

УДК 621.643.2;624.13;620.17 (088.8)

Строительный самодвижущийся пневмопробойник со стопорным механизмом

Инж. В. К. Передерей¹⁾¹⁾Кировоградский национальный технический университет (Кировоград, Республика Украина)© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Показан один из возможных методов увеличения производительности и надежности строительных самодвижущихся пневмопробойников, предназначенных для образования бестраншейным методом скважин в грунте при строительстве различных инженерных коммуникаций под автомобильными, трамвайными и железнодорожными путями, взлетными полосами аэродромов. Представлена новая конструкция строительного пневмопробойника с увеличенной производительностью за счет повышения скорости образования скважин в грунте и надежности конструкции. Аналитическим методом получена формула для определения увеличения перемещения пневмопробойника новой конструкции в сравнении с традиционной. Приведены конструкция и принцип работы самодвижущегося строительного пневмопробойника, который для устранения действия упругих сил грунта и реактивной силы отдачи снабжен стопорным механизмом, удерживающим пневмопробойник в скважине. Пневмопробойник содержит корпус с наковальней, подвижный ударник, патрубок, установленный в осевом углублении ударника, гайку и стопорный механизм. Повышение эксплуатационной надежности пневмоударника достигается благодаря тому, что стопорный механизм выполнен в виде двух коаксиально расположенных стаканов с общим основанием – внешнего и внутреннего. В середине внутреннего стакана установлены поршень, пружина над поршнем, шток с тормозным башмаком на конце. Высота внутреннего стакана меньше высоты внешнего, а между ними имеется кольцевая полость, которая сообщена с камерой, образованной поршнем, внутренним стаканом и патрубком. Кольцевая полость через отверстие, выполненное в стенке внешнего стакана, два сильфона, канал в торце гайки и отверстие, которое выполнено в вертикальной стенке патрубка, соединена с камерой рабочего хода. Сильфоны расположены между внешним стаканом и гайкой, между гайкой и патрубком. Составлены дифференциальные уравнения движения пневмопробойника в грунте, решением которых получена формула для определения увеличения перемещения пневмопробойника со стопорным механизмом и без него.

Ключевые слова: строительный самодвижущийся пневмопробойник, грунт, скважина, упругие силы грунта, реактивные силы отдачи, стопорный механизм, дифференциальные уравнения, перемещение

Для цитирования: Передерей, В. К. Строительный самодвижущийся пневмопробойник со стопорным механизмом / В. К. Передерей // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 2. С. 115–121

Construction Self-Propelled Pneumopunchers with Locking Mechanism

V. K. Perederey¹⁾¹⁾Kirovograd National Technical University (Kirovograd, Republic of Ukraine)

Abstract. The paper reveals one of possible methods for higher productivity and reliability of building self-propelled pneumopunchers which are intended for making holes in soil while using trenchless method and constructing various engineering communications under car, tram and rail lines, airport runways. A new design of building pneumopuncher with increased productivity due to higher speed for hole formation in soil and its reliability has been presented in the paper. A formula for determination of displacement increment for a new pneumopuncher in comparison with the conventional one has been obtained in the paper. The paper describes a design and operation principal of the building self-propelled pneumopuncher which

Адрес для переписки

Передерей Виктор Константинович
Кировоградский национальный технический университет
ул. Октябрьской Революции, 1,
25006, г. Кировоград, Республика Украина
Тел.: +380 95 741-08-21
perederej.viktor@inbox.ru

