

В.К. Передерей, викл.

Кировоградский национальный технический университет

Теоретический анализ эффективности применения газовоздушной смазки в самодвижущихся пневмопробойниках

В статье описана конструкция и принцип действия самодвижущегося пневмопробойника. Говорится о возможности для снижения сил сопротивления грунта проколу пневмопробойником применения газовоздушной смазки.

Приводятся результаты теоретических исследований зависимости сопротивлений грунта проколу пневмопробойником и коэффициента снижения сопротивления грунта от длины цилиндрической части и диаметра корпуса пневмопробойника, коэффициента внешнего трения грунта о поверхность механизма при разных способах подачи газовоздушной смазки в зону трения с грунтом.

самодвижущийся пневмопробойник, сопротивление грунта, газовоздушная смазка, коэффициент снижения сопротивления грунта проколу, коэффициент внешнего трения

Строительные организации выполняют значительные объемы работ по устройству инженерных коммуникаций различного назначения – водопроводов, газо-, нефте-, теплопроводов, канализации, дренажных линий и электрических кабелей. Их стоимость составляет значительную часть от общей стоимости объектов, а трудовые затраты иногда приближаются к тем, которые необходимы при возведении самого здания.

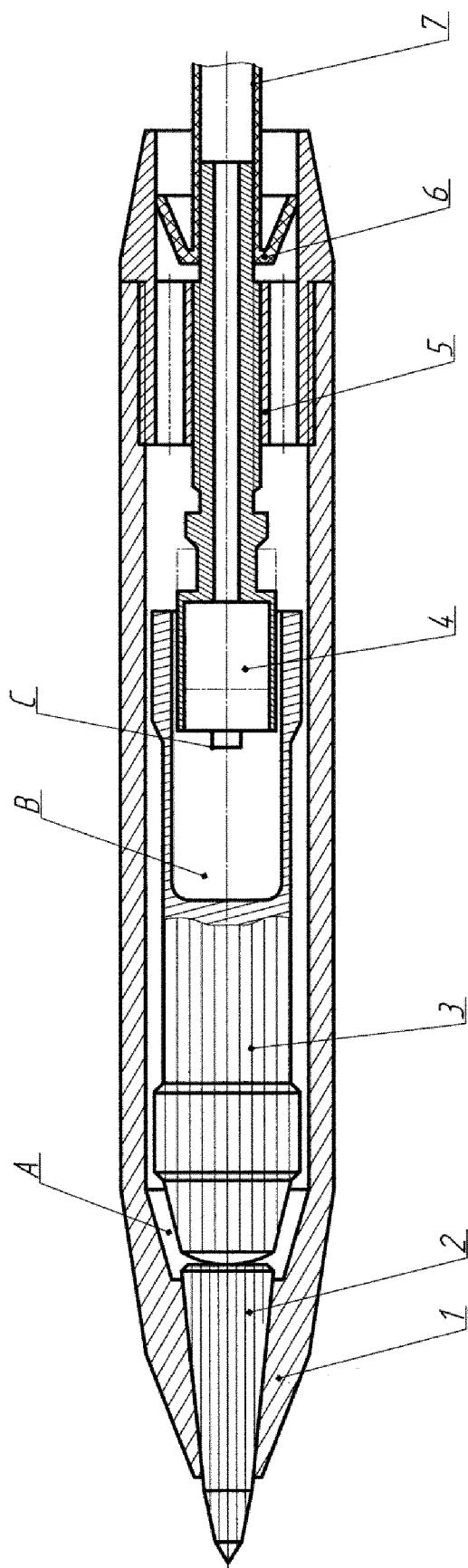
Наиболее трудоемкие и дорогостоящие работы по устройству переходов под городскими улицами, площадями и отдельными зданиями и сооружениями, железнодорожными путями и автомобильными магистралями. Эти работы могут быть выполнены традиционным открытым траншейным и закрытым бестраншейным способами.

