

В.С. АНТОНЧИК, А.Е. НАЗАРОВ

(Украина, Днепр, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины),

В.Ф. ГАНКЕВИЧ, канд. техн. наук

(Украина, Днепр, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»),

О.В. ЛИВАК,

(Украина, Днепр, Украинский государственный химико-технологический университет)

ПОВЫШЕНИЕ К.П.Д. ПНЕВМОУДАРНЫХ МАШИН

Введение. Одним из важнейших показателей эффективности и экономической стоимости работы пневмоударников есть расход сжатого воздуха, стоимость которого составляет до 50% от стоимости погонного метра скважины.

Небольшой, около 15-20% коэффициент полезного действия (далее к.п.д.) существующих пневмоударных машин требует значительного расхода сжатого воздуха и, соответственно, стоимости работ. Одним из наиболее перспективных путей увеличения к.п.д. пневмоударных машин есть улучшение их термодинамических параметров. Это может быть осуществлено за счет увеличения полезной работы термодинамических процессов и объединения таких процессов в циклы.

Существующие конструкции пневмоударников за полный цикл движения бойка (молотка) используют сжатый воздух дважды—для разгона бойка (молотка) с последующим выхлопом в атмосферу и для возвращения бойка (молотка) в исходное положение с последующим выхлопом в атмосферу. Таким образом, полный цикл движения бойка (молотка), существующих пневмоударников, состоит из циклов работы сжатого воздуха на этапе изобарного и адиабатного расширения и разгона бойка (рабочий ход) с последующим выбросом порций сжатого воздуха в атмосферу и циклов изобарного и адиабатного расширения и разгона бойка в обратном направлении с последующим выбросом порций сжатого воздуха в атмосферу. Необходимая частота ударов бойка, определяемая процессом бурения, не позволяет осуществить в известных конструкциях пневмоударников полное расширение сжатого воздуха до атмосферного давления из-за короткого промежутка времени разгона бойка. В связи с этим значительная часть сжатого воздуха, как во время рабочего, так и обратного хода бойка выбрасывается в атмосферу после получения бойком необходимой скорости.

Суть способа увеличения термодинамического к.п.д. пневмоударных машин. Наибольший термодинамический к.п.д. пневмоударных машин достигается использованием термодинамических процессов в рабочих камерах пневмоударных машин путем объединения в один цикл. Полный разгон бойка (на этапе рабочего хода) осуществляется только изобарным расширением сжатого воздуха из магистрали высокого давления без выпуска какой-либо его части в атмосферу. После удара бойка по буровой коронке следует подать сжатый воз-

дух в камеру обратного хода и изобарным расширением разогнать боёк в обратном направлении до нужной скорости. После этого следует перекрыть поступление сжатого воздуха в камеру обратного хода, и продолжить перемещение бойка в обратном направлении адиабатным расширением сжатого воздуха, оставшегося в камере обратного хода. Когда скорость бойка будет достаточна для возвращения его в исходное положение, боёк, двигаясь по инерции, открывает выхлопные отверстия и порция сжатого воздуха из камеры обратного хода выбрасывается в атмосферу. Таким образом, полный цикл работы пневмоударника можно осуществить двумя изобарными расширениями сжатого воздуха и одним адиабатным с последующим одним выхлопом недорасширенного его объема в атмосферу.

Конструкция пневмоударника, которая реализует указанный цикл термодинамических процессов, должна иметь следующие конструктивные особенности:

- иметь отсек поступательного движения ускорителя в камере высокого давления, где происходит изобарное расширение сжатого воздуха на этапе рабочего хода бойка;

- иметь отсек поступательного движения бойка в камере обратного хода, в котором происходит сначала изобарное, а потом – адиабатное расширение порции сжатого воздуха на этапе обратного хода бойка;

- отсек движения ускорителя должен разделяться ускорителем на две изолированные камеры – камеру высокого давления и камеру обратного хода ускорителя, где происходит адиабатное расширение сжатого воздуха на этапе обратного хода бойка с ускорителем;

- отсек движения бойка должен разделяться бойком на две изолированные камеры – камера обратного хода бойка и камера низкого давления, которая постоянно соединена с атмосферой проходным каналом;

- ускоритель должен жестко стыковаться с бойком во время рабочего хода бойка для разгона бойка вместе с ускорителем до необходимой скорости, а так же на этапе обратного хода бойка для его торможения после достижения бойком необходимой скорости обратного хода и до полной остановки бойка с ускорителем.