Address for correspondence

Perederey Viktor K.
Kirovograd National Technical University
1 Oktyabrskaya Revolutsiya str.,
25006, Kirovograd, Republic of Ukraine
Тел.: +380 95 741-08-21
perederej.viktor@inbox.ru

is equipped with a locking mechanism with the purpose to neutralize action of soil elastic forces and reactive repulsive force. The locking mechanism keeps the pneumopuncher in the hole. The pneumopuncher consists of a body with anvil, movable hammer, a manifold which is set in axial deepening of the hammer, a nut and a locking mechanism. Improvement of operational pneumopuncher reliability is attained due to the fact that the locking mechanism is made in the form of two coaxially positioned inner and outer cups having a common basis. A piston is installed in the middle of the inner cup, a spring is fixed over the piston and a rod with a breaking shoe is positioned at the end. Height of the inner cup is less the outer cup height and there is an annular cavity between them which is connected with a chamber. The chamber is formed by the piston, the inner cup and the manifold. The annular cavity through an opening in the inner cup wall, two sylphons, a channel in the nut end and an opening in the vertical wall of the manifold are connected with a chamber of operating stroke. The sylphons are placed between the outer cup and the nut, between the nut and the manifold. Differential equations for movement of pneumopuncher in soil have been compiled. While solving the equations a formula for determination of increase in displacement of the pneumopuncher with the locking mechanism and without it has been obtained in the paper.

Keywords: building self-propelled pneumopuncher, soil, hole, soil elastic forces, reactive repulsive force, locking mechanism, differential equation, displacement

Forcitation: Perederey V. K. Construction Self-Propelled Pneumopunchers with Locking Mechanism. *Science & Technique*. 15 (2), 115–121 (in Russian)

Разработкой и исследованием строительных самодвижущихся пневмопробойников для образования скважин в грунте занимались в Институте горного дела Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН) такие ученые, как А. Д. Костылев, К. С. Гурков, Б. Н. Смоляницкий, К. К. Тупицын, Х. Б. Ткач, Н. П. Чепурной, Г. А. Ткаченко, В. В. Климашко и др. Ими были разработаны основы теории, конструирования и расчета пневмопробойников [1–3], экспериментально исследовались рабочий цикл и режимы работы пневмопробойников [4, 5], прямолинейность пробивания скважин в грунтах [6] и процессы взаимодействия пневмопробойника с грунтом [7, 8].

Дальнейшее совершенствование конструкции пневмопробойников и улучшение их технических показателей в первую очередь должно быть направлено на увеличение скорости их движения, от которой зависит производительность. В рассмотренных работах [1–8] увеличение скорости в основном достигалось повышением энергии и частоты ударов и, следовательно, ударной мощности. Не учитывалось то, что скорость пневмопробойника значительно снижается в результате его выталкивания из скважины под действием упругих сил грунта и реактивной силы отдачи. Устранить этот недостаток можно применением стопорного механизма, исключающего обратное движение пневмопробойников из скважины [9, 10]. Серийно выпускаемые пневмопробойники конструкции ИГД СО РАН стопорного механизма не имеют.

Целью работы являлась разработка надежной конструкции стопорного механизма к пневмопробойнику с увеличенной производи-

тельностью, а также получение аналитическим методом формулы для определения увеличения перемещения пневмопробойника новой конструкции в сравнении с традиционной.

В [10] дан анализ существующих конструкций стопорных механизмов и отмечено, что их оптимальных вариантов пока не существует. Пневматический стопорный механизм [11] снижает скорость движения пневмопробойника, так как удерживающие пневмопробойник в скважине стопорные элементы постоянно находятся под действием сжатого воздуха и создают дополнительное сопротивление движению пневмопробойника в грунте.

Конструкция стопорного механизма с механическим управлением распорными лапами посредством стальных тросов, приведенная в [12], не обеспечивает достаточной надежности срабатывания захватов на расстоянии 40–50 м от находящегося в скважине пневмопробойника, особенно при изношенных деталях исполнительных механизмов такой системы управления. В целях исключения этого недостатка разработана конструкция стопорного механизма, где исключен механизм управления распорными лапами, функция которого выполняется автоматически изменением движения воздуха в камере рабочего хода [13].

