

*В. В. Червов\*, А. В. Червов*

## **Температура кольцевого упругого клапана камеры холостого хода пневмомолота**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Российская Федерация  
\* e-mail: chervov@misd.ru

**Аннотация.** Для работы пневмомолота в номинальном расчётном режиме необходимо определить и обеспечить рабочий диапазон температуры упругого клапана. Физическое моделирование и имитация условий срабатывания упругого клапана с измерением его температуры и давления в камере холостого хода осуществлялась на специально созданном для этого лабораторном стенде. Влияние температурного баланса воздуха на впуске и на выхлопе из работающего полноразмерного пневмомолота изучалось на другом стенде, в котором вёлся непрерывный контроль температуры воздуха под давлением и после выхлопа. Для измерения температуры поверхности резинового кольца производилась остановка и разборка пневмомолота с извлечением ударника.

**Ключевые слова:** пневмомолот, упругий клапан, сжатый воздух, температура, давление, стенд, энергия удара

*V. V. Chervov\*, A. V. Chervov*

## **The temperature of the annular elastic valve of the pneumatic hammer idling chamber**

Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Mining  
them. N. A. Chinakala, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk,  
Russian Federation  
\* e-mail: chervov@misd.ru

**Annotation.** To operate the pneumatic hammer in the nominal design mode, it is necessary to determine and ensure the operating temperature range of the elastic valve. Physical modeling and simulation of the operating conditions of an elastic valve with measurement of its temperature and pressure in the idle chamber was carried out on a specially designed laboratory stand. The effect of the temperature balance of air at the inlet and exhaust from a working full-size pneumatic hammer was studied at another stand, in which continuous monitoring of air temperature under pressure and after exhaust was carried out. To measure the surface temperature of the rubber ring, an air hammer was installed and disassembled with the removal of the striker.

**Keywords:** pneumatic hammer, elastic valve, compressed air, temperature, pressure, stand, impact energy

Выполнение ряда строительных работ, связанных с реализацией технологий бестраншейной прокладки стальных труб и вертикальной забивки стальных опор, производится навесным оборудованием ударного действия – большими

пневмопробойниками или пневмомолотами. Пневмопробойник работает за счёт расширения сжатого воздуха внутри камеры холостого хода, в результате которого температура понижается, что может способствовать обледенению машины [1, 2]. Минимальные зазоры ударника в корпусе при попадании льда способствуют заклиниванию и остановке пневмопробойника. Надёжную работу машины в зимних условиях обеспечивают большие зазоры и отсутствие расширения *воздуха* внутри камеры холостого хода у пневмомолота с упругим воздухо-распределительным клапаном [3, 4].

Но при работе в условиях отрицательных температур у пневмомолота тоже есть недостаток. Это время "прогрева" деформируемого резинового клапана, начальная жёсткость которого при отрицательных окружающих температурах повышенная. Жёсткое резиновое кольцо препятствует выходу пневмомолота на полный рабочий ход ударника, что снижает энергию удара. Попытка ускорить «прогрев» путём повышения давления приводит к разрушению упругого клапана.

При работе в жарком климате жёсткость материала резинового кольцевого клапана снижается – уменьшаются упругие силы, препятствующие растяжению кольца. Это приводит к нарушению функции выхлопа и ритма работы машины. Для нормальной работы машины необходимо установить рабочий диапазон температуры упругого клапана.

#### ***Стенд для определения влияния температуры материала упругого клапана на давление срабатывания (начала выхлопа).***

Температура на поверхности кольцевого упругого клапана при работе пневмомолота не может быть измерена без разборки машины. Установить влияние температуры *клапана* на давление начала выхлопа в работающем пневмомолоте не представляется возможным. Для физического моделирования срабатывания упругого клапана с регистрацией его температуры и давления в камере холостого хода был разработан и изготовлен стенд (рис. 1) [5, 6].

Движение внутренней поверхности кольцевого клапана относительно поршня в момент его срабатывания измеряется датчиком перемещения и регистрирующей аппаратурой (шлейфовым осциллографом). Температура материала клапана контролируется при помощи термопары и термометра. Давление воздуха между поршнем и наковальней измеряется датчиком давления и регистрирующей аппаратурой через усилитель *Ус* и магазин сопротивлений *М*.

