

УДК 621.867.82

**МОДЕРНИЗАЦІЯ ЗАГРУЗОЧНОГО КЛАПАНА  
МАЛОГАБАРИТНОГО КАМЕРНОГО НАСОСА****©Ковалевський С. В., Голоперов І. В., Петруняк В. М.***Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про авторів:**

**Ковалевський Сергій Васильович:** ORCID: 0000-0003-3377-3192; skovalevskii@mail.ua; кандидат технічних наук; доцент кафедри електромеханічних систем; Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут Української інженерно-педагогічної академії; вул. Носакова, 9а, м. Артемівськ, Донецька обл., 84500, Україна.

**Голоперов Ігор Вікторович:** ORCID: 0000-0003-3129-7663; zamdekGIV@yandex.ua; кандидат технічних наук; доцент кафедри електромеханічних систем; Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут Української інженерно-педагогічної академії; вул. Носакова, 9а, м. Артемівськ, Донецька обл., 84500, Україна.

**Петруняк Віталій Маркович:** ORCID: 0000-0002-0439-2393; vpetruniak@mail.ua; асистент кафедри електромеханічних систем; Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут Української інженерно-педагогічної академії; вул. Носакова, 9а, м. Артемівськ, Донецька обл., 84500, Україна.

При исследовании экспериментального образца камерного питателя в производственных условиях СлавТЭС установлены элементы конструкции, подвергаемые интенсивному абразивному износу угольной пылью. Необходимо было определить оптимальный диаметр загрузочного отверстия клапана.

Был разработан быстродействующий загрузочный клапан с временем срабатывания 0,5 секунды. Для увеличения долговечности клапана был использован эффект концентрично расположенных камер на поверхности седла и тарелки. Пыль, находящаяся в камерах, усиливает эффект уплотнения, предупреждая износ контактирующих поверхностей.

На основании теории «напряженного состояния» сыпучего материала произведен расчет оптимального диаметра клапана. Клапан выполнен в виде автономного узла, допускающего быструю его замену при ремонте.

На основании анализа существующих конструкций и изученных патентных материалов, разработана конструкция загрузочного клапана, которая дала возможность уменьшить его износ более чем в 5 раз, повысить ремонтпригодность и долговечность.

**Ключевые слова:** пневмотранспорт; питатель; клапан; износ; модернизация.

**Ковалевський С. В., Голоперов І. В., Петруняк В. М.** «Модернізація завантажувального клапана малогабаритного камерного насоса».

При дослідженні експериментального зразка камерного живильника у виробничих умовах СлавТЕС установлені елементи конструкції, що піддаються інтенсивному абразивному зношуванню вугільним пилом. Необхідно було визначити оптимальний діаметр завантажувального отвору клапана.

Був розроблений швидкодіючий завантажувальний клапан із часом спрацювання 0,5 секунди. Для збільшення довговічності клапана був використаний ефект концентрично розташованих камер на поверхні сідла й тарілки. Пил, що перебуває в камерах, підсилює ефект ущільнення, попереджаючи зношування контактуючих поверхонь.

**Технологія машинобудування**

---

На підставі теорії «напруженого стану» сипучого матеріалу виконані розрахунки оптимального діаметра клапана. Клапан виконаний у вигляді автономного вузла, що допускає швидку його заміну при ремонті.

На підставі аналізу існуючих конструкцій і вивчених патентних матеріалів, розроблена конструкція завантажувального клапана, яка дала можливість зменшити його зношування більш ніж в 5 разів, підвищити ремонтпридатність і довговічність.

**Ключові слова:** пневмотранспорт; живильник; клапан; зношування; модернізація.

**Kovalevskiy S., Holoporov I., Petruniak V.** “Upgrading the boot valve small chamber pump”.

In the study of the experimental sample chamber feeder in a production environment SlavTES installed structural elements subjected to intense abrasion coal dust. It was necessary to determine the optimal diameter of the feed opening of the valve.

Was developed by a high-speed charging valve with a response time of 0.5 seconds. To increase the durability of the valve was used effect concentrically arranged cells on the surface of the saddle and plates. Dust in the chamber, enhances the effect of the seal, preventing wear of the contacting surfaces.

