

ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕРЕГРУЗКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В БУНКЕРАХ И ПУТИ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

В.П. Чиркин, А.Л. Желудков, С.В. Богуслов

Рассмотрены и проанализированы существующие схемы пневматической перегрузки сыпучих материалов в бункерах и предложены новые. Показано, что с использованием новых схем перегрузки сыпучих материалов можно дополнительно проводить их активное вентилирование. При использовании новых схем загрузки значительно повышается их производительность из-за снижения высоты подъема материала.

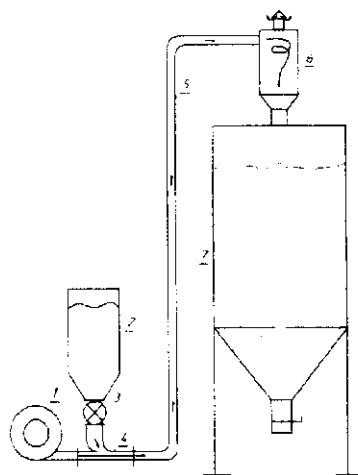
Введение

В настоящее время бункерные хранилища загружаются сыпучим материалом с помощью механического или пневматического транспорта. Анализ известных способов пневматической загрузки бункеров показал, что сыпучий материал перед загрузкой транспортируется по вертикальному материалопроводу, выделяется в отделителе и затем загружается в бункер [1–2]. При пневматической выгрузке бункеров используется система материалопроводов, разгрузитель и вентилятор. Недостатком известных способов загрузки является то, что материал, независимо от его количества в бункере, необходимо постоянно поднимать на высоту бункера и отделителя, что приводит к снижению производительности загрузки и, как следствие, к увеличению энергозатрат.

Целью представленной работы является определение путей совершенствования пневмотранспортных устройств для перегрузки сыпучих материалов. Нами предложены [3–6] новые способы пневматической перегрузки сыпучих материалов в бункерах, при которых сокращается время загрузки, осуществляется активное вентилирование и выгрузка материалов. Осуществление этого способа перегрузки производится с помощью единой системы пневмопроводов, разгрузителя и вентилятора.

Результаты исследований и их обсуждение

На рисунке 1 приведена схема загрузки бункера известным способом [1–2].



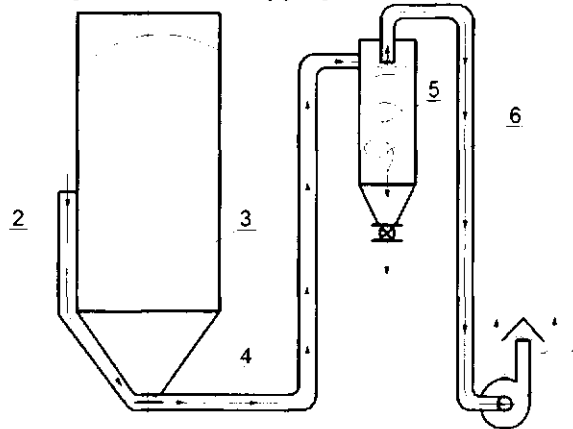
1 – вентилятор; 2 – емкость; 3 – шлюзовый затвор; 4 – приемник типа «тройник»;
5 – материалопровод; 6 – отделитель; 7 – бункер

Рисунок 1 – Схема загрузки бункера традиционным способом

Сыпучий материал транспортируется по вертикальному материалопроводу 5, выделяется

в отделителе 6 и загружается в бункер 7.

При выгрузки материала из бункера 3 традиционным способом (рисунок 2) включается вентилятор 1, при этом воздух поступает во всасывающий трубопровод 2, подхватывает сыпучий материал истекающий из бункера 3 и образовавшаяся аэросмесь транспортируется по материалопроводу 4 в отделитель 5. Сыпучий материал выделяется в отделителе 5, а очищенный воздух по трубопроводу 6 поступает во всасывающий патрубок вентилятора 1 и через нагнетающий патрубок выбрасывается наружу.



