

УДК 622.233.53

**Данилов Борис Борисович**

доктор технических наук,  
заведующий лабораторией подземной  
строительной геотехники и геотехнологий,  
Институт горного дела им. Н.А. Чинакала  
Сибирского отделения РАН,  
630091, Россия, г. Новосибирск,  
Красный проспект, 54  
e-mail: [bbdanilov@mail.ru](mailto:bbdanilov@mail.ru).

**Чещин Дмитрий Олегович**

аспирант лаборатории подземной  
строительной геотехники и геотехнологий,  
Институт горного дела им. Н.А. Чинакала  
Сибирского отделения РАН,  
e-mail: [Dimixch@mail.ru](mailto:Dimixch@mail.ru).

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ТРАЕКТОРИИ  
СКВАЖИН, СООРУЖАЕМЫХ МЕТОДОМ  
ПРОКОЛА***Аннотация:*

*В работе представлен обзор и анализ существующих способов управления траекторией движения пневмопробойника. Предложена принципиальная конструктивная схема механизма изменения траектории движения пневмопробойника. Приведены результаты испытаний макета управляемого пневмопробойника*

*Ключевые слова: скважина, пневмопробойник, бестрагательные технологии*

**Danilov Boris B.**

doctor of technical sciences,  
head of laboratory for Underground Construction  
Geotechnics and Geotechnology,  
Chinakal Institute of Mining,  
Siberian Branch of RAS,  
630091, Novosibirsk, Krasny prospect, 54,  
e-mail: [bbdanilov@mail.ru](mailto:bbdanilov@mail.ru)

**Cheshchin Dmitry O.**

postgraduate Student,  
Chinakal Institute of Mining,  
Siberian Branch of RAS  
e-mail: [Dimixch@mail.ru](mailto:Dimixch@mail.ru)

**DEVICE FOR SINKING BOREHOLES CUR-  
VILINEAR PIERCING METHOD***Abstract:*

*This paper presents an overview and analysis of existing methods of controlling the trajectory of pneumatic punch. Propose constructive scheme of the mechanism to change the direction of motion pneumatic punch. Shows the results of the tests managed pneumatic punch*

*Keywords: borehole, pneumatic punch, trenchless technologies*

Сооружение скважин является неотъемлемой частью различных сфер деятельности человека, таких как горнодобывающая промышленность, городское и промышленное строительство и др. Наиболее распространенным методом образования скважин является бурение. Несмотря на высокую эффективность, он имеет некоторые существенные недостатки, к которым можно отнести габариты буровой установки и использование жидкого очистного компонента.

Наряду с бурением часто используется и метод виброударного прокола. Его основными достоинствами являются простота технологического процесса и компактность используемого оборудования. Основным сдерживающим фактором дальнейшего развития метода прокола является ограничение по диаметру и длине сооружаемой скважины, которое обусловлено объемом деформируемого грунта, вдавливаемого в стенки скважины. Увеличение длины скважин свыше 30 – 40 м сопровождается уменьшением вероятности его выхода в проектную конечную точку вследствие возрастающего действия случайных отклоняющих факторов [1].

Наиболее эффективной мерой обеспечения выхода скважины в проектную точку является создание управляемого пневмопробойника, способного изменять направление своего движения по команде оператора. Это позволит не только компенсировать все случайные отклонения, но и сооружать скважины с криволинейной траекторией, которые могут потребоваться при обходе подземных препятствий, в сложных горно-геологических условиях и т. д.

Созданием управляемых пневмопробойников в разное время занимались как зарубежные компании (Trakto-Technik, Vermeer (Германия), Allied Steel, Ditch Witch

(США)), так и отечественные производители (ИГД СО РАН). Несмотря на то что были разработаны достаточно работоспособные машины и механизмы, в своем большинстве они остались или техническим предложением, или опытным образцом.

Анализ предложенных в разное время способов управления траекторией движения пневмопробойника позволил создать их классификацию, представленную на рис. 1 [2].