Пневмопробойник (рис. 1) состоит из корпуса, ступенчатого ударника, воздухораспределительного патрубка и гайки. Патрубок выполнен с окнами и направляющим пояском, имеющим воздухораспределительные кромки 7 и 8. Передняя часть ударника и корпус образуют рабочую камеру холостого хода. Передняя ступень патрубка 10 входит во внутреннюю полость ударника и образует камеру рабочего

хода. Гайка, хвостовая часть корпуса, патрубок и торец ударника образуют камеру выхлопа (отвода отработавшего воздуха), которая постоянно сообщена с атмосферой сквозными каналами 13, выполненными в торце гайки. За пневмопробойником на патрубке 3 смонтированы четыре стопорных механизма.

Стопорный механизм состоит из двух коаксиально расположенных стаканов – внешнего и внутреннего с общим основанием. Высота внутреннего стакана меньше высоты внешнего. Между стенками стаканов образована кольцевая полость. Во внутреннем стакане расположен поршень со штоком и тормозным башмаком на конце штока. В штоковой полости стакана установлена пружина. Поршень, стенка внутреннего стакана и патрубок 3 образуют камеру 23.

В стенке внешнего стакана выполнено отверстие 24, в котором закреплен один конец сильфона 25, а другой его конец – в одном из сквозных каналов 26, выполненных в торце гайки.

В вертикальной стенке передней ступени 10 воздухораспределительного патрубка 3 выполнены отверстия 27. Между передней ступенью 10 воздухораспределительного патрубка и гайкой расположены сильфоны 28, концы которых закреплены в отверстиях 27 и каналах 26.

Пневмопробойник работает следующим образом. Сжатый воздух подается по патрубку 3 в камеру 11 и через окна поступает из нее в камеру 9. Давление в камере 12 постоянно и равно атмосферному. Таким образом, сжатый воздух со стороны камеры 9 действует на всю торцевую площадь ударника, а со стороны задней части пневмопробойника – только на его меньшую ступень. Вследствие этого ударник начинает двигаться назад (на рис. 1а – вправо). При этом окна перекрываются кромкой 7 патрубка 3, и поступление сжатого воздуха в камеру 9 прекращается. Далее ударник двигается за счет расширения воздуха в камере 9 и за счет собственной инерции.

При дальнейшем движении ударника окна выходят за кромку 8 – происходит выхлоп сжатого воздуха из камеры 9 через окна в камеру 11 и через каналы 13 – в атмосферу. При этом давление в камере рабочего хода 11 повышается до сетевого давления воздуха, который подается

от компрессора к пневмопробойнику. Возникающая сила отдачи будет стремиться двигать пневмопробойник в направлении из скважины (особенно при работе в грунтах разной плотности и влажности, когда коэффициент трения грунта о корпус пневмопробойника значительно уменьшается).

Через отверстия 27, сильфоны 28, каналы 26 и сильфоны 25 сжатый воздух из камеры рабочего хода через отверстие 24 во внешних стаканах стопорных механизмов попадает в кольцевые полости и в камеру 23 и действует на поверхность поршней. Вследствие этого поршни начинают двигаться вверх, сжимая пружины и прижимая тормозные башмаки к стенкам скважины, удерживая пневмопробойник в ней.

Ударник останавливается давлением сжатого воздуха в камере 11, не совершая ударов по гайке, и начинает двигаться вперед (на рис. 1а – влево). Окна снова перекрываются кромкой 8, и давление воздуха в камере 11 остается равным сетевому. На пневмопробойник продолжает действовать сила отдачи, а тормозные башмаки прижаты к стенкам скважины. Когда окна выйдут за кромку 7, сжатый воздух из камеры 11 снова будет поступать в камеру 9. Давление воздуха в камере 11 уменьшится, пружины будут действовать на поршни, перемещать их вниз и отводить тормозные башмаки от стенки скважины. Ударник будет двигаться по инерции и совершать удар по корпусу. Пневмопробойник начинает внедряться в грунт и образовывать скважину, а стопорный механизм не препятствует его движению. Далее цикл повторяется.

