что предложенная установка будет эффективно работать при проведении процессов загрузки, вентилирования и выгрузки сыпучих материалов.

При загрузке бункера сыпучим материалом необходимо, чтобы поворотные перфорированные пластины, расположенные между раскателем и материалом в бункере, были открыты. Это будет происходить под действием давления воздушного потока. При транспортировании сыпучего материала по распределительному материалопроводу давление в начале загрузки бункера будет меньше, чем в конце. Это связано с потерями на трение воздуха и материала о стенки материалопровода, а также с потерями на подъем. В связи с этим необходимо определить, как будет изменяться масса перфорированной пластины в зависимости от изменения давления по высоте распределительного материалопровода, чтобы выполнялось условие загрузки материала в бункер (поворотные пластины в период загрузки бункера материалом были открыты).

Расчетно-теоретическая часть. Ниже приведены теоретические исследования по открытию заслонки при загрузке бункера и по их закрытию после загрузки за счет давления загруженного материала и массы пластины.

Пусть заслонка имеет размеры $a \cdot b \cdot \delta$ (рисунок 5), тогда ее масса будет определяться по выражению

$$m = V \rho = ab\delta\rho, \quad (2)$$

где V – объем заслонки, м^3 ;

ρ – плотность материала заслонки, $\text{кг}/\text{м}^3$.

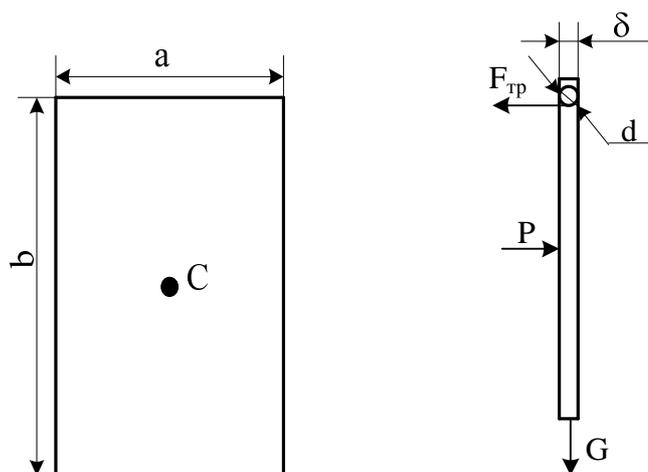


Рисунок 5 – Конструктивные размеры заслонки и схема сил при ее открытии

Тогда ее вес

$$G = mg, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$.

На заслонку действует сила давления P , точкой приложения которой является центр масс заслонки C (рисунок 5) с координатами $(a/2; b/2)$ и сила тяжести G . В креплении заслонки возникает опорная реакция N , равная по модулю силе тяжести G , но направленная в противоположную сторону. В точке касания оси и заслонки будет возникать сила трения $F_{\text{тр}}$, препятствующая открытию заслонки.

Модуль силы давления определяется по выражению

$$P = pF = pab, \quad (4)$$

где p – давление в установке, Па ;

F – площадь поверхности заслонки, м^2 .

Модуль силы трения определяется по выражения

$$F_{\text{тр}} = Nf = Gf = mgf, \quad (5)$$

где f – коэффициент трения.

Открытие заслонки будет происходить в том случае, когда сила давления будет превышать силу трения, т.е. при выполнении условия

$$P > F_{\text{тр}} \quad (6)$$

С учетом полученных выражений условие (6) примет вид

$$pab > mgf \quad (7)$$

С точки зрения проектирования подобных устройств, наибольшее значение имеет масса заслонки, при которой будет происходить ее открытие. Преобразуя выражение (7), получим

$$\frac{pab}{gf} > m \quad (8)$$

Определим массу поворотных пластин при загрузке бункера в зависимости от изменения полного давления по высоте распределительного материалопровода. Пусть давление в начале распределительного материалопровода равно 3000 Па, а в его конце – 1500 Па. В описанной экспериментальной установке используются заслонки со следующими конструктивными размерами: $a = 100$ мм, $b = 100$ мм, материал заслонки – оргстекло, для которого коэффициент трения о сталь при сухих поверхностях лежит в пределах от 0,4 до 0,5. С учетом этого получаем: для нижней заслонки масса должна быть не более 6,1 кг, для верхней – не более 3,05 кг.