1 – вентилятор; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – бункер; 4 – материалопровод
5 – отделитель; 6 – воздухопровод

Рисунок 2 – Схема выгрузки бункера традиционным способом

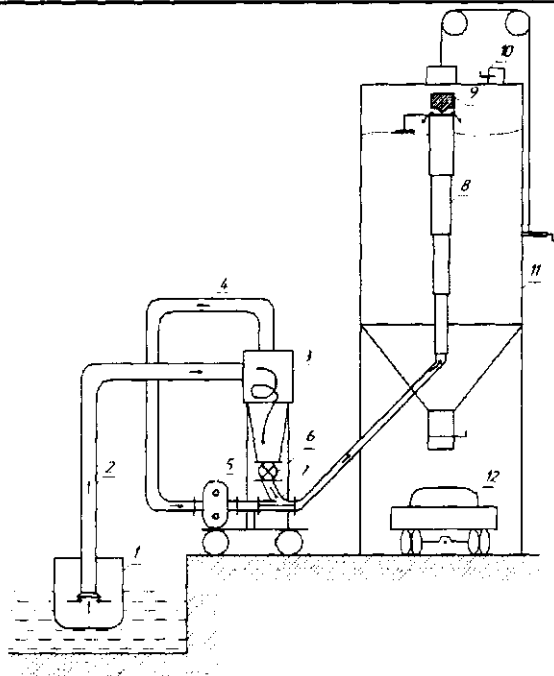
С целью снижения времени загрузки, повышения производительности, путем уменьшения потерь давления аэросмеси, нами предложен новый способ пневматической загрузки бункеров сыпучим материалом с использованием распределительного телескопического трубопровода, размещенного внутри бункера [3].

На рисунке 3 приведена схема выгрузки сыпучего материала из барж и загрузки материала в бункер с помощью пневмоперегрузателей всасывающе-нагнетательного принципа действия и распределительного телескопического материалопровода.

В результате происходит саморегулирование производительности загрузки материала в бункер, то есть в начале загрузки бункера, когда телескопический трубопровод находится в собранном виде, из-за уменьшения высоты подъема материала производительность загрузки бункера увеличивается, затем, по мере подъема телескопического трубопровода, производительность загрузки снижается.

Устройство работает следующим образом. При включенной воздуходувной машине 5 пневмоперегрузателя сыпучий материал, например, пшеница из баржи 1 по материалопроводу 2 поступает в отделитель 3, выделяется в нем и шлюзовым затвором 6 подается в приемник типа «тройник» 7. Из «тройника» 7 материал вместе с воздухом движется по телескопическому трубопроводу 8, клапану 9 и загружается в бункер 11. Отработанный воздух выводится через патрубок 10 при открытой задвижке. В данном случае бункер 11 выполняет функцию объемного и инерционного отделителя.

В начальный период загрузки бункера 11 сыпучим материалом цилиндрические патрубки телескопического трубопровода 8 собраны. В этот период высота распределительного телескопического трубопровода минимальна, что приводит к снижению в нем потерь давления аэросмеси (потери давления на подъем материала, потери давления на трение воздуха и материала о стенки патрубков телескопического трубопровода и т. д.) и к увеличению производительности загрузки. Процесс повторяется до полной загрузки бункера 11. В этот период высота телескопического трубопровода максимальна, т.к. его патрубки полностью выдвинуты. и потери давления аэросмеси в распределительном телескопическом трубопроводе 8 повышаются до максимального значения, а производительность загрузки уменьшается до минимального значения.



- 1 – баржа с сыпучим материалом; 2 – материалопровод; 3 – отделитель материала; 4 – воздуховоды; 5 – воздуходувная машина; 6 – шлюзовый затвор; 7 – приемник типа «тройник»; 8 – телескопический трубопровод; 9 – клапан с лебедкой; 10 – патрубок с задвижкой для отработанного воздуха; 11 – бункер для сыпучего материала; 12 – автотранспорт

Рисунок 3 – Схема загрузки бункера с помощью пневмоперегрузателей всасывающе-нагнетательного принципа действия и телескопического материалопровода