Определим, насколько увеличивается перемещение пневмопробойников со стопорным механизмом и без него. Под действием ударной нагрузки корпус пневмопробойника перемещается вперед и образует скважину с уплотненными стенками. Возникающая при разгоне ударника пневмопробойника реактивная сила отдачи $F_{отд}$ действует на корпус пневмопробойника и компенсируется силой трения корпуса о грунт $F_{тр}$, что исключает обратные перемещения пневмопробойника из скважины. Сила отдачи определяется давлением сжатого воздуха и площадью задней камеры машины. Движение пневмопробойника вперед с образованием скважины возможно при наличии сил трения $F_{тр}$, превышающих силу отдачи $F_{отд}$ ($F_{тр} > F_{отд}$).

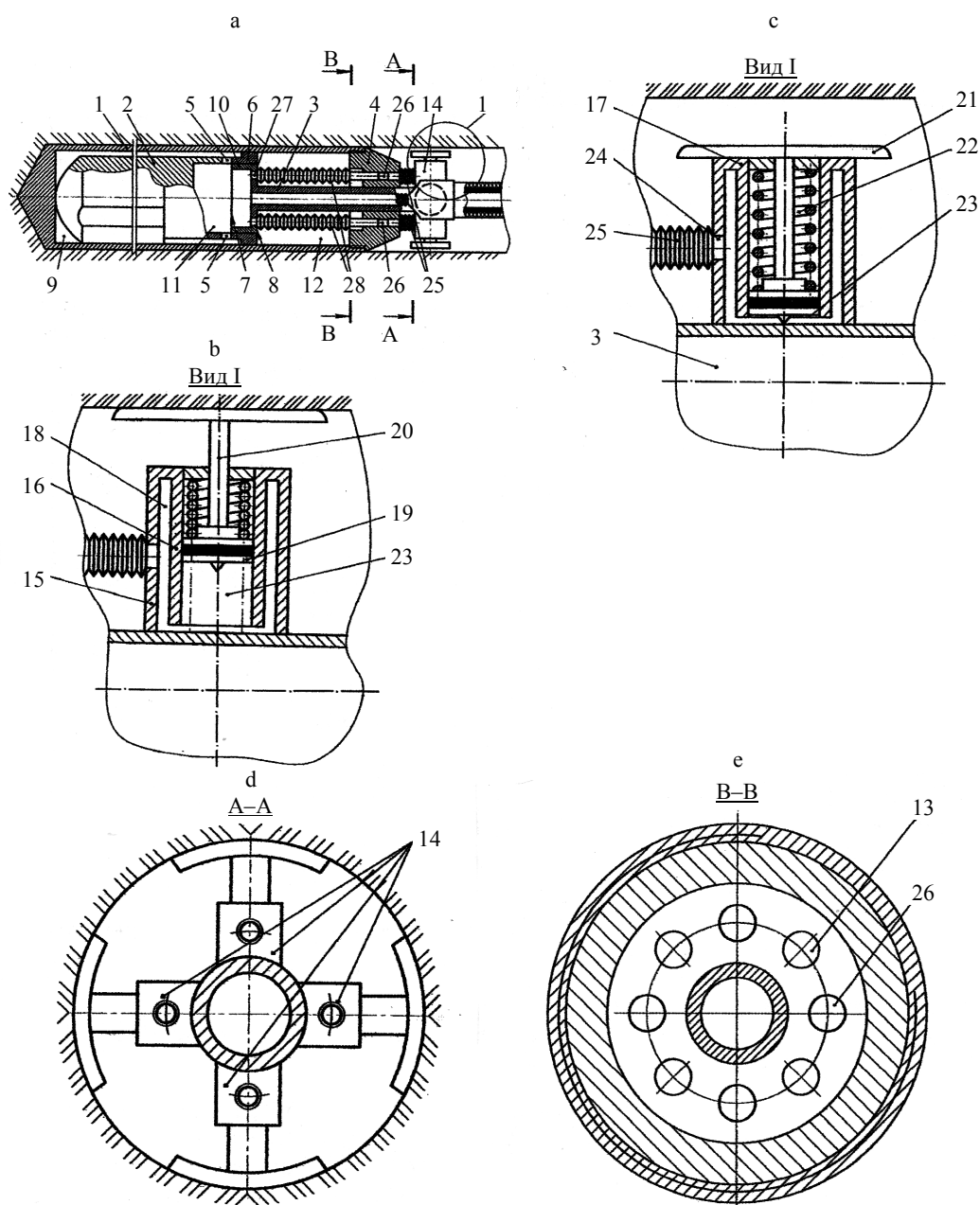


Рис. 1. Самодвижущийся пневмопробойник с пневматической системой управления стопорным механизмом:
 а – принципиальная схема; б – положение стопорного механизма при разгоне ударника; в – то же при выходе пневмопробойника из скважины; д – сечение А-А; е – то же В-В; 1 – корпус; 2 – ступенчатый ударник; 3 – патрубок; 4 – гайка; 5 – окна; 6 – направляющий пояс; 7, 8 – воздухораспределительные кромки; 9 – рабочая камера холостого хода; 10 – передняя ступень патрубка; 11 – камера рабочего хода; 12 – камера отвода отработавшего воздуха; 13, 26 – сквозные каналы; 14 – стопорный механизм; 15 – внешний стакан; 16 – внутренний стакан; 17 – основание стаканов; 18 – кольцевая полость; 19 – поршень; 20 – шток; 21 – тормозные башмаки; 22 – пружина; 23 – камера; 24, 27 – отверстие; 25, 28 – сильфоны

