

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.23.05

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОХОДКИ СКВАЖИН МЕТОДОМ ВИБРОУДАРНОГО ПРОДАВЛИВАНИЯ

INCREASE IN EFFICIENCY OF THE DRIVING OF WELLS BY METHOD OF VIBRO-IMPACT PUSHING

Гилета Владимир Павлович^{1,2},
доктор техн. наук, профессор. Email: pmx08@mail.ru

Gileta V. P.^{1,2}, Dr. Sc. (Engineering), Professor

Ванаг Юлия Валерьевна¹,
старший преподаватель. Email: yuliya.vanag@corp.nstu.ru.

Vanag Y.V.¹, Senior Lecturer

Тищенко Игорь Владимирович²,

канд.техн. наук, с.н.с. Email: tischenko@ngs.ru.

Tischenko I.V.^{1,2}, C. Sc. (Engineering), Senior researcher

¹ Новосибирский государственный технический университет (НГТУ). 630092, Российская Федерация, Новосибирск, ул. К. Маркса 20

¹ Novosibirsk State Technical University. 20 street K.Marks, 630092, Novosibirsk, Russia,

² Институт горного дела (ИГД) СО РАН им. Н.А. Чинакала, 630091, Новосибирск, Красный пр., 54

² N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences. 54 av. Krasny, 630091, Novosibirsk, Russia,

Аннотация.

Для получения горизонтальных скважин непроходных сечений – диаметром до 600 мм – могут применяться виброударные способы проходки с использованием пневмопробойников. Опыт эксплуатации этих машин в СССР, России, в ближнем и дальнем зарубежье показал эффективность технологических процессов устройства подземных переходов бесподземными методами. В работе рассмотрены вопросы получения горизонтальных скважин методом виброударного продавливания с использованием пневмопробойников; приведена технологическая схема производства работ и пример ее практической реализации. Приведены конструкции самодвижущихся грунтозаборных устройств циклического действия, в которых их доставка до забоя и разработка грунта осуществляются с помощью привода, в качестве которого применяются серийные пневмопробойники. Разработаны два типа грунтозаборных устройств с емкостным и перепускным керноприемниками. Для определения общего времени экскавации керна грунтозаборным устройством циклического действия в статье приведена зависимость длительности очистки трубы-коужуха от ее длины, которая может быть использована при создании нормативно-технологической документации, сметных норм и расценок. Распространение технологии виброударного продавливания для выполнения проходочных работ ограничено низкими объемами производства мощных пневмоударных машин, отсутствием серийного изготовления технологической оснастки для забивания труб и оборудования для экскавации грунта.

Abstract,

To obtain horizontal wells impassable sections of diameter up to 600 mm can be applied vibro-impact methods of drilling using pneumodrillt. Operating experience these machines in the Soviet Union, Russia, the near and far-abroad countries it has shown the efficiency of the technological process of the construction of underpasses by trenchless methods. The paper considers the issues of obtaining horizontal wells by the method of vibro-impact puncturing using pneumodrills; the technological scheme of production work and an example of its practical application. The construct of the self-propelled dragheads of cyclic action in which they are delivery to a face and **soil excavation** by the actuator, which applies a pneumodrills. Developed two types dragheads with capacitive and cut-off tools. To determine the total time of excavation core by dragheads of cyclic action in the article shows the dependence of the duration of the cleaning pipe-casing from its length, which can be used in

the creation of normative-technical documentation, the estimated norms and pricing rates. The spread of technology vibro-impact puncturing for performing excavating works is limited by low production volumes powerful pneumatic percussion machines, the lack of serial production tooling for clogging of pipes and equipment for soil excavation

Ключевые слова: виброударное продавливание, пневмоударная машина, труба-кожух, удаление грунтового керна, грунтозаборное устройство циклического действия

Keywords: vibro-impact puncturing, pneumatic percussion machine, pipe-casing, remove a soil core, the draghead of cyclic action

По отечественным и зарубежным данным при устройстве подземных переходов основные объемы работ приходятся на проходку скважин диаметром до 600 мм. В соответствии с требованиями СНиП и международными нормами Союза предпринимателей подземного строительства скважины такого диаметра относятся к непроходным [1–3]. Бестраншейные способы выполнения переходов непроходных сечений являются особо сложными, так как в скважинах не допускаются ручные работы и управление техническими средствами возможно только с дневной поверхности.

