

ГОРНОЕ МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.23.05

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ В ПНЕВМОМОЛОТАХ ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Б. Н. Смоляницкий, В. В. Червов

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: bsmol@misd.nsc.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Обсуждается проблема увеличения энергии удара при ограниченном расходе воздуха в пневмомолотах для выполнения специальных работ в подземном строительстве. Приводится решение, основанное на применении схемы воздухораспределения с упругим кольцевым клапаном в камере обратного хода, замыкание которого производится за счет его механического контакта с корпусом пневмомолота, а открытие — под действием упругих сил материала, из которого он изготовлен. Такой клапан позволяет снять противодавление в камере при прямом ходе ударника и допускает регулирование длительности обратного хода, что обеспечивает постоянство энергии удара при изменении расхода воздуха.

Пневмомолот, упругий клапан, расход воздуха, частота ударов, энергия удара

ВВЕДЕНИЕ

Урбанизация современного общества влечет за собой потребность в увеличении объемов подземного строительства. Рост стоимости земли в современных городах привел к уплотнению городской застройки, расширению сети подземных энергетических, информационных, транспортных и иных коммуникаций. Вследствие этого с неизбежностью возникла необходимость преодоления многочисленных естественных (реки, заболоченные пространства) и искусственных (каналы, шоссе, железнодорожные линии, аэродромы и т. д.) преград. Насыщенность подземного пространства различными коммуникациями привела к тому, что все более востребованными становятся технологии сооружения этих объектов без нарушения целостности грунтового массива, т. е. бестраншейным способом, и другие специальные технологии подземного строительства, например усиление грунтовых оснований, крепление откосов котлованов, сооружение подпорных стенок и экранов и т. п. При этом возрастают требования к обеспечению безопасности ведения работ за счет снижения рисков обрушения породного массива, повреждения находящихся рядом объектов.

Функционирование добывающих предприятий горного, нефтяного и газового кластера неразрывно связано с возведением и реконструкцией промышленных и гражданских объектов различного назначения, транспортных магистралей и коммуникаций. Ужесточение экологических требований, приоритетом которых является максимальная сохранность существующего природного ландшафта, также сопряжено с проведением комплекса специальных строительных работ [1].

Для их реализации наиболее широкое распространение получили пневматические машины ударного действия [2, 3]. К числу их немаловажных достоинств можно отнести простую конструкцию, низкую стоимость, высокую надежность, долговечность и простое обслуживание при эксплуатации [4]. Именно они, несмотря на масштабное внедрение в практику гидроударных машин, делают в большинстве случаев безальтернативным применение пневматического привода при реализации перечисленных выше технологий специальных работ в подземном строительстве. Но избавиться пневмоударные машины от основного недостатка — низкого КПД, весьма сложно из-за природы рабочих процессов, обуславливающих преобразование потенциальной энергии сжатого воздуха в кинетическую энергию ударника для генерирования ударных импульсов. Поэтому повышение КПД является основным требованием усиления их позиций.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

При создании пневмоударных машин для выполнения специальных работ в подземном строительстве широко используются беззолотниковые схемы воздухораспределения с одной управляемой камерой и центральной распределительной втулкой. Это объясняется тем, что несмотря на общеизвестный недостаток — высокие затраты энергоносителя на получение единицы ударной мощности, они значительно проще и надежнее других, а центральная втулка позволяет избавиться корпус пневмомолота от каналов и отверстий.

Классической стала схема (рис. 1), по которой выполнены практически все известные отечественные пневмопробойники и пневмомолоты для проходки скважин в грунте и забивания в грунт стальных труб и профильных элементов при выполнении специальных работ в подземном строительстве коммуникаций и объектов инфраструктуры [5].

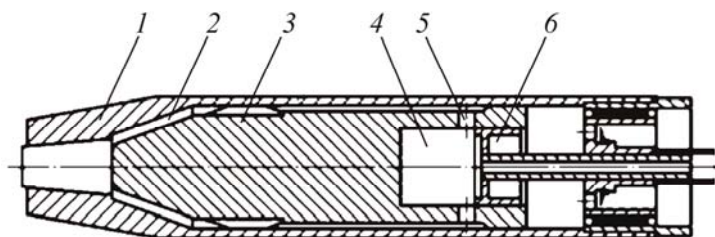


Рис. 1. Схема пневмопробойника: 1 — корпус; 2 — камера обратного хода; 3 — ударник; 4 — камера прямого хода; 5 — воздухопропускное отверстие; 6 — воздухораспределительная втулка

Применительно к ней было сделано множество попыток повышения КПД и увеличения за счет этого энергии удара пневмопробойников и пневмомолотов при ограниченном расходе воздуха, который является важным технико-экономическим показателем, но лимитируется возможностями передвижных компрессоров. Многие решения основаны на использовании результатов, полученных применительно к машинам ударного действия для бурения скважин — погружным пневмоударникам и адаптированным к схеме на рис. 1. Однако были и весьма оригинальные, разработанные именно для пневмопробойников и пневмомолотов.