В настоящее время на стройках преобладает первый способ, которым выполняют до 98% всего объема работ по прокладке коммуникаций. В городских условиях применение открытого способа вызывает увеличение стоимости работ более чем в 1,5...2 раза из-за необходимости прокладывать коммуникации не по кратчайшему расстоянию, а там, где это возможно, дополнительные расходы на разрушение и восстановление дорожных покрытий увеличивают стоимость почти на 60% [1]. Дезорганизуется движение городского транспорта и пропускная способность дорог, ухудшается санитарное состояние улиц и безопасность движения, уничтожаются зеленые насаждения.

Закрытый бестраншейный способ проходки скважин под инженерные коммуникации лишен многих недостатков, характерных для открытого способа, позволяет уменьшить до 80% объем земляных работ. Наиболее перспективным средством механизации работ при бестраншном способе прокладки коммуникаций являются самодвижущиеся пневмопробойники конструкции Института горного дела Сибирского отделения РАН (ИГД СО РАН) [2], основное технологическое назначение которых – пробивание горизонтальных и наклонных сквозных и глухих скважин в грунте.

Пневмопробойник (рис. 1) состоит из корпуса 1 с наковальней 2 в передней его части. Внутри корпуса расположен массивный ударник 3 с полостью В в задней части, снабженной радиально выполненными окнами С. Передняя камера А образуется пространством между внутренними стенками передней части корпуса и ударником. В заднюю камеру входит патрубок 4, укрепленный резьбовой частью в гайке 5. Гайка соединяется с

корпусом при помощи резьбы и имеет отверстия для выпуска в атмосферу отработанного воздуха.



1 – корпус; 2 – наковальня; 3 – ударник; 4 – патрубок; 5 – патрубок; 6 – гайка; 7 – шланг;
А – передняя камера; В – задняя камера; С – окна

Рисунок 1 – Схема пневмопробойника конструкции ИГД СО РАН

С внешней стороны отверстий расположен клапан 6, который свободно выпускает воздух из пробойника и закрывает выходные отверстия при падении давления внутри него. Патрубок соединен со шлангом 7, по которому поступает сжатый воздух от компрессора.

Нагнетаемый от компрессора сжатый воздух, проходя по патрубку, поступает в заднюю камеру и, давя на ударник, разгоняет его. Двигаясь вперед, ударник ударяет по наковальню, внедряя пневмопробойник в грунт.

Непосредственно перед ударом окна С в задней части ударника минуют торец патрубка и оказываются открытыми для попадания воздуха в переднюю камеру. Вошедший в нее воздух заставляет ударник вернуться в прежнее положение. При этом в конце обратного хода окна С оказываются за расширенной частью патрубка и сообщают переднюю камеру с внутренней полостью пробойника, имеющей выход в атмосферу. Давление в передней камере падает, а поступающий из патрубка в заднюю камеру воздух снова разгоняет ударник вперед, одновременно отталкивая корпус пробойника на-зад, через патрубок. Под действием ударов ударника по наковальню пробойник движется вперед.

До начала работ по проходке скважины осуществляется геодезическая разбивка трассы коммуникации с закреплением ее на местности. В начале и конце проходки должны быть открыты по краям дороги рабочие приемники: входной 1 (рис. 2), из которого производится пуск пневмопробойника 2, и приемный 3 – для его выхода из грунта.

В процессе проходки скважины на корпус пневмопробойника действуют силы сопротивления грунта R (рис. 3): силы лобового сопротивления $R_{\text{л}}$, приложенные к конической части корпуса, и силы внешнего трения, приложенные к боковой цилиндрической поверхности:

$$R = R_{\text{л}} + R_{\text{бок}} . \quad (1)$$

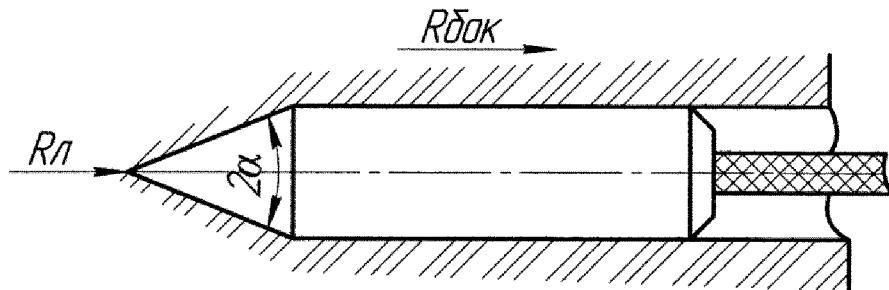


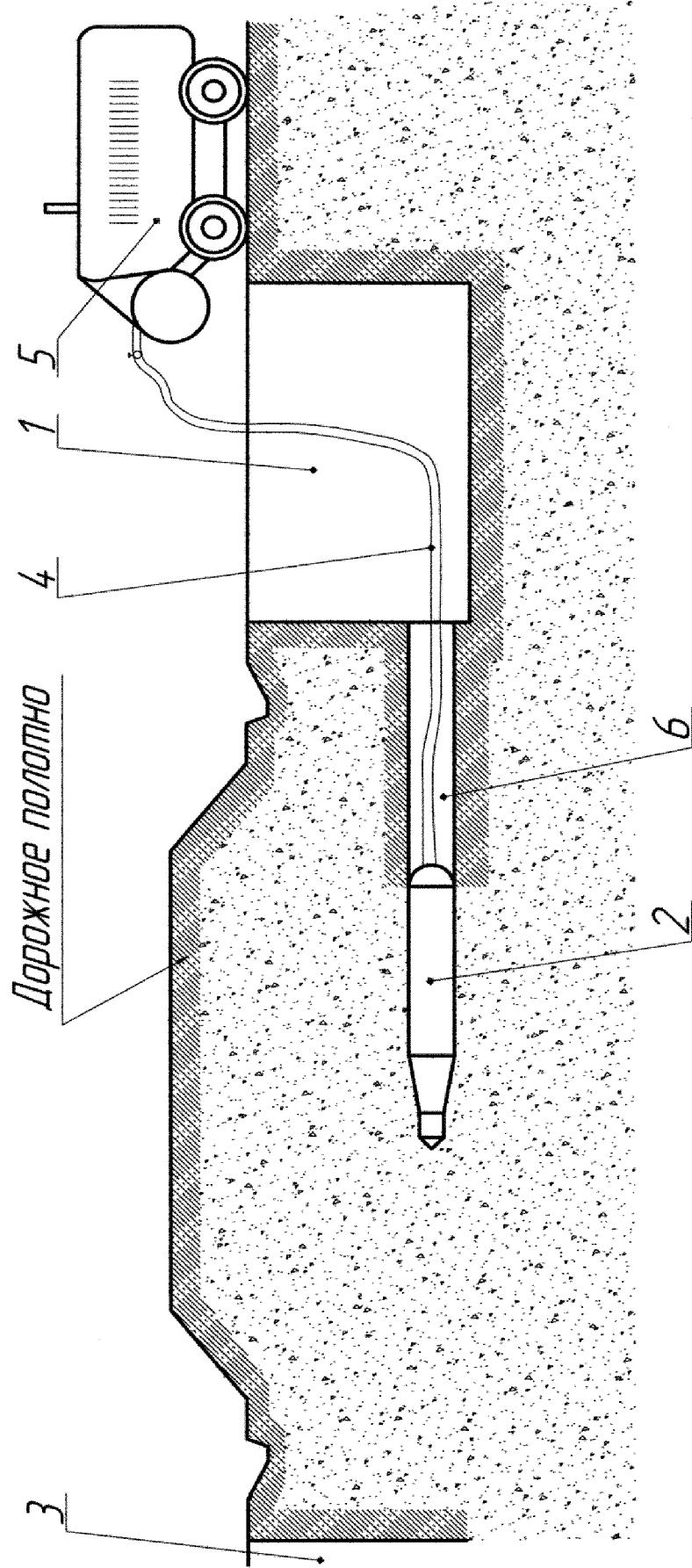
Рисунок 3 – Схема сил, действующих на пневмопробойник