Based on the theory of “stress state” bulk material calculated the optimal diameter of the valve. The valve is configured as a standalone unit, it allows for rapid replacement during maintenance.

Based on the analysis of existing structures and studied patent materials of design charging valve, which allowed to reduce the wear and tear of more than 5 times, improve maintainability and durability.

**Keywords:** pneumatic transport; feeder; valve wear; modernization.

## 1. Введение

В современной энергетической промышленности возникает потребность применения в технологических процессах предприятий высокопроизводительных малогабаритных камерных насосов [1–3]. Производительность камерного насоса имеющего камеру ограниченного объема зависит от быстроты загрузки сыпучего материала в камеру из бункера и времени срабатывания функциональных узлов: клапана загрузки, клапана управления, эжектора, клапана принудительной вентиляции. Загрузка камеры насоса из бункера обычно зависит от величины открытия шибер, при котором имеет место гидравлическое или нормальное истечение сыпучего материала. Разница между ними состоит в том, что при гидравлическом истечении движения сыпучего тела происходит в полном объеме ограниченном стенками бункера, а при нормальном истечении в объеме подвижного конуса, образованного неподвижными частицами сыпучего тела [2, 4]. Сравнения трех видов возможного истечения сыпучего тела (свободного, нормального, гидравлического), показывают, что они должны подчиняться единым закономерностям [1,2]. Поэтому время, в течение которого осуществляется заполнение камеры насоса, является одним из основных факторов определяющих его производительность. Продолжительные промышленные испытания камерного насоса в комплексе с технологическим оборудованием показали, что отказы, возникающие в подвижных сопряжениях клапана в процессе его работы, в основном связаны с абразивным износом конструктивных элементов клапана:

седла, тарелки. Поэтому повышение срока службы детали этих сопряжений и увеличение быстродействия срабатывания загрузочного клапана, оказывает существенное влияние на повышение производительности малогабаритного камерного насоса [4, 5].

## **2. Проблема и связь с научными и практическими задачами**

Исследованиями установлено, что высота столба сыпучего материала в бункере не оказывает заметного влияния на скорость его истечения, а основным фактором, влияющим на скорость истечения сыпучего тела, является размеры загрузочного отверстия, то есть активный диаметр клапана, от которого зависит время заполнения камеры – время загрузки. Истечение сыпучего материала во всех трех случаях происходит без значительного искажения слоев, перпендикулярных скорости истечения. Поэтому основным фактором, определяющим скорость истечения при загрузке камерного насоса, является размер отверстия клапана загрузки, и как отмечают исследователи, также влияние других факторов, характеризующих физико-механические свойства сыпучий материал: размер частиц, угол трения (внутренний и внешний), порозность, а также форма загрузочного отверстия [4, 6].

## **3. Анализ последних исследований и публикаций**

На скорость загрузки малогабаритного камерного питателя существенно оказывает влияние конструкция загрузочного клапана и системы пневматического управления клапаном [5, 7]. Как показывают исследования, загрузочные устройства в промышленных камерных насосах имеют механический привод управления, который имеет продолжительное время срабатывания (более 3 секунд). Поэтому он не может быть использован для управления загрузочном клапаном в малогабаритных камерных питателях. Быстродействующие загрузочные клапаны с пневматическим приводом обеспечивают минимальное время открытия (0,5 секунды), однако подвергаются значительному абразивному износу транспортируемым материалом уплотнений и сопрягаемых деталей [5, 7, 8]. Однако, не смотря на недостатки, быстродействующие клапаны с пневматическим приводом являются перспективными к применению в малогабаритных камерных питателях. Основной задачей повышения износостойкости быстродействующего клапана для малогабаритного камерного питателя является конструктивные изменения сопряжения «седло-тарелка» и оптимального определения диаметра загрузочного отверстия.