Годовой объем прокладки трубопроводов указанных диаметров превышает 450–500 тыс. км, из которых около 50% – трубопроводы, которые идут на замену вышедших из строя коммуникаций [4–8]. Наиболее широко бестраншейные способы замены коммуникаций применяются в газовой промышленности фирмами Англии и США. В этих странах в течение года приблизительно 30% замененных газопроводов прокладывается бесстационарным методом.

Для получения скважин непроходных сечений применяют виброударные способы проходки с использованием пневматических машин – пневмопробойников [9–12]. Опыт эксплуатации этих машин в СССР, России, в ближнем и дальнем зарубежье показал эффективность технологических процессов с использованием пневмопробойников. Пневмоударные машины обладают высокой надежностью, незначительными размерами и позволяют существенно сократить транспортные расходы, объемы подготовительных, земляных, монтажных и восстановительных работ [13].

Следует заметить, что вышеуказанная технология проходки скважин с использованием пневматических машин не получила еще широкого распространения. Ее осваивают отдельные строительные организации Новосибирска, Москвы, Санкт-Петербурга, Минска, Тольятти, Казани и других городов. Это стало возможным благодаря помощи разработчиков в комплектации технологической оснасткой, а иногда и пневмопробойниками. Некоторые организации изготавливают оборудование сами, в кустарных условиях.

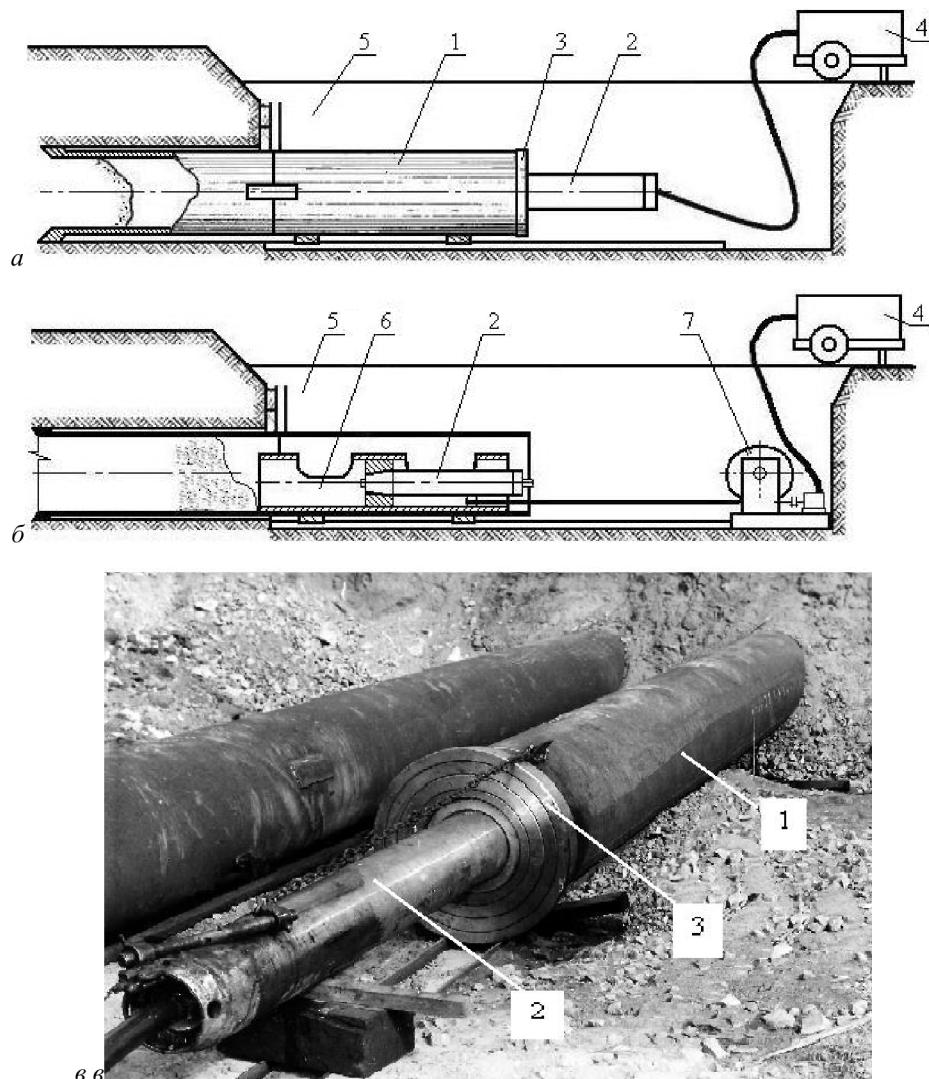
Процессы образования скважин виброударными методами основаны на эффекте вибропереме-