Под действием этих сил скорость проходки скважины уменьшается. В общем балансе передаваемых сопротивлений силы трения составляют около 60 – 70%. Поэтому одно из важных направлений работ по повышению скорости проходки скважин пневмопробойником – снижение сил сопротивления его движению в грунте.

Одним из способов снижения сопротивления грунта проколу может быть газовоздушная смазка, когда в зону трения грунта с поверхностью корпуса пневмопробойника подается сжатый воздух. Применение газовой смазки было реализовано при интенсификации рабочих процессов землеройно-транспортных машин и дало существенный эффект [3,4].

Сопротивление грунта проколу пневмопробойником определяется по формуле [5]:

$$R = \pi \cdot r \sigma_{sp} \frac{\rho+r}{2r} \left[K_g \cdot r \cdot \frac{\operatorname{tg}(\alpha+\varphi)}{\sin \alpha} + 2 \cdot L \cdot \operatorname{tg} \varphi \right] , \quad (2)$$



1 - входной приемник; 2 - пневмопробойник; 3 - приемный приемник; 4 - приемный шланг; 5 - компрессор; 6 - скважина
Рисунок 2 – Схема проходки скважины пневмопробойником

где $\sigma_{\text{тр}} = \gamma_{\text{тр}} + H$ – естественное напряжение грунта на глубине проходки скважины H ;

$\gamma_{\text{тр}}$ – плотность грунта;

ρ – радиус зоны деформации грунта;

r – радиус корпуса пневмопробойника;

α – половина угла заострения конической части корпуса;

φ – угол трения стали о грунт;

L – длина цилиндрической части корпуса пневмопробойника;

K_g – коэффициент динамичности.

По формуле (2) определим сопротивление грунта проколу пневмопробойником без подачи сжатого воздуха в зону трения с грунтом, с подачей сжатого воздуха по конической и цилиндрической части корпуса раздельно, считая, что трение устраниется полностью ($\gamma = 1,71 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$; $\operatorname{tg}\varphi = 0,5$; $L = 1,5 \text{ м}$; $\rho = 34r$; диаметр корпуса $0,095 \text{ м}$; $2\alpha = 30^\circ$; $H = 2 \text{ м}$).

Эффективность применения газовоздушной смазки будем оценивать коэффициентом снижения сопротивления грунта проколу:

$$m = R/R_b, \quad (3)$$

где R – усилие прокола грунта пневмопробойником без газовоздушной смазки;

R_b – усилие прокола с газовоздушной смазкой;

Результаты расчетов представлены на графиках (рис. 4 – 6).

На рис. 4 показана зависимость R_b и m от L при подачи сжатого воздуха по конической части корпуса. Увеличение длины цилиндрической части корпуса пневмопробойника от $0,50$ до $1,5 \text{ м}$ приводит к росту силы сопротивления грунта от $72,8$ и $141,6 \text{ кН}$ до $166,4$ и 280 кН по линейному закону, т. е. в $2,3$ и $1,98$ раза соответственно для диаметра корпуса $0,095$ и $0,15 \text{ м}$. Коэффициент снижения сопротивления уменьшается по нелинейному закону соответственно от $2,15$ и $1,54$ до приблизительно $1,15$.