Для имитации холостого хода ударника с расположенным на нём кольцевым резиновым клапаном последовательно выполняют следующие операции на стенде (рис. 1):

1. Упругий резиновый клапан предварительно нагревают в сушильном шкафу до температуры  $100^{\circ}\text{C}$  или охлаждают до  $-20^{\circ}\text{C}$  и устанавливают на поршень.

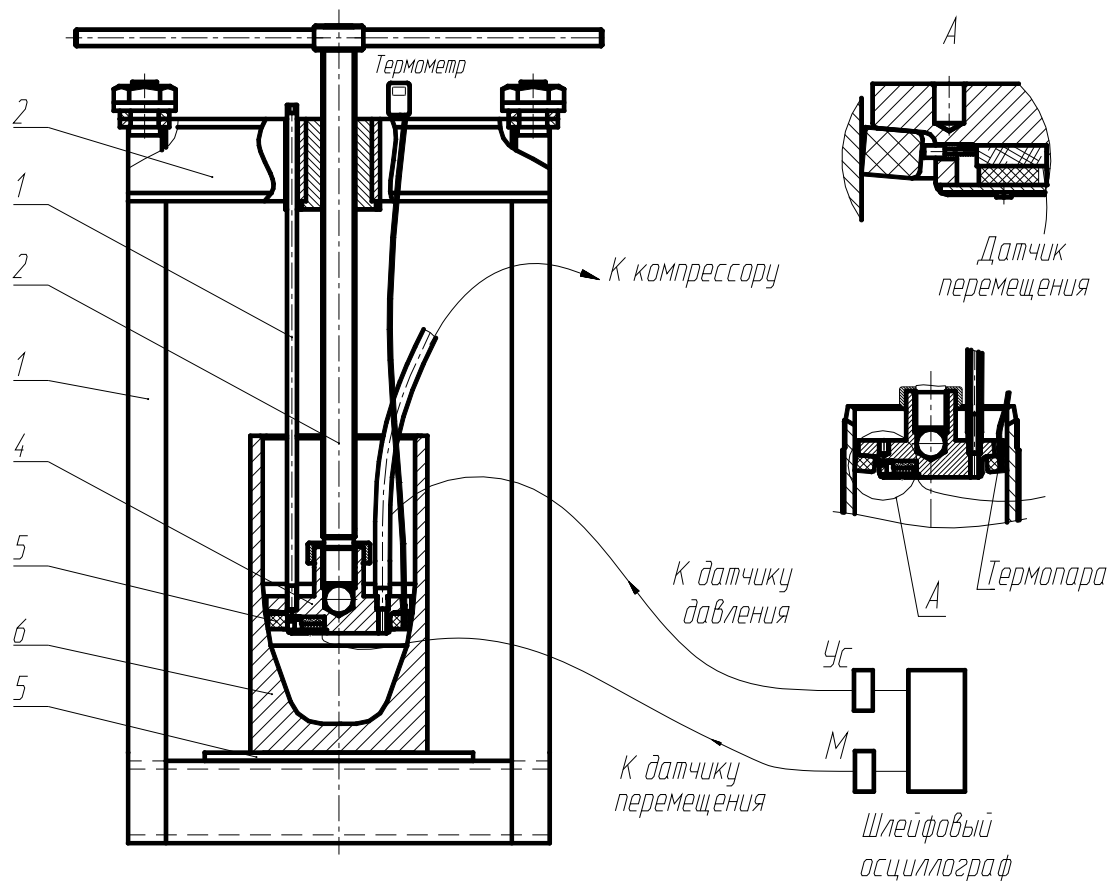


Рис. 1. Стенд для исследования упругого пневмораспределительного клапана

2. При помощи ходового винта поршень с упругим клапаном опускают в нижнее положение до касания периферийной поверхности клапана с внутренней конической поверхностью наковальни.

3. От компрессора через редуктор подают под поршень сжатый воздух до установленного по манометру давления в пределах от 0.1 до 0.3 МПа.

4. Выворачиванием ходового винта поршень с упругим клапаном поднимают в верхнее положение до выхода периферийной поверхности клапана на внутреннюю цилиндрическую поверхность наковальни.

5. При помощи редуктора постепенно уменьшают давление под поршнем до момента срабатывания и выхлопа воздуха из-под поршня.

6. Записывают температуру срабатывания клапана, которая постепенно уменьшается после нагрева или растёт после охлаждения.