щения колебательной системы при асимметрии равнодействующей внешних и внутренних сил. Скважины диаметром до 250–300 мм получают способом виброударного прокалывания, т. е. посредством уплотнения грунта, а свыше 300 мм – способом виброударного продавливания, включающего операции забивания металлической обсадной трубы-кожуха открытым передним торцом и удаления из нее керна. Для способа характерно опережающее внедрение в грунтовый массив трубы-кожуха 1 (рис. 1 а) посредством ее забивания мощным пневмопробойником 2, соединенного с трубой-кожухом 1 посредством переходного устройства 3 клинового типа. Давление сжатого воздуха к пневмопробойнику подается от передвижного компрессора 4 по гибкому рукаву. Труба 1 погружается свариваемыми секциями, длины которых обычно зависят от размеров рабочего приямка (котлована) 5.

Для реализации способа виброударного продавливания необходимы эффективные средства экскавации керна. Существующие средства [3, 9, 13] очистки горизонтально ориентированных труб от грунта не удовлетворяют современным требованиям. Устройства непрерывного действия громоздки и металлоемки, а циклического действия – сложны и ненадежны.

Наибольшей универсальностью отличаются грунтозаборные устройства (ГЗУС) циклического действия конструкции ИГД СО РАН [14, 15]. В разработанных ГЗУС их доставка ГЗУС к забою и разработка грунтового керна осуществляются под действием динамической импульсной нагрузки от пневмоударного привода 1 (рис. 2), жестко соединенного с керноприемником 2. В качестве привода ГЗУС используются серийные пневмопробойники ИП4603 и СО134. Извлечение ГЗУС 6 с грунтовым керном в рабочий приямок 5 (рис. 1 б) производится тяговым органом 7, в качестве которого наиболее рационально использовать пневматическую лебедку [16, 17].

Разработаны два типа ГЗУС: I-ый тип – емкостные с керноприемником 1 для набора и транспортирования грунта (рис. 2 а, в), II-ой тип – перепускные, когда грунт при разработке в забое перепускается через кольцевой керноприемник 1, формируя в трубе тело волочения (рис. 2 б, г).



a – забивание трубы, *б* – выемка грунтового керна; *в* – бестраншейная прокладка труб-кожухов Ø 630 мм и длиной 35 м; 1 – труба-кожух, 2 – пневмоударная машина, 3 – переходное устройство, 4 – компрессор, 5 – рабочий приемник (котлован), 6 – грунтозаборное устройство, 7 – лебедка.

Рис. 1. Проходка скважин способом виброударного продавливания

ГЗУС I-го типа более универсальны: могут работать с использованием тягового органа 7 (рис. 2 *а, б*) для извлечения из забоя и трубы или автономно только за счет использования пневмоударного привода 1. К недостаткам устройств следует отнести их значительные продольные размеры, обусловленные объемом извлекаемого грунта.

ГЗУС II-го типа (рис. 2 *б, в*) имеют незначительные размеры и массу. Весьма важным преимуществом ГЗУС II-го типа является независимость объемов извлекаемого грунта от рабочего объема керноприемника. Недостатком ГЗУС этого типа являются невозможность их использования в автономном режиме работы.

Запишем общее время экскавации грунта грунтозаборным устройством циклического действия

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (1)$$

где t_1 – время прямого транспортирования, t_2 – время обратного транспортирования, включающее

время извлечения из забоя, t_3 – затраты времени на перемещение забоя, t_4 – затраты времени на очистку ГЗУС от грунта.

