

СОЗДАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ УДАРНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АДАПТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В.В. Плохих

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия,
e-mail: vadim.plohih@yandex.ru

Аннотация: Современные технологии добычи полезных ископаемых с использованием виброударного воздействия на обрабатываемую среду широко распространены в подземных условиях и на открытых горных работах. Наиболее часто в качестве источника ударного воздействия используются пневматические ударные машины. Такие машины применяются для сооружения скважин, шпуров и в других видах горнопромышленных работ. Достоинством пневмоударных машин является конструктивная простота и надежность работы в неблагоприятных условиях. В связи с переходом горных выработок на глубокие горизонты обостряется проблема обеспечения безопасности персонала при загазованности рабочей атмосферы. Одним из путей решения этой проблемы является создание пневмоударных машин, конструкция которых позволит внедрить «адаптивные технологии». Такие технологии помогут реализовать дистанционное управление процессами бурения, применять созданные машины в составе роботизированных буровых комплексов, способных функционировать в автоматическом режиме без присутствия людей в месте ведения работ. Отличительной особенностью адаптивных буровых технологических процессов является способность ударного механизма изменять величину и характер импульсного энергетического воздействия в зависимости от свойств обрабатываемой среды в достаточно широком диапазоне. Предложен вариант конструктивной схемы пневмоударного устройства, который позволяет изменять выходные энергетические параметры устройства непосредственно в процессе работы. Результаты проведенного имитационного моделирования пневмоударного механизма подтвердили возможность его создания в виде физической модели. По результатам эксперимента на физической модели машины получена индикаторная диаграмма ее рабочего цикла и построены графики изменения энергетических и динамических параметров.

Ключевые слова: адаптивные технологии, роботизированные буровые комплексы, пневмоударная машина, упругий клапан, конструктивная схема, имитационная модель, физическая модель, рабочий цикл, энергетические параметры, динамические параметры.

Для цитирования: Плохих В. В. Создание пневматической ударной машины для реализации адаптивных технологических процессов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 7. – С. 91–103. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_7_0_91.

Pneumatic percussion tool to implement adaptive technologies

V.V. Plokhikh

Chinakal Institute of Mining of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia, e-mail: vadim.plohih@yandex.ru

Abstract: The modern technologies based on vibration impact find wide application both in surface and underground mineral mining. The impact source is mostly a pneumatic percussion tool. Such equipment is used in hole-making and in other types of mining activities. The compressed air-driven impact machines are advantageous for simple design and reliable operation in unfavorable conditions. Deeper level mining faces with the acute necessity to ensure safety of personnel when operating in highly gassy air. One of the ways of solving this problem is engineering of pneumatic percussion tools suitable for implementation of adaptive technologies. These technologies enable application of the remote drilling control, and the tools can operate as parts of robotic drilling facilities capable of automatic unmanned functioning. A feature of the adaptive drilling technologies is the ability of an impactor to vary the size and mechanism of impulse in a wide range subject to properties of a medium being treated. The proposed construction diagram of an air impact tool allows adjustment of output energy parameters immediately in operation. The implemented simulation modeling of the pneumatic percussion mechanism proves feasibility of its physical modeling. The physical analogue model test produces an indicator diagram of the tool work cycle, and the graphs of change in energy and dynamic parameters of the tool are plotted.

Key words: adaptive technologies, robotic drilling facilities, pneumatic percussion tool, elastic valve, construction diagram, simulation model, physical model, work cycle, energy parameters, dynamic parameters.

For citation: Plokhikh V. V. Pneumatic percussion tool to implement adaptive technologies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(7):91-103. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_7_0_91.

Введение

В последнее время с переходом горных работ на глубокие горизонты особо остро встает проблема высокой загазованности атмосферы в зоне производства работ. Решением этой проблемы может служить внедрение специальных «безлюдных технологий», позволяющих проводить проходческие работы без непосредственного нахождения оператора вблизи работающей установки. Такие технологии позволяют не только обеспечить безопасную работу персонала, но и применить автоматические системы управления для повышения производительности горных предприятий [1].

В этих условиях мировая промышленность предлагает для производства горных работ использовать системы дистанционного управления и роботизированные буровые комплексы, приме-

нение которых с 2016 г. в горной промышленности только растет [2 – 4].

Технологические процессы сооружения скважин, шпуров, забивки стержней и других операций в горнодобывающей промышленности не обходится без применения виброударных машин. Чаще всего для данных процессов применяются пневматические ударные машины. Неоспоримыми достоинствами пневмоударных машин являются их конструктивная простота, безопасность, низкая стоимость и надежность эксплуатации в неблагоприятных условиях [5 – 7].

Первоначальной целью является создание пневматической ударной машины для работы в составе роботизированных буровых комплексов и реализации адаптивных технологических процессов на основе ударно-импульсного воздействия на обрабатываемую среду. Смысл адап-

тивной технологии заключается в наличии обратной связи, позволяющей изменять структуру импульсного силового воздействия рабочего инструмента в зависимости от физических свойств обрабатываемого породного массива.

Анализ конструкций пневмоударных машин

В современных конструкциях пневматических машин ударного действия применяются следующие системы воздухораспределения [8]:

- золотниковое;
- дроссельное;
- клапанное;
- беззолотниковое;
- комбинированное (клапанно-беззолотниковое).

Примером использования беззолотниковой (бесклапанной) системы воздухораспределения являются пневмопробойники, разработанные в ИГД СО АН СССР в 60-х годах. Принципиальная конструктивная схема реверсивного пневмопробойника приведена на рис. 1.