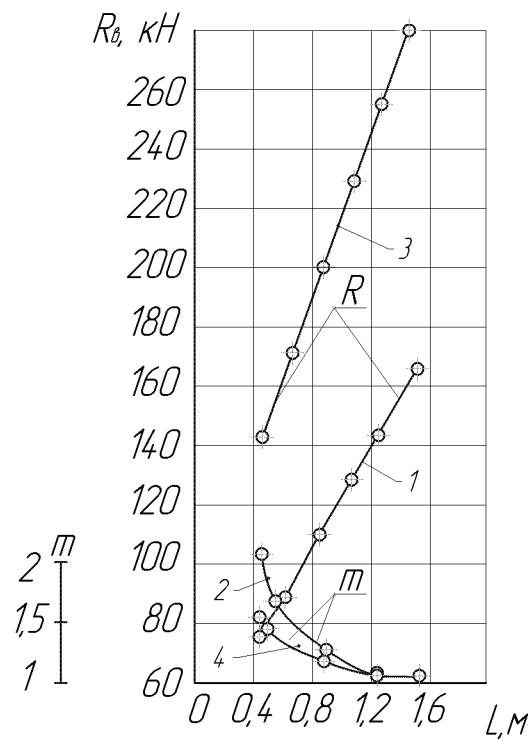
С увеличением коэффициента трения сила сопротивления грунта растет по линейному закону (рис. 5). При подаче сжатого воздуха по конической части корпуса и изменении $\operatorname{tg}\varphi$ от 0 до $0,5$ сила сопротивления увеличивается с $9,6$ до 158 кН , т.е. в $16,45$ раза, и с 30 до $161,5 \text{ кН}$, т.е. в $5,38$ раза, при подаче по цилиндрической части. Коэффициент снижения сопротивления уменьшается по нелинейному закону соответственно с $18,6$ и $5,46$ до $1,24$ и $1,12$ раза. Как видно из графика, значительное снижение сопротивления от подачи сжатого воздуха по конической части в сравнении с подачей по цилиндрической достигается при $\operatorname{tg}\varphi = 0,4$, а при больших значениях эффект примерно одинаков.

С увеличением диаметра пневмопробойника с $0,063$ до $0,15 \text{ м}$ сила сопротивления грунта проколу без газовоздушной смазки увеличивается почти по линейному закону с 105 до 280 кН , т.е. в $2,7$ раза (рис. 6).

При подаче сжатого воздуха по конической и цилиндрической частям корпуса с увеличением его диаметра сила сопротивления грунта возрастает по нелинейному закону с $3,2$ и $14,4 \text{ кН}$ до $25,6$ и $70,4 \text{ кН}$, т.е. в 8 и $4,9$ раза соответственно. Сила сопротивления грунта при подаче сжатого воздуха по конической части корпуса меньше, чем при подаче по цилиндрической части, в $4,5$ и $2,75$ раза соответственно для диаметров $0,063$ и $0,15 \text{ м}$. С увеличением диаметра эта разница увеличивается.

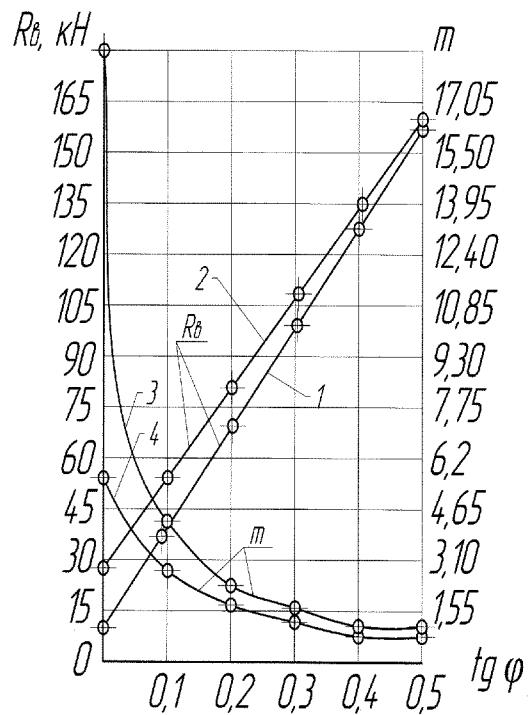
Коэффициент снижения сопротивления грунта уменьшается по нелинейному закону с 27 и 8 раз до $13,2$ и $3,6$ раз для диаметров корпуса $0,063$ и $0,15 \text{ м}$ при подаче сжатого воздуха по конической и цилиндрической части корпуса соответственно.

