

УДК 621.972

## ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ МОЛОТКОВ

А.Н. Глазов

Томский политехнический университет

E-mail: ZVM@tpu.ru

*Освещаются результаты экспериментального исследования влияния температуры и давления сжатого воздуха, усилия нажатия на характеристики работы пневматических молотков. Показано, что при увеличении температуры сжатого воздуха энергетические параметры возрастают тем значительней, чем ниже исходная степень сжатия в задней камере, а расход воздуха уменьшается неодинаково для различных типов молотков. Установлено, что при увеличении усилия нажатия расход воздуха возрастает до определенного предела и наиболее значительно у отбойного молотка с подпружиненным вентилем.*

### Введение

Основными внешними эксплуатационными параметрами, влияющими на характеристики работы пневматических молотков, являются давление и температура сжатого воздуха, величина усилия нажатия оператора на молоток и свойства обрабатываемой среды. Естественно, что изменение энергетических характеристик молотков в зависимости от условий работы является следствием изменения рабочего процесса. Законы этой взаимосвязи обуславливаются конструкцией пневматических молотков различного назначения.

Температура сжатого воздуха в сети имеет различную величину в зависимости от климатических условий, времени года, области применения машин, характеристик работы компрессора с последующим холодильником и удаленности от него приёмников пневматической энергии и др. Кроме того, одним из возможных мероприятий по экономии электроэнергии при выработке и использовании сжатого воздуха является его подогрев перед пневмоприёмниками с использованием для этой цели вторичных энергоресурсов [1]. Поэтому представляет теоретический и практический интерес установление закономерностей изменения энергетических характеристик пневматических молотков и расхода сжатого воздуха от его температуры.

Экспериментально установлено, что, чем выше модуль упругости обрабатываемых материалов, тем больше скорость отскока ударника от инструмента. С увеличением скорости отскока частота ударов повышается и наблюдается некоторая тенденция возрастания ударной мощности. Характер влияния свойств обрабатываемой среды на энергетические характеристики пневматических молотков зависит от их конструктивных особенностей и величины давления сжатого воздуха. Для наибольшей эффективности работы пневматические молотки проектируются для определенных условий эксплуатации.

Влияние усилия нажатия на работу молотков дифференцируется в зависимости от их конструктивных особенностей. Как правило, мощность молотков при меньших усилиях нажатия имеет несколько меньшие значения, чем при больших усилиях. Разница в изменении мощности в зависимо-

сти от усилия нажатия для большинства ручных молотков составляет 2...20 % [2]. Усилие нажатия является одним из основных факторов, влияющих на передачу энергии от ударника к инструменту. Величина минимально необходимого усилия нажатия на молоток определяется в основном количеством движения, передаваемым от молотка к инструменту, частотой ударов и диаметром хвостовика инструмента [2]. Если закономерности влияния усилия нажатия на внутренние процессы и параметры пневматических молотков в значительной мере установлены [2], то в части его влияния на расход воздуха существует определенный пробел.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния температуры сжатого воздуха на параметры работы ручных пневматических молотков и зависимости расхода воздуха от усилия нажатия на рукоятку молотка.

### Объекты и средства исследования

Испытывались пневматические ручные молотки различного конструктивного исполнения и с разными техническими характеристиками: отбойные молотки МО-44, МО-39 и МО-9П с клапанным воздухораспределителем, рубильно-клепальные молотки КЕ-22 с трехступенчатым золотником и типов М-6 и М-5, имеющих две группы раздельно расположенных микрозолотников. Причём, у этих молотков значение энергии удара уменьшается, а удельный расход воздуха увеличивается в порядке их упоминания.

Для измерения и регулирования параметров сжатого воздуха был создан специальный стенд. Стенд последовательно состоит из емкости с редукционным клапаном и манометром, термометра, расходомера переменного перепада давления, нагревателя сжатого воздуха с автотрансформатором РНО-250-5, камеры, в которой установлены манометр и термopара, соединенная с электронным самопишущим потенциометром. Вместо термopары применены и манометрический термометр типа ТС-100.