Главной причиной выбора такой схемы явилась простота конструкции и возможность эффективного решения проблемы реверса. К недостаткам можно отнести наличие «мертвого объема», занимающего около 80% общего объема камеры обратного хода. Данное обстоятельство влияет на падение давления в передней камере по мере взвода ударника на заданную величину рабочего хода

и повышает расход воздуха при выхлопе, что существенно влияет на величину коэффициента полезного действия (КПД) машины [9, 10].

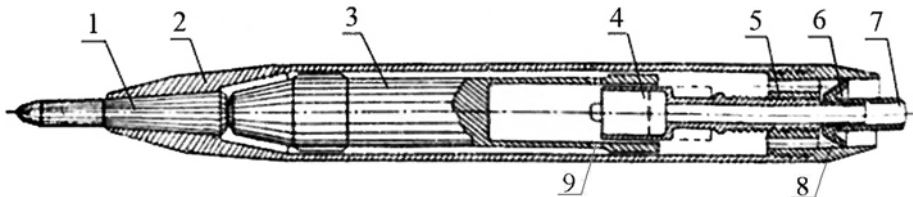
Пневмопробойники часто используются как для сооружения буронабивных свай, забивки стержневых элементов для крепления бортов карьеров, строительства дренажных систем, так и для забивания в грунт металлических труб (прокол с одновременной обсадкой).

В 80-е годы прошлого века сотрудником ИГД СО АН СССР В.А. Гауном была доказана возможность повышения энергии удара и КПД пневматических ударных машин при одинаковых значениях расхода и давления сжатого воздуха за счет создания новой системы воздухораспределения с упругими клапанами [11].

Применение подобной схемы в пневмоударниках 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. Такие машины применяются для ударно-вращательного бурения скважин в горных породах средней и высокой крепости. На рис. 2 представлена конструктивная схема пневмоударника П105-2К [12].

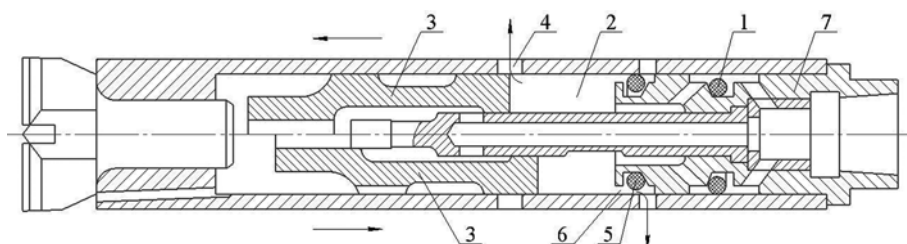
Конструктивные достоинства упругого клапана — простота и компактность.



1 – наковальня; 2 – корпус; 3 – ударник; 4 – патрубок; 5 – амортизатор; 6 – клапан; 7 – шланг; 8 – хвостовая гайка; 9 – отверстие

Рис. 1. Принципиальная конструктивная схема пневмопробойника

Fig. 1. Basic diagram of air hammer



1, 5 – упругие клапаны; 2 – камера рабочего хода ударника; 3 – ударник;
4 – выхлопное отверстие; 6 – клапанная щель; 7 – переходник

Рис. 2. Конструктивная схема погружного пневмоударника П105-2К

Fig. 2. Construction diagram of DTH air hammer P105-2K

Бесспорно, что наилучшим решением является установка упругого клапана на неподвижных деталях устройства. Это дает возможность уменьшить износ упругого клапана и увеличить ресурс пневмоударной машины в целом. Также важным является то, что при малых перемещениях клапан способен «управлять» большим проходным сечением. Во всех случаях упругий клапан срабатывает при создании на нем определенного перепада давлений. Однако такое пневматическое управление клапаном в сочетании с его жесткостью и температурой окружающей среды вносит определенные ограничения на область устойчивой работы машины [11].

Общим недостатком приведенных выше пневмоударных машин является неэффективный режим регулирования величины и структуры ударной мощности. Устранить этот недостаток позволит создание нового поколения пневматических ударных машин, обладающих возможностью адаптации режима импульсного силового воздействия к условиям технологического процесса и свойствам обрабатываемой среды. Это позволит внедрить данные машины в состав роботизированных буровых комплексов.

Методы и материалы

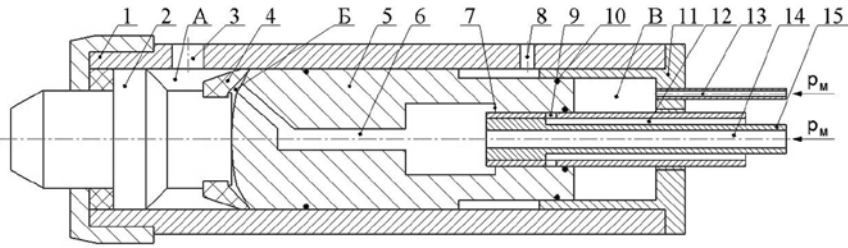
С учетом изложенных факторов разработан и запатентован вариант принципиальной конструктивной схемы пнев-

матического устройства ударного действия. Конструктивная схема устройства представлена на рис. 3 [13].

Пневмоударное устройство состоит из корпуса 1, наковальни 2, ударника 5, подвижного патрубка 15, упругого клапана 4, установленного на неподвижной наковальне и задней гайки 11. Подвод сжатого воздуха осуществляется через патрубки 13 и 15 непосредственно в рабочие камеры ударника.