Fig. 1. Self-propelled pneumopuncher with pneumatic system to control locking mechanism: a – principal diagram; б – position of locking mechanism while picking-up the speed of hammer; в – position of locking mechanism when pneumopuncher is coming from hole; д – cross section A-A; е – cross section B-B; 1 – body; 2 – stepwise hammer; 3 – manifold; 4 – nut; 5 – windows; 6 – guiding rib; 7, 8 – air distribution rims; 9 – operating chamber of idle stroke; 10 – front cascade of manifold; 11 – chamber of operating stroke; 12 – chamber for exhaust air removal; 13, 26 – end-to-end channels; 14 – locking mechanism; 15 – outer cup; 16 – inner cup; 17 – basis for cups; 18 – annular cavity; 19 – piston; 20 – rod; 21 – breaking shoes; 22 – spring; 23 – chamber; 24, 27 – opening; 25, 28 – sylphons

В грунтах с неоднородной плотностью и повышенной влажностью из-за недостаточного сцепления корпуса с грунтом происходит отдача корпуса назад, что приводит к уменьшению скорости проходки скважины или полному отсутствию движения пневмопробойника вперед. Но этого условия для движения пневмопробойника в грунте недостаточно. Как показали экспериментальные исследования [7, 8], под действием ударного импульса корпус пневмопробойника перемещается вперед на расстояние $S_{\text{п}}$ (рис. 2а). Его кинетическая энергия расходуется на преодоление сил трения, упругую и пластическую деформацию грунта. Затем под действием упругих сил грунта корпус пневмопробойника возвращается на некоторое расстояние $S_{\text{упр}}$ назад. Остаточное прямое перемещение пневмопробойника за один удар $S_{\text{ост}}$ определяет скорость проходки скважины: $S_{\text{ост}} = S_{\text{п}} - S_{\text{упр}}$. Отношение $S_{\text{ост}}/S_{\text{п}}$ в зависимости от условий работы пневмопробойника изменяется от 0 до 0,75. Второе условие движения пневмопробойника вперед: $S_{\text{п}} > S_{\text{упр}}$. Движение пневмопробойника со стопорным механизмом показано на рис. 2б, где отсутствует перемещение $S_{\text{упр}}$.