Закрытие заслонки будет осуществляться при условии, когда движущий момент $M_{дв}$, вызванный силой давления, будет меньше момента сопротивления $M_{сопр}$, вызванного силой тяжести (рисунок 6), т.е.

$$M_{дв} < M_{сопр} \quad (9)$$

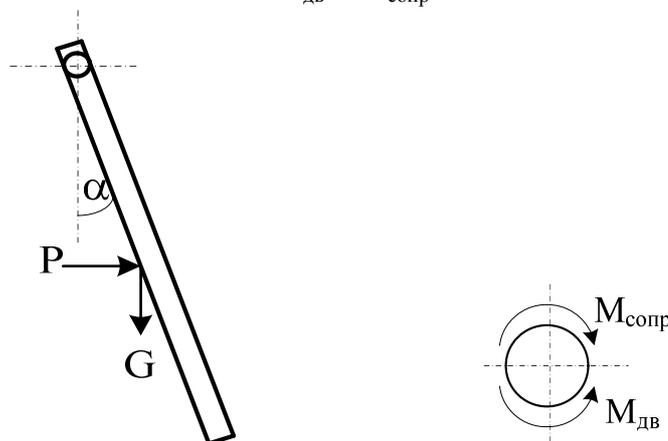


Рисунок 6 – Схема сил при закрытии заслонки

Величина движущего момента с учетом того, что ось крепления расположена на расстоянии d от края заслонки и сама ось имеет диаметр d , будет определяться по выражению:

$$M_{дв} = P \left(\frac{b}{2} - \frac{3d}{2} \right) \cos a \quad (10)$$

Величина момента сопротивления будет определяться по выражению:

$$M_{сопр} = G \left(\frac{b}{2} - \frac{3d}{2} \right) \sin a, \quad (11)$$

где G – сила тяжести, которая складывается из двух составляющих и определяется по выражению:

$$G = G_1 + G_2, \quad (12)$$

где G_1 – сила тяжести заслонки, определяемая по выражению (3), Н;

G_2 – сила тяжести слоя зерна, Н.

При определении силы G_2 примем следующие допущения:

1) слой зерна нагружает заслонку статически, т.е. не учитывается коэффициент динамичности;

2) слой зерна распределен равномерно по всей площади заслонки, т.е. имеет место равномерно распределенная нагрузка.

Тогда сила тяжести слоя зерна будет определяться по выражению

$$G_2 = m_2gab \quad (13)$$

Тогда

$$G = mg + m_2gab = (m + m_2ab)g \quad (14)$$

Подставляя полученные значения в выражение (11), с учетом выражений (2), (4) и (9), определим массу зерна, необходимую для закрытия заслонки:

$$\frac{P}{g} ctga - dr < m_2 \quad (15)$$

Заключение

Проведен обзор и анализ традиционных установок для пневматической загрузки и выгрузки сыпучих материалов, а также их активного вентилирования. Предложены новые технические решения, позволяющие с помощью единой системы пневмопроводов, одного вентилятора и разгрузителя проводить загрузку, выгрузку и активное вентилирование материалов. Выполнены расчетно-теоретические исследования по конструктивному оформлению поворотных пластин распределительного материалопровода и определены условия их открытия и закрытия.

Литература

- 1 Мельник, Б.Е. Активное вентилирование зерна: справочник / Б.Е. Мельник. – М.: Агропромиздат, 1986. – 159 с.
- 2 Чиркин, В.П., Бирик, В.И., Чиркина, В.Е. Установка для активного вентилирования зерна в смежных лосах элеваторов. А.с. № 843845 СССР.
- 3 Устройство для активного вентилирования зерна в смежных емкостях: пат. № 10147 Респ. Беларусь, МПК7 В 65 G53/00 / В.П. Чиркин, А.М. Гальмак; заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия. – № а20050767; заявл. 07.26.05; опубл. 10.05.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 4. – С. 150.
- 4 Чиркин, В.П. Устройство для пневматического транспортирования и хранения сыпучего материала. А. с. № 1648868 СССР.
- 5 Устройство для пневматического транспортирования сыпучих материалов: пат. № 9007 Респ. Беларусь, МПК7 В 65 G53/00 / В.П. Чиркин, А.М. Гальмак; заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия. – № а20040549; заявл. 15.06.04; опубл. 30.12.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 1. – С. 71.
- 6 Устройство для пневматического транспортирования сыпучих материалов: пат. № 7586 Респ. Беларусь, МПК7 В 65 G53/00 / В.П. Чиркин, А.М. Гальмак; заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия. – № а20021014; заявл. 13.12.02; опубл. 30.06.04 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – Ч.І. – № 4. – С. 155.
- 7 Устройство для пневматического транспортирования сыпучих материалов: пат. № 9432 Респ. Беларусь, МПК7 В 65 G53/00 / В.П. Чиркин, А.М. Гальмак; заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия. – № а20040454; заявл. 19.05.04; опубл. 30.12.04 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 3. – С. 80.
8. Экспериментальный стенд: пат. № 19258 Респ. Беларусь, МПК7 В 65 G53/00 / В.П. Чиркин, С.В. Богуслов, В.Е. Чиркина; заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия. – № а20120828; заявл. 28.05.12.

Поступила в редакцию 28.03.2016