Устройство работает следующим образом. Ударник 5, который находится в положении удара, механически деформирует упругий клапан 4, закрывая кольцевой зазор между клапаном и внутренней цилиндрической поверхностью корпуса 1. Сжатый воздух поступает одновременно по патрубку 13 в камеру рабочего хода В и через центральный канал 14 в патрубок 15 и осевой канал 6 в камеру холостого хода Б. Поскольку площадь со стороны камеры холостого хода больше, чем со стороны камеры рабочего хода, ударник движется в заднее положение (вправо). Упругий клапан в течение холостого хода ударника находится в упруго-деформированном (растянутом) состоянии и удерживается в этом состоянии давлением энергоносителя в камере холостого хода. Одновременно происходит сжатие энергоносителя в камере рабочего хода.

В конце холостого хода, когда проточка в ударнике 7 пересекает вых-



- 1 – корпус; 2 – наковальня; 3 – выхлопное отверстие в корпусе; 4 – упругий клапан;
 5 – ударник; 6 – осевой канал в ударнике; 7 – проточка в ударнике; 8 – отверстие в корпусе;
 9 – выхлопное отверстие в патрубке; 10 – резиновое уплотнение; 11 – задняя гайка;
 12 – выхлопной канал в патрубке; 13 – впускной патрубок; 14 – канал подвода энергоносителя
 в камеру холостого хода; 15 – подвижный патрубок; А – камера выхлопа; Б – камера холостого хода;
 В – камера рабочего хода; p_m – магистральное давление

Рис. 3. Конструктивная схема устройства ударного действия

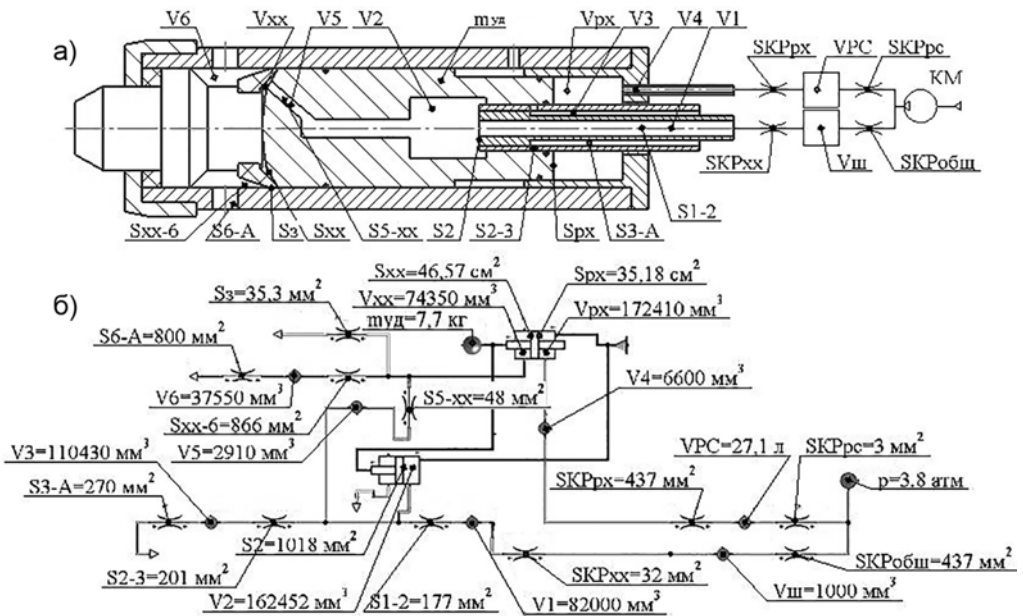
Fig. 3. Construction diagram of percussion tool

лопное отверстие 9, камера холостого хода Б соединяется с атмосферой через выхлопной канал 12. Падает давление в камере холостого хода. Данное обстоятельство приводит к уменьшению деформирующего усилия и переходу клапана в свободное (открытое) состояние. Открывается кольцевой зазор над клапаном 4 и происходит выхлоп энергоносителя в атмосферу из камеры холостого хода Б в камеру выхлопа. А далее через отверстие в корпусе 3. Ударник движется в переднее положение (влево). В конце рабочего хода ударник бьет по наковальне 2 и одновременно осуществляет механическое закрытие упругого клапана. Далее цикл повторяется. Отверстие 8 обеспечивает связь полости, расположенной между ударником и корпусом, с атмосферой для предотвращения скопления энергоносителя в замкнутом объеме. Изменение положения подвижного патрубка 15 позволяет осуществлять изменение координаты положения ударника, тем самым изменяя структуру ударной мощности непосредственно в процессе работы устройства.

Достоинством новой схемы является простота изготовления и наличие в конструкции подвижного устройства в

задней части, позволяющего путем изменения координаты положения ударника регулировать величину рабочего хода, тем самым изменять структуру ударной мощности при практически постоянной ее величине. Такая возможность регулировки энергетических и динамических параметров позволяет использовать данное устройство в составе роботизированных буровых комплексов для адаптации режима работы к условиям технологического процесса и свойствам обрабатываемого породного массива. Кроме того, наличие упругого клапана, установленного на неподвижной наковальне, позволит уменьшить его износ и увеличить ресурс работы механизма в целом, особенно в условиях запыленности.