Выполненные многочисленные исследования вопросов динамики истечения сыпучих тел не привели к единой теории, которая позволяет обосновать на практике закономерности процессов истечения, так как силы, действующие на дно и стенки сосудов не призматической формы, как при покое, так и при движении сыпучего материала остаются недостаточно изученными [6, 9, 10]. Следовательно, отсутствуют научно обоснованные методы применительно к различным свойствам сыпучих материалов, которые позволяют установить необходимую оптимальную величину загрузочного отверстия клапана для малогабаритного камерного питателя [4, 5]. В исследовательской практике и известных методиках расчета величины загрузочных отверстий существует большое количество эмпирических формул и

## **Технологія машинобудування**

---

зависимостей, характеризующих истечение материалов из отверстий, результаты вычислений по которым не согласуются между собой [4, 5, 11]. Наиболее достоверной является теория расчета диаметра загрузочного отверстия с использованием критических давлений сыпучего материала в близи стенки клапана, но и из-за сложности её применение затруднительно [6, 7].

### **4. Цель**

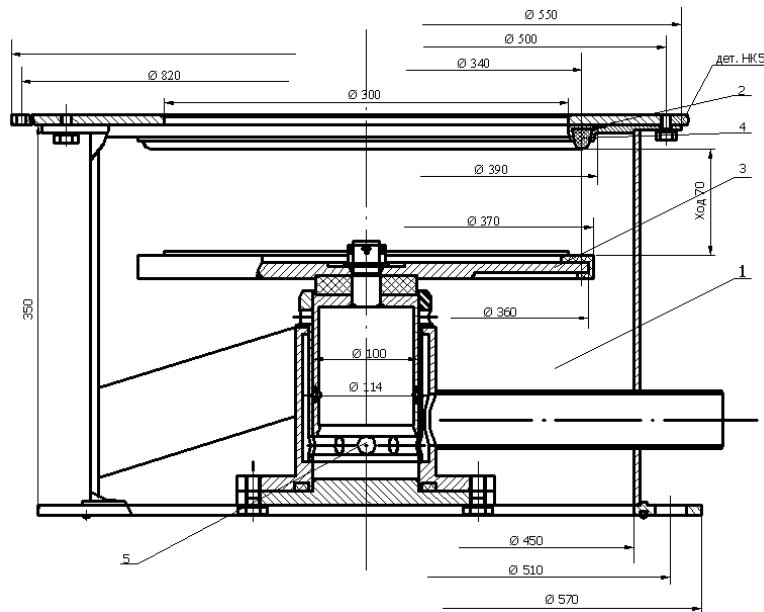
Целью данной работы, является совершенствование конструкции загрузочного клапана малогабаритного камерного питателя путем повышения быстродействия срабатывания функциональных узлов, а также усиления эффекта уплотнения сопряжений с использованием сыпучего материала для повышения надежности работы.

