

УДК 631.374:636.085

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАГРУЗКИ БУНКЕРА СЫПУЧИМ МАТЕРИАЛОМ С ПОМОЩЬЮ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО ТРУБОПРОВОДА С ВЫХОДНЫМ КЛАПАНОМ-РАССЕКATEЛЕМ

Чиркин В.П., к.т.н.,

Богуслов С.В., инженер.

Могилевский государственный университет продовольствия

Тел (+375 222) 485761

Аннотация – работа посвящена новому способу загрузки бункера с помощью распределительного телескопического материалопровода, снабженного клапаном-рассекателем на выходе и теоретическим исследованиям по определению времени загрузки новым и традиционным способом.

Ключевые слова – пневматический транспорт, телескопический материалопровод, бункер, клапан – рассекатель, разгрузитель, массовая расходная концентрация аэросмеси, сыпучий материал.

Постановка проблемы. В настоящее время бункерные хранилища загружаются сыпучим материалом с помощью механического или пневматического транспорта. В известном способе пневматической загрузки бункеров (рис. 1(а)) сыпучий материал транспортируется по вертикальному материалопроводу, выделяется в разгрузителе и загружается в бункер [1, 2]. Недостатком такого способа загрузки является то, что материал независимо от его количества в бункере необходимо постоянно поднимать на высоту бункера и разгрузителя, что приводит к снижению производительности загрузки и, как следствие, к увеличению энергозатрат.

Нами предложен [3, 4] новый способ пневматической загрузки бункеров сыпучим материалом, при котором сокращение времени загрузки, а также повышение производительности происходит за счет уменьшения потерь давления аэросмеси.

Формулировка целей работы. Цель работы – определение времени загрузки бункера сыпучим материалом с помощью распределительного телескопического материалопровода.

Основная часть. Устройство для осуществления этого способа, представленное на рис. 1(б), содержит клапан-рассекатель на выходе

распределительного телескопического трубопровода.

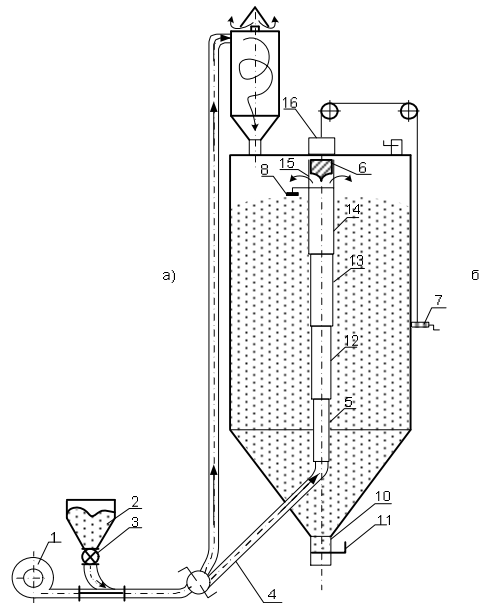


Рис. 1. Устройство для пневматической загрузки бункера сыпучими материалами: а – известный способ загрузки бункеров; б – новый способ загрузки бункеров.

Устройство содержит источник сжатого воздуха в виде вентилятора 1 высокого давления, емкость 2, питатель 3, загрузочный транспортный трубопровод 4, распределительный телескопический трубопровод 5 с клапаном 6 и лебедкой 7, подвижный датчик уровня 8, бункер 9, выпускной патрубков 10 с затвором 11.

Распределительный телескопический трубопровод 5 состоит из входящих друг в друга нижнего 12, промежуточных 13 и верхнего 14 патрубков, при этом нижний патрубок 12 меньшего диаметра соединен с загрузочным транспортным трубопроводом 4, а последний верхний патрубок 14 с помощью стержней 15 с клапаном 6 и лебедкой 7. В верхней части бункера 9 расположен кнопочный выключатель 16.