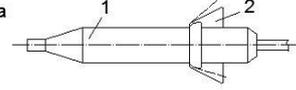
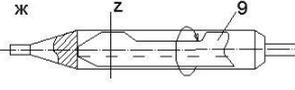
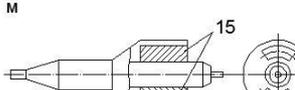
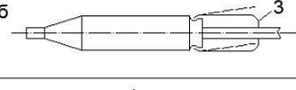
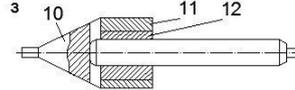
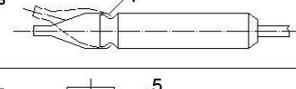
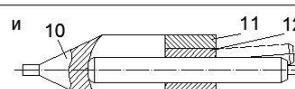
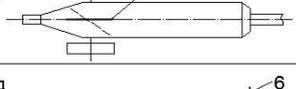
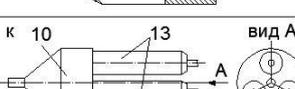
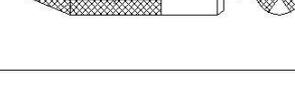
Способ изменения направления движения			
Схема устройства	I изменение формы устройства	II изменение ударного импульса	III изменение центра тяжести устройства
	а 	ж 	м 
	б 	з 	IV изменение свойства грунта
	в 	и 	
	г 	к 	о 
	д 	л 	
е 			

Рис. 1 – Способы управления траекторией пневмопробойника

Практическое применение нашли далеко не все предложенные способы. Отклоняющим элементом пневмопробойника, разработанного американской фирмой Allied Steel and Tractor Products, является асимметричный клин (рис. 2). В процессе проходки прямолинейного участка скважины пневмопробойник вращается вокруг продольной оси с помощью механизма в виде муфты с наклонными лопастями. Для изменения направления скважины вращение прекращается, клин устанавливается в одном положении и отклоняет пневмопробойник при его дальнейшем движении [3].

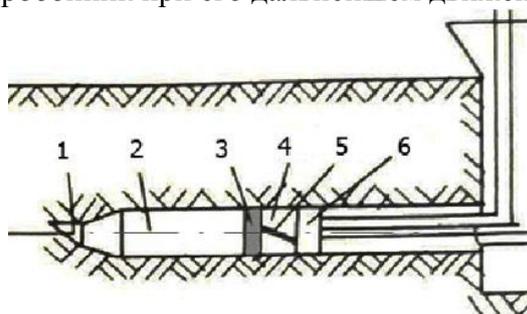


Рис. 2 – Управляемый пневмопробойник фирмы Allied Steel and Tractor Products:  
 1 – асимметричный клин; 2 – корпус пневмопробойника; 3 – гидравлическая муфта;  
 4 – втулка с лопастями; 5 – лопасти; 6 – катушка электромагнитного излучения

Недостатком такого технического решения является то, что эффективность работы механизма вращения в значительной мере зависит от физико-механических свойств грунта. Энергоемкость процесса образования скважины таким пневмопробойником возрастает, так как на вращение расходуется часть ударной мощности. Наклонные лопасти вращающейся муфты нарушают целостность стенок скважины и ухудшают ее устойчивость.

В ИГД СО РАН были разработаны, изготовлены и испытаны действующие макеты управляемых пневмопробойников по схемам изменения внешней формы пробойника и по схеме смещения равнодействующих ударных импульсов относительно продольной оси симметрии пневмопробойника [3, 4]. При испытании макетных образцов (рис. 3) доказана их работоспособность и установлено, что технические возможности таких машин позволяют достигать значительно меньшего радиуса кривизны траектории скважины по сравнению с механизмами, в которых используется буровая колонна.



Рис. 3 – Макет управляемого пневмопробойника по схеме изменения его внешней формы

Анализ результатов этих исследований и накопленного опыта позволяет сделать вывод о том, что наибольший практический интерес представляют устройства, действие которых основано на изменении внешней формы пневмопробойника. При этом предпочтительно использовать конструктивные решения, обеспечивающие сохранение конструкции ударного механизма и позволяющие минимизировать потери удельной ударной мощности. Желательно также использовать имеющийся воздухоподводящий шланг для выполнения дополнительных функций, например, для подачи управляющих команд.