В пневмопробойнике, как и в любом пневмоударном устройстве с беззолотниковым воздухораспределением, камера обратного хода заполняется сжатым воздухом в переднем положении ударника перед нанесением удара по наковальне (см. рис. 1), обеспечивая необходимый запас энергии для движения ударника назад. При перемещении ударника назад камера обратного хода отделяется от магистрали, после чего расширяющийся воздух обеспечивает движение ударника до выхлопа. Открытие до удара отверстий 6 приводит к созданию воздушной подушки, тормозящей ударник и снижающей его скорость и энергию удара.

Одним из путей повышения энергии удара и ударной мощности пневмоударных машин, выполненных по этой схеме, является совершенствование рабочего цикла путем увеличения продолжительности сообщения камеры обратного хода не только с магистралью при обратном ходе ударника, но и с атмосферой при его рабочем ходе. Примером такого устройства может служить пневмопробойник с заслонкой, обеспечивающей данное условие (рис. 2) и являющейся по сути золотником, перемещаемым ударником. Он разработан Н. Г. Назаровым в ИГД СО РАН в 70-е годы прошлого века [6].

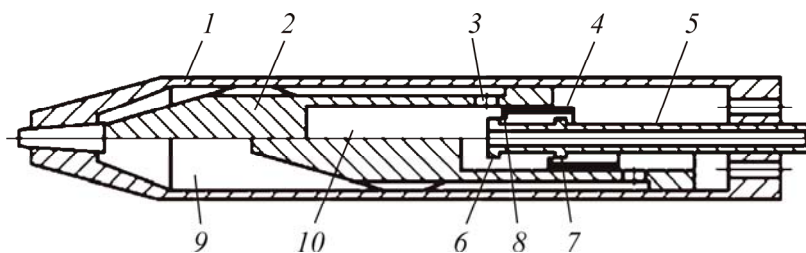


Рис. 2. Конструктивная схема пневмопробойника с улучшенным рабочим циклом: 1 — корпус; 2 — ударник; 3 — окно; 4 — подвижная заслонка; 5 — патрубок; 6, 7 — передний и задний кольцевой выступ на патрубке; 8 — выступ; 9, 10 — камеры обратного и прямого хода

Условием надежной работы такой воздухораспределительной системы является минимально возможная масса заслонки для уменьшения сил инерции, действующих на нее после удара, и достаточная для удержания заслонки в крайнем положении сила трения между ней и ударником. Эта сила должна превышать не только силу инерции после удара, но и действующую одновременно с ней силу давления сжатого воздуха на площадь поперечного сечения заслонки. При недостаточной силе трения давление воздуха в камере 10 смещает заслонку назад, фиксирует ее в положении, когда выступ 8 упирается в задний кольцевой выступ 7, и направление ударов пневмопробойника самопроизвольно изменяется на противоположное.

Это свидетельствует о том, что сила трения представляет основной фактор, определяющий устойчивый режим работы пневмоударного устройства. И поскольку ее стабильные значения обеспечить практически невозможно, то такое конструктивное исполнение после большого количества доводочных работ было отвергнуто.

Повышение только энергии удара без изменения конструкции пневмопробойника приводит к увеличенным нагрузкам на основные детали. Зона расположения окна 3 ударника — концентратор напряжений, приводящих к его быстрому разрушению.

В конце 80-х годов прошлого века был разработан и изготовлен пневмоударный молот [7], ударник которого не имел радиальных окон для впуска и выхлопа воздуха и был кинематически связан с заслонкой. Заслонка воздухораспределительного устройства располагалась на центральной трубке и в полости, постоянно сообщенной с атмосферой. Эти решения позволили отказаться от радиальных воздухораспределительных отверстий в ударнике, исключить действие давления сжатого воздуха на заслонку и устранить нестабильную работу, поскольку перемещение заслонки по трубке осуществлялось принудительно ударником. Наличие свободного хода ударника относительно заслонки, находящейся в крайних положениях, обеспечило выталкивание воздуха из передней камеры при прямом ходе ударника и снятие противодействия перед ним.

Принципиальная схема описанного пневмоударного молота приведена на рис. 3. По этой схеме В. В. Климашко был разработан и изготовлен на Минском производственном объединении “Строймаш” экспериментальный образец. Исследования его рабочего цикла подтвердили работоспособность и стабильную работу заслонки, а также увеличение энергии

удара по сравнению с классическим пневмопробойником на 20–30 % при одинаковом расходе воздуха. Однако рассматриваемый пневмомолот, как и другие пневмоударные устройства с заслонкой в системе воздухораспределения, не пошли в производство из-за частых ее поломок в результате взаимодействия с ударником.