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 телескопический трубопровод 5, который в начальный период загрузки находится в собранном виде. Сыпучий материал, пройдя телескопический воздухопровод 5, высыпается в бункер 9 через отверстия между патрубком 14 и клапаном 6. При заполнении приемной емкости 9 материалом выше подвижного датчика уровня 8 происходит включение цепи управления приводом вертикального перемещения клапана 6 и телескопического трубопровода 5, в результате чего электродвигатель лебедки поднимает клапан 7 и патрубки 12, 13 и 14 телескопического

трубопровода 5 выше. Процесс повторяется до полной загрузки бункера 9. В верхнем положении клапан нажимает на конечный кнопочный выключатель 16, который отключает электродвигатель лебедки 7. После выгрузки сыпучего материала из бункера 9 включается электродвигатель лебедки 7 на реверс, и клапан 6 с патрубками телескопического трубопровода 5 под действием собственного веса возвращаются в исходное положение. Как показали проведенные нами теоретические и экспериментальные исследования [3], время загрузки бункера любой высоты снизу с помощью распределительного телескопического материалопровода почти в два раза меньше времени загрузки этого же бункера традиционным способом сверху. При этом производительность загрузки бункера увеличивается.

При загрузке бункера пневмотранспортными установками (см. рис. 1) необходимо регулировать подачу материала из емкости 2 через шлюзовый затвор 3 в пневмотранспортную сеть. В начальный период загрузки подача материала должна быть максимальной, а в конце загрузки – минимальной. Это можно осуществить путем регулирования частоты вращения ротора шлюзового затвора.

При загрузке бункера пневмотранспортными установками нагнетающего типа и аэрозольтранспортными установками, происходит саморегулирование загрузки бункера. В начальный период загрузки в “сопло” всасывающей-нагнетающей установки при минимальной высоте телескопического материалопровода, ввиду малого сопротивления пневмотранспортной сети, будет поступать большее количество материала, чем в конечный период загрузки при наибольшей высоте телескопического материалопровода.

Клапан 6 в описанном устройстве выполнен цельным. Если его выполнить полым и разместить в нем диафрагму, тогда клапан можно использовать в качестве датчика для включения цепи управления приводом вертикального перемещения телескопического трубопровода. На рис. 2 изображен вариант изготовления такого клапана. Клапан 6 состоит из основания 1, выполненного в виде рассекателя потока с отверстиями 2 с фильтрами 3 для пропуска воздушного потока. В полости клапана 6 расположена упругая диафрагма 4 с контактом 5 и контакт 6, соединенный с электродвигателем лебедки 7 (см. рис. 1).

Клапан 6 работает следующим образом. Транспортирующий воздух, проходя через фильтры 3 отверстий 2, прогибает диафрагму 4 и замыкает контакты 5 и 6. При этом включается электродвигатель лебедки 7, которая поднимает клапан 6 выше. Процесс повторяется до полной загрузки бункера 2. В верхнем положении клапан 6 нажимает на конечный кнопочный выключатель 16, который отключает электродвигатель лебедки 7. После выгрузки сыпучего материала из бункера 9, включается электродвигатель лебедки 7 на реверс, и клапан 6 с

патрубками телескопического трубопровода 5 под действием собственного веса возвращаются в исходное положение.

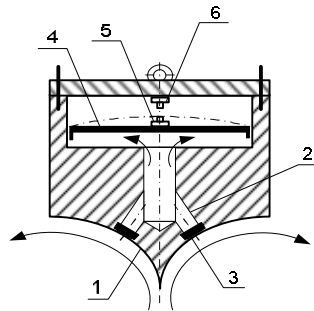


Рис. 2. Клапан.

В начальный период загрузки бункера 6 сыпучим материалом патрубки телескопического трубопровода входят один в другой, поэтому значительно снижается высота подъема материала, что приводит к снижению потерь давления аэросмеси в распределительном трубопроводе и, как следствие, к увеличению производительности загрузки бункера.

Известно, что производительность загрузки в зависимости от длины транспортирования или высоты подъема материала изменяется по линейной зависимости.