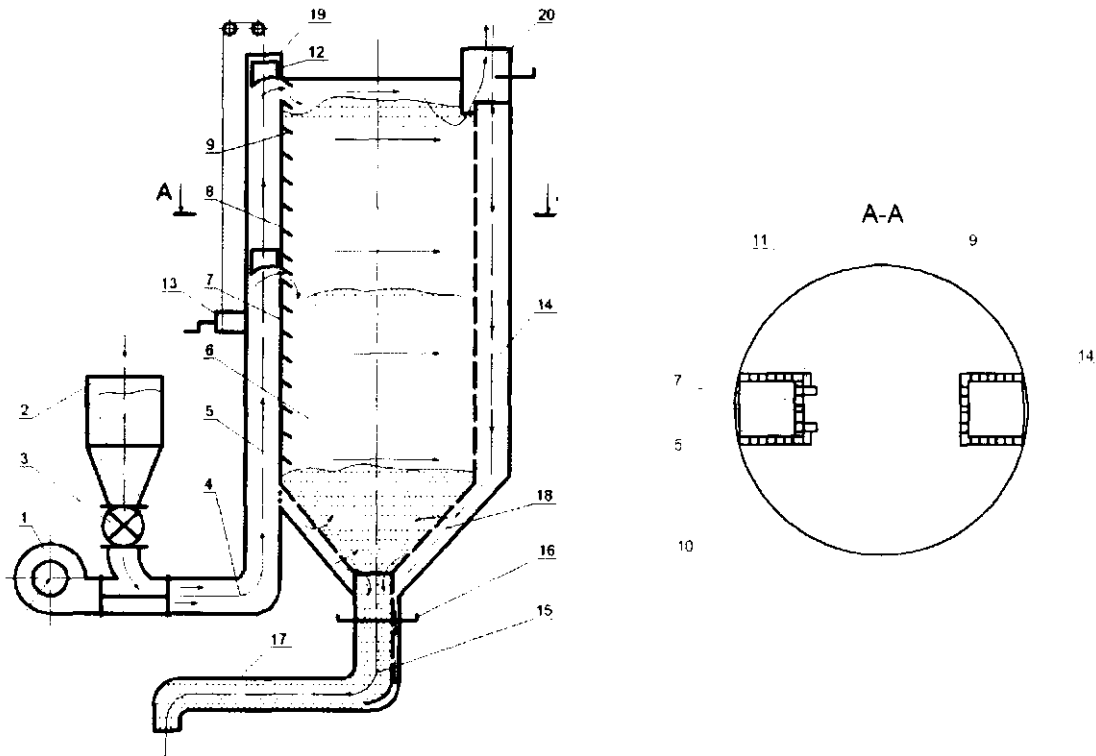
Однако эта схема загрузки не позволяет проводить выгрузку материала из бункера и проводить его активное вентилирование. Поэтому предложена новая схема загрузки бункера сыпучим материалом с помощью распределительного материалопровода (рисунок 4), которая позволяет проводить вышеперечисленные операции [4].

Устройство работает следующим образом. Сыпучий материал 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 патрубок 19, расположенный на крышке емкости 6, взаимодействует с конечным выключателем,

закрепленным на крышке патрубка 19, в результате чего отключается электродвигатель 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 б 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 загрузки бункера нагнетающей пневмотранспортной установкой с помощью распределительного материалопровода

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 б, при этом исключается попадание материала и легких примесей в открытый сверху перфорированный воздухопровод 14.

При 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 б задвижка в патрубке 20 закрывается. Воздух от вентилятора 1 подается в распределительный трубопровод 5, затем в открытый в верхней части перфорированный воздухопровод 14.