Для исследования рабочего цикла предлагаемого устройства было принято решение представить ее в виде схемы с постоянными и переменными объемами, которые связаны между собой дросселями; пневмоцилиндрами, моделирующими рабочие камеры устройства; подвижной массы, моделирующей ударник. Схема пневмоударного устройства с обозначениями объемов рабочих камер V и сечениями дросселей S представлена на рис. 4, а. Соответствующая



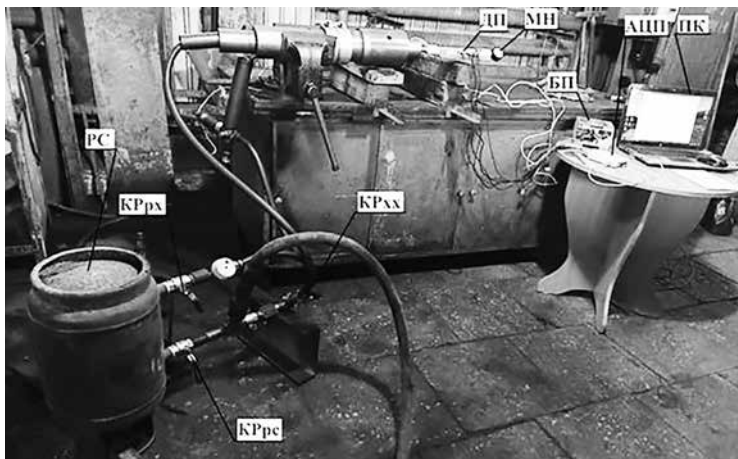
$SKP_{Обш}$, SKP_{PC} , SKP_{PX} , SKP_{XX} , S_{1-2} , S_2 , S_{2-3} , S_{3-A} , S_{XX} , S_{PX} , S_3 , S_{5-XX} , S_{6-A} , S_{XX-6} – площади проходных сечений;
 V_{PC} , $V_{Ш}$, V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 , V_6 , V_{PX} , V_{XX} – объемы камер; $m_{уд}$ – масса ударника; КМ – компрессор

Рис. 4. Конструктивная схема пневмоударного устройства (а) и имитационная модель пневмоударного устройства в программе ITISimX (б)

Fig. 4. Construction diagram of pneumatic percussion tool (a) and its simulation in ITISimX (b)

конструктивной схеме имитационная модель, созданная в программном комплексе ITISimX, приведена на рис. 4, б [14, 15].

Исследования проводились при следующих параметрах: номинальное давление компрессора $p = 0,38 \text{ МПа}$, габаритный ход ударника $X = 130 \text{ мм}$, масса



АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
 ПК – персональный компьютер;
 БП – блок питания;
 РС – ресивер;
 КР_{PC} – кран подачи давления в ресивер;
 КР – кран подачи давления в камеру рабочего хода;
 КР_{рх} – кран подачи давления в камеру холостого хода;
 ДП – датчики перемещения;
 МН – манометр

Рис. 5. Физическая модель пневматической машины ударного действия с измерительным оборудованием

Fig. 5. Physical analog of pneumatic percussion tool with measurement equipment

ударника $m_{уд} = 7,7$ кг. Величина рабочего хода ударника изменялась в диапазоне $X = 40 - 94$ мм.

Результаты, полученные при исследовании на имитационной модели, позволили определить основные геометрические параметры пневмоударной машины для создания ее физической модели. Общий вид стенда с установленной машиной и измерительным оборудованием представлен на рис. 5.

Пневматическая машина ударного действия через резиновый демпфер была закреплена на массивном основании. Для отслеживания координаты положения ударника к нему был прикреплен стержень с поршнем на конце. Данный поршень был помещен в герметичную пластиковую трубку, подсоединенную к передней части машины. К пластиковой трубке вплотную установлены индуктивные датчики перемещения ДП, фиксирующие положения ударника. В передней части трубки установлены поверочный манометр МН и датчик давления, измеряющие давление в камере холостого хода. Источником питания для устройства является компрессор с номинальным давлением 0,38 МПа. Подача энергоносителя осуществляется: через кран KP_{pc} , необходимый для восполне-

ния утечек в ресивере РС и камере рабочего хода из магистрали; кран $KP_{рх}$, подающий давление из ресивера через датчик измерения давления в камеру рабочего хода; $KP_{хх}$ -кран подачи энергоносителя в камеру холостого хода. Изменение рабочего хода ударника, соответственно энергии и частоты ударов, осуществляется за счет вращения резьбовой втулки, установленной в задней части устройства. Площади сечения всех приведенных кранов приняты из предварительного расчета имитационной модели в программе SimulationX.

После подачи к пневмоударной машине сжатого воздуха под давлением 0,38 МПа машина входит в устойчивый рабочий режим. Индуктивные датчики фиксируют положение ударника, а датчики давлений — давление в камерах рабочего и холостого хода. Данные с датчиков поступают на (АЦП) Е14-440, с последующей обработкой на персональном компьютере ПК при помощи программы LGraph. Питание датчиков давления, датчиков ДП и АЦП осуществляется с помощью блока питания БП.