Составляющие общего времени циклической очистки трубы-кожуха от грунта могут быть представлены:

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{L}{2V_1} \left(\frac{L}{l_v} - 1 \right); & t_2 &= \frac{L}{2V_2} \left(\frac{L}{l_v} + 1 \right); \\ t_3 &= \frac{L}{V_v}; & t_4 &= \frac{L}{l_v} t_o, \end{aligned} \quad (2)$$

где L – длина перехода, м; V_1 – скорость прямого транспортирования, м/мин; V_2 – скорость обратного транспортирования, м/мин; V_v – скорость перемещение забоя, м/мин; l_v – величина подвигания забоя за один цикл проходки, м; t_o – время очистки ГЗУС от грунта за один цикл проходки, мин.

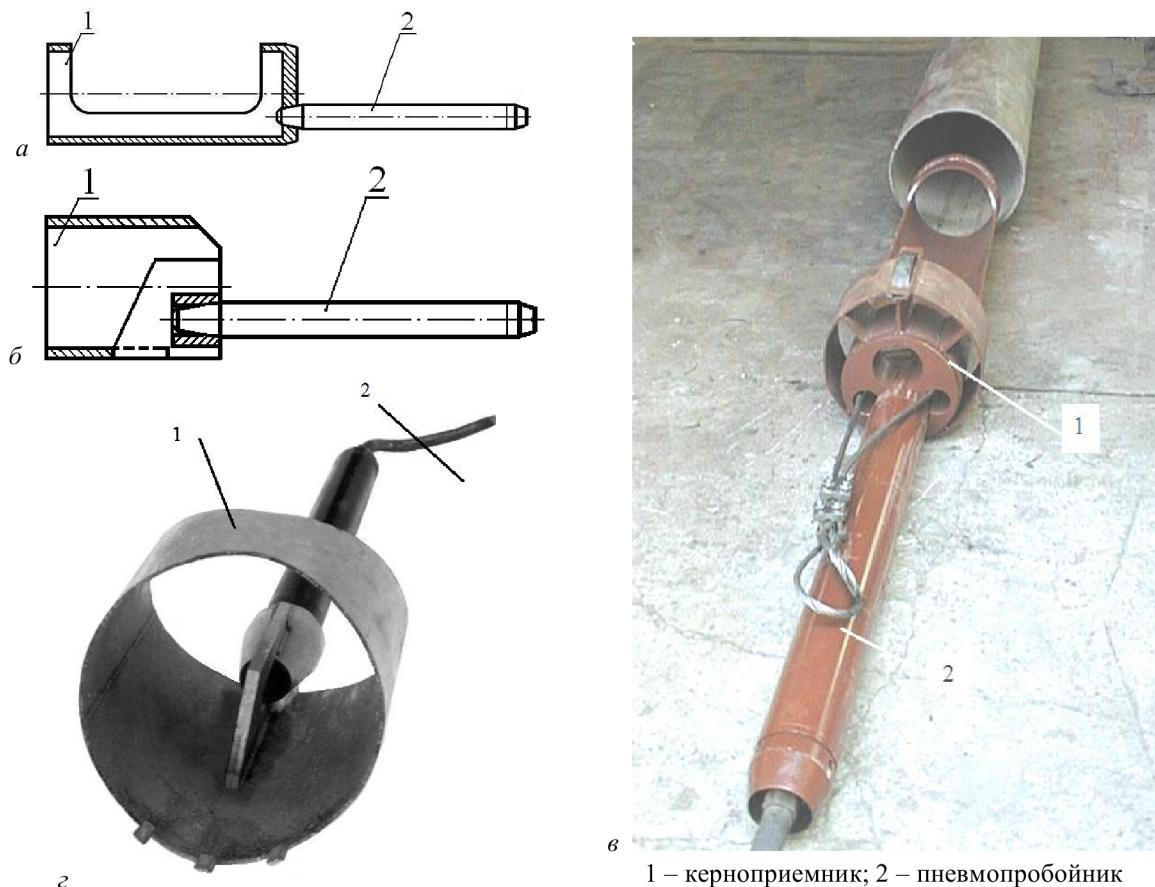


Рис. 2. Грунтозаборные устройства

Подставляя (2) в (1), получим

$$T = \frac{L}{120l_v} \left(\frac{L-l_v}{V_1} + \frac{L+l_v}{V_2} + \frac{2l_v}{V_v} + 2t_o \right) \text{час.} \quad (3)$$