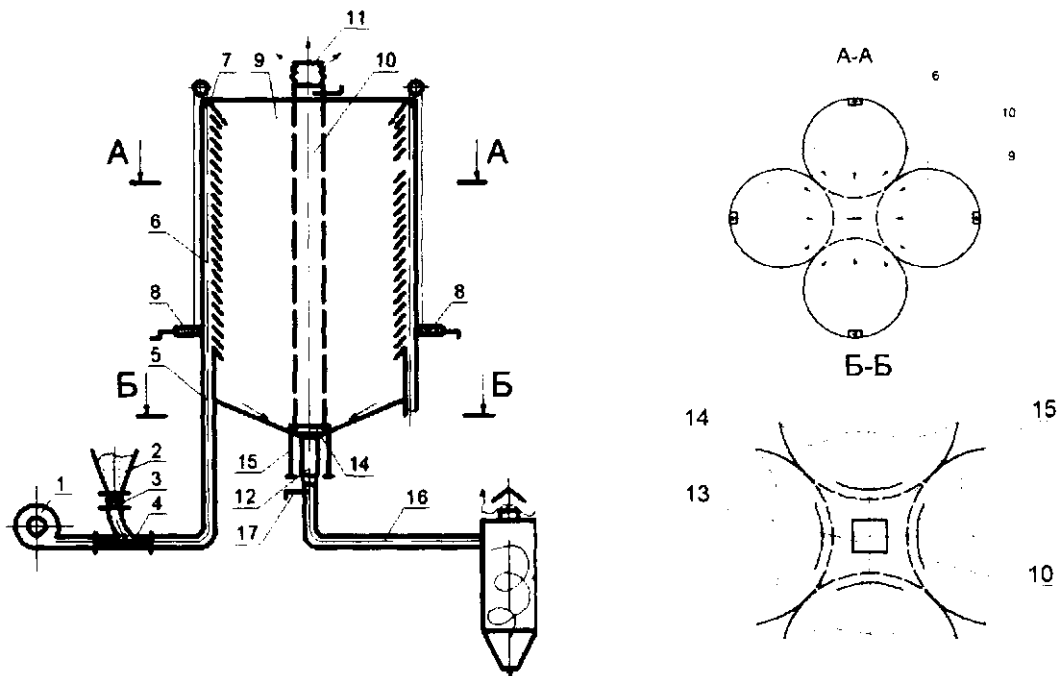
При этом открывается затвор 16 на величину заданной производительности. Воздух, выходящий через перфорации воздухопровода 14 и перфорации вставки 18, оживает материал в конусной части емкости и в выпускном патрубке 15, а воздух, находящийся в воздухопро-

воде 14 и выходящий через сужающееся нижнее его основание, подхватывает ожигенный материал, и вся аэрозоль по транспортному трубопроводу 17 подается к месту назначения. Таким образом, в предложенном устройстве шарнирно установленные перфорированные пластины совместно с бункером полностью выполняют функцию инерционного разгрузителя.

Как видим, предложенный нами способ кроме основной операции – загрузки бункера материалом – позволяет проводить с помощью единой системы пневмопроводов и одного вентилятора активное вентилирование материала и его выгрузку. В зерноперерабатывающей промышленности для хранения сыпучих материалов используется комплект, состоящий из четырех бункеров. Поэтому нами предложена установка, позволяющая осуществлять пневматическую загрузку, активное вентилирование и пневматическую выгрузку сыпучих материалов для четырех бункеров. При этом для проведения вышеперечисленных операций используется один вентилятор и единая система пневмопроводов [5].

На рисунке 5 приведена одна из установок для проведения этих операций. Сыпучий материал из питателя 3 поступает в приемник типа «тройник» 4, в который поступает сжатый воздух от воздуходувной машины 1. Образовавшаяся аэрозоль транспортируется по загрузочному транспортному трубопроводу 5, поступает в распределительный трубопровод 6, и через щели между шарнирно установленными пластинами сыпучий материал высыпается в бункер 9 при постоянном подъеме клапана 7. После полного заполнения бункера 9 клапан 7 находится в верхней части распределительного трубопровода 6.

Отработанный воздух собирается в перфорированном воздухоотводящем трубопроводе 10 и через матерчатый мешок 11 выбрасывается наружу, при этом задвижка 17 закрыта. Аналогичным образом происходит загрузка других бункеров 9 путем поочередного присоединения к «тройнику» 4 загрузочных транспортных трубопроводов 5 и распределительных трубопроводов 6 остальных трех бункеров.