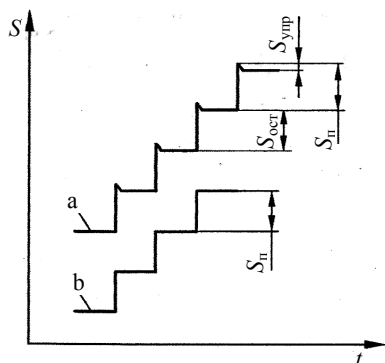


Рис. 2. Перемещение пневмопробойника в грунте:
а – без стопорного механизма;
б – со стопорным механизмом

Fig. 2. Pneumopuncher displacement in soil:
a – without locking mechanism; b – with locking mechanism

Движение пневмопробойника в грунте характеризуется нелинейным дифференциальным уравнением, решение которого в общем виде неизвестно. При теоретическом исследовании одного цикла взаимодействия пневмопробойника с грунтом обычно используют метод

начальных параметров. Для этого исследуемый процесс движения делят на ряд участков, на которых движения описываются линейными дифференциальными уравнениями. При решении таких уравнений принимают, что условия движения в конце рассматриваемого участка являются начальными условиями движения на следующем участке.

Условно цикл движения пневмопробойника можно разделить на три участка:

- 1) взаимодействие с грунтом при разгоне ударника;
- 2) взаимодействие с грунтом в момент соударения ударника с наковальной корпуса;
- 3) перемещение пневмопробойника в грунте под действием сил инерции.

Наиболее важны первые два участка, которые примем для анализа движения пневмопробойника, оборудованного стопорным механизмом.

В период разгона ударника (рис. 3а) на корпус пневмопробойника действуют силы: $F_{\text{отд}}$ – реактивная сила отдачи; $F_{\text{тр}}$ – равнодействующая сил трения грунта о цилиндрическую часть корпуса.

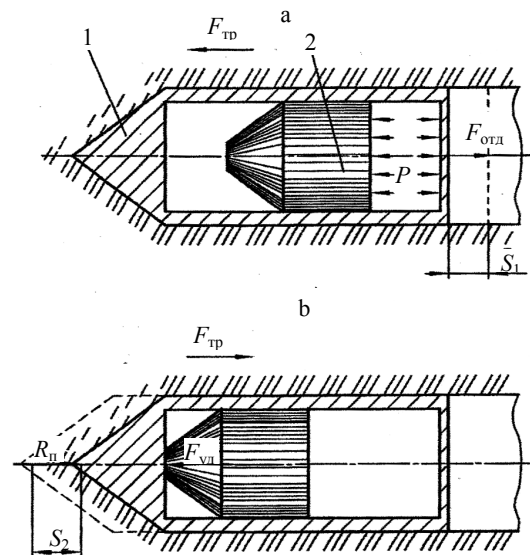


Рис. 3. Расчетная схема сил, действующих на пневмопробойник в грунте: а – период разгона ударника; б – момент соударения ударника с корпусом;
1 – корпус; 2 – ударник

Fig. 3. Calculation model for forces acting on pneumopuncher in soil: a – period of hammer speeding-up; b – moment of hammer collision with body;
1 – body; 2 – hammer

Под действием $F_{отд}$, если $F_{тр} < F_{отд}$, пневмопробойник будет перемещаться из скважины на величину S_1 , что описывается дифференциальным уравнением

$$m_k \frac{d^2 S_1}{dt^2} = -F_{отд} + F_{тр}, \quad (1)$$

где m_k – масса корпуса.

Решая уравнение (1) при начальных условиях $t = 0$; $S_1 = 0$; $dS_1/dt = 0$, определим перемещение и скорость на этом участке:

$$S_1 = \frac{-F_{отд} + F_{тр}}{2m_k} t_p^2, \quad (2)$$

$$v_1 = \frac{-F_{отд} + F_{тр}}{2m_k} t_p, \quad (3)$$

где t_p – время движения пневмопробойника на первом участке; для пневмопробойника со стопорным механизмом $S_1 = 0$; $v_1 = 0$.