Ввиду того что доставка ГЗУС по трубе к забою осуществляется в режиме горизонтального самодвижения виброударного генератора вынуждающих усилий, в статье по выражению (3) приведена оценка времени очистки в зависимости от скорости прямого транспортирования ГЗУС. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что при использовании в качестве привода ГЗУС серийного пневмопробойника ИП4603 возможно обеспечение скорости прямого хода $V_1 = 0,01 \dots 0,075 \text{ м/с}$ [9, 18, 19]. При указанной оценке в качестве исходных данных принято: длина перехода $L = 20 \text{ м}$, скорость обратного транспортирования (извлечения ГЗУС лебедкой) $V_2 = 0,17 \text{ м/с} \approx 10 \text{ м/мин}$. Также принято, что при работе в глине: $V_v = 0,1 \text{ м/мин}$; $l_v = 0,5 \text{ м}$; $t_o = 5 \text{ мин.}$, а в супеси – $V_v = 0,15 \text{ м/мин}$; $l_v = 0,8 \text{ м}$; $t_o = 3 \text{ мин.}$.

Из графиков рис.3 видно, что скорость прямого транспортирования в наибольшей мере влияет на общее время очистки при значениях $V_1 < 3 \text{ м/мин.}$ При больших скоростях влияние скорости прямого транспортирования не столь существен-

но. Это можно объяснить ростом относительной доли временных затрат остальных составляющих общего времени циклической очистки трубы (1) от грунта.

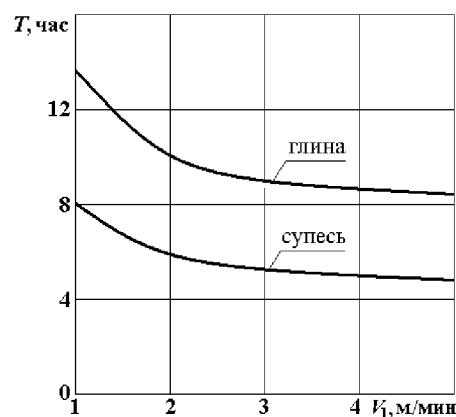


Рис. 3. Зависимость времени очистки трубы-кожуха от скорости прямого хода ГЗУС

Обычно процесс виброударного продавливания представляет собой сумму повторяющихся промежуточных циклов, каждый из которых включает этапы забивания секции трубы или ее части с последующей очисткой от грунта. На рис. 4 приведены теоретические и экспериментальные зави-