Результаты

По результатам имитационного моделирования работы пневмоударного уст-

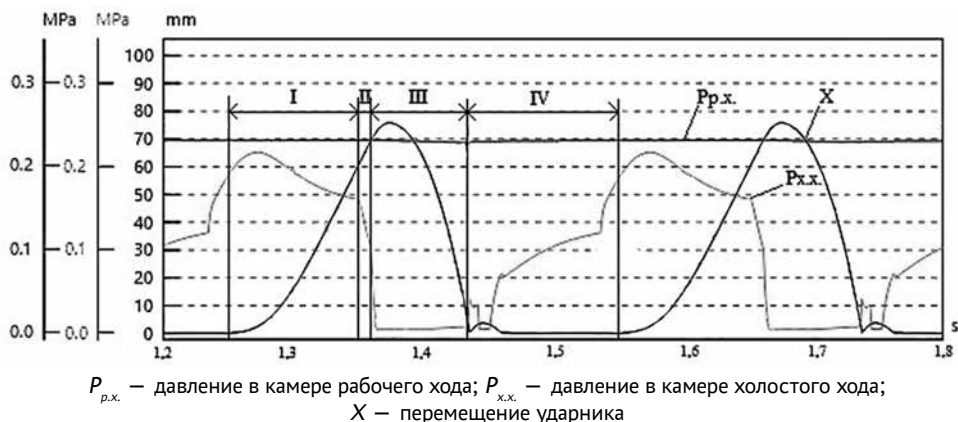


Рис. 6. Графики перемещения и изменения давления в камере рабочего и холостого хода ударника
Fig. 6. Piston travel and pressures in power and idle stroke chambers

ройства в программе ITISimX построены графики перемещения X и изменения давления в камере рабочего $P_{р.х.}$ и холостого $P_{х.х.}$ хода ударника в течение рабочего цикла, приведенные на рис. 6. Значение координаты $X = 0$ мм показывает положение ударника в момент удара о наковальню.

Рассмотрим работу устройства в пределах одного цикла. Отталкиваясь от диаграммы давлений в камере холостого хода и перемещения, можно выделить четыре этапа.

I этап. Клапан механически прижат ударником к внутренней цилиндрической поверхности корпуса. Воздух поступает в камеру холостого хода и в ней происходит быстрый рост давления до максимального значения 0,22 МПа. Под действием давления ударник начинает холостой ход. Последующее падение давления до величины 0,16 МПа объясняется быстрым увеличением объема камеры обратного хода. Давление в камере рабочего хода остается на уровне 0,23 МПа.

II этап. В начале этапа края проточки внутри ударника пересекаются с выхлопным отверстием в патрубке. Давление в камере холостого хода снижается до значения 0,1 МПа, при котором открывается упругий клапан, происхо-

дит выхлоп энергоносителя из камеры холостого хода и резкое падение давления до нуля.

III этап. Ударник под действием сил инерции движется до значения рабочего хода $X = 76$ мм. Далее начинается рабочий ход ударника. Давления в камерах остаются на том же уровне.

IV этап. Происходит удар и последующий отскок ударника. После чего наблюдается механическое прижатие клапана ударником, которое возникает под действием постоянного давления величиной 0,23 МПа в камере рабочего хода, при этом давление в камере холостого хода возрастает до величины 0,12 МПа. В камере холостого хода после закрытия клапана происходит рост давления до 0,22 МПа, однако в интервале времени 1,52 – 1,54 с. ударник находится в положении удара. Это связано с практически равными усилиями, действующими на ударник со стороны камер холостого и рабочего хода. Как только усилие, создаваемое давлением в камере обратного хода, превысит усилие от давления в камере прямого хода, начинается холостой ход ударника. Далее цикл повторяется.

Получены следующие результаты: при рабочем ходе ударника $X = 76$ мм скорость соударения составила $v_c =$

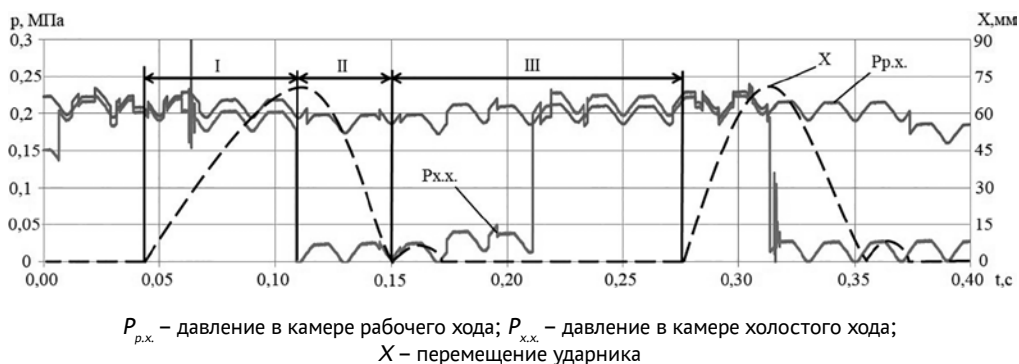


Рис. 7. Диаграммы давлений в камерах пневмоударной машины и рабочий ход ударника, измеренные датчиками

Fig. 7. Sensor readings of pressure in pneumatic percussion tool chambers and piston power stroke

= 2,76 м/с, энергия удара $E = 29,3$ Дж, частота ударов $f = 3,49$ Гц.

По результатам физического моделирования пневмоударной машины также получен график рабочего цикла, представленный на рис. 7.

Рассмотрим работу машины в пределах одного цикла. Исходя из диаграммы давлений в камерах пневмоударного устройства, в отличие от имитационной модели явно можно выделить три этапа.

I этап. Упругий клапан механически прижат ударником к внутренней поверхности корпуса. Под действием усилия, создаваемого давлением воздуха величиной 0,21 МПа, ударник совершает холостой ход. При этом происходит небольшое падение давления $P_{x.x}$ в камере холостого хода до значения 0,18 МПа вследствие быстрого увеличения объема камеры холостого хода.