На современном этапе исследовательских работ за основу конструкции управляемого пневмопробойника принята схема изменения его внешней формы за счет отклонения хвостовой части (позиция 3 на схеме «б» рис. 1). Такое решение продиктовано несколькими обстоятельствами. Во-первых, заднее расположение отклоняющего элемента позволяет в полной мере использовать для ударного механизма отработанные и выверенные конструктивные решения, применяемые в серийных машинах. Во-вторых, диаметр корпуса в рассматриваемой конструктивной схеме равен диаметру образуемой скважины, что позволит сохранить величину удельной мощности машины. В-третьих, заднее расположение отклоняющего элемента позволяет упростить конструкцию механизма управления за счет использования воздухоподводящего рукава для передачи управляющих команд.

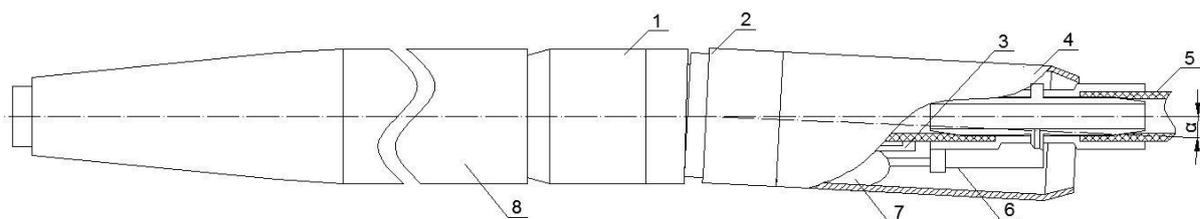


Рис. 4 – Схема механизма управления траекторией пневмопробойника (при отклоненном хвостовике)

Механизм (рис. 4) представляет собой отклоняющий хвостовик 4, который соединяется с задней гайкой 1 пневмопробойника 8 посредством гайки 2 и втулки 3. Для создания отклоняющего усилия в устройство вмонтирована воздушная камера 7, управляемая с помощью клапанного механизма 6. Выбор направления, в котором необходимо отклонить пневмопробойник, осуществляется поворотом воздухоподводящего шланга (рукава) 5.

Для отклонения корпуса пневмопробойника в камеру через клапанный механизм подается давление. Воздушная камера создает усилие, которое поворачивает хвостовик относительно корпуса пневмопробойника на некоторый угол  $\alpha$ .

Действующая модель такого управляемого пневмопробойника была изготовлена и испытана в стендовых и полевых условиях. Стендовые испытания проводилась в специальном грунтовом канале. Перед началом испытаний поворотная хвостовая часть пневмопробойника фиксировалась в отклоненном положении. Затем пневмопробойник помещался на стартовое устройство так, чтобы его поворотная хвостовая часть была направлена вверх, подавался сжатый воздух и начиналось внедрение пневмопробойника в грунт. По мере прохождения участков определенной длины периодически проводились измерения глубины залегания корпуса в грунте. Положение пневмопробойника определялось с помощью щупа через загрузочные люки грунтового канала. В соответствии с полученными данными построена траектория движения пневмопробойника в грунтовом канале (рис. 5).

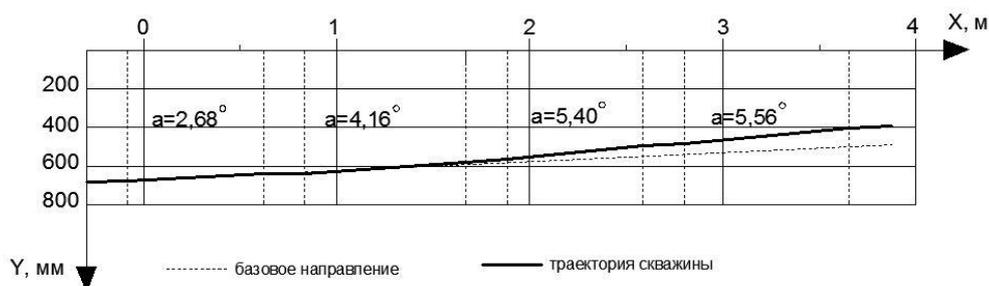


Рис. 5 – Траектория движения пневмопробойника в грунтовом канале

Испытания пневмопробойника в грунте естественного сложения производились на территории инженерно-технического комплекса «Зеленая Горка», где были сооружены стартовый и приемный котлованы. Проходка скважины производилась без остановок до выхода пневмопробойника в приемный котлован. Для определения пространственной ориентации оси сооруженной скважины использовалось серийное электронное устройство для определения местоположения и пространственной ориентации рабочего органа установки направленного горизонтального бурения. Электромагнитный излучатель устройства протягивался по скважине. Сигнал излучателя принимался и обрабатывался приемником на поверхности. В соответствии с полученными данными построена траектория движения пневмопробойника в естественном грунте (рис. 6).