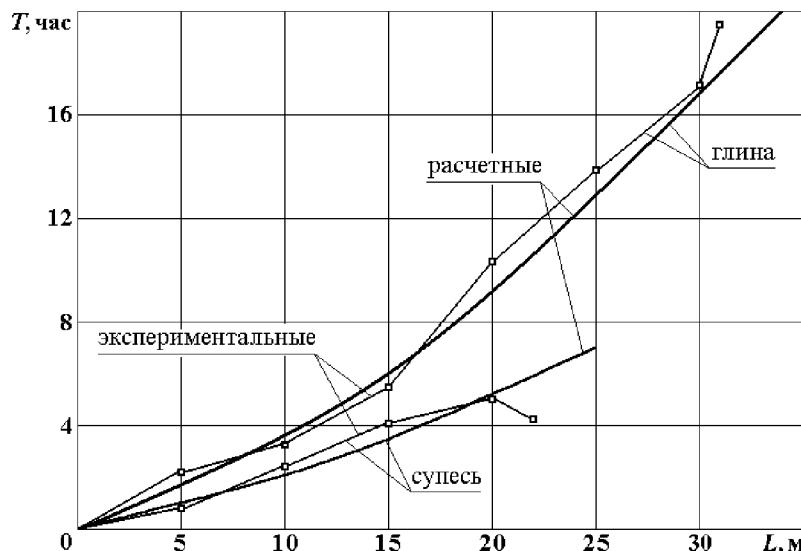


Рис. 4. Зависимость времени очистки трубы-кожуха от длины скважины

симости времени очистки от грунта труб-кожухов диаметром 530 мм от длины переходов. Длина проложенных труб-кожухов $L = 22$ м (супесь) и 31 м (глина). Для экскавации грунта применялось ГЗУС II-го типа с керноприемником диаметром 426 мм (рис. 2 *г*), в котором в качестве привода использован пневмопробойник ИП4603. Базовые данные, заложенные в основу расчетных зависимостей (2, 3), имели значения: для глины $V_v = 0,1$ м/мин; $l_v = 0,5$ м; $t_o = 5$ мин; для супеси $V_v = 0,15$ м/мин; $l_v = 0,8$ м; $t_o = 3$ мин. Скорость извлечения ГЗУС лебедкой принята равной $V_2 = 10$ м/мин. Хронометрирование временных затрат производилось через 5 м очистки труб-кожухов от грунта.

Получено достаточное для практических расчетов соответствие расчетных и экспериментальных данных. Заметное расхождение результатов наблюдается на конечном этапе очистки. Это обусловлено тем, что в супеси на последнем цикле очистки грунтовый керн выталкивался из трубы вперед, т. е в приемный котлован, а при очистке трубы, проложенной в пластичном глинистом грунте, на ее внутренней поверхности остался слой грунта, снятие которого производили в конце очистки посредством обрушающего козырька,

установленного в передней части керноприемника.

ВЫВОДЫ

1. Созданы работоспособные конструкции самодвижущихся грунтозаборных устройств (ГЗУС) циклического действия, в которых доставка ГЗУС к забою и разработка грунтового керна осуществляются под действием динамической импульсной нагрузки пневмоударного привода. Разработаны два типа ГЗУС с емкостным и перепускным керноприемниками.

2. Получена зависимость общего времени экскавации керна грунтозаборным устройством циклического действия от длины очищаемой трубы, учитываяющая длительности составляющих затрат цикла очистки. Зависимость может быть использована при создании нормативно-технологической документации и для обоснования сметных норм и расценок.

3. Для более широкого распространения технологии виброударного продавливания для выполнения проходческих работ необходимо увеличить объемы производства мощных пневмоударных машин, организовать серийное изготовление технологической оснастки для забивания труб и оборудования для экскавации грунта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кюн, Г. Закрытая прокладка непроходных трубопроводов / Г. Кюн, Л. Шойбле, Х. Шлик. – М. : Стройиздат, 1993. – 168 с.
2. Рыбаков, А. П. Основы бестраншейных технологий (теория и практика). – М. : Стройиздат, 2006. – 304 с.
3. Кершенбаум, Н. Я. Проходка горизонтальных и вертикальных скважин ударным способом / Н. Я. Кершенбаум, В. И. Минаев. – М. : Недра, 1984. – 246 с.
4. Строительство городских систем газоснабжения. Справочник строителя / А. П. Шальнов [и др.]. – М.: Стройиздат, 1976. – 360 с.
5. Брюханов, О. Н. Газоснабжение / О. Н. Брюханов, В. А. Жила, А. И. Плужников. – М. : Академия, 2008. – 448 с.