- 1 – воздуходувная машина; 2 – оперативная емкость; 3 – питатель; 4 – приемник типа «тройник»
 5 – загрузочные транспортные трубопроводы; 6 – распределительные трубопроводы; 7 – клапан;
 8 – электролебедка; 9 – приемные бункеры; 10 – перфорированный воздухоотводящий трубопровод;
 11 – матерчатый мешок; 12 – выпускной патрубок; 13 – распределительная перфорированная решетка;
 14 – отверстия для истечения материала; 15 – затворы; 16 – разгрузочный транспортный трубопровод;
 17 – задвижка; 18 – разгрузитель

Рисунок 5 – Схема загрузки и выгрузки бункеров с помощью установки нагнетающего принципа действия

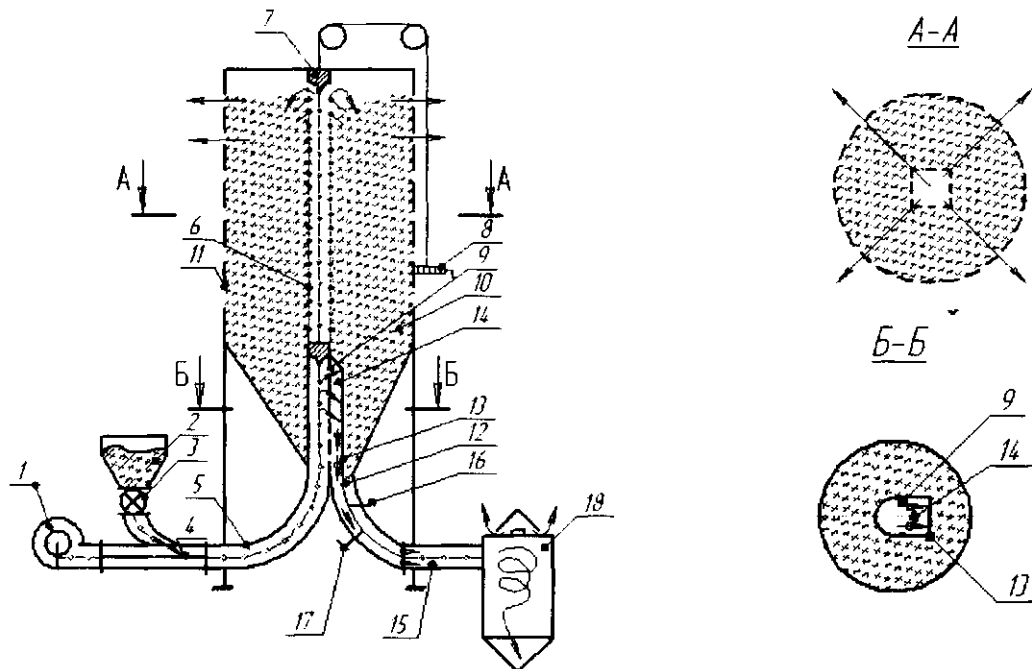
При проведении активного вентилирования материала воздух поступает в распределительный трубопровод 6

тельный трубопровод 6, пронизывает толщу сыпучего материала в поперечно-горизонтальном направлении, собирается в воздухоотводящем трубопроводе 10 и через матерчатый мешок 11 при открытой задвижке выбрасывается наружу, при этом задвижка 17 закрыта. Аналогичным образом происходит активное вентилирование других бункеров.

При пневматической выгрузке сыпучих материалов из бункера 9 закрывается задвижка перед матерчатым мешком 11 и открывается задвижка 17 выпускного патрубка 12. Воздух поступает в воздухоотводящий трубопровод 10, затем в систему пневматического транспортирования (выпускной патрубок 12 с распределительной перфорированной решеткой 13, разгрузочный трубопровод 16, разгрузитель 18). После этого открывается затвор 15, закрывающий технологические отверстия 14, выполненные на боковой поверхности воздухоотводящего трубопровода 10 в его нижней части. Сыпучий материал поступает в один из отсеков распределительной перфорированной решетки 13, размещенной в выпускном патрубке 12, подхватывается воздухом, и аэросмесь, двигаясь по разгрузочному трубопроводу 16, транспортируется к пункту выгрузки. Сыпучий материал выделяется в разгрузителе 18, а отработанный воздух выбрасывается наружу. Использование этого устройства позволяет повысить оперативность обслуживания бункеров и снизить металлоемкость конструкции.