Конструкция пневмоударника, реализующего новый способ его работы. Конструкция погружного пневмоударника для осуществления указанного способа работы представлена на рисунке 1.

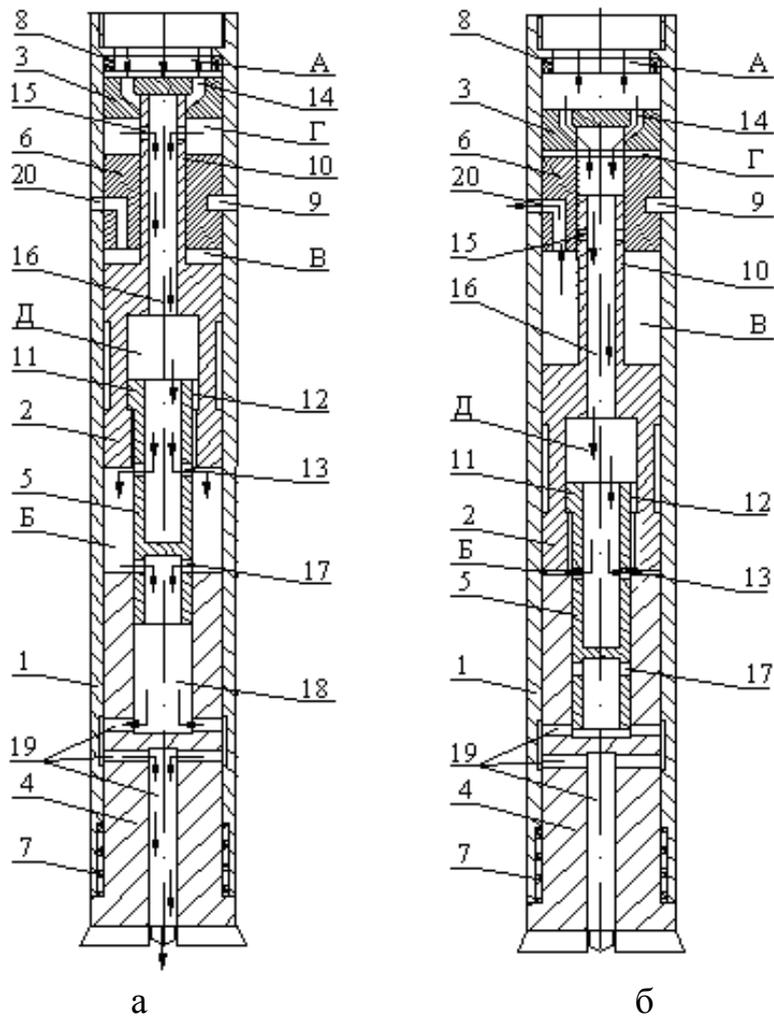


Рис. 1. Погружной пневмоударник:
а – исходное положение; б – боек в момент удара

Погружной пневмоударник состоит из корпуса 1, бойка 2, ускорителя 3, буровой коронки 4, втулки 5, изолирующей перегородки 6, пружины 7, упора 8, фиксатора 9. Боек 2 имеет хвостовик бойка 10. Хвостовик бойка 10 имеет отверстия 15 и осевой канал 16. Втулка 5 имеет входные отверстия 13 и выпускные отверстия 17, кольцевой выступ 11, на котором есть несколько прорезей 12. Ускоритель 3 имеет каналы 14. Буровая коронка 4 имеет осевой канал 18 и выпускные каналы 19. Изолирующая перегородка 6 имеет выходные каналы 20.