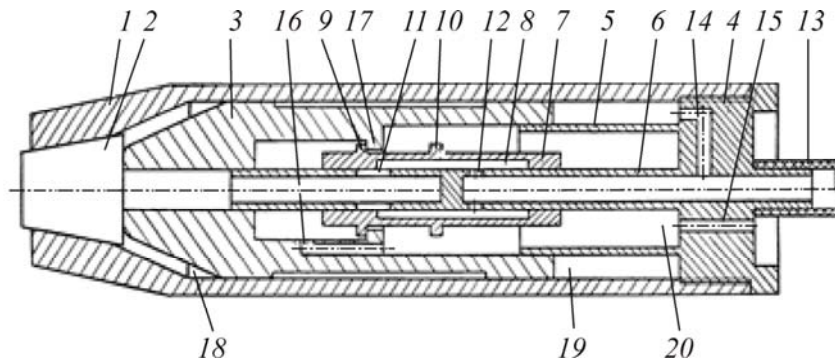


Рис. 3. Конструктивная схема пневмоударного молота с кинематической связью ударника и заслонки: 1 — корпус; 2 — наковальня; 3 — ударник; 4 — хвостовик; 5 — втулка; 6 — трубка; 7 — подвижный золотник; 8 — расточка золотника; 9 — передний упор; 10 — задний упор; 11 — переднее окно; 12 — заднее окно; 13 — рукав; 14 — канал магистральный; 15 — канал выхлопной; 16 — канал в ударнике; 17 — выступ в ударнике; 18 — передняя камера обратного хода; 19 — задняя камера прямого хода; 20 — выхлопная камера

Были и другие попытки увеличения КПД классической схемы пневмопробойника (см. рис. 1). К ним можно отнести введение в систему воздухораспределения встроенного пульсатора [4] или питающе-разрядного клапана [8]. Но все эти попытки в силу многих причин, связанных со сложным конструктивным воплощением, не стали успешными. Созданные устройства не только работали нестабильно, но и были сложнее по конструкции и менее долговечны, чем классические пневмопробойники и пневмомолоты.

В ИГД СО РАН в 80-е годы прошлого века была доказана принципиальная возможность увеличения энергии удара пневмоударных машин при одинаковых расходе и давлении сжатого воздуха за счет создания новой системы воздухораспределения с упругими клапанами. Один из них располагался на впуске в камеру прямого хода и обеспечивал максимальное давление на ударник при его движении в направлении удара. Второй упругий клапан устанавливался на выхлопе воздуха из камеры прямого хода для снятия противодействия при возврате ударника в исходное положение и герметизации этой камеры после начала впуска в нее сжатого воздуха.

Упругие клапаны в виде кольца круглого или прямоугольного сечения из эластомера (резины, полиуретан и т. п.) впервые предложены в качестве элемента системы воздухораспределения для погружных пневмоударников сотрудником ИГД СО АН СССР В. А. Гауном [9]. Их применение позволило в 2 раза увеличить энергию удара и на 30 % повысить ударную мощность без изменения диаметра машины и расхода сжатого воздуха.

Упругие клапаны применены в системе воздухораспределения пневмоударников П105-2К и П155 [10], которые успешно прошли полный цикл испытаний на горных предприятиях. Конструктивная схема пневмоударника П105-2К представлена на рис. 4. Система воздухораспределения включает упругий клапан 1, который подает сжатый воздух в рабочую камеру 2 вплоть до открытия ударником 3 выхлопных отверстий 4, а клапан 5 обеспечивает свободное вытеснение воздуха из камеры 2 через клапанную щель 6 в атмосферу при обратном ходе ударника 3, снимая противодействие.

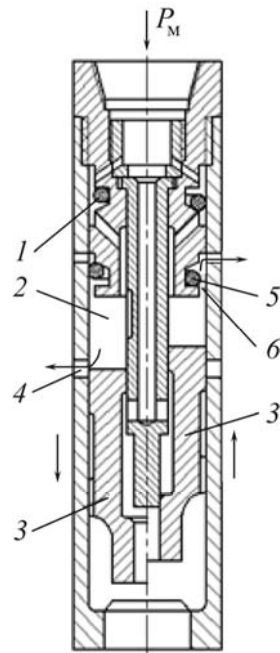


Рис. 4. Конструктивная схема пневмоударника П105-2К: 1, 5 — упругие клапаны; 2 — камера прямого хода ударника; 3 — ударник; 4 — выхлопное отверстие; 6 — клапанная щель; P_m — магистральное давление сжатого воздуха

Неоспоримы конструктивные достоинства кольцевого упругого клапана — простота и компактность. Важно то, что при малых перемещениях он способен управлять большим проходным сечением. Во всех случаях упругий клапан срабатывает при создании на нем определенного перепада давлений. В приведенной схеме это неизбежно связано с кратковременной интенсивной перетечкой сжатого воздуха через клапанную щель на выхлоп, т. е. с некоторыми непроизводительными потерями. Кроме того, такое чисто пневматическое управление клапаном в сочетании с его жесткостью и температурой окружающей среды вносит определенные ограничения на область устойчивой работы машины.

ОБОСНОВАНИЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ

Главным параметром, определяющим эффективность применения ударных машин для реализации технологических процессов, связанных с погружением в грунт различных конструктивных элементов, является энергия удара. Именно она — основная составляющая ударной мощности, обуславливающая максимальную длину и диаметр забиваемой в грунт трубной плети, ее перемещение в грунте за удар. При достижении необходимой энергии удара скорость проходки скважин и погружения труб при прочих равных условиях определяется, главным образом, второй составляющей ударной мощности — частотой ударов.

Увеличение энергии удара пневмоударной машины и ее ударной мощности обычно связано с возрастанием расхода воздуха, который в реальных условиях ограничивается возможностями передвижных компрессоров. Так, близкие по своим размерам и техническим характеристикам пневмомолоты М400 (ИГД СО РАН, Россия) и KOLOSS (Tracto-Technik, ФРГ), предназначенные для забивания труб диаметром до 1200 мм, имеют расход воздуха 20 м³/мин, а пневмомолот TAURUS (Tracto-Technik, ФРГ), ориентированный на забивание труб диаметром до 2 м, имеет в 3 раза большую энергию удара и расход воздуха 50 м³/мин.

Компрессоры, обеспечивающие подачу такого количества воздуха, весьма дорогостоящие агрегаты, цена которых и затраты на эксплуатацию приводят к значительному росту стоимости работ. Расширение возможности выполнения работ при ограниченной производительности компрессора несомненно повысит технико-экономические показатели работы пневмомолотов.

В работе [11] показано, что зависимость достижимой энергии удара от заданной производительности компрессора, конструктивных параметров пневмоударной машины и параметров ее рабочего цикла может быть представлена в виде

$$A = \frac{m}{2} \left(\frac{\theta}{60S} \beta \right)^2, \quad \beta = \frac{1+\tau}{\varphi}, \quad \varphi = k\psi \sum_{i=1}^{i=n} \chi\lambda, \quad (1)$$

где m — масса ударника; θ — объемное потребление воздуха пневмомолотом; S — рабочая площадь ударника; $\tau = t_0/t_1$ — соотношение времени обратного и прямого хода поршня; $k \geq 1$ — коэффициент потерь (утечек) сжатого воздуха; ψ — коэффициент формы диаграммы результирующей силы на участке рабочего хода поршня; $\lambda = V_1/V_2$ — относительный объем i -й управляемой камеры, V_2 — рабочий объем; χ — безразмерное значение давления в начале выхлопа из i -й камеры. (Здесь, кроме θ , м³/мин, размерность всех параметров в системе СИ.)

В работе [12] для объективной количественной оценки степени совершенства различных технических решений с точки зрения соотношения между количеством потребляемого в единицу времени воздуха и получаемой при этом энергией удара предложено использовать удельную интенсивность энергопотребления

$$i = \theta / A, \quad (2)$$

С учетом (1) и, выразив A через скорость удара U , м/с, удельная интенсивность энергопотребления представлена в виде

$$i = 120S / Um\beta, \text{ м}^3 / (\text{мин} \cdot \text{Дж}). \quad (3)$$

Значения параметров U и S жестко ограничены конструктивными факторами (прочность, габаритные размеры, технологичность изготовления и т. д.). Наибольшие возможности изменения i связаны с β .

При этом, исходя из результатов анализа параметров ψ , χ , λ , выполненного в [11], можно утверждать, что даже при переходе на более совершенные системы воздухораспределения, представленные на рис. 2 и 3, варьирование объемов камер λ и давлений перед выхлопом χ не позволяет резко уменьшить φ .

Для машин, выполненных по классической бесклапанной схеме пневмопробойника (см. рис. 1) при наличии уплотнений ($k \cong 1.1$), $\varphi = 3-5$. Пневмомолоты, выполненные по той же схеме, но без уплотнений, имеют $\varphi = 10-15$.

Самым весомым параметром является τ . Для его роста достаточно увеличить только длительность обратного хода ударника, что можно сделать, не затрагивая иные параметры машины.

ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И КОНСТРУТИВНОЙ СХЕМЫ ПНЕВМОМОЛОТА

Работы по совершенствованию пневмоударных машин с целью повышения эффективности энергопотребления, проводимые в ИГД СО РАН, привели к созданию принципиально новых пневмомолотов для осуществления специальных работ в подземном строительстве, получивших название “Тайфун” [13–15]. В конструкцию машин наряду с уплотнением рабочих камер заложена возможность изменения τ . Система воздухораспределения новых пневмомолотов

основана на применении упругого клапана, устанавливаемого в выхлопном траке камеры обратного хода ударника. Но в отличие от показанной на рис. 4, она лишена таких главных недостатков, как интенсивные перетечки сжатого воздуха через клапанную щель на выхлоп и пневматическое управление клапаном, ограничивающее область устойчивой работы машины.

Это обеспечивается тем, что замыкание клапана производится за счет его механического контакта с корпусом пневмомолота, а открытие — под действием упругих сил материала, из которого он изготовлен. Именно такое решение позволило управлять параметром τ .

Конструктивная схема пневмомолота “Тайфун” приведена на рис. 5, а его конструктивное исполнение представлено на рис.6.