При проведении активного вентилирования зерна в зерноперерабатывающей промышленности используются бункера с воздухопроницаемыми стенками. Нами предложено использовать воздухоподводящий канал, расположенный по центру бункера не только для проведения активного вентилирования, но и для загрузки и выгрузки сыпучих материалов.

На рисунке 6 приведена одна из установок для проведения этих операций [6].



- 1 – воздуходувная машина; 2 – оперативная емкость; 3 – питатель; 4 – тройник; 5 – загрузочный транспортный трубопровод; 6 – распределительный трубопровод; 7 – клапан; 8 – электролебедка; 9 – перфорированная боковая поверхность; 10 – бункер; 11 – воздухопроницаемые стенки; 12 – выпускной патрубок; 13 – металлический стакан; 14 – полость; 15 – разгрузочный трубопровод; 16,17 – задвижки; 18 – разгрузитель

Рисунок 6 – Устройство для пневматического транспортирования и хранения сыпучих материалов

Распределительный трубопровод 6 квадратного сечения выполнен из набора перфорированных пластин-жалюзей, верхней частью шарнирно закрепленных между вертикальными стойками, снабженных с наружной стороны ограничителями поворота внутрь трубопровода.

Принцип работы заключается в следующем. Сжатый воздух от воздуходувной машины 1 и сыпучий материал из емкости 2 через питатель 3 подаются в приемник типа «тройник» 4.

Образовавшуюся аэросмесь транспортируют по загрузочному транспортному трубопроводу 5, затем – по распределительному трубопроводу 6, размещенному по оси приемного бункера 10. Сыпучий материал высыпает в приемный бункер 10 при постоянном подъеме клапана 7, размещенного в распределительном трубопроводе 6, вручную или с помощью электролебедки 8. Отработанный воздух выбрасывается через воздухопроницаемые стенки 11 бункера 10 в атмосферу.

Перед проведением активного вентилирования сыпучего материала с целью повышения его сохранности клапан 7 опускают по распределительному трубопроводу 6 вниз ниже высоты размещенного в бункере сыпучего материала. После этого включают воздушную машину 1 и сжатый атмосферный воздух подают в загрузочный транспортный трубопровод 5, а затем – в распределительный трубопровод 6. Воздух выходит через перфорированные пластины распределительного трубопровода 6, пронизывает толщу сыпучего материала в поперечно-горизонтальном направлении и через воздухопроницаемые стенки 11 бункера 10 выбрасывается в атмосферу. При этом воздух из-за расположения распределительного трубопровода 6 по оси бункера 10 и выполнения стенок 11 воздухопроницаемыми преодолевает наименьшие аэродинамические сопротивления зернового слоя, что приводит к снижению сопротивления сети.