При выгрузке сыпучего материала из барж с помощью пневмоперегрузателей всасывающе-нагнетательного принципа действия происходит саморегулирование производительности загрузки материала в бункер, т.е. в начале загрузки материала в бункер, когда распределительный телескопический находится в собранном виде, из-за уменьшения высоты подъема материала производительность загрузки бункера увеличивается, затем по мере подъема телескопического трубопровода производительность загрузки снижается. Аналогичный процесс происходит при выгрузке муки из автомуковозов.

При выгрузке бункера с помощью пневмотранспортных установок нагнетающего принципа действия необходимо производить регулирование подачи материала в приемное устройство пневмотранспортной установки: увеличение подачи материала в начальный период загрузки и постепенное его уменьшение с увеличением высоты загрузки. Этого можно достичь путем изменения частоты вращения ротора питателя или путем тарировки задвижки, установленной над питателем.

Нами проведены теоретические исследования, которые показали, что время загрузки бункера любой высоты снизу с помощью распределительного телескопического материалопровода всегда меньше времени загрузки этого же бункера традиционным способом сверху. При этом производительность загрузки бункера увеличивается.

Так как при традиционном способе загрузки бункеров необходимо транспортировать весь материал на высоту, превышающую вы-

соту бункера и разгрузителя, то в действительности выигрыш во времени и в производительности при новом способе загрузки бункеров оказывается даже больше. Если принять допущение, что в основном материал будет транспортироваться по вертикальному материалопроводу при традиционном способе загрузки и по распределительному телескопическому материалопроводу при новом способе загрузки, то время загрузки уменьшится а производительность увеличится примерно в 2 раза.

При традиционном способе загрузки бункеров сверху с помощью материалопроводов, расположенных вне бункера и разгрузителя, установленного на его крышке, высота подъема материала H , а значит производительность и время загрузки – величины постоянные [2]. При загрузке бункера снизу с помощью распределительного телескопического материалопровода и рассекателя потока происходит изменение высоты подъема материала (высоты материалопровода) [3]. Определим, как в этом случае будет изменяться время загрузки в процессе заполнения бункера. Для этого найдем вначале изменение высоты подъема материала от времени

$$h(t) = \frac{1}{\rho_v S_{\sigma 0}} \int_0^t G(\tau) d\tau, \quad (1)$$

где $G(t) = \rho_o Q \mu(h)$ – производительность загрузки бункера, а $\mu(h)$ определяется по формуле

$$\mu(h) = \frac{\Delta p - \Delta p_{в.уд} h}{h \left(\kappa \cdot \Delta p_{в.уд} + \rho_o g \frac{v_B}{v_B - v_S} \right)}, \quad (2)$$

полученной из выражения

$$\mu = \frac{\Delta p - \Delta p_{в.уд} H}{H \left(\kappa \Delta p_{в.уд} + \rho_o g \frac{v_B}{v_B - v_S} \right)} \quad (3)$$

для вычисления массовой расходной концентрации аэросмеси μ при традиционном способе загрузки бункера. При этом выражение (3) является следствием известного соотношения

$$\Delta p = \left(\Delta p_{в.уд} (1 + \kappa \mu) + \rho_o g \mu \frac{v_B}{v_B - v_S} \right) H$$

для вычисления потери давления аэросмеси в вертикальном материалопроводе [2, 5],

где $\Delta p_{в.уд}$ – удельные гидравлические потери при движении воздушного потока на вертикальном участке материалопровода высотой 1 м;

κ – коэффициент Гастерштадта;

μ – массовая расходная концентрация аэросмеси, кг/кг.

ρ_o – плотность стандартного воздуха, кг/м³;

v_B – скорость воздушного потока, м/с;

v_s – скорость витания частиц, м/с.