6. Goodman, A. Infrastructure Planning Handbook: Planning, Engineering, and Economics / A. Goodman, M. Hastak. – McGraw-Hill Professional, 2006. – 672 p.
7. Капитальный ремонт подземных нефтепроводов / А. Г. Гумеров, А. Г. Зубаиров, М. Г. Векштейн, Р. С. Гумеров, Х. А. Азметов. – М. : 000 "Недра-Бизнесцентр", 1999. – 525 с.
8. Коршак, А. А. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов / А. А. Коршак, А. М. Нечваль. – СПб. : Недра, 2008. – 488 с.
9. Пневмопробойники в строительном производстве / А. Д. Костылев, В. А. Григорашенко, В. А. Козлов, В. П. Гилета, Ю. Б. Рейфисов. – Новосибирск : Наука, 1987. – 142 с.
10. Пневмопробойники / К. С. Гурков, В. В. Климашко, А. Д. Костылев, В. Д. Плавских, Е. П. Русин, Б. Н. Смоляницкий, К. К. Тупицын, Н. П. Чепурной. – Новосибирск : Изд-во ИГД СО РАН, 1990. – 217 с.
11. Смоляницкий, Б. Н. Повышение эффективности использования энергоносителя в пневмомолотах для подземного строительства / Б. Н. Смоляницкий, В. В. Червов // ФТПРПИ, 2014. – №5. – С. 143 – 156.
12. Петреев, А. М. Образование скважин пневмопробойниками и грунтотроходчиками с кольцевым инструментом / А. М. Петреев, Б. Н. Смоляницкий, Б. Б. Данилов // ФТПРПИ, 2000. – № 6. – С. 53 – 58.
13. Данилов, Б. Б. Пути повышения эффективности забивания в грунт стальных труб пневматическими молотами / Б. Б. Данилов, Б. Н. Смоляницкий // ФТПРПИ, 2005. – № 6. – С. 81 – 88.
14. Пат. 2134747 Российская Федерация, Е02 F5/18. Способ бестраншейной прокладки коммуникаций и устройство для его реализации / В. П. Гилета, А. Д. Костылев, И. П. Леонов, Б. Н. Смоляницкий, И. В. Тищенко; заявитель и патентообладатель ИГД СО РАН. – №97118844/03; заявл. 30.10.1997; опубл. 20.08.1999, Бюл. № 23.
15. Пат. 2209890 Российская Федерация, Е02 F5/18, B08 B9/049. Грунтозаборное устройство / В. П. Гилета, Б. Н. Смоляницкий, И. П. Леонов; заявитель и патентообладатель ИГД СО РАН. – №2002111983/03; заявл. 06.05.2002; опубл. 10.08.2003, Бюл. № 22.
16. Гилета, В. П. Обоснование компоновки и параметров пневмопривода пневматической малогабаритной лебедки // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук / В. П. Гилета, А.В. Барис, Ю.В. Ванаг. – Новосибирск: Изд-во ИГД им. Н.А. Чинакала СО РАН, 2016. – № 3, т. 2. – С. 25–30.
17. Гилета, В. П. Применение малогабаритно пневмоударного механизма / В.П. Гилета, Ю.В. Ванаг, И.В. Тищенко, П. В. Ведель, Н. С Волков // Актуальные проблемы в машиностроении, 2015. – № 2. – С. 318 – 324.
18. Gileta, V. P. Displacement of Nonlinear Mechanical System with Internal Driving Force Generator / V.P. Gileta, S.V. Filchenko // KORUS – 2005. The 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology. Novosibirsk: State Technical University – Vol.1. – 2005. – P.444–446.
19. Гилета, В. П. Экспериментальное исследование виброударного перемещения грунтозаборного устройства / В. П. Гилета, Ю.В. Ванаг, И. В. Тищенко, Н.А. Чусовитин. // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – Новосибирск : Изд-во ИГД им. Н.А. Чинакала СО РАН, 2014. – № 1, т. 2. – С. 82–88.