II этап. В начале этапа края проточки внутри ударника пересекаются с выхлопными отверстиями патрубка. Давление в камере холостого хода падает до нуля. При этом происходит открытие упругого клапана и выхлоп энергоносителя из камеры холостого хода. Начинается рабочий ход ударника. Увеличение объема камеры рабочего хода приводит к падению давления $P_{p.x}$ до значения 0,18 МПа.

III этап. В начале этапа происходит удар и отскок ударника. Далее возникает механическое прижатие клапана ударником, в результате чего повышается давление $P_{p.x}$ в камере рабочего хода до величины 0,21 МПа. В камере холостого хода после закрытия клапана происходит рост давления до 0,21 МПа, однако в интервале времени 0,21 – 0,27 с. ударник находится в положении удара. Это так же связано с практически равными усилиями, действующими на ударник со стороны камер холостого и рабочего хода. Как только усилие, создаваемое

мое давлением в камере холостого хода, превысит усилие от давления в камере рабочего хода, начинается холостой ход ударника. Далее цикл повторяется.

При эксперименте на физической модели получены следующие результаты: при рабочем ходе ударника $X = 73$ мм скорость соударения составила $v_c = 2,97$ м/с, энергия удара $E = 34$ Дж, частота ударов $f = 3,94$ Гц.

Наличие трех этапов рабочего цикла в физической модели устройства, в отличие от имитационной модели, в которой присутствует четыре этапа, объясняется погрешностью работы датчиков давления, которые не фиксируют момент открытия упругого клапана.

Расхождение результатов измерения имитационной модели относительно физической составила для:

- рабочего хода ударника $\delta X = -4,1\%$;
- скорости соударения $\delta v_c = 7\%$;
- энергии удара $\delta E = 13,8\%$;
- частоты ударов $\delta f = 11,4\%$.

Таким образом, можно утверждать, что имитационная модель, созданная при помощи программы ITISimX, соответствует физической модели машины и может быть использована для проведения дальнейших исследований.

По результатам экспериментов построены графики изменения энергетических и динамических параметров от величины рабочего хода пневмоударной машины, представленные на рис. 8, а, б. На рис. 8, в, г представлены графики изменения параметров пневмопробойника ИП-4605 [9].

Из графиков на рис. 8, а видно, что изменение величины рабочего хода в конструктивно достижимом диапазоне от 94 до 40 мм приводит к снижению энергии удара примерно в 2 раза, а мощности примерно в 1,5 раза. Графики на рис. 8, б отображают повышение частоты ударов примерно в 1,3 раза и снижение скорости соударения в 1,5 раза. Для

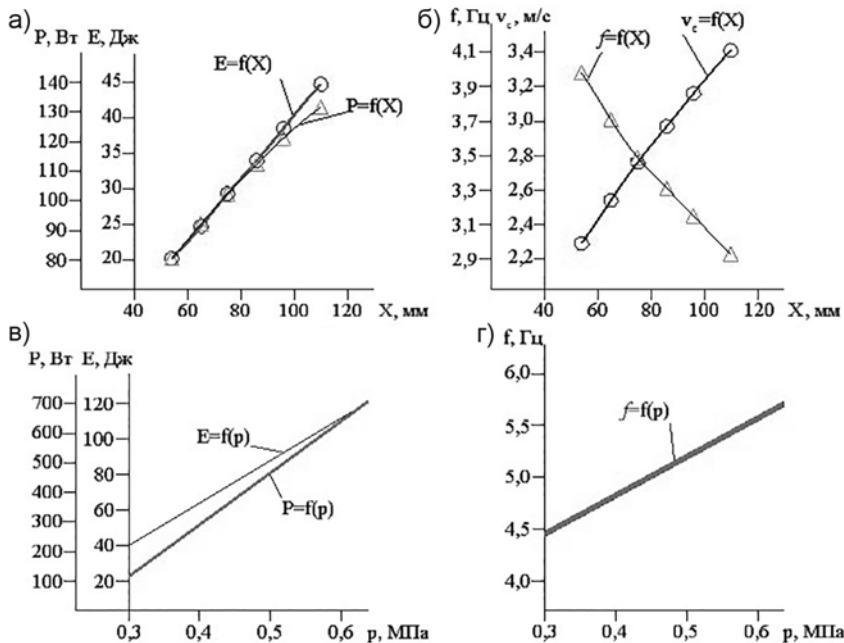


Рис. 8. Изменение мощности P и энергии удара E (а); частоты f и скорости удара v_c (б) от величины рабочего хода X пневмоударной машины; изменение мощности P , энергии E (в) и частоты f ударов (г) от величины магистрального давления воздуха p для пневмопробойника ИП-4605

Fig. 8. Change in capacity P and energy E of impact (а), in frequency f and velocity v_c of blow (б) as function of piston power travel X ; change in capacity P , energy E (в) and частоты f ударов (г) of blows as function of main air pressure p for air hammer IP-4605

пневмопробойника ИП-4605 изменение энергетических и динамических параметров, представленных на рис. 8, в, г происходит только путем снижения общего магистрального давления воздуха. Данное обстоятельство приводит к снижению не только частоты ударов, но и энергии, в то время как в предлагаемой конструкции при снижении частоты энергия увеличивается, и наоборот. В связи с этим возникает необходимость создания нового поколения пневмоударных машин, отвечающих необходимым требованиям для включения их в состав роботизированных буровых комплексов.

Результаты проведенного экспериментального исследования показывают малый диапазон изменения энергетических параметров машины. Использование существующей имитационной модели позволит создать конструкцию опыт-

ного образца пневмоударной машины с необходимыми параметрами в зависимости от условий работы.