Расходомер состоит из сужающего устройства с набором нормальных камерных диафрагм и трубчатого жидкостного дифманометра ДТ-150. Применение такого расходомера позволяет более точно

определять средний расход сжатого воздуха и с учетом его температуры в сравнении с часто применяемым поплавковым измерителем типа В-1. Объём соединительных линий, емкостей и нагревателя способствует сглаживанию пульсаций воздушного потока.

Нагреватель сжатого воздуха представляет собой теплоизолированную и герметизированную трубу с фланцами, внутри которой вмонтированы трубчатые электронагреватели.

Испытание пневматических молотков производилось при давлении воздуха 0,5 МПа на стенде ЭРД-3 и вручную при рубке металлов. Для регистрации давления воздуха в камерах молотка применялись тензометрические датчики давления с усилителем и светолучевым осциллографом. Энергетические параметры молотков определялись путем обработки диаграмм давления воздуха рабочих камер молотка.

**Влияние температуры сжатого воздуха на энергетику молотков**

В результате исследований ручных пневматических молотков было установлено, что изменение температуры сжатого воздуха в сети оказывает заметное влияние на их работоспособность. По экспериментальным данным построены графические относительные зависимости энергетических параметров молотков КЕ-22 (рис. 1) и М-5 (рис. 2) от температуры сжатого воздуха перед ними. Здесь за норму приняты параметры молотка при исходной до подогрева температуре сжатого воздуха. Общей закономерностью для молотков является рост энергетических параметров при увеличении температуры сжатого воздуха. Возрастает максимальное, среднее по времени и предвыхлопное давление воздуха в задней от инструмента камере.

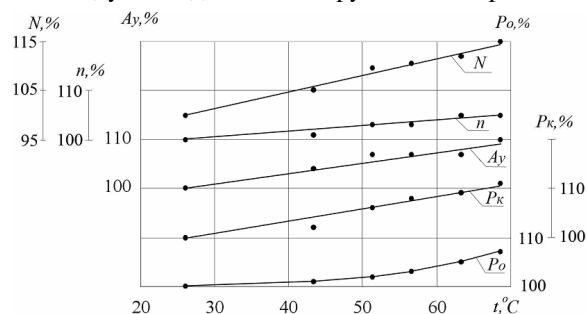


Рис. 1. Зависимость изменения энергетических и силовых параметров молотка КЕ-22 от температуры  $t$  сжатого воздуха:  $A_y$  – энергия удара;  $n$  – частота ударов;  $N$  – ударная мощность;  $P_o$  – максимальное давление воздуха;  $P_k$  – предвыхлопное давление воздуха

В молотках отбойных и КЕ-22 максимальное давление воздуха в задней камере выше сетевого и объём вредного пространства относительно невелик. Молотки серии М отличаются от большинства применяемых аналогов тем, что в задней камере низка степень сжатия, максимальное давление воздуха значительно ниже сетевого и уменьшена интенсивность

нарастания давления благодаря увеличенному объёму мёртвого пространства за счёт введения дополнительной камеры и истечению воздуха по командному каналу в атмосферу в период его сжатия. Поэтому при подогреве энергоносителя энергия удара (рис. 2) и ход ударника молотков серии М возрастают более значительно, чем у молотка КЕ-22. Отбойные молотки в сравнении с клепальным КЕ-22 имеют большие значения степени сжатия воздуха в задней камере, поэтому при подогреве сжатого воздуха видимо следует ожидать менее заметный рост энергии удара и больший – частоты ударов.

