

водит к разгрузке пород кровли от высоких горизонтальных напряжений при $q = 2$, что является следствием возникновения зон растяжения, величина которых зависит от $B_{\text{и}}$ и углов наклона свода. Исполнение технологии и последовательность

выемки создают условия, при которых искусственные целики обеспечивают плавное смещение кровли над всем выработанным пространством, создавая вероятность статического проявления горного давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ № 1606667. Способ управления давлением // Фрейдин А.М., Какойло В.Н., Шалауров В.А., и др.; патентообладатель ИГД СО РАН // – опубл. в БИ, 1990, № 42.
2. *Фрейдин А.М.* Повышение эффективности подземной разработки рудных месторождений Сибири и Дальнего Востока / А.М. Фрейдин, В.А. Шалауров, и др. – Новосибирск: Наука, 1992.
3. *Болтенгаген И.Л.* Расчет параметров выемочных единиц комбинированного способа разработки / И.Л. Болтенгаген, Попов С.Н. Оптимизация подземных горных работ на рудниках. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1989.
4. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975.

□ Авторы статьи:

Неверов
Александр Алексеевич,
канд.техн.наук., старший научный
сотрудник,
(Институт горного дела СО РАН)
E-mail: nnn_aa@mail.ru,
neverovaa_79@mail.ru

Неверов
Сергей Алексеевич,
канд.техн.наук, старший научный
сотрудник (Институт горного дела
СО РАН)
Тел. (383) 217-09-52;
e-mail: nnn_aa@mail.ru

Денисова
Екатерина Вячеславовна,
канд.техн.наук, старший научный
сотрудник(Институт горного дела
СО РАН)
Тел.(383) 217-09-52

УДК 534.61

Е.В. Денисова, А.А. Неверов, С.Ю. Гаврилов, А.И. Конурин

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ, ИНДУЦИРОВАННОГО ДВИЖУЩЕЙСЯ В ГРУНТЕ ПНЕВМОУДАРНОЙ МАШИНОЙ

Задача отслеживания местоположения ударных машин в грунтовом массиве* при сооружении подземных переходов последние годы становится актуальной по причине развития и создания управляемых машин. В настоящее время для решения этой проблемы используют только низкочастотные электромагнитные навигационные системы иностранного производства, которые интегрированы в рабочий орган пневмоударной машины [1, 2]. Недостаточное внимание уделено созданию акустических систем навигации для бестраншейных технологий прокладки подземных коммуникаций, существуют всего две заявки на получение патента РФ на изобретение [3, 4], принцип работы которых основан на использовании акустического поля, создаваемого движением в грунтовом массиве бурового рабочего органа. К сожалению, данные устройства не нашли своего практического применения при решении поставленной задачи.

Дальнейшее развитие бестраншейных технологий в России невозможно без создания технических средств навигации предназначенных для оте-

чественных пневмопробойников, обеспечивающих минимальные вмешательства в конструкцию машины, надежность, информативность и точность при определении ее местоположения. Для этих целей необходимо выполнить большой объем исследований по прохождению электромагнитных и акустических сигналов в грунтовом массиве, определить оптимальный частотный диапазон системы для обеспечения требуемой разрешающей способности по углу отклонения машины и по дальности до нее, выявить влияние уже проложенных коммуникаций на точность работы системы навигации.

В связи с этим выполнены экспериментальные исследования в натуральных условиях, цель которых заключалась в следующем – на поверхности земли измерить акустические сигналы, создаваемые движущимся в грунте пневмопробойником, на заданных расстояниях относительно источника удара. По данным экспериментальных исследований получить информацию о характере распределения акустического поля и о взаимосвязях его параметров со свойствами среды и положением источника удара в грунтовом массиве. Получить выводы о возможности использования самой машины в качестве источника ударных импульсов при реализации акустической системы

* Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.»

навигации.

Для проведения экспериментальных исследований использовалось следующее оборудование: пневмопробойник с энергией удара 22 Дж, длиной рабочего органа 55 см; акселерометр КД29, USB-осциллограф АСК-3601, ноутбук Acer 150, влагомер (рис. 1).