Пневмоударник имеет камеру высокого давления А, камеру обратного хода Б, камеру низкого давления В, камеру обратного хода ускорителя Г. Боёк имеет полость Д.

Работа пневмоударника. Пневмоударник работает следующим образом.

В исходном положении хвостовик бойка 10 стыкуется с ускорителем 3 и перекрывает каналы 14 ускорителя 3 (рис. 1 а). После сжатия пружины 7 корпусом 1 и открытия выпускных каналов 19 буровой коронки 4, в следствие разно-

сти давлений в камерах Б, В, Г (где давление атмосферное) и камере высокого давления А, сжатый воздух в камере А расширяется и разгоняет ускоритель 3 вместе с бойком 2. Воздух из камеры Г выходит через отверстия 15 хвостовика бойка 10, осевой канал 16 бойка 2, полость бойка Д, прорези 12 втулки 5, и щель между втулкой 5 и бойком 2, и попадает в камеру Б. Далее воздух из камеры Б через выпускные отверстия 17 втулки 5, осевой канал 18 буровой коронки 4 и каналы 19 буровой коронки 4 выходит в атмосферу. Во время разгона бойка 2 с ускорителем 3 втулка 5 остается в крайнем верхнем положении, когда выпускные отверстия 17 остаются открытыми и соединенными с атмосферой (рис. 1 а). Расстояние между ускорителем 3 и изолирующей перегородкой 6 рассчитано так, что ускоритель 3 останавливается возле изолирующей перегородки в момент, когда боек 2 получил необходимую скорость и энергию удара (рис. 1 б). Далее боек двигается по инерции. За несколько миллиметров до столкновения с буровой коронкой 4 (расстояние, которое равняется диаметру выпускного отверстия 17) боек 2 торцевой стороной полости Д толкает втулку 5. Втулка 5, получив скорость, движется в осевом канале буровой коронки 18, перекрывая выпускные отверстия 17 и в дальнейшем выход воздуха из камеры обратного хода Б. После удара бойка 2 по буровой коронке 4 сжатый воздух с камеры высокого давления А через каналы 14 ускорителя 3, осевой канал изолирующей перегородки 6, осевой канал 16 бойка 2, полость бойка Д и входные отверстия 13 втулки 5 поступает в камеру обратного хода Б, где давление воздуха увеличивается до высокого давления, равного давлению в магистрали подачи сжатого воздуха. Вследствие разницы давлений воздух в камерах Б и В (где давление воздуха атмосферное), появляется неуравновешенная сила со стороны камеры обратного хода Б, которая разгоняет боек 2 в обратном направлении. Расстояние между торцом хвостовика бойка 10 и ускорителем 3 рассчитано так, что они стыкуются тогда, когда боек 2 получит скорость, и кинетическую энергию, достаточную для завершения обратного хода. После стыковки бойка 2 с ускорителем 3 хвостовик бойка 10 перекрывает каналы 14 ускорителя 3 и подачу сжатого воздуха в камеру Б. Дальнейшее движение бойка 2 с ускорителем 3 происходит по инерции, а так же под действие адиабатного расширения сжатого воздуха в камере Б и камерах Б и Г после открытия отверстий хвостовика 15 бойка 2. С другой стороны на ускоритель 3 действует сила давления сжатого воздуха в камере высокого давления А, которая тормозит ускоритель 3 вместе с бойком 2 (рис. 1 б).

В процессе обратного хода боек 2 тянет за собой втулку 5 и в конце обратного хода открывает выпускные отверстия 17, через которые сжатый воздух из камер Б и Г выходит в атмосферу. Кинетическая энергия бойка 2 и ускорителя 3 вместе с суммарным действием сил давления сжатого воздуха рассчитаны так, что боек 2 с ускорителем 3 возвращается в исходное положение с учетом выпуска сжатого воздуха с камер Б и Г в атмосферу в конце обратного хода. Изолирующая перегородка 6 жестко связана с корпусом 1 фиксатором 9 и не пропускает воздух между камерами В и Г. Упор 8 ограничивает движение ускорителя

теля 3 за пределы исходного положения и обеспечивает запуск пневмоударника.