### **5. Модернизация загрузочного клапана малогабаритного камерного питателя**

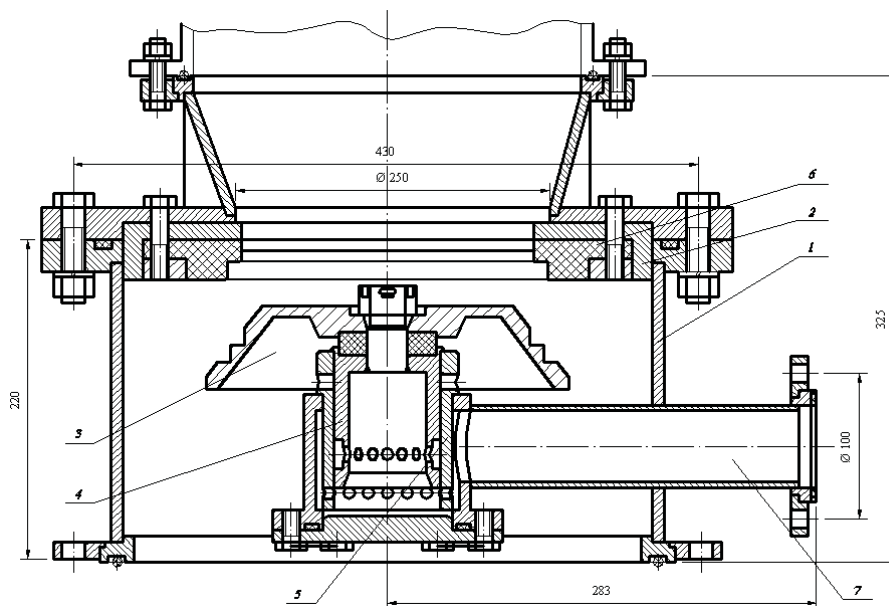
Исследование малогабаритного камерного питателя на СлавТЭС в производственных условиях показали, что бесперебойная работа камерного питателя, повышение его производительности и надежности могут быть достигнуты совершенствованием конструктивных элементов. Основной задачей повышения производительности камерного питателя является увеличение быстродействия функциональных элементов, осуществляемое с помощью регулировки количества воздуха, подаваемого в камеру подъема тарелки клапана и регулируемое с помощью жиклеров (рис. 1) и эффективной подачи сжатого воздуха в камеру питателя в зазоры между не подвижной втулкой и подвижным поршнем. Повышения уплотняющего эффекта и долговечности конструктивных элементов клапана достигается при помощи усиления уплотнения между неподвижным седлом и подвижной тарелкой клапана за счет нахождения в карманах деталей сопряжения транспортируемого материала – угольной пыли, оставшейся при закрытии клапана. Кроме этого, повышение износостойкости сопряжения между деталями тарелки «клапана - седло» осуществляется также с помощью стойких к абразивному износу материалов. Однако, как показали испытания, наибольший эффект уплотнения между подвижными элементами клапана достигается на счет увеличения количества кольцевых камер, расположенных на подвижной тарелке и поверхности седла, которые в момент замыкания между своими концентричными поверхностями содержит в качестве повышающего эффекта уплотнения транспортируемый материал. Приведенные конструкции загрузочного клапана малогабаритного камерного питателя и этапы его модернизации (рис. 1, 2, 3).

Этапы совершенствование конструкции загрузочного клапана:

- для увеличения долговечности и надежности элементов тарелки и седла изменена форма контактирующих поверхностей;
- для усиления эффекта уплотнения седла и тарелки в конструкцию введены концентрично сопрягаемые фигурные поверхности, в которых при закрывании клапана остается транспортируемый сыпучий материал, усиливающий эффект уплотнения контактирующих поверхностей;
- для регулирования скорости подъема тарелки клапана осуществлен подвод сжатого воздуха с помощью жиклеров, позволяющий изменять время срабатывания клапана.



**Рис. 1** – Загрузочный клапан малогабаритного камерного питателя (до модернизации):  
1 – корпус; 2 – седло; 3 – тарелка; 4 – уплотнение; 5 – жиклеры



**Рис. 2** – Конструкция модернизированного загрузочного клапана:  
1 – корпус; 2 – седло; 3 – тарелка; 4 – подвижный стакан; 5 – жиклеры;  
6 – упругий элемент; 7 – воздуховод

Для определения оптимального диаметра загрузочного клапана существует целый ряд теорий, основанных на экспериментальных исследованиях текучести сыпучего материала в зависимости от физико-механических свойств, но которые не учитывают напряженное состояние материала в локальных областях массива [6]. Наиболее приемлемой является теория расчета диаметра загрузочного клапана, основанная на равенстве напряженности  $\sigma_l$  и  $\sigma_c$ , определяющие критическое состояние сыпучей среды в выпускном канале, с соблюдением условия устойчивого истечения при  $\sigma_l > \sigma_c$ , так как при  $\sigma_l < \sigma_c$  – истечение отсутствует. На диаметр величины загрузочного отверстия влияет величина напряженного