На втором участке (рис. 3б) на корпус пневмопробойника действуют силы: $F_{тр}$, R_l – равнодействующая сил лобового сопротивления грунта; $F_{уд}$ – равнодействующая усилия, возникающего в результате соударения. Под действием $F_{уд}$ пневмопробойник перемещается в сторону образования скважины, и его движение описывается дифференциальным уравнением

$$(m_k + m_6) \frac{d^2 S}{dt^2} = F_{уд} - R_{сум}, \quad (4)$$

где m_6 – масса ударника; $R_{сум} = R_l + F_{тр}$.

После двойного интегрирования уравнения при начальных условиях $t = 0$; $S_2 = 0$; $dS_2/dt = 0$ определим перемещение и скорость пневмопробойника со стопорным механизмом:

$$S_2 = \frac{F_{уд} - R_{сум}}{m_k + m_6} \frac{t_c^2}{2}, \quad (5)$$

$$v_2 = \frac{F_{уд} - R_{сум}}{m_k + m_6} t_c, \quad (6)$$

где t_c – время движения пневмопробойника на втором участке.

Определим, как увеличится перемещение пневмопробойника со стопорным механизмом по сравнению с пневмопробойником без стопорного механизма. Для этого решим уравнение (4) при начальных условиях: $t = 0$; $dS_2/dt = (-F_{отд} + F_{тр})t_p/m_k$; $S_2 = (-F_{отд} + F_{тр})t_p^2/(2m_k)$

$$S_2' = \frac{F_{уд} - R_{сум}}{m_k + m_6} \frac{t_c^2}{2} - \frac{F_{отд} - F_{тр}}{m_k} \left[t_c + \frac{t_p}{2} \right] t_p. \quad (7)$$

Перемещение пневмопробойника увеличится на:

$$\Delta S_2 = S_2 - S_2' = \frac{F_{отд} - F_{тр}}{m_k} \left[t_c + \frac{t_p}{2} \right] t_p. \quad (8)$$

ВЫВОД

В настоящее время самодвижущиеся пневмопробойники выпускаются без стопорных механизмов. Введение в конструкцию пневмопробойников таких механизмов повысит скорость формирования скважин в грунте. Разработана конструкция пневмопробойника с надежным стопорным механизмом. Получена формула для определения увеличения перемещения пневмопробойника со стопорным механизмом и без него. Задачей дальнейшей работы является проведение теоретических и экспериментальных исследований по взаимодействию с грунтом пневмопробойников со стопорным механизмом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суднишников, Б. В. Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия / Б. В. Суднишников, Н. Н. Есин, К. К. Тупицын. Новосибирск: Наука, 1985. 134 с.
2. Тупицын, К. К. Некоторые вопросы расчета пневмопробойников / К. К. Тупицын // Пневматические силовые импульсные системы. Новосибирск, 1969. Ч. 2. С. 79–81.
3. Ткач, Х. Б. К расчету пневмопробойника / Х. Б. Ткач // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1973. № 1. С. 56–60.
4. Тупицын, К. К. Исследование рабочего цикла пневмопробойников / К. К. Тупицын, А. Д. Костылев, К. С. Гурков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1969. № 4. С. 67–72.
5. Спектор, М. Б. Расчеты пневмоударных проходчиков для горизонтальных скважин / М. Б. Спектор // Гор-