Дифференцируя (1), получаем

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{G(t)}{\rho_v S_{\delta}} = \frac{\rho_o Q}{\rho_v S_{\delta}} \mu(h). \quad (4)$$

Подставив (2) в (4), получим

$$\frac{dh}{dt} = \frac{\rho_o \cdot Q}{\rho_v \cdot S_{\delta}} \times \frac{\Delta p - \Delta p_{в.уд} h}{h(\kappa \cdot \Delta p_{в.уд} + \rho_o \cdot g \frac{v_B}{v_B - v_s})}. \quad (5)$$

Далее для сокращения записей положим

$$A = \frac{\rho_o \cdot Q}{\rho_v \cdot S_{\delta}} \times \frac{\Delta p - \Delta p_{в.уд} h}{\kappa \cdot \Delta p_{в.уд} + \rho_o \cdot g \frac{v_B}{v_B - v_s}}, \quad B = \Delta p, \quad C = \Delta p_{в.уд}.$$

Тогда (5) переписется следующим образом

$$\frac{dh}{dt} = A \cdot \frac{B - Ch}{h},$$

откуда

$$dt = \frac{1}{A} \cdot \frac{h}{B - Ch} dh = \frac{1}{AC} \left(\frac{B}{B - Ch} - 1 \right) dh,$$

т.е.

$$dt = \frac{1}{AC} \left(\frac{B}{B - Ch} - 1 \right) dh.$$

Интегрирую обе части последнего равенства, получим

$$\begin{aligned} t &= \frac{1}{AC} \left(\int \frac{B}{B - Ch} dh - \int dh \right) = \frac{1}{AC} \left(-\frac{B}{C} \int \frac{d(B - Ch)}{B - Ch} - h \right) = \\ &= \frac{1}{AC} \left(-\frac{B}{C} \ln|B - Ch| - h \right) + C_1 = -\frac{1}{AC} \left(\frac{B}{C} \ln|B - Ch| + h \right) + C_1, \end{aligned}$$

т.е.

$$t = \frac{1}{AC} \left(\frac{B}{C} \ln|B - Ch| + h \right) + C_1. \quad (6)$$

Постоянную C_1 найдем из начального условия $h(0) = h_0$:

$$0 = -\frac{1}{AC} \left(\frac{B}{C} \ln|B - Ch_0| + h_0 \right) + C_1,$$

откуда

$$C_1 = \frac{1}{AC} \left(\frac{B}{C} \ln|B - Ch_0| + h_0 \right).$$

Подставляя найденную постоянную C_1 в (6), получим

$$t = -\frac{1}{AC} \left(\frac{B}{C} \ln|B - Ch| + h \right) + \frac{1}{AC} \left(\frac{B}{C} \ln|B - Ch_0| + h_0 \right),$$

откуда

$$t = \frac{1}{AC} \left(\frac{B}{C} \ln \frac{B - Ch_0}{B - Ch} - (h - h_0) \right). \quad (7)$$

Полагая в (7) $h = H$, получим формулу

$$T_{h_0} = \frac{1}{AB} \left(\frac{B}{C} \ln \frac{B - Ch_0}{B - CH} - (H - h_0) \right) \quad (8)$$

для нахождения времени заполнения бункера высотой H , заполненного в начальный момент до уровня h_0 .

Если в начальный момент загрузки бункер был пуст, т.е. $h_0 = h(0) = 0$, то из (8) вытекает

$$T_0 = \frac{1}{AB} \left(\frac{B}{C} \ln \frac{B}{B - CH} - H \right) \quad (9)$$

времени заполнения бункера высотой H .

Если положить

$$D = \kappa \Delta p_{\text{в.уд.}} + \rho_o g \frac{v_B}{v_B - v_S},$$

то

$$A = \frac{\rho_o \cdot Q}{\rho_v \cdot S_{\sigma} D},$$

откуда и из (9) следует

$$T_0 = \frac{\rho_v S_{\sigma} D}{\rho_o Q B} \left(\frac{B}{C} \ln \frac{B}{B - CH} - H \right).$$

Последнюю формулу можно записать более компактно, если ввести новый параметр $E = \frac{C}{B}$

$$T_0 = \frac{\rho_v S_{\sigma} D}{\rho_o Q B} \left(\frac{1}{E} \ln \frac{1}{1 - EH} - H \right). \quad (10)$$