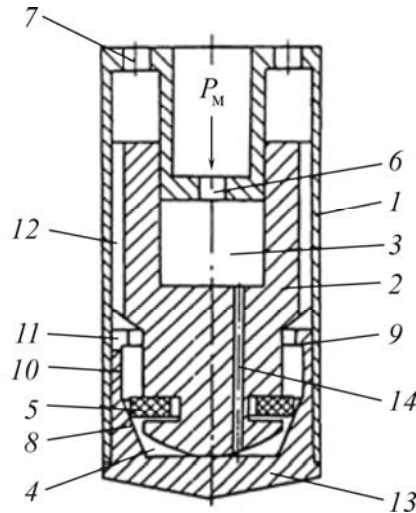


Рис. 5. Конструктивная схема пневмомолота “Тайфун”: 1 — корпус; 2 — ударник; 3 — камера прямого хода; 4 — камера обратного хода; 5 — упругое кольцо; 6 — впускной канал подвода сжатого воздуха; 7 — выпускной канал; 8 — передний кольцевой выступ; 9 — ограничитель обратного хода; 10 — цилиндрическая поверхность; 11 — пазы; 12 — продольные направляющие выступы; 13 — наковальня; 14 — дроссельный канал

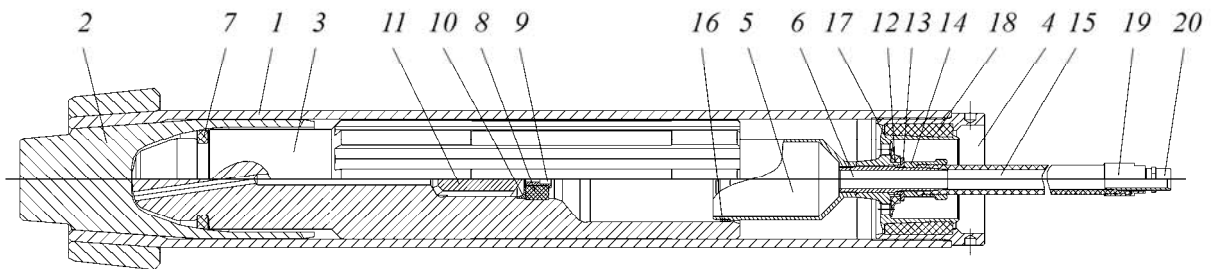


Рис. 6. Конструкция пневмомолота “Тайфун”: 1 — корпус; 2 — наковальня; 3 — ударник; 4 — хвостовик; 5 — патрубок; 6 — стембель; 7 — резиновое кольцо; 8 — резиновое седло; 9 — жиклер; 10 — упорное кольцо; 11 — инерционный клапан; 12 — клапан; 13 — стальное кольцо; 14 — гайка; 15 — рукав; 16 — полиэтиленовое кольцо; 17 — ступица; 18 — демпфер; 19 — гайка; 20 — штуцер

Новая система воздухораспределения принципиально отличается от воздухораспределения пневмопробойника, главным образом функционированием камеры обратного хода.

В пневмомолоте [16] началом движения ударника назад и выхлопом воздуха из камеры холодного хода управляет упругий клапан. Он выполнен в виде упругого кольца, которое установлено в кольцевой канавке на наружной поверхности ударника. Сечение канала для выхлопа

воздуха в атмосферу расположено по периферии упругого кольца. Это позволяет обеспечить большое сечение выхлопа при минимальной относительной деформации материала упругого кольца и максимально повысить надежность его работы.

Внутренняя коническая и цилиндрическая поверхности наковальни являются седлом, по которому скользит клапан — упругое кольцо, поэтому длина рабочего хода может быть выбрана любой, так как она определяется только положением ограничителя обратного хода. Большая длина рабочего хода позволяет, если необходимо, выбирать минимальную силу отдачи при высокой энергии удара.

Пневмомолот работает следующим образом. Сжатый воздух по каналу 6 поступает в камеру прямого хода 3. Под действием давления ударник 2 перемещается в крайнее переднее положение (нижнее по рис. 5) и упирается в наковальню 13. По дроссельному каналу 14 сжатый воздух из камеры 3 поступает в камеру обратного хода 4, и в ней повышается давление. Под действием давления на внутреннюю поверхность упругого кольца 5 оно растягивается, увеличивает диаметр и прижимается своей наружной поверхностью к внутренней поверхности 10 наковальни 13.

В новом пневмомолоте камера холостого хода не создает противодействия ударнику при его рабочем ходе, так как на всем его протяжении она сообщена с атмосферой. В результате при прочих равных условиях предударная скорость ударника и энергия удара по сравнению с пневмопробойником повышаются, а расход воздуха снижается благодаря многократному уменьшению “мертвого” объема камеры обратного хода.

Таким образом, схема воздухораспределения пневмомолота с упругим клапаном обеспечивает:

- повышение экономичности за счет уменьшения объема передней камеры;
- сокращение потерь энергии удара за счет устранения сжатия воздуха в передней камере при рабочем ходе;
- минимальные габариты устройства при наибольшей массе ударника и повышенной энергии удара.