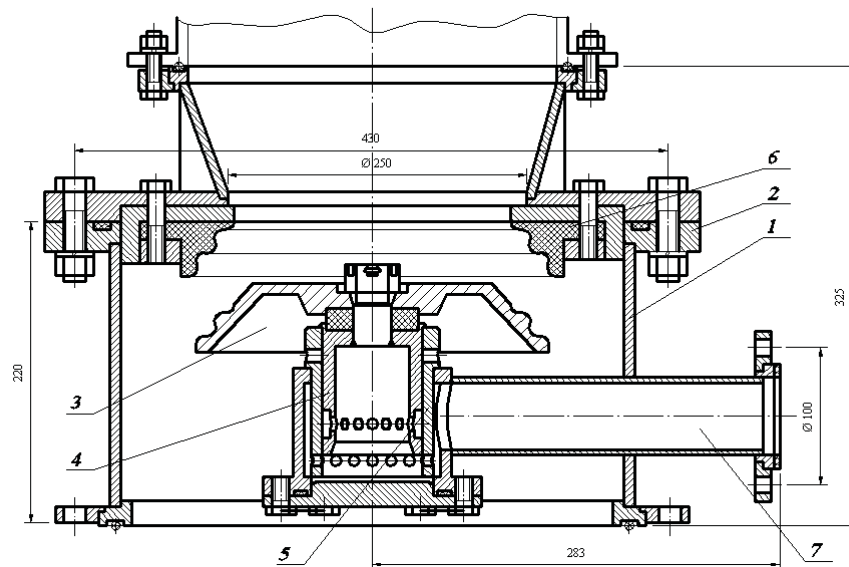


## Технологія машинобудування

состояния сыпучего материала у кромок отверстия и учитывает зависимость  $f$  – коэффициент трения материала о стенку, коэффициент внутреннего трения  $\varphi'$  и  $\sigma_c$  – напряженное состояние свободного истечения [6, 7, 10].

$$\sigma_c = dc\sigma_1,$$

где  $d$  – диаметр загрузочного отверстия;  $c = 0,7$  – коэффициент для угольной пыли.



**Рис. 3** – Загрузочный клапан с фигурными уплотняющими камерами  
1 – корпус; 2 – седло; 3 – тарелка; 4 – подвижный стакан; 5 – жиклеры;  
6 – упругий элемент; 7 – воздуховод

$$\bar{\sigma}_1 = \frac{\rho g B}{K},$$

где  $B$  – площадь поперечного разреза загрузочного отверстия;  $K$  – функция конструирования, значение которой представляет собой коэффициент запаса для ширины выпускного отверстия материала при различных режимах движения сыпучего материала  $K = k(\Phi')$  для глубоких бункеров;  $\rho = 750-800 \text{ кг/м}^3$  – для угольной пыли;  $k$  – опытный коэффициент, определяемый экспериментально, для угольной пыли  $k = 0,11$ .

Расчетный диаметр загрузочного клапана для малогабаритного камерного насоса, транспортирующего угольную пыль, составляет  $d = 250$  мм. В данном случае в расчетах не учитывалось сопротивление фигурной тарелки клапана, которая, несомненно, представляет сопротивление в процессе загрузки пылью камеры питателя, по причине высокой ее сыпучести при температуре 100 - 120 °С.

### Выводы

Конструктивные решения и последующая модернизация клапана загрузки камерного питателя обеспечивает повышение производительности, увеличение износостойкости деталей сопряжения и позволяет выполнить в дальнейшем конструкцию клапана в виде автономного узла, что облегчает выполнение ремонтов.