7. Повторно при помощи ходового винта поршень с упругим клапаном опускают в нижнее положение до касания периферийной поверхности клапана с внутренней конической поверхностью наковальни.

8. Циклы измерений давлений и температур срабатывания с опусканием и подъёмом поршня повторяют до полного остывания после нагрева или естественного подогрева после охлаждения клапана.

По результатам экспериментов построены графики зависимости давления срабатывания от температуры для материала кольца из резиновой смеси В-14 и 3826 (рис. 2).

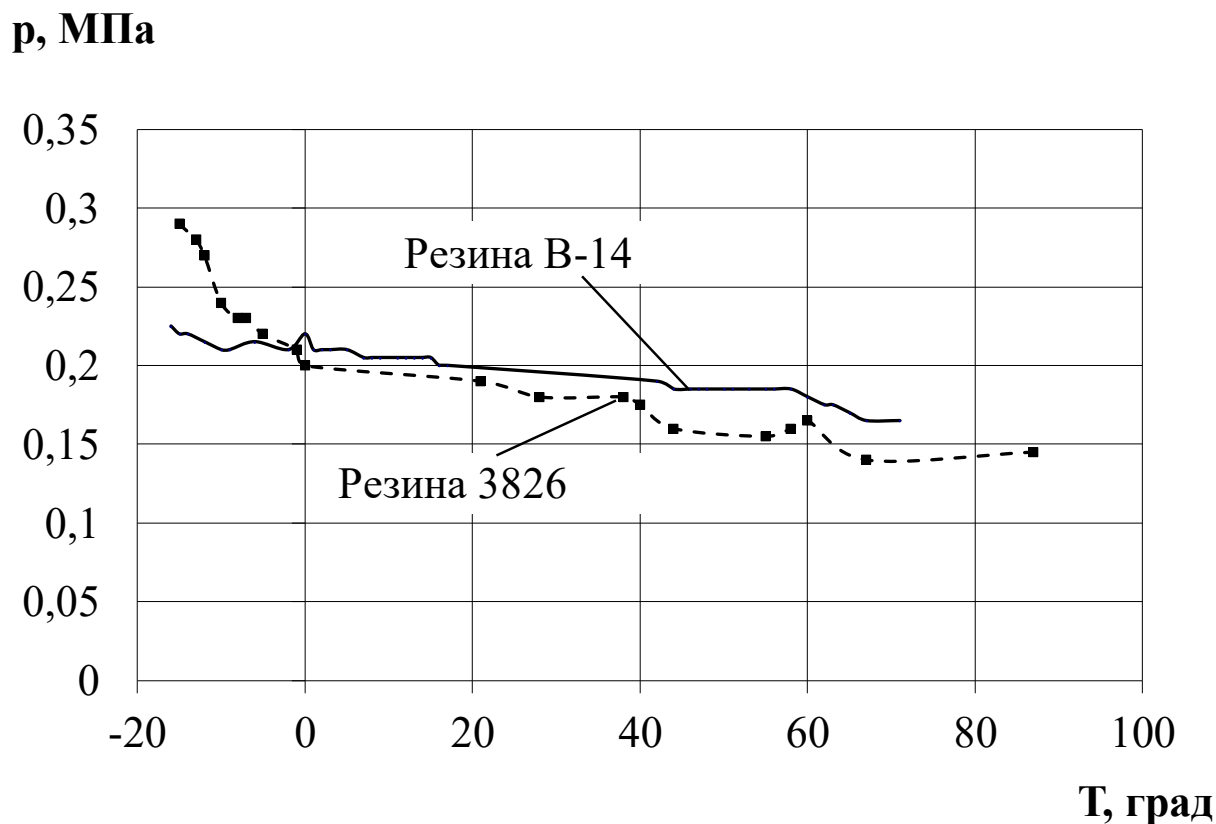


Рис. 2. Давление срабатывания упругого клапана при изменении температуры резиновой смеси 3826 и В-14.

Для упругого клапана, изготовленного из твёрдой резиновой смеси В-14, в диапазоне изменения температуры от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $70^{\circ}\text{C}$  давление срабатывания уменьшается примерно на 0,1 МПа по линейному закону

$$p = -0.00056 \cdot T + 0.21116. \quad (1)$$

При использовании резиновой смеси 3826 средней твёрдости в этом же диапазоне температуры давление срабатывания изменяется уже на 0,3 МПа и по нелинейному закону.