Эти особенности обеспечили эффективное решение проблемы получения высокой энергии удара при ограниченной мощности источника питания простыми техническими средствами, что особенно важно применительно к пневмомолотам ввиду значительно более низкого КПД системы “компрессор – пневмоударная машина” по сравнению с электрическими и гидравлическими системами.

Новая схема позволяет легко изменить отношение τ длительностей обратного и рабочего хода ударника регулированием сечения дроссельного канала. Согласно (3), это дает возможность адаптировать пневмомолот к имеющемуся источнику питания, т. е. в широком диапазоне расхода воздуха иметь постоянную энергию удара, изменяя частоту их нанесения. В реальной конструкции пневмомолота это достигается установкой сменных жиклеров с различным диаметром пропускного отверстия.

Дополнительное снижение расхода воздуха обеспечивает сам упругий клапан, выполняя роль уплотнительного элемента. Кроме того, в реальной конструкции пневмомолота “Тайфун” между ударником и патрубком (рис. 6) установлено уплотнительное кольцо, исключаящее перетечки воздуха из магистрали в атмосферу.

Существенным недостатком устройства ударного действия с упругим кольцом является непроизводительный расход сжатого воздуха из дроссельного канала в атмосферу при рабочем ходе ударника, который увеличивается с ростом частоты ударов.

Для его устранения в конструкцию пневмомолота введен инерционный клапан, устанавливаемый в ударнике в канале подачи воздуха в камеру обратного хода [17], который использует ускорение ударника при рабочем ходе для запираания этого канала при открытой для выхлопа в атмосферу камере обратного хода (рис. 6).

При совершении прямого хода ударник движется с ускорением, при этом силы инерции действуют на клапан 11 в направлении, противоположном движению ударника 3, и прижимают его к дроссельному каналу [17]. Тем самым исключается непроизводительный расход сжатого воздуха из камеры прямого хода в атмосферу. После нанесения удара ударник останавливается и начинает свое движение назад в результате отскока от наковальни 2. Клапан 11 продолжает двигаться по инерции вперед до соударения своим нижним торцом с ударником. При этом открывается дроссельный канал, и сжатый воздух по каналу поступает в камеру обратного хода. Под действием давления сжатого воздуха в камере ударник вновь совершает обратный ход.

В табл. 1 приведены сравнимые показатели отечественных пневмомолотов и пневмомолотов фирмы “Tracto-Technik” (ФРГ), выполненных по классической схеме, и пневмомолотов “Тайфун” [12].

ТАБЛИЦА 1. Показатели пневмомолотов

Марка пневмоударной машины	Энергия удара, кДж	Частота ударов, уд/мин	Масса пневмомолота, кг	Удельный расход воздуха, л/кДж	Интенсивность энергопотребления, м ³ /(мин·кДж)
СО 166	1.0	225	370	40.0	9.0
М 200	1.8	190	640	29.2	5.6
М 400	4.0	165	1700	30.3	5.0
Среднее значение				33.1	6.5
GIGANT	2.0	310	615	19.6	6.0
KOLOSS	4.8	220	1180	18.9	4.2
GOLIAF	8.0	180	2465	24.4	4.4
Среднее значение				21	4.9
Тайфун-190	2.0	120 – 190	370	21	2.5 – 4.0
Тайфун-320	3.0	90 – 150	650	21	1.5 – 2.5
Тайфун-740	6.0	60 – 90	1750	22	1.3 – 2.0
Среднее значение				21.3	1.8 – 2.8

Как видно из табл. 1, новое поколение пневмомолотов по удельному расходу q находится на уровне немецких, а по удельной интенсивности энергопотребления они экономичнее их в 3 раза. Эти машины способны обеспечить оптимальное соотношение затрат и объемов выполненных работ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ

Возможность изменения частоты ударов пневмомолота “Тайфун” при постоянстве энергии удара подтверждена экспериментально. Определение частоты ударов и энергии удара производилось при максимальном изменении площади сечения калиброванного отверстия в пределах работоспособности пневмомолота путем записи и обработки индикаторных диаграмм давления в камерах прямого и обратного хода с отметками переднего и крайнего заднего положения ударника.

В качестве исследуемых объектов были взяты пневмомолоты одной конструкции и с одинаковыми ударниками массой 8 кг без инерционного клапана, имеющие одинаковые диаметр и длину корпуса, но разную длину хода до начала выхлопа.

Результаты экспериментов представлены в табл. 2 в виде индикаторных диаграмм давления в камерах пневмомолота с отметками ударов и крайнего заднего положения ударника. Линия P_1 — давление в камере прямого хода, линия P_2 — давление в камере обратного хода; линия 1 — отметка момента удара, линия 2 — отметка крайнего заднего положения ударника. В качестве примера приведены результаты обработки диаграмм пневмомолота с ходом ударника до выхлопа $X = 0.06$ м. В табл. 2: A — энергия удара, d — диаметр жиклера, T — время цикла, T_1 и T_2 — продолжительность времени прямого и обратного хода, f — частота ударов, X_ϕ — фактический ход ударника.