Расчет геометрических параметров пневмоударника. Расчет геометрических размеров пневмоударника выполняется последовательным решением уравнений движения бойка и ускорителя на различных этапах термодинамических циклов расширения сжатого воздуха. Поскольку время рабочего цикла ударника (рабочий и обратный ход бойка) составляет примерно 0,01-0,05 сек, то потерями энергии сжатого воздуха за счет отдачи тепла в окружающую среду в адиабатном процессе расширения воздуха можно пренебречь из-за их малой величины. Поэтому процесс расширения порции сжатого воздуха в камерах пневмоударника считаем адиабатным. Незначительный объем камер пневмоударника по сравнению с объемом магистрали подачи сжатого воздуха, а так же скорость распространения сжатого воздуха (порядка скорости звука) в полости пневмоударника позволяет процесс разгона бойка с расширением сжатого воздуха, непрерывно поступающим из магистрали, считать изобарным.

Диаметр пневмоударника и размеры поперечных сечений его деталей, каналов полостей и камер задаются конструктивно, исходя из диаметра буримой скважины. Конструктивно задаются так же линейные размеры ускорителя 3 и пружины 7. Линейные размеры корпуса 1, бойка 2, коронки 4 и втулки 5 уточняется после определения рабочего и обратного хода бойка 2 и ускорителя 3.

Рабочий ход бойка с ускорителем из исходного положения на этапе изобарного расширения сжатого воздуха определяем следующим образом

$$K_c = \int_0^V p_m(V) dV \quad (1)$$

$$K_c = K_y + K_\delta$$

где K_c – суммарная кинетическая энергия бойка и ускорителя в конце рабочего хода; K_y – кинетическая энергия ускорителя в конце рабочего хода; K_δ – кинетическая энергия бойка, необходимая для удара по буровой коронке и разрушение пород. Эта величина известная и задается в зависимости от крепости пород;

p_m – давление сжатого воздуха в магистрали высокого давления и подачи сжатого воздуха;

V – объем сжатого воздуха в термодинамическом цикле его расширения.

Учитывая, что при изобарном процессе принимаем $p_m = const$, а так же для цилиндрической формы камер ударника $V = S \cdot X$ получим

$$K_c = p_m \int_0^{V_1} dV = p_m (V - 0) = p_m \cdot S_y \cdot X_p \quad (2)$$

$$X_p = \frac{K_c}{p_m \cdot S_y}, \quad (3)$$

где S_y – площадь поперечного сечения ускорителя;

X_p – рабочий ход бойка вместе с ускорителем.

Определяем обратный ход бойка на участке изобарного расширения сжатого воздуха

$$K_0 = \int_0^{V_1} p_m(V) dV;$$

$$K_0 = p_m \int_0^V dV = p_m(V - 0) = p_m \cdot S_6 \cdot X_1, \quad (4)$$

где K_0 – кинетическая энергия бойка в конце участка изобарного расширения сжатого воздуха; S_6 – площадь торца бойка в камере обратного хода Б; X_1 – ход бойка на участке изобарного расширения сжатого воздуха в камере обратного хода Б.

Определяем движение бойка с ускорителем (после их стыковки) по инерции и под действием сил адиабатного расширения порции сжатого воздуха в камерах Б и Г и силы давления сжатого воздуха в камере А

$$\int_{V_1}^{V_2} p(V) dV + K_0 = \int_{V_0}^V p_m(V) dV; \quad (5)$$

Для адиабатного расширения сжатого воздуха

$$p_2(V) = p_m \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k,$$

где V_1 – объем сжатого воздуха в камере Б (обратного хода бойка) после завершения изобарного расширения; V_2 – объем сжатого воздуха в камерах Б (обратного хода бойка) и Г (обратного хода ускорителя); $p_2(V)$ – давление сжатого воздуха в камерах Б (обратного хода бойка) и Г (обратного хода ускорителя); k – показатель адиабаты для воздуха.

$$\int_{V_1}^{V_2} p_m \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k dV + K_0 = \int_0^V p_m(V) dV$$