При положительных температурах материала резинового кольца жёсткость твёрдой резины В-14 выше, как и давление срабатывания. При отрицательной температуре жёсткость резины средней твёрдости превышает жёсткость твёрдой резины В-14. Это можно объяснить слабой морозостойкостью резины 3826. Кроме этого, детали из 3826 характеризуются присутствием гистерезиса, т.е. остаточной деформацией. Это влияет на необходимость наличия плавных переходов с одной части внутренней поверхности наковальни (с конической) на дру-

гую (на цилиндрическую) для получения дополнительного времени на восстановление периферийной поверхности упругого кольцевого клапана [7].

### **Стенд для определения температурного баланса воздуха на впуске и на выхлопе из работающего пневмомолота**

Основой стенда является коллекторное устройство в виде прижима-насадки и полости для сбора выхлопного воздуха, которые между собой соединены резиноканевыми рукавами большого диаметра 63 мм (рис. 3) [8].

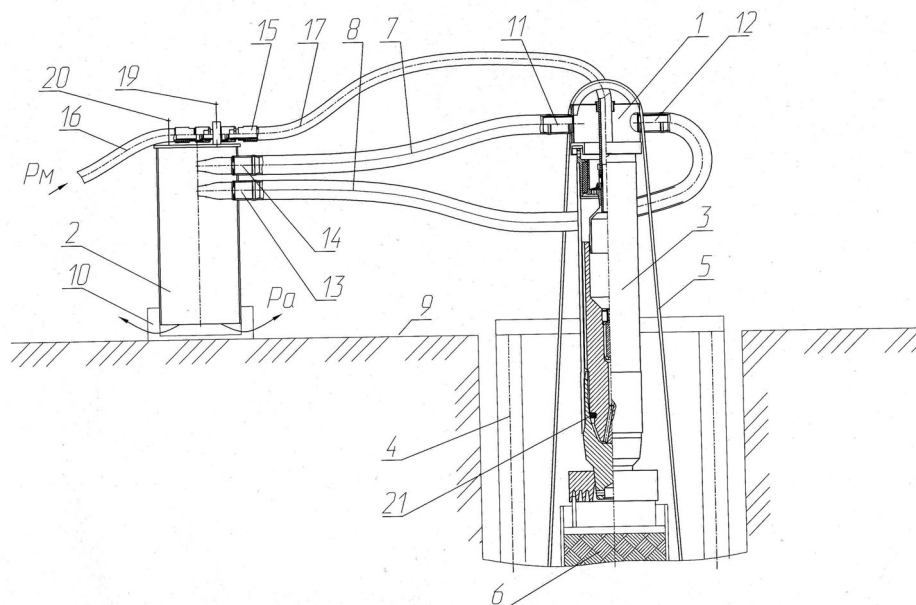


Рис. 3. Экспериментальный стенд для измерения температуры сжатого воздуха: 1 – прижим-насадка; 2 – полость для сбора выхлопа; 3 – пневмомолот с массой ударной части 80 кг; 4 – корпус стенда; 5 – устройство стяжное; 6 – энергопоглотитель; 7 и 8 – рукава; 9 – основание; 10 – поддон для масла; 11, 12, 13 и 14 – ниппель; 15 – штуцер впускной; 16 и 17 – магистральные рукава; 19 и 20 – термопары; 21 – кольцевой клапан с наружным диаметром 172 мм.

Температура потока воздуха определялась термопарами 19 и 20, которые имеют непрерывный контакт с воздухом:

- термопара 19 (№1) закреплена в отверстии впускного штуцера; конец её находится в потоке сжатого воздуха из магистрали в работающую машину;

- термопара 20 (№2) закреплена в отверстии, выполненном в стенке полости для сбора воздуха; её конец находится в потоке выхлопываемого воздуха [9].

Стабилизация показаний температуры происходит после 7–10 мин непрерывной работы пневмомолота на стенде, причём высокая частота ударов способствует более быстрой стабилизации. Разница между температурой воздуха, входящего в пневмомолот, и воздуха после выхлопа из пневмомолота составляет  $17^{\circ}\text{C}$  при малой частоте ударов в сторону её уменьшения. При наибольшей частоте ударов разница между температурами входящего в пневмомолот сжатого воздуха (0.6 МПа) и выходящего из него воздуха (0.1 МПа) уменьшается до  $10^{\circ}\text{C}$ . Другими словами, увеличение расхода воздуха (частоты ударов) способствует уменьшению разницы температур впуска и выхлопа.