Из (9) следует, что $1 - EH > 0$, откуда, учитывая $H > 0$, находим область определения функции $T_0(H)$:

$$H \in \left(0; \frac{1}{E} \right) = \left(0; \frac{\Delta p}{\Delta \rho_{\text{в.уд.}}} \right).$$

Ясно, что время T_0 загрузки бункера снизу с помощью распределительного телескопического материалопровода меньше времени T_1 заполнения бункера традиционным способом. Для нахождения разности $T_1 - T_0$ воспользуемся известной [2, 5] формулой (для упрощения

расчетов объем днища бункера не учитывается)

$$T_1 = \frac{\rho_v \cdot H \cdot S_{\sigma}}{\rho_o \cdot \mu \cdot Q}, \quad (11)$$

где ρ_v – объемная масса материала, кг/м³;

S_{σ} – площадь сечения бункера, м²;

Q – подача (расход) воздуха, м³/с;

H – высота материалопровода, м.

Формула (11), используя легко выводимые из (3) соотношения

$$\mu = \frac{B - CH}{HD},$$

можно преобразовать к виду

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{\rho_v H S_{\sigma} H D}{\rho_o Q (B - CH)} = \frac{\rho_v S_{\sigma} D H^2}{\rho_o Q (B - CH)} = \\ &= \frac{\rho_v S_{\sigma} D H^2}{\rho_o Q B (1 - \frac{C}{B} H)} = \frac{\rho_v S_{\sigma} D H^2}{\rho_o Q B (1 - EH)}, \end{aligned}$$

т.е.

$$T_1 = \frac{\rho_v S_{\sigma} D H^2}{\rho_o Q B (1 - EH)}. \quad (12)$$

Тогда из (10) и (12) следует

$$\begin{aligned} T_1 - T_0 &= \frac{\rho_v S_{\sigma} D}{\rho_o Q B} \left(\frac{H^2}{1 - EH} + H - \frac{1}{E} \ln \frac{1}{1 - EH} \right) = \\ &= \frac{\rho_v S_{\sigma} D}{\rho_o Q B} \left(\frac{H^2}{1 - EH} + H + \frac{1}{E} \ln |1 - EH| \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Формулу (13), используя равенство $E = \frac{C}{B}$ можно записать в другой форме

$$T_1 - T_0 = \frac{\rho_v S_{\sigma} D}{\rho_o Q B} \left(\frac{BH^2}{B - CH} + H + \frac{B}{C} \ln \frac{B - CH}{B} \right). \quad (14)$$

Так как производная

$$(T_1 - T_0)' = \frac{\rho_v S_{\sigma} D}{\rho_o Q B} \cdot \frac{H((E^2 - E)H + 2 - E)}{(1 - EH)^2}$$

функции $(T_1 - T_0)(H)$ в области её определения

$$H \in (0; \frac{1}{E}) = (0; \frac{\Delta p}{\Delta \rho_{в.уд}})$$

всегда положительна, то функция $(T_1 - T_0)(H)$ является возрастающей на интервале $(0; \frac{1}{E})$.

Таким образом, время загрузки бункера любой высоты снизу с помощью распределительного телескопического материалопровода всегда меньше времени загрузки этого же бункера традиционным способом сверху. Причём, чем больше высота бункера, тем больше выигрыш во времени, который определяется по формулам (13) или (14). В последнее время нами предложены установки, позволяющие осуществлять пневматическую загрузку и пневматическую выгрузку сыпучих материалов из бункеров, а также проведение активного вентилирования. При этом для проведения вышеперечисленных операций используется один вентилятор и единая система пневмопроводов [5, 6]. На рис. 3 приведена одна из установок для проведения этих операций [6].