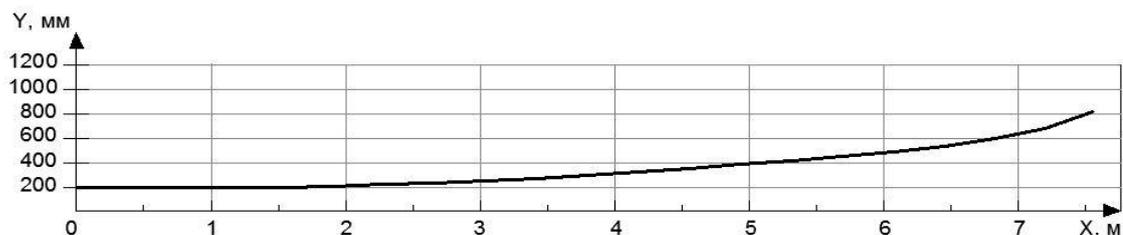


Рис. 6 – Траектория движения пневмопробойника в грунтовом массиве

Результаты проведенных испытаний показали, что отклоняющее устройство предложенной конструкции позволяет достигать отклонения оси скважины на величину до 80 мм на метр длины. Для оценки достаточности такого результата проведен анализ результатов проводившихся в ИГД СО РАН исследований прямолинейности скважин, образованных пневмопробойником [5]. Анализ показал, что для скважины диаметром до 130 мм и длиной 25 м ее отклонение от первоначального направления на выходе в различных типах грунтов в среднем составляет величину около 150 мм или 6 мм на метр длины (рис. 7).

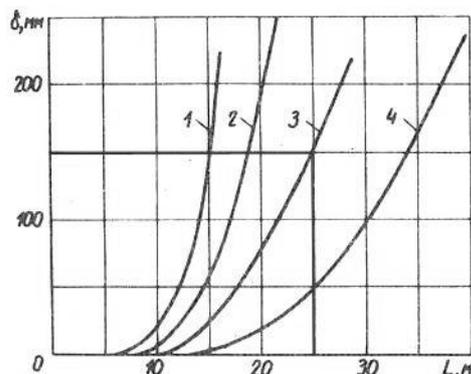


Рис. 7 – Зависимость отклонения скважины от первоначального направления  $\delta$  от длины скважины  $L$

Основываясь на результатах проведенных исследований, можно сделать вывод о том, что выбранный способ управления траекторией и предложенное конструктивное решение механизма отклонения пневмопробойника позволит компенсировать воздействие большинства случайных отклоняющих факторов и обеспечить выход скважины в заданную область подземного пространства. Кроме того, появляется возможность прокладки скважин с заведомо криволинейной траекторией. В настоящее время ведется разработка математической модели устройства с целью оптимизации параметров отклоняющего механизма и более точной оценки возможностей управляемых пневмопробойников различного типоразмера.

### Литература

1. Потапенко А. Особенности горизонтального бурения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.tehsovet.ru/article-2012-12-3-1468>
2. Костылев А.Д. Некоторые результаты исследования прямолинейности пробивания скважин в грунтах пневмопробойниками / А.Д. Костылев, Н.П. Чепурной // ФТПРПИ. – 1969. – № 5.
3. Костылев А.Д. Способы и схемы устройств для управления движения пневмопробойников в грунте / А.Д. Костылев, В.А. Клименко, А.Т. Сырямин // ФТПРПИ. – 1994. – № 4.
4. Костылев А.Д. Управляемый пневмопробойник / А.Д. Костылев, П.А. Маслаков, Б.Н. Смоляницкий // ФТПРПИ. – 2001. – № 3.
5. Пневмопробойники / К.С. Гурков и др. – Новосибирск: Институт горного дела СО АН СССР, 1990.