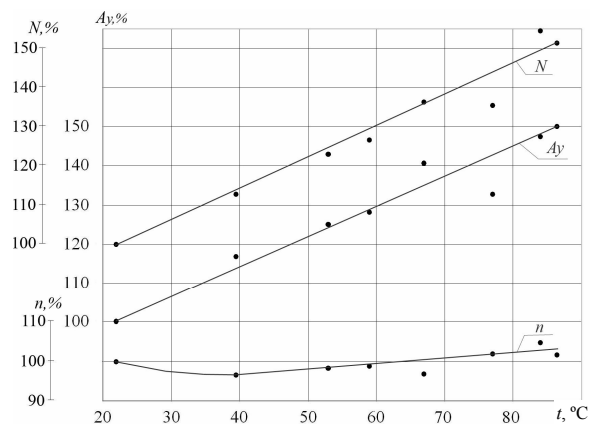


Рис. 2. Зависимость изменения энергетических параметров молотка М-5 от температуры сжатого воздуха  $t$

Практическое использование тепла сжатого воздуха при температуре, близкой к температуре окружающей среды, заметного эффекта не дает, т. е. пневмоударные механизмы совершают работу в основном за счет потенциальной энергии сжатого воздуха. При подогреве газа работоспособность его единицы массы возрастает. Подведенная теплота должна идти на изменение внутренней энергии воздуха, совершение внешней механической работы и на теплообмен. Но фактически, учитывая относительно небольшое повышение температуры сжатого воздуха, увеличение теплотеря через стенку ствола и, главное, существенное уменьшение весового расхода энергоносителя, работоспособность массы воздуха в молотке за счет его тепла, по нашему мнению, заметно не возрастает, хотя средняя температура газа в рабочих камерах становится выше.

Поверхность ударника покрыта густой маслянистой смолистой плёнкой. При повышении температуры сжатого воздуха вязкость масла и капельных жидкостей снижается, поэтому уменьшается коэффициент трения. Величина потерь энергии рабочего тела на преодоление сил трения в поршневой паре становится меньше, а скорость движения ударника возрастает.

При подогреве газа его количество на утечки в поршневой паре и в командный канал молотка М-5 уменьшается, поэтому со снижением его потерь при одинаковых значениях степени сжатия текущее значение давления воздуха становится больше. Кроме того, как показывают наши эксперименты,

сжатие воздуха в задней от инструмента камере начинается при более высоких значениях давления и температуры воздуха, что также способствует увеличению величин текущего и максимального давления газа. В целом увеличивается степень наполнения рабочих камер, что также способствует повышению энергетических параметров пневмоударных механизмов и тем значительнее, чем ниже исходная до подогрева степень наполнения задней камеры, как у молотка М-5.

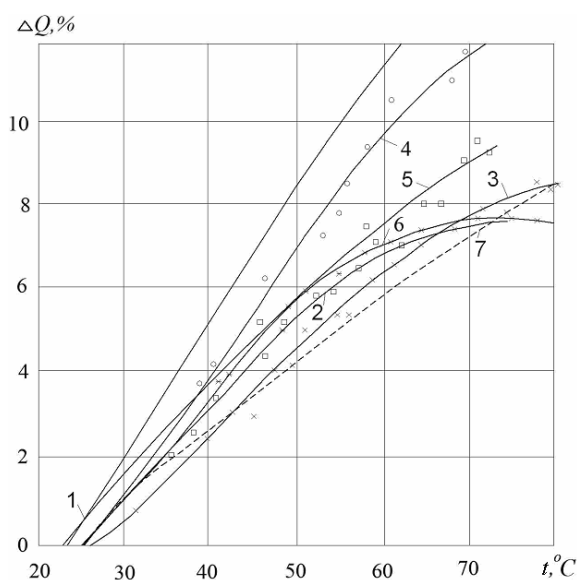
**Параметры и расход сжатого воздуха**

В процессе исследований регистрировался перепад давления воздуха на сужающем устройстве по дифманометру и давление с температурой воздуха до его подогрева. По этим данным рассчитывался расход воздуха. На рис. 3 представлены результаты экспериментального изучения влияния подогрева сжатого воздуха на уменьшение его расхода пневматическими молотками нескольких типоразмеров с разными воздухораспределениями, а для сравнения приведены теоретические зависимости экономии сжатого воздуха от его температуры при объемном расходе в цилиндр и расходе истечением [1]. При нагреве воздуха от температуры  $t_1$  до  $t_2$  расход в цилиндр теоретически уменьшается в отношении [1]:

$$\Delta Q = \left( 1 - \frac{t_1 + 273}{t_2 + 273} \right) 100 \%,$$

а расход при истечении (утечках) в отношении

$$\Delta Q = \left( 1 - \sqrt{\frac{t_1 + 273}{t_2 + 273}} \right) 100 \%.$$

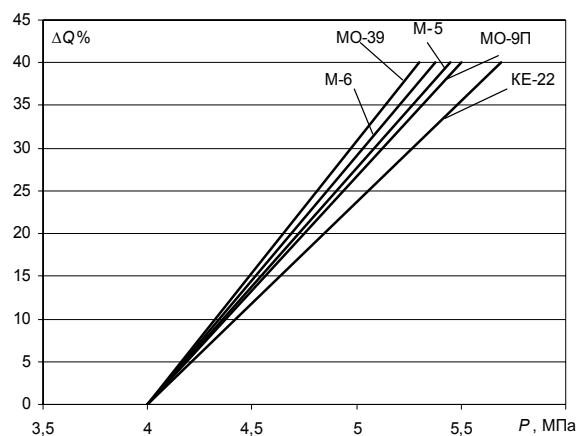


**Рис. 3.** Зависимость экономии сжатого воздуха от его температуры: 1, 7) при теоретическом расходе воздуха, соответственно, в цилиндр и на утечки; 2–6) молоток, соответственно, М-5, КЕ-22, МО-44, МО-9П, М-6

Из экспериментальных зависимостей видно, что характер изменения расхода воздуха пневмоударных механизмов отличается от теоретических данных. Это объясняется следующим. Теоретические зависимости получены в предположении, что полезный объем камеры цилиндра постоянен, а истечение происходит постоянно через отверстие одной и той же площади. В пневмоударных механизмах воздух расходуется не только на заполнение цилиндра, но и на утечки. Кроме того, при повышении температуры сжатого воздуха изменяются параметры термодинамического цикла и увеличиваются в той или иной степени энергетические характеристики молотков. Естественно, при понижении температуры воздуха в сети будут уменьшаться энергетические параметры и возрастать расход газа.

Степень экономии воздуха неодинакова для разных типоразмеров молотков. Сравнение отбойных молотков показывает, что у МО-44, обладающего более значительным полезным объемом и меньшей частотой ударов, чем МО-9П, наблюдается более высокая степень экономии воздуха. Это же относится и к молоткам М-6 и М-5. По сравнению с отбойными, молотки серии М имеют значительно меньший полезный объем, большую частоту ударов и почти в два раза выше удельный расход воздуха, а их работа характеризуется длительными и относительно большими утечками воздуха. Меньший процент экономии и перегиб кривых уменьшения расхода воздуха молотков серии М от отбойных объясняется тем, что значительное увеличение хода ударника и энергетических параметров сопровождается возрастанием объемного расхода воздуха. Длительность истечения сжатого воздуха из сети через переднюю камеру в атмосферу в период обратного хода ударника заметно увеличивается.

Известно, что повышение давления воздуха в сети ведет к возрастанию энергетических характеристик машин. Эксперимент показывает, что расход сжатого воздуха находится в прямой зависимости от его давления в сети для всех типов исследованных молотков (рис. 4).



**Рис. 4.** Зависимость изменения расхода воздуха от его давления

### Влияние усилия нажатия

По результатам исследования построены экспериментальные зависимости изменения расхода сжатого воздуха молотков от усилия нажатия, рис. 5. За норму принят расход при усиллии нажатия 170 Н. Общей закономерностью для всех пневмоударных механизмов является повышение расхода воздуха до определенного предела при увеличении усилия нажатия.