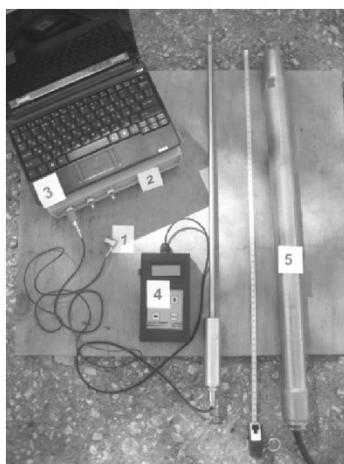


Рис. 1. Оборудование для исследования параметров нелинейных упругих волн, создаваемых движущейся в грунте пневмодарной машиной: 1 – акселерометр КД29; 2 – USB-осциллограф АСК-3601; 3 – ноутбук Acer 150; 4 – влагомер; 5 – пневмопробойник

Методика проведения экспериментальных исследований заключалась в следующем: пневмопробойник запускался в грунтовый массив на глубину 25 и 50 см от поверхности земли, после заглубления машины на всю ее длину акселерометр устанавливался в точку над местом удара (т.е. над носовой частью машины, что соответствует отметке 0 на рис.2), далее измерялся сигнал в точке 0, работу пневмопробойника останавливали в момент передвижения акселерометра в точку 20 (что соответствует отклонению машины на 20 см), после установки акселерометра движение пневмопробойника запускалось и осуществлялась запись сигнала, таким образом, были осуществлены измерения в точках 40, 60 и 80 влево относительно оси движения машины и вправо от нее (что соответствует отклонению машины на 40, 60 и 80 см).

Амплитудные ошибки контролировались с помощью постоянных замеров дальности до машины и установкой акселерометра строго вдоль оси, проходящей над носовой частью пневмопробойника. Данные с акселерометра поступали на осциллограф АСК-3106 и далее на ноутбук. Файлы с данными из программы для осциллографа экспортировались в программу Excel 2007, а затем в Mathcad 14 для построения спектров принятых сигналов.

На рис. 3 представлены зависимости амплитуды принятого сигнала от времени его распространения в грунтовом массиве. Можно отметить, что большинство данных показывают тенденцию

уменьшения амплитуды импульса с увеличением отклонения машины от заданного курса.

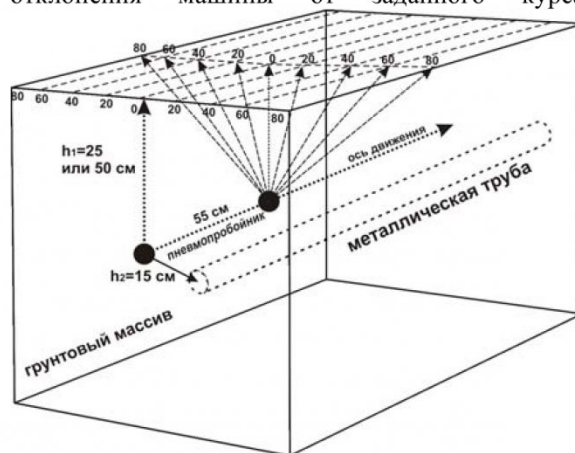


Рис. 2. Схема проведения экспериментального исследования параметров акустического поля, создаваемого движущимся пневмопробойником в грунтовом массиве (пунктиром отмечено наличие параллельно оси его движения неоднородности в виде металлической трубы соизмеримого с ним диаметра)

При обработке экспериментальных данных использовался метод спектрального анализа одиночных ударных импульсов, индуцированных движением пневмопробойника в грунтовом массиве. Рассчитывалось дискретное преобразование Фурье n -мерного вектора v , $n=2^m$ – число элементов в v , i – мнимая единица:

$$c_j = \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{k=0}^{n-1} v_k e^{2\pi i(j/n)k},$$