Результаты теоретических исследований показывают, что целесообразно применить эффект газовоздушной смазки в самодвижущихся пневмопробойниках. Разработаны конструкции пневмопробойников, на которые получены авторские свидетельства №№1099016, 1148944, 1630351. При разработке конструкций с газовоздушной смазкой



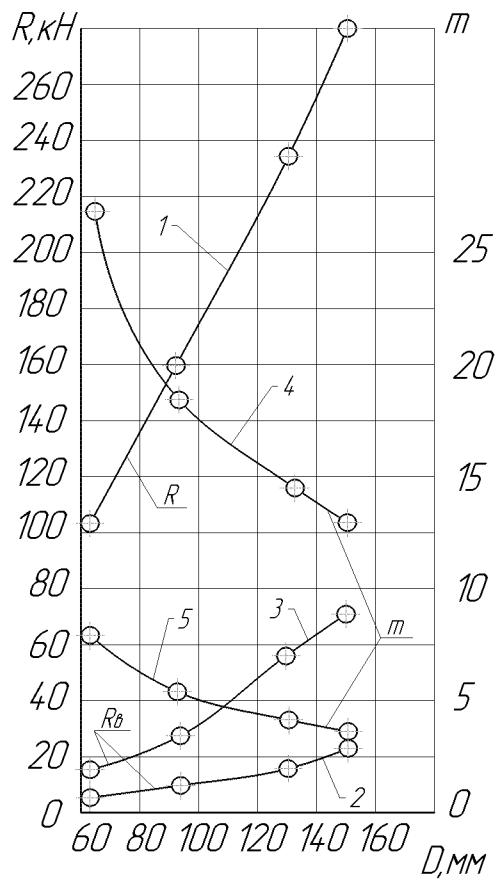
1,2 – диаметр корпуса 95 мм; 3,4 –диаметр корпуса 150 мм

Рисунок 4 – Зависимость R_b и m от L при подаче сжатого воздуха по конической части корпуса



1,3 – по конической части корпуса; 2,4 – по цилиндрической части корпуса

Рисунок 5 – Зависимость R_b и m от $\operatorname{tg} \phi$ при подаче сжатого воздуха



1 – без подачи сжатого воздуха; 2,4 – с подачей по конической части корпуса; 3,5 – с подачей по цилиндрической части корпуса

Рисунок 6 – Зависимость R_b и m от D

учтена та особенность пневмопробойника, что его движение вперед с образованием скважины возможно при наличии сил трения $R_{бок}$, которые должны превышать реактивную силу отдачи $R_{отд}$, возникающую при разгоне ударника. При $R_{бок} < R_{отд}$ движение пневмопробойника невозможно.

Поэтому подача сжатого воздуха в зону трения пневмопробойника с грунтом выполнена пульсирующей, в момент, когда пневмопробойник начинает движение с образованием скважины.

Список литературы

1. Васильев С.Г. Подземное строительство неглубокого заложения. Львов: Вища школа. Изд-во при Львовском университете, 1980. – 48с.
2. Костылев А.Д., Гурков К.С., Смоляницкий Б.Н. Пневмопробойники и машины для забивания в грунт легких строительных элементов. Новосибирск: Наука, 1980.– 48с.
3. Руднев В.К. Копание грунтов землеройно-транспортными машинами активного действия. Харьков: Высшая школа, 1963.– 144 с.
4. Баловнев В. И. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия. М.: Машиностроение, 1981. – 223 с.
5. Николаев Ю.В. Исследование взаимодействия инструментов с массивом и выбор параметров самопередвигающихся гидропневматических грунтопроходчиков; - Дис. ... канд. техн. наук. – Караганда, 1974.