**Список использованных источников:**

1. Волошин А. И. Механика транспортирования сыпучих материалов / А. И. Волошин, Б. В. Пономарев. – Киев: Наукова думка, 2001. – 521 с.
2. Успенский Ф. А. Пневматический транспорт / Ф. А. Успенский. – М.: Машиностроение, 1987. – 367 с.
3. Урбан Я. Пневматический транспорт / Я. Урбан. – М.: Высшая школа, 1980. – 243 с.
4. Чальцев М. Н. Исследования и разработка малогабаритных камерных питателей / М. Н. Чальцев // Проблемы создания новых машин и технологий: научные труды / Кременчугский гос. политехн. ин-т. – Кременчуг, 2000. – Вып. 1(8). – С. 327–329.
5. Чальцев М. Н. Анализ распределения давления в цилиндроконической камере питателя / М. Н. Чальцев // Автомобильный транспорт. Сер. «Совершенствование машин для земляных и дорожных работ»: сб. науч. тр. / ХГАДТУ. – Харьков, 2000. – Вып. 5. – С. 37–42.
6. Каталимов А. В. Расчет размеров выпускного клапана с учетом высоты слоя сыпучего материала в аппарате / А. В. Каталимов, Ю. Л. Полунов // Теоретические основы химической технологии. – М., 1991. – Т. 25, № 5. – С. 751–755.
7. Ковалевский С. В. Особенности конструкции и модернизации и модернизация малогабаритного камерного питателя и его узлов для Слав ТЭС / С. В. Ковалевский, И. В. Голоперов, С. В. Ленич // Вісник Східноукраїнського національного ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2011. – №5 (159), ч. 2. – С. 77–83.
8. Пат. 85565 Україна, МПК (2006) В 65 G 53/40. Камерний живильник пневмотранспортної установки / С. В. Ковалевський, В. О. Романуша. – № u 201306165; заявл. 18.05.2013; опубл. 25.11.2013, Бюл. № 22. – 2 с.
9. Ковалевський С. В. Діафрагмовий диференціальний пневмопривод камерного живильника / С. В. Ковалевський, І. В. Голопоров // Гуманізація навчально-виховного процесу: зб. наук. пр. / Слов'ян. держ. пед. ун-т. – Слов'янськ, 2009. – Вип. 46. – С. 66–77.
10. Гячев Л. В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / Л. В. Гячев. – М.: Машиностроение, 1986. – 200 с.
11. Пат. 45804 Україна, МКП В 65 G 53/04. Спосіб пневматичного транспортування дрібно фракційних сипучих матеріалів / М. М. Чальцев, Б. Є. Бугайов. – Заявл. 10.07.2001; Опубл. 01.02.2002, Бюл. № 2.

**References**

1. Voloshin, A & Ponomarev, B 2001, *Mekhanika transportirovaniya sypuchikh materialov*, Naukova dumka, Kyiv.
2. Uspenskiy, F 1987, *Pnevmaticheskiiy transport*, Mashinostroenie, Moskva.
3. Urban, Ya 1980, *Pnevmaticheskiiy transport*, Vysshaya shkola, Moskva.
4. Chaltsev, M 2000, 'Issledovaniya i razrabotka malogabaritnykh kamernykh pitatelye', *Problemy sozdaniya novykh mashin i tekhnologiy. Nauchnye trudy KGPI*, no. 1(8), pp. 327-329.
5. Chaltsev, M 2000, 'Analiz raspredeleniya davleniya v tsilindrokonicheskoy kamere pitatelya', *Avtomobilnyy transport. Seriya «Sovershenstvovanie mashin dlya zemlyanykh i dorozhnykh rabot»: sbornik nauchnykh trudov KhGADTU*, no. 5, pp. 37-42.
6. Katalymov, A & Polunov, Yu 1991, 'Raschet razmerov vypusknogo klapana s uchetom vysoty sloya sypuchego materiala v apparate', *Teoreticheskie osnovy khimicheskoy tekhnologii*, vol. 25, no. 5, pp. 751-755.
7. Kovalevskiy, S, Goloperov, I & Lenich, S 2011, 'Osobennosti konstruktzii i modernizatsii i modernizatsiya malogabaritnogo kamernogo pitatelya i ego uzlov dlya Slav TES', *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia*, no. 5 (159) chastina 2, pp. 77-83.
8. Kovalevskiy, S & Romanusha, V 2013, *Kamernyi zhyvylnyk pnevmotransportnoi ustanovky*, UA Patent 85565.
9. Kovalevskiy, S & Holoporov, I 2009, 'Diafrahmovyi dyferentsialnyi pnevmopryvod kamernoho zhyvylnyka', *Humanizatsiia navchalno-vykhovnoho protsessu. Zbirnyk naukovykh prats*, no. XLVI, pp. 66-77.
10. Gyachev, L 1986, *Dvizhenie sypuchikh materialov v trubakh i bunkerakh*, Mashinostroenie, Moskva.
10. Chaltsev, M & Buhaiov, B 2002, *Sposib pnevmatychnoho transportuvannia dribno fraktsiinykh sypuchykh materialiv*, UA Patent 45804.

Стаття надійшла до редакції 1 грудня 2014 р.