REFERENCES

1. Kjun, G. Zakrytaja prokladka neprohodnyh truboprovodov / G. Kjun, L. Shojble, H. Shlik. – M. : Strojizdat, 1993. – 168 s.
2. Rybakov, A. P. Osnovy bestranshejnyh tehnologij (teorija i praktika). – M. : Strojizdat, 2006. – 304 s.
3. Kershenbaum, N. Ja. Prohodka gorizonta'nyh i vertikal'nyh skvazhin udarnym sposobom / N. Ja. Kershenbaum, V. I. Minaev. – M. : Nedra, 1984. – 246 s.
4. Stroitel'stvo gorodskih sistem gazosnabzhenija. Spravochnik stroitelja / A. P. Shal'nov [i dr.]. – M.: Strojizdat, 1976. – 360 s.
5. Brjuhanov, O. N. Gazosnabzhenie / O. N. Brjuhanov, V. A. Zhila, A. I. Pluzhnikov. – M. : Akademija, 2008. – 448 s.
6. Goodman, A. Infrastructure Planning Handbook: Planning, Engineering, and Economics / A. Goodman, M. Hastak. – McGraw-Hill Professional, 2006. – 672 p.
7. Kapital'nyj remont podzemnyh nefteprovodov / A. G. Gumerov, A. G. Zubairov, M. G. Vek-shtejn, R. S. Gumerov, H. A. Azmetov. – M. : 000 "Nedra-Biznescentr", 1999. – 525 s.
8. Korshak, A. A. Proektirovanie i jekspluatacija gazonefteprovodov / A. A. Kor-shak, A. M. Nech-val'. – SPb. : Nedra, 2008. – 488 s.
9. Pnevmprobojniki v stroite'l'nom proizvodstve / A. D. Kostylev, V. A. Grigorashchenko, V. A. Kozlov, V. P. Gileta, Ju. B. Rejfisov. – Novosibirsk : Nauka, 1987. – 142 s.
10. Pnevmprobojniki / K. S. Gurkov, V. V. Klimashko, A. D. Kostylev, V. D. Plavskih, E. P. Ru-sin, B. N. Smoljanickij, K. K. Tupicyn, N. P. Chepurnoj. – Novosibirsk : Izd-vo IGD SO RAN, 1990. – 217 s.
11. Smoljanickij, B. N. Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija jenergonositelja v pnevmomolotah dlja podzemnogo stroitel'stva / B. N. Smoljanickij, V. V. Chervov // FTPRPI, 2014. – №5. – S. 143 – 156.

12. Petreev, A. M. Obrazovanie skvazhin pnevmoprobojnikami i gruntoprohodchikami s kol'cevym instrumentom / A. M. Petreev, B. N. Smoljanickij, B. B. Danilov // FTPRPI, 2000. – № 6. – S. 53 – 58.
13. Danilov, B. B. Puti povyshenija effektivnosti zabivanija v grunt stal'nyh trub pnevmatische-skimi molotami / B. B. Danilov, B. N. Smoljanickij // FTPRPI, 2005. – № 6. – S. 81 – 88.
14. Pat. 2134747 Rossijskaja Federacija, E02 F5/18. Sposob bestranshejnoj prokladki kommunikacij i ustrojstvo dlja ego realizacii / V. P. Gileta, A. D. Kostylev, I. P. Leonov, B. N. Smoljanickij, I. V. Tishhenko; zajaviteľ i patentooobladatel' IGD SO RAN. – №97118844/03; zajavl. 30.10.1997; opubl. 20.08.1999, Bjul. № 23.
15. Pat. 2209890 Rossijskaja Federacija, E02 F5/18, B08 B9/049. Gruntozabornoe ustrojstvo / V. P. Gileta, B. N. Smoljanickij, I. P. Leonov; zayaviteľ i patentooobladatel' IGD SO RAN. – №2002111983/03; zajavl. 06.05.2002; opubl. 10.08.2003, Bjul. № 22.
16. Gileta, V. P. Obosnovanie komponovki i parametrov pnevmoprivoda pnevmaticheskoj malogabaritnoj lebedki // Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk / V. P. Gileta, A.V. Baris, Ju.V. Vanag. – Novosibirsk: Izd-vo IGD im. N.A. Chinakala SO RAN, 2016. – № 3, t. 2. – S. 25–30.
17. Gileta, V. P. Primenenie malogabaritno pnevmoudarnogo mehanizma / V.P. Gileta, Ju.V. Va-nag, I.V. Tishhenko, P. V. Vedel', N. S Volkov // Aktual'nye problemy v mashinostroenii, 2015. – № 2. – S. 318 – 324.
18. Gileta, V. P. Displacement of Nonlinear Mechanical System with Internal Driving Force Generator / V.P. Gileta, S.V. Filchenko // KORUS – 2005. The 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology. Novosibirsk: State Technical University – Vol.1. – 2005. – R.444–446.
19. Gileta, V. P. Jeksperimental'noe issledovanie vibroudarnogo peremeshhenija gruntozabornogo ustrojstva / V. P. Gileta, Ju.V. Vanag, I. V. Tishhenko, N.A. Chusovitin. // Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk. – Novosibirsk : Izd-vo IGD im. N.A. Chinakala SO RAN, 2014. – № 1, t. 2. – S. 82–88.

Поступило в редакцию 11.11.2016

Received 11 November 2016