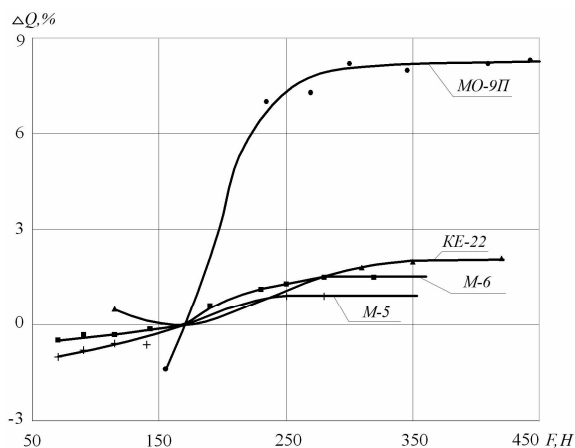


Рис. 5. Изменение расхода воздуха в зависимости от усилия нажатия  $F$

Изменение расхода воздуха объясняется тем, что усилие нажатия определяет поведение системы «инструмент – ударник – корпус», т. е. и энергетические параметры пневмоударных механизмов. Ствол молотков совершает сложное колебательное движение, состоящее из вибрации и отхода цилиндра от ограничительного буртика инструмента. Наибольший отход ствола и максимальная амплитуда вибрации наблюдаются при малых усилиях нажатия. Общей закономерностью для исследованных молотков является снижение величины хода ударника, энергии удара и увеличение частоты ударов с повышением усилия нажатия до определенного предела. При определенном для каждого типа молотка значении усилия нажатия наступает стабилизация энергетических параметров и расхода воздуха. Квасистационарный режим работы молотков серии М наступает раньше, чем у КЕ-22 и МО-9П, т. к. у последних внутренняя возмущающая сила больше. Молотки типа КЕ имеют большой диаметр хвостовика инструмента, что является основной причиной более высокого потребного усилия нажатия для нормальной работы, чем у отбойных молотков. По изменению величины расхо-

да воздуха можно довольно быстро определить, когда наступает стационарный режим работы пневмоударного устройства. Резкое изменение расхода воздуха молотка МО-9П при усиллии нажатия менее 260 Н объясняется относительным перемещением рукоятки, подпружиненного вентиля и корпуса во время работы. При снижении усилия нажатия рукоятка и вентиль отходят от промежуточного звена молотка, и из-за этого сокращается эффективная площадь впускного отверстия.

### Заключение

Экспериментально установлены закономерности изменения энергетических параметров и расхода сжатого воздуха ручных пневматических молотков при изменении параметров воздуха в сети и усилия нажатия.

При увеличении температуры сжатого воздуха возрастают энергетические характеристики, максимальное и предвыхлопное давление воздуха в задней камере. Рост энергии удара и мощности тем значительней, чем ниже степень сжатия и максимальное давление воздуха в задней камере. Среди исследованных типов молотков наибольший и значительный рост энергии и мощности наблюдается у молотков серии М, имеющих относительно большой объём мёртвого пространства и низкую степень сжатия воздуха в задней камере.

При подогреве сжатого воздуха заметно снижается его расход. Степень экономии сжатого воздуха неодинакова для разных типов молотков и тем выше, чем больше полезный объём цилиндра и меньше частота ударов.

При создании и эксплуатации пневмоударных механизмов молотков и бурильных машин следует учитывать влияние температуры сжатого воздуха на его расход и работоспособность машин.

Использование горячего сжатого воздуха или его специальный подогрев характеризуется высокой энергетической эффективностью, особенно для молотков серии М.

Увеличение усилия нажатия на рукоятку молотка сопровождается ростом расхода сжатого воздуха до определенного предела. Этот предел, который соответствует наступлению квазистационарного режима работы, определяется, в основном, величиной возмущающей силы в молотке. У молотков, имеющих в рукоятке вентильный впуск, при изменении усилия нажатия до предельного значения расход воздуха изменяется резко и значительно.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карабин А.И. Сжатый воздух. – М.: Машиностроение, 1964. – 343 с.

2. Ручные пневматические молотки / В.Ф. Горбунов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1967. – 184 с.

Поступила 31.05.2006 г.