ТАБЛИЦА 2. Результаты экспериментального определения характеристик пневмомолотов (с ходом ударника до выхлопа $X = 0.06$ м)

1		$d = 7$ мм $T = 0.094$ с $T_1 = 0.035$ с $T_2 = 0.059$ с $f = 10.7$ Гц	$A = 80.1$ Дж
2		$d = 6.3$ мм $T = 0.096$ с $T_1 = 0.033$ с $T_2 = 0.063$ с $f = 10.4$ Гц	$A = 77.6$ Дж
3		$d = 5$ мм $T = 0.107$ с $T_1 = 0.030$ с $T_2 = 0.077$ с $f = 9.4$ Гц	$A = 79.5$ Дж
4		$d = 3.6$ мм $T = 0.156$ с $T_1 = 0.029$ с $T_2 = 0.127$ с $f = 6.4$ Гц	$A = 78.5$ Дж

Из табл. 2 видно, что при уменьшении диаметра жиклера наблюдается снижение частоты ударов за счет значительного увеличения времени обратного хода при практически постоянных времени прямого хода и энергии удара, что подтверждает правильность исходных предпосылок, обсуждаемых при выборе новой схемы воздухораспределения.

ПРОМЫШЛЕННАЯ ПРОВЕРКА ПНЕВМОМОЛОТОВ

В ИГД СО РАН разработан типоразмерный ряд новых пневмомолотов, способных забивать в грунт трубы диаметром до 1.2 м и другие строительные профили для выполнения специальных работ в подземном строительстве по бестраншейной прокладке подземных коммуникаций, усиления откосов грунтовых сооружений, создания защитных экранов при проходке тоннелей под авто- и железными дорогами и т. п. Самый большой из них имеет массу ударной части 1500 кг. Все пневмомолоты “Тайфун” предельно просты по конструкции, надежны и долговечны.

Реализованная в них распределительная система с упругим клапаном в камере обратного хода ударника обеспечивает легкий и устойчивый запуск в работу без применения каких-либо специальных устройств, использование воздухоподводящих рукавов значительно меньших диаметров, чем у аналогов, и регулируемый в достаточно широком диапазоне расход воздуха при сохранении на одном уровне энергии удара. Это делает их более удобными в эксплуатации, а последнее обстоятельство позволяет адаптировать к имеющемуся в распоряжении компрессору и успешно выполнить работу по прокладке коммуникаций (рис. 7).



Рис. 7. Сооружение подземного перехода бестраншейным способом с использованием пневмомолота “Тайфун-740”

Пневмоударные молоты “Тайфун” зарекомендовали себя как высокопроизводительное техническое средство, обеспечивающее эффективное выполнение технологических операций и высокую производительность при проведении работ.

Например, молотом “Тайфун-740” в Новосибирске выполнены уникальные работы. Для прокладки пучка телефонных кабелей под ул. Станиславского забита труба-кожух диаметром 0.72 м и длиной 45 м без промежуточных очисток от грунта. Через автомагистраль Новосибирск – Омск в районе аэропорта “Толмачево” забита труба диаметром 1 м на длину 23 м. Эта работа осуществлялась от компрессора производительностью 7.5 м³/мин. Ни один из известных пневмомолотов при таком расходе воздуха не способен выполнить подобную работу. Под Транссибирской магистралью в сухую глину забита труба диаметром 0.8 м на длину 33 м, а под автодорожной насыпью при строительстве северной объездной дороги вокруг Новосибирска проложена труба диаметром 0.8 м на длину 54 м.

В Вильнюсе этим пневмомолотом выполнен ряд уникальных переходов [18]. Так, труба диаметром 0.63 м была забита на длину 67 м, а труба диаметром 0.53 м — на 81 м.

Примером успешного использования пневмомолота “Тайфун-190” в подземном строительстве явилось сооружение подпорных стен для вертикальной камеры в грунте глубиной 28 м, предназначенной для опускания проходческого щита при строительстве метрополитена в Новосибирске в 2003 г. При выполнении работ было забито около двухсот вертикальных труб диаметром 0.38 м (рис. 8).



Рис. 8. Внутри камеры: вид сверху на горизонтальный проходческий щит (он справа) и подпорную стену из забитых в грунт труб диаметром 0.38 м

Значительный объем работ по сооружению подпорной стены из двутавровых балок с сечением № 60 выполнен при строительстве станции метро “Березовая роща” (рис. 9).



Рис. 9. Сооружение подпорной стены в грунте при строительстве станции метро “Березовая роща” в Новосибирске открытым способом

Технические и эксплуатационные характеристики пневмомолотов “Тайфун” обеспечили им прочное положение на рынке. За последние 5 лет в России и за рубежом реализовано более 60 пневмомолотов, которые успешно эксплуатируются в различных условиях.