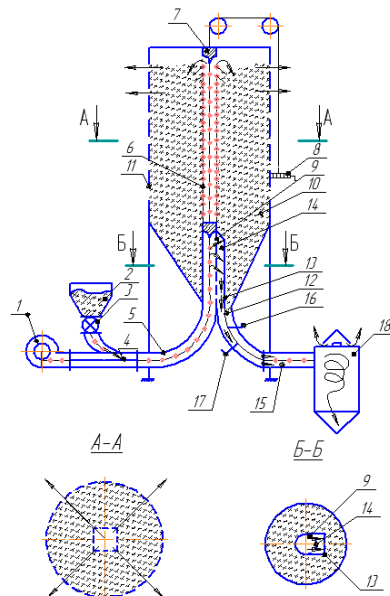


Рис. 3. Устройство для пневматического транспортирования и хранения сыпучих материалов: 1 – воздухозадувная машина; 2 – оперативная ёмкость; 3 – питатель; 4 – тройник; 5 – загрузочный транспортный трубопровод; 6 – распределительный трубопровод; 7 – клапан; 8 – электролебёдка; 9 – перфорированная боковая поверхность; 10 – бункер; 11 – воздуха проницательные стенки; 12 – выпускной патрубков; 13 – металлический стакан; 14 – полость; 15 – разгрузочный трубопровод; 16,17 – задвижки; 18 – разгрузитель.

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.

Образовавшюся аэросмесь транспортируют по загрузочному транспортному трубопроводу 5, затем - по распределительному трубопроводу 6, размещенному по оси приемного бункера 10. Сыпучий материал высыпают 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 воздуходувную 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 бункера 10 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 воздуходувной 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. Образовавшюся 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.

Выводы: Описан новый способ загрузки бункеров с помощью распределительного телескопического материалопровода. Показано, что время загрузки бункера любой высоты предложенным способом всегда меньше времени загрузки этого же бункера традиционным способом сверху. Причём, чем больше высота бункера, тем больше выигрыш во времени, который определяется по формулам (13) или (14).

Описан также новый способ загрузки бункера с помощью распределительного трубопровода.

В дальнейшем планируется провести теоретические исследования по движению частиц сыпучего материала по поверхности клапана

и по жалюзийным пластинам при загрузке бункера, а также экспериментальные исследования по определению потерь давления в распределительном трубопроводе.

Литература

1. *Володин Н.П.* Справочник по аспирационным и пневмотранспортным установкам / *Н.П. Володин* – М.: Колос, 1984. – 182 с.
2. *Зуев Ф.Г.* Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях / *Ф.Г. Зуев* – М.: Колос, 1976. – 344 с.
3. *Чиркин В.П.* О быстрой загрузке бункеров / *В.П. Чиркин, А.М. Гальмак* //Транспортные и строительные машины: Вестник Госуд. техн. ун-та. – 2003. – №2. – С.162–165.
4. *Кильчевский Н.Н.* Курс теоретической механики / *Н.Н. Кильчевский* – М.: Наука, т. 1, 1972. – 452 с.
5. *Чиркин В.П., Гальмак А.М.* Устройство для пневматического транспортирования материалов. Патент №7586 РБ.
6. *Чиркин, В.П., Гальмак, А.М.* Устройство для пневматического транспортирования сыпучих материалов. Патент № 9432 РБ.

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ БУНКЕРА СИПУЧИМ МАТЕРІАЛОМ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕЛЕСКОПІЧНОГО ТРУБОПРОВОДУ З ВИХІДНИМ КЛАПАНОМ-РОЗСІКАЧЕМ

Чіркін В.П., Богуслов С.В.

Анотація

Робота присвячена новому способу завантаження бункера за допомогою розподільчого телескопічного матеріалопроводу, забезпеченого клапаном-розсікачем на виході й теоретичним дослідженням з визначення часу завантаження новим і традиційним способом.

DETERMINATION OF TIME DOWNLOAD BIN LOOSE MATERIALS WITH AID OF A TELESCOPIC PIPING EXHAUST VALVES – DIVIDER

V. Chirkin, S. Boguslov

Summary

This paper deals with a new way of loading the hopper with the distribution of telescopic **materialoprovoda**, are supplied with the valve-adjoint divider at the output and theoretical studies, the wells to determine the time of loading the new and the traditional way.