- ные, строительные и дорожные машины. Киев: Техника, 1974. Вып. 18. С. 17–21.
6. Костылев, А. Д. Некоторые результаты исследования прямолинейности пробивания скважин в грунтах пневмопробойниками / А. Д. Костылев, Н. П. Чепурной // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1969. № 5. С. 41–44.
 7. Чередников, Е. Н. О взаимодействии пневмопробойников с грунтом / Е. Н. Чередников // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1970. № 3. С. 119–121.
 8. Тупицын, К. К. О процессе взаимодействия пневмопробойника с грунтом / К. К. Тупицын // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1980. № 4. С. 75–81.
 9. Передерей, В. К. Методы повышения скорости самодвижущихся пневмопробойников для образования скважин в грунте / В. К. Передерей // Строительные и дорожные машины. 1999. № 9. С. 2–3.
 10. Передерей, В. К. Стопорные механизмы в самодвижущихся пневмопробойниках / В. К. Передерей // Строительные и дорожные машины. 1998. № 3. С. 11–14.
 11. Пробойник для образования скважин в грунте: а. с. 505774 СССР: МПК2 E02F5/18 / И. С. Полтавцев, М. Б. Спектор; дата публ.: 05.03.1976.
 12. Пристрій ударної дії для утворення свердловин у ґрунті: пат. 27791 України: МПК6 E02F5/18 / В. К. Передерей; дата публ.: 16.10.2000.
 13. Пристрій ударної дії для утворення свердловин у ґрунті: пат. 63439 України: МПК6 E21B1/00, E02F5/18 / В. К. Передерей; дата публ.: 10.10.2011.
- Поступила 05.01.2015
Подписана в печать 11.03.2015
Опубликована онлайн 30.03.2016
- REFERENCES
1. Soudnishnikov B. V., Yesin N. N., Tupitsin K. K. (1985) *Investigation and Designing of Pneumatic Impact Action Machinery*. Novosibirsk, Nauka. 134 (in Russian).
 2. Tupitsin K. K. (1969) Some Problems on Calculation of Pneumodrift. *Pneumatic Force Impulse System, Part. 2*. Novosibirsk, 79–81 (in Russian).
 3. Tkach Kh. B. (1973) On Calculation of Pneumodrift. *Fiziko-Tekhnicheskiye Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopayemykh* [Physical and Technical Problems on Mining of Mineral Resources], (1), 56–60 (in Russian).
 4. Tupitsin K. K., Kostylev A. D., Gurkov K. S. (1969) Investigation of Operational Cycle of Pneumodrift. *Fiziko-Tekhnicheskiye Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopayemykh* [Physical and Technical Problems on Mining of Mineral Resources], (4), 67–72 (in Russian).
 5. Spector M. B. (1974) Calculations of Pneumatic Impact Drift Miner for Horizontal Wells. *Gornye, Stroitelnye i Dorozhnye Mashiny* [Mining, Construction and Road Machinery]. Kiev, Tekhnika, Issue. 18, 17–21 (in Russian).
 6. Kostylev A. D., Chepurnoi N. P. (1969) Some Investigation Results on Well Drilling Straightness in Subsoil While Using Pneumodrift. *Fiziko-Tekhnicheskiye Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopayemykh* [Physical and Technical Problems on Mining of Mineral Resources], (5), 41–44 (in Russian).
 7. Cherednikov Ye. N. (1970) On Interaction of Pneumodrift and Subsoil. *Fiziko-Tekhnicheskiye Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopayemykh* [Physical and Technical Problems on Mining of Mineral Resources], (3), 119–121 (in Russian).
 8. Tupitsin K. K. (1980) On Interaction Process of Pneumodrift and Subsoil. *Fiziko-Tekhnicheskiye Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopayemykh* [Physical and Technical Problems on Mining of Mineral Resources], (4), 75–81 (in Russian).
 9. Perederey V. K. (1999) Methods for Increasing Speed of Self-Propelling Pneumodriffs for Well Formation in Subsoil. *Stroitelnye i Dorozhnye Mashiny* [Construction and Road Machinery], (9), 2–3 (in Russian).
 10. Perederey V. K. (1998) Locking Mechanism in Self-Propelling Pneumodriffs. *Stroitelnye i Dorozhnye Mashiny* [Construction and Road Machinery], (3), 11–14 (in Russian).
 11. Poltavtsev I. S., Spector M. B. (1976) Drift for Well Formation in Subsoil. Patent USSR No 505774 (in Russian).
 12. Perederey V. K. (2000) Impact Device for Well Formation in Subsoil. Patent of Ukraine No 27791 (in Ukrainian).
 13. Perederey V. K. (2011) Impact Device for Well Formation in Subsoil. Patent of Ukraine No 63439 (in Ukrainian).
- Received: 05.01.2015
Accepted: 11.03.2015
Published online: 30.03.2016