ВЫВОДЫ

Проанализированы возможные пути совершенствования пневматических молотов для выполнения специальных работ в подземном строительстве. Показано, что повышение экономичности молотов для получения высокой энергии удара при ограниченной мощности источника питания обеспечивается за счет установки кольцевого упругого клапана в выхлопном тракте камеры обратного хода, замыкание которого осуществляется за счет механического контакта с корпусом пневмомолота, а открытие — под действием упругих сил материала, из которого он изготовлен.

Кольцевой упругий клапан с механическим замыканием позволяет снять противодействие в камере обратного хода ударника при совершении им прямого хода и дает возможность регулировать длительность обратного хода, что обеспечивает постоянство энергии удара при изменении расхода воздуха и согласование пневмомолота с производительностью компрессора.

Благодаря современным техническим решениям, созданы пневматические молоты нового поколения “Тайфун”. В них достигнуты более высокие по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами энергетические показатели при одинаковых массе и размерах. Новое поколение пневмомолотов по расходу воздуха на единицу ударной мощности находится на уровне лучших зарубежных аналогов, а по удельной интенсивности энергопотребления они экономичнее их в 3 раза. Эти машины способны обеспечить оптимальное соотношение затрат и объемов выполненных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хестле Х. Справочник строителя: Строительная техника, конструкции и технологии. — М.: Техносфера, 2007.
2. Смоляницкий Б. Н., Тищенко И. В., Червов В. В. и др. Резервы повышения производительности виброударного погружения в грунт стальных элементов в технологиях специальных строительных работ // ФТПРПИ. — 2008. — № 5.
3. Червов В. В., Тищенко И. В., Смоляницкий Б. Н. Влияние частоты виброударного воздействия и дополнительного статического усилия на скорость погружения стержня в грунт // ФТПРПИ. — 2011. — № 1.
4. Тупицын К. К. К исследованию машин ударного действия с пневматическими пульсаторами: препринт № 2. — Новосибирск: Изд-во ИГД СО АН СССР, 1980.
5. Гурков К. С., Климашко В. В., Костылев А. Д., Плавских В. Д., Русин Е. П., Смоляницкий Б. Н., Тупицын К. К., Чепурной Н. П. Пневмопробойники. — Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 1990.
6. Назаров Н. Г. Повышение ударной мощности пневмопробойников // Горные машины: сб. науч. тр. / ИГД СО АН СССР. — Новосибирск, 1980.
7. Климашко В. В., Гилета В. П., Смоляницкий Б. Н. Пути повышения энергии удара машин для забивания труб при бестраншейной прокладке подземных коммуникаций // Механика горных пород. Горное и строительное машиноведение. Технология горных работ: сб. науч. тр. / ИГД СО АН СССР. — Новосибирск, 1993.

8. Пат. № 2090706 РФ. Пневматическое устройство ударного действия для проходки скважин в грунте / В. П. Гилета, А. А. Липин, Б. Н. Смоляницкий, А. Д. Костылев, А. Д. Терсков // Оpubл. в БИ. — 1997. — № 26.
9. А. с. № 848615, МПК E21C3/24. Пневматический ударный механизм / В. А. Гаун // Бюл. № 27. — 1981.
10. Гаун В. А. Разработка и исследование погружных пневмоударников с повышенной энергией удара // Повышение эффективности пневмоударных буровых машин. — Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1987.
11. Петреев А. М., Смоляницкий Б. Н. Согласование параметров пневмомолота с производительностью источника питания // ФТПРПИ. — 1999. — № 2.
12. Петреев А. М., Смоляницкий Б. Н. Показатели экономичности и совершенствование пневмомолотов // Изв. вузов. Строительство. — 2001. — № 8.
13. Смоляницкий Б. Н., Червов В. В., Трубицын В. В., Тищенко И. В., Вебер И. Э. Новые пневмоударные машины “Тайфун” для специальных строительных работ // Механизация стр-ва. — 1997. — № 7.
14. Смердин В. С., Червов В. В., Трубицын В. В. “Тайфун-290” — представитель нового поколения пневмоударных машин // Трансп. стр-во. — 1996. — № 5.
15. Смоляницкий Б. Н., Червов В. В., Скачков К. Б. Новые пневмоударные машины Института горного дела СО РАН // Механизация стр-ва. — 2001. — № 12.
16. Пат. № 2105881 РФ. Устройство ударного действия / В. В. Червов, Б. Н. Смоляницкий, В. В. Трубицын, И. Э. Вебер // Оpubл. в БИ. — 1998. — № 6.
17. Пат. № 2085363 РФ. Устройство ударного действия / В. В. Червов, Б. Н. Смоляницкий, В. В. Трубицын, И. Э. Вебер // Оpubл. в БИ. — 1997. — № 21.
18. Cervovas V. V., Smolianickis B. N., Trubicynas V. V., Tiscenko I. V., Veberis I. E., and Gintaras Akulevicius. Naujos kartos pneumosmugines masinos, Mokslas ir Technika, 1998, No. 2.

Поступила в редакцию 3/VII 2014