где $f_k = \frac{k}{n} f_s$, f_s – частота измерения исходного сигнала;

$$A_n = \sqrt{(Im(c_j))^2 + (Re(c_j))^2} \quad [5].$$

На рис. 4 представлен результат спектрального анализа одиночного ударного импульса при отклонении машины на 15 см вправо (измерения осуществлялись над искусственной неоднородностью – металлической трубой) или влево (грунт без неоднородностей). Согласно данным исследованиям можно отметить, что спектр импульса, записанного непосредственно над металлической неоднородностью, содержит высокочастотные составляющие, амплитуды которых значительны при определении местоположения машины над однородным грунтом (рис. 4). Таким образом, можно инструментально выделить сигнал от неоднородности и не учитывать его при определении местоположения машины.

Ниже на рис. 5 представлены зависимости амплитуды одиночного импульса, индуцированного превышают амплитуды спектра сигнала, записанного над однородным грунтом (рис. 4). Таким образом, можно инструментально выделить сигнал от неоднородности и не учитывать его при

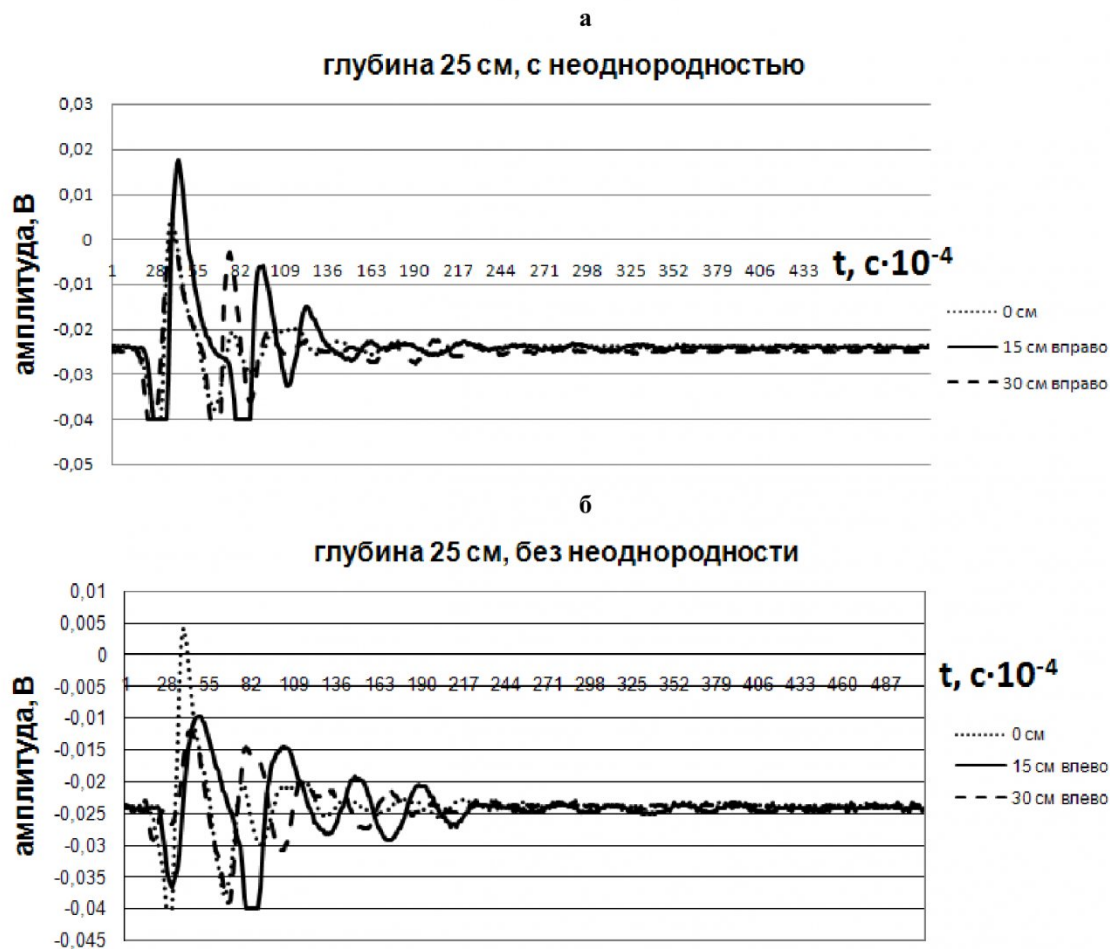


Рис. 3. Примеры записанных одиночных импульсов, создаваемых движущимся в грунте пневмопробойником при отклонении его на 0, 15 и 30 см вправо и влево соответственно: а) при наличии параллельно ему в одной горизонтальной плоскости на расстоянии 15 см неоднородности в виде металлической трубы соизмеримого с ним диаметра; б) без неоднородности

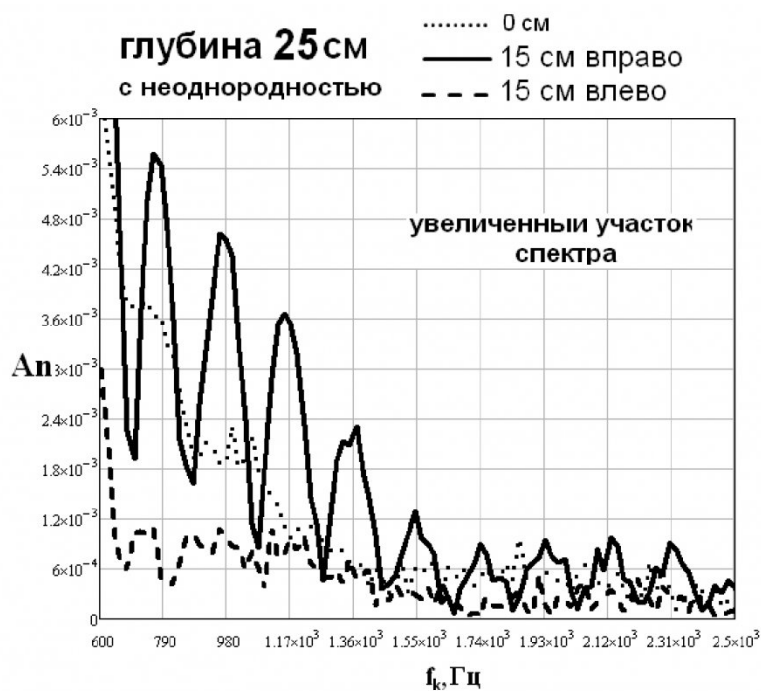


Рис. 4. Увеличенный участок спектра одиночного ударного импульса, индуцированного пневмоударной машиной движущейся в грунте