Выводы

Проведенный анализ конструкций пневмоударных машин, используемых в горной промышленности, позволил создать новую конструктивную схему пневмоударного устройства с упругим клапаном и изменяемой структурой ударной мощности. Такая схема позволит реализовать адаптивные буровые технологические процессы в составе роботизированных комплексов с использованием автоматизированных систем. Эти системы позволяют применить «безлюдные технологии», обеспечивающие выполнение буровых работ без непосредственного участия оператора вблизи работающей установки. Проведенные

экспериментальные исследования рабочего цикла и параметров доказали работоспособность пневмоударной машины, выполненной по новой схеме. Результаты исследования могут служить основой для создания опытного образца пневмоударной машины с регулируемой в широком диапазоне энергией и часто-

той генерируемых ударных импульсов для работы в составе роботизированных буровых комплексов.

Автор благодарен за помощь в работе над статьей д.т.н Б.Б. Данилову (ИГД СО РАН) и к.т.н. Д.О. Чещину (ИГД СО РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хазин М. Л. Роботизированная техника для добычи полезных ископаемых // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2020. – Т. 18. – № 1. – С. 4–15. DOI: 10.18503/1995-2732-2020-18-1-4-15.
2. Atkinson R. D. Robotics and the future of production and work // Information Technology and Innovation Foundation. 2019.
3. Dadhich S., Bodin U., Andersson U. Key challenges in automation of earth-moving machines // Automation in Construction. 2016, vol. 68, pp. 212–222. DOI: 10.1016/j.autcon.2016.05.009.
4. Marshall J. A., Bonchis A., Nebot E., Sheding S. Robotics in mining / Springer handbook of robotics. Springer, Cham, 2016, pp. 1549–1576. DOI: 10.1007/978-3-319-32552-1_59.
5. Rakhmangulov A., Burmostrov K., Osintsev N. Sustainable pen pit mining and technical systems: concept, principles, and indicators // Sustainability. 2021, vol. 13, no. 3, article 1101. DOI: 10.3390/su13031101.
6. Марданов В. А., Ткаченко Д. Г. Об использовании робототехники при ведении горнопроходческих работ / Проблемы горного дела. Сборник научных трудов II Международного Форума студентов, аспирантов и молодых ученых-горняков, посвященного 100-летию ДонНТУ. – Донецк, 2021. – С. 89–93.
7. Кауркин И. А., Зиновьев В. В. Роботизация в горнодобывающей промышленности / Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия Молодая». – Кемерово, 2017. – С. 35006.
8. Суднишников Б. В., Есин Н. Н., Тупицын К. К. Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия. – Новосибирск: Наука, 1985. – 135 с.
9. Гурков К. С., Клиماشко В. В., Костылев А. Д. и др. Пневмопробойники. – Новосибирск: Изд-во ИГД СО АН СССР, 1990. – 217 с.
10. Тамбовцев П. Н. Эффективный рабочий цикл пневмоударной машины // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2018. – Т. 6. – С. 197–206. DOI: 10.18303/2618-981X-2018-6-197-206.
11. Смоляницкий Б. Н., Червов В. В. Повышение эффективности использования энергоносителя в пневмомолотах для подземного строительства // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 5. – С. 143–156.
12. Гаун В. А. Разработка и исследование погружных пневмоударников с повышенной энергией удара / Повышение эффективности пневмоударных буровых машин. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1987 – 133 с.
13. Данилов Б. Б., Плохих В. В., Речкин А. А., Чещин Д. О. Патент ПМ РФ № 208325 Устройство ударного действия. Б. 35 от 14.12.2021.
14. Плохих В. В., Данилов Б. Б., Чещин Д. О. Исследование динамических параметров и рабочего цикла виброударных систем, участвующих в реализации адаптивных технологических процессов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2021. – Т. 2. – № 4. – С. 67–77. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-2-4-67-77.

15. Плохих В. В., Данилов Б. Б., Чешчин Д. О., Кордубайло А. О. Обоснование принципиальной схемы и исследование рабочего цикла пневматической ударной машины с изменяемой структурой ударной мощности // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. – 2021. – Т. 8. – № 1. – С. 315–320. DOI: 15372/FPVGN2021080148. **PLAB**

REFERENCES

1. Khazin M. L. Robotic equipment for mining operations. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2020, vol. 18, no. 1, pp. 4–15. [In Russ]. DOI: 10.18503/1995-2732-2020-18-1-4-15.

2. Atkinson R. D. Robotics and the future of production and work. *Information Technology and Innovation Foundation*. 2019.

3. Dadhich S., Bodin U., Andersson U. Key challenges in automation of earth-moving machines. *Automation in Construction*. 2016, vol. 68, pp. 212–222. DOI: 10.1016/j.autcon.2016.05.009.

4. Marshall J. A., Bonchis A., Nebot E., Sheding S. Robotics in mining. *Springer handbook of robotics*. Springer, Cham, 2016, pp. 1549–1576. DOI: 10.1007/978-3-319-32552-1_59.

5. Rakhmangulov A., Burmostrov K., Osintsev N. Sustainable pen pit mining and technical systems: concept, principles, and indicators. *Sustainability*. 2021, vol. 13, no. 3, article 1101. DOI: 10.3390/su13031101.