Или

$$p_m V_1^k \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V_2^k} dV + K_0 = p_m \int_0^V dV$$

После интегрирования получим

$$\frac{1}{1-k} p_m V_1^k (V_2^{1-k} - V_1^{1-k}) + K_0 = p_m V_p \quad (6)$$

После стыковки боек с ускорителем проходят расстояние равное рабочему ходу X_p и возвращаются в исходное положение. Подставив в уравнение (6) вместо

$$V_1 = S_{\bar{o}} \cdot X_1, V_2 = (S_{\bar{o}} + S_{1y}) \cdot X_p, V_p = S_y \cdot X_{p1}$$

получим

$$\frac{p_m \cdot (S_{\bar{o}} \cdot X_1)^k}{1-K} = \left\{ \left[S_{\bar{o}} (X_1 + X_p) + S_{1y} \cdot X_p \right]^{1-k} - (S_{\bar{o}} \cdot X_1)^{1-k} \right\} + \quad (7)$$

$$+ p_m \cdot X_1 \cdot S_{\bar{o}} = p_m \cdot S_y \cdot X_p$$

где S_{1y} – площадь торцевой поверхности ускорителя в камере Г.

$$\text{Величина } X_p \text{ известна и равна } X_p = \frac{K_c}{p_m S_y}.$$

В уравнении (7) одно неизвестное X_p . Решив уравнение (7) относительно X_1 , получим вторую искомую величину обратного хода бойка и его общий ход.

$$L = X_1 + X_p, \quad (8)$$

где L – общий ход бойка от исходного положения до удара по буровой коронке.

Уравнение (7) не имеет аналитического решения относительно X_1 и решается численными методами.

Полученные размеры рабочего и обратного хода бойка и ускорителя позволяют полностью спроектировать пневмоударник.

Результаты

Результаты и их обсуждение. Решена задача увеличения к.п.д. пневмо-

ударных машин за счет сочетания термодинамических циклов расширения сжатого воздуха в рабочих камерах пневмоударных машин. Разработана принципиально новая конструкция пневмоударника, в которой реализуется теоретически обоснованное сочетание термодинамических циклов расширения сжатого воздуха. Степень расширения потребляемого сжатого воздуха увеличивается в 1,3-1,35 раза за счет расширения в двух камерах. Разработанный пневмоударник потребляет в 1,9-2,0 раза меньше сжатого воздуха, чем известные пневмоударники любых типов. Данное новое техническое решение увеличивает адиабатный к.п.д. использования сжатого воздуха до 40 %. Разработанную конструкцию пневмоударника рекомендуется использовать во всех типах пневмоударных машин.

Выводы

Предложенная конструкция пневмоударника позволяет уменьшить расход сжатого воздуха в 2 раза при тех же значениях частоты и энергии ударов, что и у существующих пневмоударников.

На базе данного технического решения могут быть созданы погружные пневмоударники, перфораторы, пневмомолотки и другие пневмоударные машины, использование которых в различных областях промышленности позволяет существенно уменьшить стоимость буровых и других видов работ.

Список литературы

1. Липин А.А. Погружные пневмоударники с комбинированным воздухо-распределением // Тр. конф. «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды». В 2 т. Т. 2. Машиноведение. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2007. С. 43-47.
2. Алексеев С.Е., Репин А.А., Пятнин А.А. Создание и внедрение в производство мощных погружных пневмоударников // Тр. конф. «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды». В 2 т. Т. 2. Машиноведение. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2007. – С. 9-13.
3. Косолапов Д.В. Особенности динамических расчетов деталей погружных пневмоударников / Косолапов Д.В. // Труды III Всероссийской конференции «Безопасность и живучесть технических систем». – Красноярск. 2009.– С. 171-175.
4. Липин А.А. Перспективные пневмоударники для бурения скважин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых – 2005. – № 2.

© Антончик В.С., Назаров А.Е., Ганкевич В.Ф., Ливак О.В., 2019

*Надійшла до редколегії 10.06.2019 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Л. М. Васильєвим*