## *Измерение температуры поверхности резинового кольца*

Температура на поверхности кольцевого клапана 21 и на поверхности ударника определялась при помощи пирометра Dual Laser InfraRed Thermometer DT-8861 после частичной разборки пневмомолота с извлечением ударника из его корпуса тельфером. Если резиновое кольцо предварительно нагреть до температуры 60<sup>0</sup>С и установить его в канавку на ударнике, то оно остынет до температуры 13<sup>0</sup>С в течение получаса. При этом средняя скорость остывания примерно равна 1.2 градуса в мин.

Температура резинового кольца растёт при деформации материала кольца работающего пневмомолота. Дополнительно на температуру влияет охлаждение потоком сжатого воздуха, который направляется на выхлоп в атмосферу. Наибольшая температура 25–26<sup>0</sup>С на поверхности резинового кольца наблюдается при работе пневмомолота на высокой частоте ударов (9-11 Гц) и при повышенном давлении в магистрали (1.1 МПа).

При работе пневмомолота на давлении (0.6 МПа) происходит более интенсивное охлаждение воздухом резинового кольца. Несмотря на более высокую частоту ударов (6 Гц вместо 4 Гц) температура на поверхности резинового кольца ниже (15.2<sup>0</sup>С вместо 19<sup>0</sup>С) за счёт сильной охлаждающей струи воздуха. Этот же эффект наблюдается при измерении температуры резинового кольца при проходе воздуха через неработающий пневмомолот –15.5 и 16<sup>0</sup>С.

### *Заключение*

С ростом частоты ударов степень охлаждения воздуха уменьшается, т.к. разница между температурой воздуха, входящего в пневмомолот и выходящего из него, уменьшается. Это следует учитывать при разработке новых пневмоударных машин [10 – 12]. Поэтому при эксплуатации пневмомолота в условиях отрицательных температур предпочтительно работать с более высокой частотой ударов. В жарком климате рекомендуется снижать частоту ударов пневмомолота.

Статья подготовлена при финансовом обеспечении выполнения проекта госзадания № 0256-2021-0003.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Гурков К.С., Климашко В.В., Костылев А.Д. и др. Пневмопробойники. – Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 1990. – 217с.
2. Гурков К. С., Костылев А. Д., Ткаченко Г. А. Повышение эффективности пневмопробойников // Научные основы механизации горных работ: сб. науч. тр. / ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1986. – С. 81-92.
3. Смоляницкий Б.Н., Червов В. В., Скачков К. Б. Новые пневмоударные машины Института горного дела СО РАН //Механизация строительства. – 2001 – № 12, С.7–12.
4. Червов В. В., Червов А. В. Определение условий работоспособности кольцевого упругого клапана пневмомолота с переменной структурой ударной мощности // ФТПРПИ. – 2015 – № 6. С. 72-79.
5. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: том 1 – 5-е изд. – М.: Машиностроение, 1979.
6. Гастев В. А. Краткий курс сопротивления материалов – М.: Наука, 1977.

7. Кондаков Л. А. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник. – М.: Машиностроение, 1986.
8. Червов В. В., Червов А. В. Температура сжатого воздуха и выхлопа в пневмомолоте с упругим кольцевым клапаном // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* – 2014. № 1, Т. 2.
9. Ткач Х. Б. О работе пневматического поршневого привода с выхлопом в среду с давлением большим атмосферного // *ФТПРПИ.* – 1996 – № 6. С. 63-71.
10. Лысенко Л. Л. Выбор параметров пневмоударного механизма с клапанным воздухо-распределением // *ФТПРПИ.* – 1995 – № 2. С. 56-62.
11. Смоляницкий Б. Н. К методике расчёта пневматической машины ударного действия с одной управляемой камерой // *Горные машины: сб. науч. тр. / ИГД СО АН СССР.* – Новосибирск, 1980. – С. 37-44.
12. Русин Е. П., Юрьев Л. А. К оценке параметров рабочего цикла пневмоударных машин // *ФТПРПИ.* – 1996 – № 6. С. 83-87.

© В. В. Червов, А. В. Червов, 2024