6. Mardanov V. A., Tkachenko D. G. On the use of robotics in the conduct of mining operations. *Problemy gornogo dela. Sbornik nauchnykh trudov II Mezhdunarodnogo Foruma studentov, aspirantov i molodykh uchenykh-gornyakov, posvyashchennogo 100-letiyu DonNTU* [Mining problems. Collection of scientific papers of the II International Forum of Students, Postgraduates and Young Mining Scientists dedicated to the 100th anniversary of DonNTU], Donetsk, 2021, pp. 89–93. [In Russ].

7. Kaurkin I. A., Zinoviev V. V. Robotization in the mining industry. *Sbornik materialov IX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem «Rossiya Molodaya»* [Collection of materials of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference of Young scientists with international participation «Young Russia»], Kemerovo, 2017, pp. 35006. [In Russ].

8. Sudnishnikov B. V., Esin N. N., Tupitsyn K. K. *Issledovanie i konstruirovaniye pnevmaticheskikh mashin udarnogo deystviya* [Research and design of pneumatic impact machines], Novosibirsk, Nauka, 1985, 135 p.

9. Gurkov K. S., Klimashko V. V., Kostylev A. D. i dr. *Pnevmo-proboyniki* [Pneumatic punches], Novosibirsk, Izd-vo IGD SO AN SSSR, 1990, 217 p.

10. Tambovtsev P. N. Effective operating cycle of a pneumatic punch machine. *Interexpo GEO-Siberia*. 2018, vol. 6, pp. 197–206. [In Russ]. DOI: 10.18303/2618-981X-2018-6-197-206.

11. Smolyanitsky B. N., Chervov V. V. Increasing the efficiency of energy carrier use in pneumatic hammers for underground construction. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2014, no. 5, pp. 143–156. [In Russ].

12. Gaun V. A. Development and research of down-the-hole hammers with increased impact energy. *Povysheniye effektivnosti pnevmoudarnykh burovnykh mashin* [Improving the efficiency of pneumatic percussion drilling machines], Novosibirsk, IGD SO AN SSSR, 1987, 133 p.

13. Danilov B. B., Plokhikh V. V., Rechkin A. A., Cheshchin D. O. *Patent RU 208325, 14.12.2021*. [In Russ].

14. Plokhikh V. V., Danilov B. B., Cheshchin D. O. Dynamics and operating cycles of vibratory-percussive systems involved in implementation of adaptive technologies. *Interexpo GEO-Siberia*. 2021, vol. 2, no. 4, pp. 67–77. [In Russ]. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-2-4-67-77.

15. Plokhikh V. V., Danilov B. B., Cheshchin D. O., and Kordubailo A. O. Justification of a principal diagram and analysis of operating cycle of pneumatic percussion machine with a variable impact power structure. *Mining sciences: fundamental and applied issues*. 2021, vol. 8, no. 1, pp. 315–320. [In Russ]. DOI: 15372/FPVGN2021080148.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Плохих Вадим Валерьевич – аспирант,
младший научный сотрудник,
Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,
e-mail: vadim.plohih@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0002-9939-4673.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

V.V. Plokhikh, Graduate Student, Junior Researcher,
Chinakal Institute of Mining of Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Russia,
e-mail: vadim.plohih@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0002-9939-4673.

Получена редакцией 28.01.2022; получена после рецензии 25.03.2022; принята к печати 10.06.2022.
Received by the editors 28.01.2022; received after the review 25.03.2022; accepted for printing 10.06.2022.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

ПРОЦЕСС САМОЗАПУСКА МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ

(№ 1253/07-22 от 18.05.2022; 12 с.)

Дубоносов Сергей Викторович – студент, e-mail: dubonosov_s@mail.ru, НИТУ «МИСиС».

Показано влияние внезапных кратковременных перерывов электроснабжения на примере золотоизвлекательной фабрики ЗИФ «Вернинская». Кратко рассмотрен технологический процесс предприятия, в результате чего выявлены наиболее значимые группы электроприемников. К ним относятся дробилки, мельницы, питатели, насосные и вентиляторные установки. Проанализированы характеристики оборудования и определены последствия кратковременного исчезновения электропитания. К ущербу, вызванному снижением напряжения, можно отнести перерасход энергоресурсов, химических реагентов и воды; уменьшение межремонтного срока службы оборудования; существенные материальные потери; человеческие жертвы. В работе также выполнен расчет мощности неотключаемых электродвигателей в зависимости от продолжительности короткого замыкания. Данные вычисления можно проводить в аналогичных расчетах для других предприятий.

Ключевые слова: самозапуск, асинхронный двигатель, синхронный двигатель, влияние на электрическую сеть.

PROCESS OF SELF-STARTING OF POWERFUL ELECTRIC MOTORS AND ITS EFFECT ON THE ELECTRICAL NETWORK

S.V. Dubonosov, Student, e-mail: dubonosov_s@mail.ru,
National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

This article shows the impact of sudden short-term interruptions of power supply on the example of the gold recovery factory GEF «Verninskaya». The technological process of the enterprise is briefly considered, because of which the most significant groups of electric receivers are identified. These include crushers, mills, feeders, pumping and ventilation units. The characteristics of the equipment are analyzed and the consequences of the short-term disappearance of the power supply are determined. The damage caused by a decrease in voltage can be attributed to overspending of energy resources, chemicals, and water; reduction of the inter-repair service life of equipment; significant material losses; human casualties. The paper also calculates the power of non-switched electric motors depending on the duration of the short circuit. These calculations can be carried out in similar calculations for other enterprises.

Key words: self-starting, asynchronous motor, synchronous motor, influence on the electrical network.