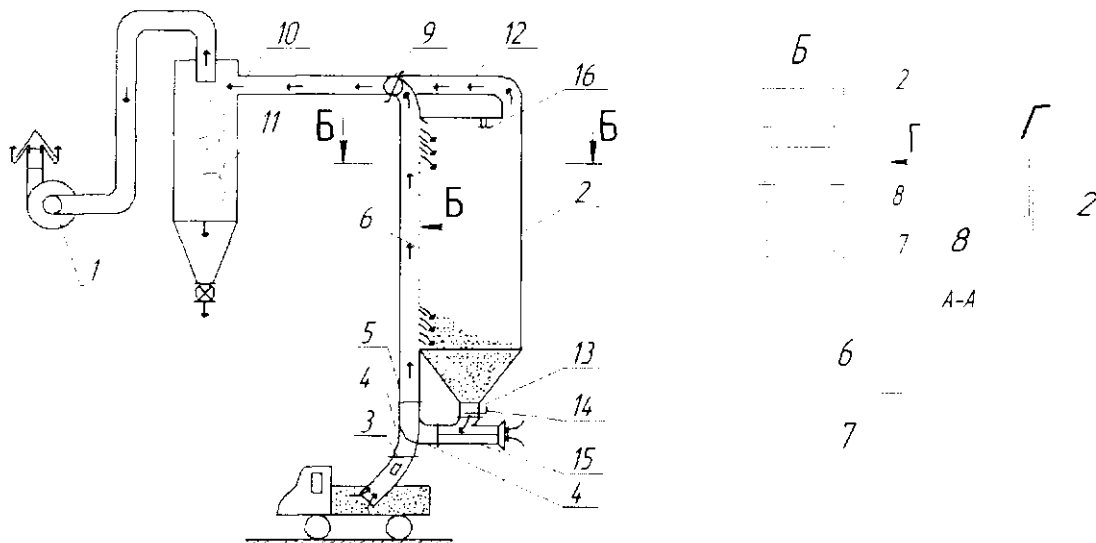
При пневматической выгрузке сыпучего материала из бункера 10 открывают задвижку 17 выпускного патрубка 12. Воздух при включенной воздушной машине 1 и опущенном клапане 7, движется по транспортному загрузочному трубопроводу 5, затем через перфорированные отверстия части боковой поверхности 9 проходит в полость 14. Далее воздух движется по полости 14 вниз и поступает в разгрузочный транспортный трубопровод 15. Затем открывают задвижку 16, в результате чего происходит истечение сыпучего материала из бункера 10. Образовавшуюся в разгрузочном трубопроводе 15 аэросмесь транспортируют к разгрузителю 18, материал выделяется в нем, а отработанный воздух выбрасывается в атмосферу. В данном случае сокращается путь транспортирования воздуха, что приводит к дополнительному снижению сопротивления сети. При выгрузке сыпучего материала на автомобиль сначала открывается задвижка 17, а затем затвор 15 и материал самотеком загружается в автомобильный транспорт.

Предложенное устройство позволяет упростить проведение процессов загрузки, вентилирования и выгрузки материалов из бункера. В результате увеличивается полезная емкость бункеров, уменьшается металлоемкость конструкции.

Нами также предложена установка для загрузки, активного вентилирования и выгрузки сыпучих материалов из бункера с использованием установки всасывающего принципа действия (рисунок 7). Отличительной особенностью этой установки является то, что система пневмопроводов вынесена за пределы бункера, что позволило снизить затраты на изготовление, увеличить полезную емкость бункера.

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Вначале для выгрузки сыпучего материала из автомобиля, вагона, баржи и других транспортных средств в работу включается вентилятор высокого давления 1. Сыпучий материал вместе с воздухом поступает в заборное устройство типа «сопло» 3, транспортируется по гибкой трубе 4, загрузочному транспортному трубопроводу 5, а затем поступает в распределительный трубопровод 6. Так как давление аэросмеси в распределительном трубопроводе изменяется по линейной зависимости (в начале трубопровода оно имеет самое низкое значение), то открываются нижние пластины, имеющие меньшую массу и через образовавшиеся щели материал выгружается в бункер 2. Отработанный воздух поступает в систему трубопроводов 12, а затем при открытом двухпозиционном переключателе 9 – в трубопровод 10, разгрузитель 11, во всасывающий патрубок вентилятора 1 и через нагнетающий патрубок выбрасывается в атмосферу.

По мере загрузки бункера сыпучим материалом нижние пластины закрываются за счет давления загружаемого зернового материала и открываются следующие пластины имеющие большую массу. При заполнении бункера материалом срабатывает датчик уровня зерна, в результате чего происходит отключение системы загрузки бункера.



1-вентилятор; 2-приемный бункер; 3-заборное устройство типа «сопло»; 4-гибкая труба; 5-загрузочный транспортный трубопровод; 6-распределительный трубопровод; 7-пластины; 8-ограничители; 9-двухпозиционный переключатель; 10-транспортный трубопровод; 11-разгрузитель; 12-система трубопроводов; 13-выпускной патрубок; 14-затвор; 15-приемник типа «тройник»; 16-датчик уровня.