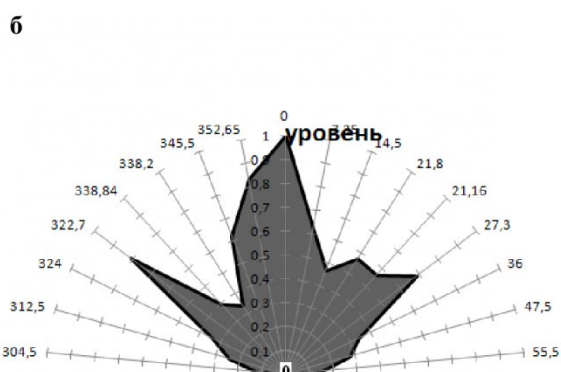
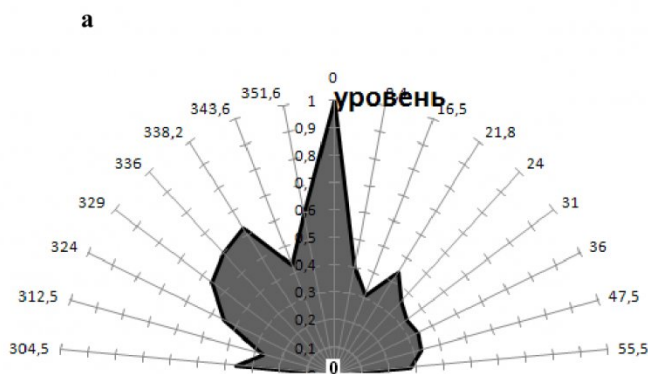
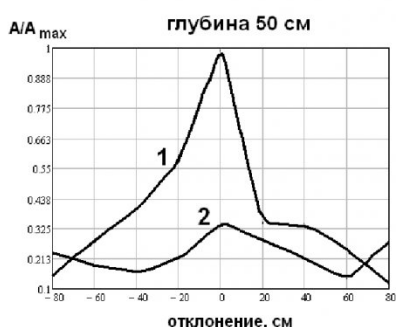
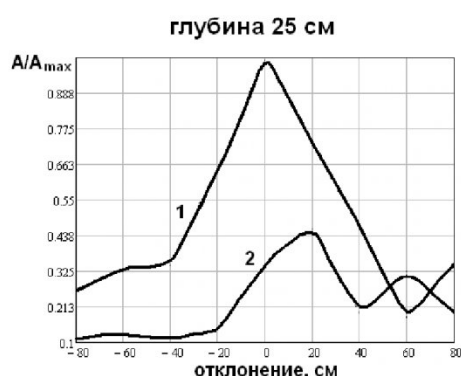


Рис. 5. Распределение акустической мощности (в относительных единицах) от угла или величины отклонения (в сантиметрах) пневмопробойника от заданного курса: а) при дальности до машины 25 см; б) при дальности до машины 50 см

движущейся в грунте пневмоударной машиной, от ее отклонения вправо или влево на 20, 40, 60 и 80 см. При этом измерения производились непосредственно над машиной и на расстоянии до 1 м. По данным зависимостям можно отметить снижение разрешающей способности по углу отклонения машины от заданного курса при увеличении дальности до машины. Также с увеличением дальности между приемным устройством (акселерометром) и пневмопробойником возникает вероятность ложных выбросов амплитуды, которые по

всей видимости связаны с наличием в грунтовом массиве искусственных неоднородностей.

Выводы. Таким образом, экспериментально установлено, что применение акустического метода обеспечивает достаточную точность и дальность при определении положения пневмоударной машины в грунтовом массиве, что позволит осуществлять контроль за процессом его деформирования. Для повышения точности акустического метода целесообразно выполнять спектральный анализ одиночных ударных импульсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Опарин В.Н., Денисова Е.В.* Принципы построения радиочастотных систем навигации для бестраншейных технологий прокладки подземных коммуникаций. – Новосибирск: СО РАН, 2011. – 132 с.
2. *Рыбаков А.П.* Основы бестраншейных технологий (теория и практика). – М.: ПрессБюро №1, 2005. 304 с.
3. Заявка на получения патента РФ на изобретение №93027051. Устройство для непрерывного определения местоположения бурового инструмента / Иванов Ю.В. // Оpubл. 10.02.1996.
4. Заявка на получения патента РФ на изобретение №93021187. Устройство для непрерывного определения местоположения бурового инструмента / Иванов Ю.В. // Оpubл. 27.01.1996.
5. *Харкевич А.А.* Спектры и анализ. – М.: Государственное издательство теоретико-технической литературы, 1952. – 192 с.

□ Авторы статьи:

Денисова
Екатерина Вячеславовна,
канд.техн.наук, ст. научн.
сотр. (Институт горного
дела СО РАН)
Тел.(383) 217-09-52

Неверов
Александр Алексеевич,
канд.техн.наук., ст. научн.
сотр.(Институт горного
дела СОРАН);
e-mail: nnn_aa@mail.ru

Гаврилов
Сергей Юрьевич,
аспирант (Институт горного
дела СО РАН),
тел. (383) 217-09-52

Конурин
Антон Игоревич, аспирант
(Институт горного дела
СО РАН),
тел. (383) 217-09-52