Рисунок 7 – Схема загрузки и выгрузки бункеров с помощью установки всасывающего принципа действия

Для осуществления процесса выгрузки сыпучего материала из бункера 2 гибкую трубу 4 соединяют с тройником 15. Затем, при включенном вентиляторе 1 открывается затвор 14 в выпускном патрубке 13 бункера 2 и материал поступает в приемник типа «тройник» 15.

Образовавшаяся аэрозоль в «тройнике» 15 проходит через гибкую трубу 4, загрузочный транспортный трубопровод 5, распределительный трубопровод 6, двухпозиционный переключатель 9, транспортный трубопровод 10 и поступает в разгрузитель 11. Зерновой материал выделяется в разгрузителе 11, а очищенный воздух поступает во всасывающий патрубок вентилятора и выбрасывается в атмосферу. При транспортировке материала по распределительному трубопроводу пластины под действием образовавшегося вакуума полностью закрываются в результате чего распределительный трубопровод превращается в сплошной.

Для выгрузки сыпучего материала самотеком отсоединяется от патрубка 13 тройник 15 и при открытой задвижке 14 материал выгружается, например в автомобиль.

В предлагаемом устройстве загрузка материала в бункер и его выгрузка производится с помощью одного вентилятора, разгрузителя и распределительного трубопровода, в результате чего сокращается протяженность пневмотранспортной сети, снижается гидравлическое сопротивление пневмотранспортной сети и, как следствие, уменьшаются энергозатраты.

Установка распределительного трубопровода вне бункера позволит увеличить его полезную емкость, а использование распределительного трубопровода как для загрузки, так и для выгрузки сыпучих материалов позволит снизить металлоемкость конструкции.

Расположение датчик уровня зерна в верхней части бункера, позволит в конечный период загрузки произвести автоматическое отключение установки.

При использовании предложенного устройства происходит снижение металлоемкости конструкции, увеличение полезной емкости бункера, уменьшение гидравлических сопротивлений сети и энергозатрат, снижение капитальных вложений на изготовление и монтаж узлов пневмотранспортной установки.

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 $Q_{\text{уд}}$, выраженная отношением количества воздуха (производительности), проходящего через насыпь за 1 час, к количеству вентилируемого материала в бункере [6].

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

где Q – производительность, м³/ч;

M – масса вентилируемого материала, тонна.

Масса материала, закладываемого на хранения в серийно выпускаемые бункера равна 10–40 т. Подставляя в выражение (1) значение производительности Q и массу вентилируемого материала M , получим удельные подачи воздуха $Q_{\text{уд}} = 57–191$ 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 [6].

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.

Заключение

Проведен обзор и анализ традиционных схем пневматической загрузки и выгрузки сыпучих материалов для бункеров. Предложены новые технические решения, позволяющие с помощью единой системы пневмопроводов, одного вентилятора и отделителя проводить загрузку, выгрузку и активное вентилирование материалов.

Литература

- 1 Володин, Н.П. Справочник по аспирационным и пневмотранспортным установкам. – М.: Колос, 1984. – 182 с.
- 2 Зуев Ф.Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: Колос, 1976. – 344 с.
- 3 Устройство для пневматического транспортирования сыпучих материалов: пат. № 7586 Респ. Беларусь, МПК 7 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.1. – № 4. – С. 155.
- 4 Устройство для пневматического транспортирования сыпучих материалов: пат. № 9014 Респ. Беларусь, МПК 7 В 65 G 53/00 / В.П. Чиркин, А.М. Гальмак; заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия. – № а20030459; заявл. 26.05.03; опубл. 30.12.04 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 1. – С. 70.
- 5 Устройство для пневматического транспортирования сыпучих материалов: пат. № 9432 Респ. Беларусь, МПК 7 В 65 G 53/00 / 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.
- 6 Устройство для пневматического транспортирования сыпучих материалов: пат. № 9007 Респ. Беларусь, МПК 7 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.

Поступила в редакцию 15.04.2014